



HAL
open science

Géodiversité et diversité paysagère : évaluation de concepts spatiaux pour l'étude de la diversité des milieux et paysages : application au site Natura 2000 Madres-Coronat (Pyrénées-Orientales, France)

Anja Müller

► **To cite this version:**

Anja Müller. Géodiversité et diversité paysagère : évaluation de concepts spatiaux pour l'étude de la diversité des milieux et paysages : application au site Natura 2000 Madres-Coronat (Pyrénées-Orientales, France). Géographie. Université Toulouse le Mirail - Toulouse II; Karlsruher Institut für Technologie, 2011. Français. NNT : 2011TOU20039 . tel-00632247

HAL Id: tel-00632247

<https://theses.hal.science/tel-00632247>

Submitted on 13 Oct 2011

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

THÈSE

genehmigte Dissertation

En vue de l'obtention du /zur Erlangung des akademischen Grades einer
DOCTORAT/ Doktorin der Naturwissenschaften

Délivré par / Verliehen von:

Université Toulouse 2 Le Mirail (UT2) et / und
Fakultät für Bau- Geo und Umweltwissenschaften des Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
dans le cadre d'une co-tutelle franco-allemande de thèse /
im Rahmen einer deutsch-französischen Doppelpromotion

Discipline / Fachgebiet :
Géographie

Présentée par / von:
Anja Müller

Soutenu en public / Tag de mündlichen Prüfung:
13 juillet / Juli 2011

Titre / Titel:

Géodiversité et diversité paysagère.
Évaluation de concepts spatiaux pour l'étude de la diversité des milieux et paysages
- Application au site NATURA 2000 Madres-Coronat (Pyrénées Orientales, France)

Geodiversität und Landschaftsdiversität:

Evaluierung räumlicher Konzepte zur Untersuchung der Diversität von Umwelt und Landschaften.
Anwendung im HFF-Gebietes Madres -Coronat (Pyrénées Orientales, Frankreich)

Laboratoire de géographie de l'environnement GEODE (UMR 5602 /CNRS)
Institut für Geographie und Geoökologie 1

Directeurs de Thèse / Referenten :

Jean-Charles Filleron, professeur des Universités, Université de Toulouse 2 le Mirail, France
Prof. Dr. Dieter Burger, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Deutschland

Rapporteurs / Gutachter :

Laurent Simon, professeur des Universités, Université de Paris 1 (Panthéon-Sorbonne), France
Prof. Dr. Tillmann Buttschardt, Universität Münster, Deutschland

Numéro national de dépôt :

A la mémoire
de mon grand-père Louis et de sa fille, Katia « Tata Soleil »...

Résumé

La géodiversité en tant qu'interprétation géographique de la diversité spatiale de la surface terrestre, peut être définie comme la diversité morphologique des milieux dits naturels, voire comme une diversité des paysages si l'on considère ces derniers comme un ensemble d'objets matériels. Afin de combler des lacunes théoriques et l'absence d'un regard multilinguistique et pluriculturel sur la géodiversité, ce travail s'insérant dans la recherche fondamentale géographique, met en lumière et différencie les notions de géodiversité et de diversité paysagère en langue française, allemande et anglaise, tout en explorant de façon empirique une question primordiale : comment mesurer la géodiversité, interprétée comme une diversité mésologique et paysagique tenant compte des structures verticales et horizontales de la diversité spatiale ? La géodiversité dite globale ne doit pas être confondue avec une géodiversité interprétée de façon géologique: elle prend en effet en compte les éléments biotiques autant que les éléments abiotiques et intègre l'anthropisation des milieux, sans séparer le minéral et le vivant, le naturel et l'artificiel. Dans une approche systémique, on peut considérer que les structures spatiales des milieux, leur morphologie, reflètent leur fonctionnement et leur dynamique et elles permettent de différencier ces milieux pour caractériser leur géodiversité. Saisie simultanément par une approche intégrée des milieux et par des relevés pédologiques et floristiques davantage disciplinaires, les composantes et enceintes des milieux relèvent de plusieurs niveaux organisationnels de la diversité.

Le volet empirique de ce travail de recherche explore, par une démarche multiscalaire, la géodiversité du Massif du Madres -Coronat situé dans la partie orientale, franco-catalane, des Pyrénées. Sur le site d'intérêt communautaire « Massif de Madres-Coronat » la diversité des milieux se trouve accentuée par une variété des roches, des formes du relief, par un étagement bioclimatique et une utilisation des sols différenciée. Les relevés de terrain permettent d'étudier la diversité mésologique (ou diversité des milieux) et de mettre en évidence les relations entre géodiversité et phytodiversité. La cartographie des unités paysagiques élémentaires, les géons, mis en évidence par photo-interprétation, illustre la mosaïque des milieux et la diversité des structures spatiales latérales qu'on peut qualifier de diversité paysagique. Les indices de diversité et l'analyse exploratoire des données multivariées appliqués aux données mésologiques et paysagiques contribuent à la caractérisation de la géodiversité du massif. Ils mettent en évidence une diversité mésologique relativement importante dans les milieux forestiers et complexes et une diversité paysagique plus importante dans les secteurs élevés du massif, modelés par les glaciations quaternaires, ainsi qu'à proximité des talwegs. Les résultats de cette analyse descriptive et exploratoire constituent le fondement d'une discussion sur les propriétés et l'utilité potentielle de la géodiversité dans le cadre de la gestion des paysages et des espaces naturels.

Mots-clés : géodiversité, diversité paysagère, biodiversité, milieux naturels, paysage, espaces naturels, géosystème, écologie du paysage, Madres-Coronat, Pyrénées

Abstract

Geodiversity and landscape diversity: Evaluating spatial concepts for studying the diversity of 'milieux naturels' ('natural environments') and landscapes - Application to the Natura 2000 Site of Community Importance (SCI) Madres-Coronat (Eastern Pyrenees, France)

Taking geodiversity to be a geographical interpretation of the spatial diversity of the Earth's surface, it can be defined as the morphologic diversity of 'natural environments' ('*milieux naturels*'), or alternatively as the diversity of landscapes, when considered as a physical landscape. In an effort to contribute to a more coherent body of theory and a multilingual and pluricultural approach to geodiversity, this work situates itself within the field of fundamental geographical research. It highlights and differentiates between the notions of geodiversity and landscape diversity, whilst using an empirical method to deal with a central question; 'How can geodiversity be measured?', if it is interpreted as '*mesologic diversity*' and '*diversité paysagique*' (describing the diversity of physical structures within the landscape), taking into account the lateral and vertical structures of spatial diversity. A clear distinction should be made between general geodiversity, and geological diversity. Indeed, a general definition of geodiversity takes into account biotic as well as abiotic elements. It also encompasses the human effect on these environments, without making a distinction between minerals and living things, or between artificial and natural elements. A systemic approach might suggest that spatial structures; the morphology of the environment, reflect their processes and dynamics. In employing an integrated approach to these 'natural environments' whilst also consulting floristic and soil samples, it has been shown that diversity is organised on many levels.

The empirical section of the work uses a multiscalar approach to exploring the geodiversity of the '*Massif du Madres - Coronat*', which is situated in the Franco-Catalonian region of the Eastern Pyrenees. At the Site of Community Importance - the '*Massif du Madres - Coronat*', the broad diversity of 'natural environments' is characterised by specific varieties of rock, topography, levels of vegetation and differentiated land use. Samples and observations taken from the study site have made it possible to bring mesologic diversity to the fore, and to study the relationship between geodiversity and phyto diversity. A cartographic study of '*géons*' (a spatial landscape unit) using remote sensing, illustrates the land mosaics - a range of lateral structures that represent the physical diversity of the landscapes ('*diversité paysagique*'). When used in conjunction with the data, diversity metrics and multivariate statistics contribute to understanding the character of the site's geodiversity. This has demonstrated a relatively high level of mesologic diversity in types of forests and shrubland, and an increased level of '*diversité paysagique*' in elevated areas which have been shaped by Quaternary glaciation, and in areas close to talwegs. The results of this analysis form the basis of a discussion concerning the properties and useful potential of geodiversity within the framework of managing the landscape and protected areas.

Key-words: Geodiversity, landscape diversity, biodiversity, natural environments, landscape, protected areas, landscape ecology, Madres-Coronat, Pyrenees

Zusammenfassung (Kurze Version)¹

Geodiversität als geographische Interpretation einer räumlichen Diversität der Erdoberfläche kann unter anderem als morphologische Diversität der Umwelt (im Sinne eines „natürlichen Milieus“: „milieux naturels“) oder auch als Landschaftsdiversität der physikalisch-materiellen Landschaft begriffen werden. Um dem Mangel an einer multilinguistischen und interkulturellen Betrachtung der Geodiversität abzuwehren, enthält die vorliegende Dissertation einerseits eine Grundlagenforschung zur Differenzierung der Begriffe Geodiversität und Landschaftsdiversität im englischen, deutschen und französischen Sprachraum, und befasst sich andererseits empirisch mit der Frage, wie Geodiversität gemessen werden kann; insbesondere wenn sie als räumliche Diversität sowohl die vertikalen („diversité mésologique“) als auch horizontalen („diversité paysagique“) Strukturen der Umwelt und der Landschaften berücksichtigt. Eine so definierte „globale“ oder „allgemeine“ Geodiversität ist nicht mit einer sich nur auf das Geos beschränkten Geodiversität der unbelebten Natur zu verwechseln: Die global interpretierte Geodiversität bezieht sich ebenso auf biotische wie auf abiotische Geokomponenten und integriert die anthropogene Überprägung der „milieux naturels“; also ohne getrennte Betrachtung der mineralischen und lebendigen oder der natürlichen und künstlich geschaffenen Komponenten der Umwelt. Bei einem systematischen Ansatz kann davon ausgegangen werden, dass die räumliche Struktur (Morphologie) die Prozesse und Dynamik der Umwelt widerspiegelt, die Unterschiede der Raumstruktur die Geodiversität der als System begriffenen Umwelt also hinreichend charakterisieren. Simultane Aufnahmen der Umweltkomponenten durch einen integrativen Ansatz der Standortaufnahmen sowie die eher disziplinär orientierten Methoden der Vegetations- und Bodenaufnahmen veranschaulichen die verschiedenen Organisationsebenen der Diversität.

Im empirischen Teil der Arbeit wird die Geodiversität des in den französisch-katalanischen Ostpyrenäen gelegenen Madres-Coronat-Massivs mittels eines multiskalaren Ansatzes untersucht. Im FFH-Gebiet „Massif de Madres-Coronat“ zeigt sich die Diversität der Landschaft durch eine auffallende Varietät der Gesteine und Reliefformen sowie durch die Vegetationshöhenstufen wie auch die differenzierte Landnutzung besonders deutlich. Die Geländeaufnahmen ermöglichen es, die Beziehung zwischen Geodiversität und floristischer sowie pedologischer Diversität zu untersuchen und die Standortdiversität zu beschreiben, die als „*diversité mésologique*“ (nach „Milieu“ bzw. mesos) bezeichnet wird. Die durch Luftbildinterpretation kartierten elementaren Landschaftseinheiten, den sogenannten „géons“, veranschaulichen das Landschaftsmuster und erlauben es, die Diversität der horizontalen Raumstrukturen und somit die morphologische Landschaftsdiversität oder sogenannte „*diversité paysagique*“ (der Landschaft, „paysage“ zugeordnet) zu quantifizieren. Diversitätsindizes und multivariable Analysemethoden ermöglichen die Beschreibung der Standortaufnahmedaten und der Kartierdaten über die Geodiversität des Untersuchungsgebietes. So kann eine hohe Standortdiversität (*diversité mésologique*) in Waldstandorten und komplexen Standorten des Typs Heide- und Buschvegetation sowie eine hohe morphologische Landschaftsdiversität in der glazial überformten Gipfelregion und in Tallagen beobachtet werden. Die Ergebnisse bilden die Basis für eine Diskussion zu den Eigenschaften und dem potentiellen Nutzen der Geodiversität für das Management und den Schutz von Lebensräumen und Landschaften.

Schlüsselwörter: Geodiversität, Landschaftsdiversität, Biodiversität, Umwelt, Landschaft, Naturraum, Landschaftsökologie, Geosystem, Madres-Coronat-Massiv, Pyrenäen

¹ Version longue cf. annexes (Ausführliche Zusammenfassung siehe Anhang)

Remerciements

Je tiens à remercier par ces premières lignes toutes les personnes qui, par leur soutien intellectuel, technique, matériel ou moral ont contribué à la réalisation de ce travail et qui sont si nombreux que j'ai bien peur de ne pouvoir les mentionner tous.

En premier lieu j'adresse mes plus vives remerciements à Jean-Charles Filleron, professeur émérite à l'Université de Toulouse 2, qui me suit depuis 2001, pour sa confiance, pour les conseils et encouragements, pour avoir accepté la direction de cette thèse et pour les échanges qui ont contribué au fondement de ce travail : grâce à lui une thèse sur la géodiversité a pu voir le jour.

J'adresse toute ma reconnaissance à Dieter Burger, professeur à l'Institut de géographie de géoécologie de l'Université de Karlsruhe (KIT), tout d'abord pour sa présence, ses conseils en matière de pédologie, pour sa volonté d'accompagner et d'organiser une sortie avec les étudiants de géoécologie tout en découvrant mon terrain d'étude et enfin, surtout, pour avoir repris en 2009 la direction de ma thèse.

Mes remerciements s'adressent également à Laurent Simon, pour m'avoir fait l'honneur de faire partie du jury de soutenance, et pour avoir pris le temps d'évaluer ce travail. Pour avoir accepté d'évaluer cette thèse en langue française, et pour les conversations intéressantes sur le sujet de la diversité (parmi bien d'autres) j'exprime ma profonde gratitude à Tillmann Buttschardt, professeur à l'Institut d'écologie de paysage de l'Université de Münster.

Mes remerciements s'adressent également à Manfred Meurer, professeur émérite de la chaire de « Landschaftsökologie » de l'Institut de Géographie et de Geoökologie 1 » (IfGG) de l'Université de Karlsruhe pour m'avoir accepté en tant que doctorante à l'Université de Karlsruhe, pour ses idées et remarques utiles. A l'IfGG mes remerciements s'adressent bien sûr à Christophe Neff, akademischer Rat, pour m'avoir soutenu, pour les discussions prolifiques et profitables que nous avons eu, pour la transmission de ses connaissances en biogéographie et géobotanique lors des sorties et séminaires, et surtout pour avoir été le promoteur principal à qui on ne doit pas moins que la réalisation d'une co-tutelle de thèse entre l'Université de Toulouse le Mirail et l'Université de Karlsruhe. A l'Institut für Geographie und Geoökologie je tiens à remercier également Martin Kull au laboratoire de pédologie de l'IfGG pour son soutien technique, les astuces utiles et les discussions, à Reiner Gebhardt pour les dépannages en matériel informatique, aux collègues Alexander Scheid, André Hohmann, Raphael Knoll, Marco Conedera, Tobias Wirsing et Katherina Butz et Ulrike Schade pour les échanges cordiaux, ainsi qu'à Tanja Bayer, pour les échanges fructueuses et pour avoir partagé avec tant d'amabilité le bureau pendant ces 6 mois passés en Allemagne. A l'Institut de Photogrammetrie et Fernerkundung und (IPF) de l'Université de Karlsruhe j'adresse mes remerciements au professeur Hans-Peter Bähr pour avoir accepté de faire partie de la commission de thèse et de m'avoir accepté en tant qu'étudiante dans les séminaires de son Institut et bien sûr à Uwe Weidner pour le temps et la bonne humeur accordée à m'initier à la télédétection sur Linux.

Au laboratoire GEODE (UMR 5602/CNRS) je dois mes remerciements tout d'abord à Jean-Paul Métailié, pour l'accueil au sein du laboratoire, pour m'avoir soutenu en tant que doctorante, pour l'aide au choix initial du terrain et pour de nombreuses astuces et conseils concernant les Pyrénées, son anthropisation et sa flore. Mes remerciements s'adressent également aux professeurs Jean-Marc Antoine et Martin Paegelow pour leur soutien et disponibilité, à Jean-Marc Antoine pour m'avoir confié des TD de « milieux naturels » et à Martin Paegelow pour la mise à disposition d'informations sur le Garrotxes et surtout pour avoir été prêt à traduire le

rapport de Tillmann Buttschardt. J'adresse mes remerciements à tous les chercheurs, enseignants-chercheurs et ingénieurs d'étude du laboratoire et notamment à François Gazelle pour m'avoir extrait des bulletins météorologiques des Archives oubliées de la MDR, à Bertrand Desailly, pour ces précieux conseils pendant la période où je fus attaché temporaire d'enseignement et de recherche, à Jean-François Galtié pour quelques discussions sur les pratiques de terrain et les méthodes et je tiens surtout à remercier Anne Peltier, « qui est passée par là », pour son aide dépassant largement la collégialité, pour ses relectures et pour les moments de détente au cours des randonnées dans les Pyrénées. Grand merci à Hugues Barcet et à Sandrine Buscaino pour leur soutien matériel et technique mais surtout pour les moments de convivialité et de détente. Enfin grand merci aux « ex-doctorants » qui sont déjà passés par cette étape, notamment à Magali Bertrand, Faiza Khebour, Marie-Claude Bal, Frédéric Blanc, Olivier Borjes et Francine Ricouart et bien sûr aux doctorant(e)s du laboratoire, pour l'entraide et soutien moral consécutif, pour le partage des peines, les astuces, l'épaullement, les conseils et les moments de détente : mes remerciements vont surtout à Carole et à nos chers représentants Fanny et Nico « Maestro » qui ont dû souffrir à la relecture. Je n'oublierai pas Vincent Parage, notre collègue en DEA qui s'est par ailleurs bien intéressée au Madres-Coronat.

Sur le terrain d'étude de nombreuses personnes m'ont facilité la tâche : mes remerciements s'adressent à l'association gestionnaire de la réserve naturelle de Nohèdes, et plus généralement à l'équipe des réserves naturelles catalanes pour leur disponibilité et leur accueil à la maison (et à la bibliothèque) de la réserve naturelle de Nohèdes, plus précisément à Alain Mangeot, Sylvain Abdhulhak, Olivier Salavador et surtout Tatiana Guionnet, et je salue en passant les stagiaires sur place en 2006, notamment Fanny Pruvost, ancienne collègue de Chambéry retrouvée à 1000 m d'altitude lors d'un comptage de Perdrix grises. Pour l'accueil lors de mes six mois passés à Nohèdes, je dois mes remerciements également à Bernard Mignon et ses enfants pour l'hébergement chaleureux, au maire Vincent Mignon pour le dépannage de la 4L, aux voisins, Inga, Charlotte, Géné, Thomas, Julien, Mathias et à Régis et Edwige pour l'accueil au presbytère pendant le stage organisé pour les étudiants en géoécologie en 2007. Des autres côtés du massif, j'adresse mes remerciements et salutations à Julien « Vosgien », le vacher à Sansa pour dépannage de batterie et accueil, à Nicolas Point (Matemale) et Alain Froideveaux (Mosset) de l'Office National de Forêts pour le temps et les droits d'accès accordés. Grand merci aussi aux amis Sébastien et Sandy (Bienvenue sur terre, Youlia !), Olivier et Marie pour l'accueil (et la mise à disposition de leur salle de bain) à Puyvalador.

Merci à la famille, surtout à Hélène pour la mise à disposition de sa maison à Campôme en mai 2007, à ma tante Inge pour m'avoir hébergé les premières semaines de la période passée à l'Université de « Karlsruhe », ainsi qu'à Carmen, Pierre et Christelle Risso pour m'avoir accueilli au passage dans les Pyrénées Orientales.

L'achèvement de ce travail aurait été difficile sans mes amis, qui se reconnaîtront : ils m'ont tous soutenus, encouragé, partagé mes peines, et multiplié mon bonheur même si beaucoup d'eux ont dû douter que ce travail sera un jour achevé. Pour la relecture et traduction efficace j'adresse en outre ma plus vive gratitude à Steph, Katy et Anne : efficaces et bienveillantes comme d'habitude.

Ma plus grande reconnaissance s'adresse à mes parents, pour leur patience, leur dévouement, leur soutien, leurs conseils, à mon père pour m'avoir initié à la nature (et pour les corrections rapides !) et à ma mère pour m'avoir transmis cet indispensable grain de philosophie et les petits mots d'encouragements.

Enfin mes plus chaleureux remerciements vont à Cédric, pour son soutien matériel et moral, pour son aide pour mesurer les arbres et pour creuser des fosses pédologiques pendant son précieux temps libre, pour m'avoir laissé « altérer » ses voitures sur les pistes du terrain d'étude, pour son aide inlassable à la correction du Français, pour les moments de « dispersion » comme les sorties en forêt apaisantes et surtout pour son amour exquis qui résiste même à une longue thèse.

Note préliminaire

L'auteur de cet ouvrage, de naissance franco-allemande, a grandi, vécu et étudié en Allemagne jusqu'au à la licence de géographie (« Vordiplom »). Après avoir terminé son cursus de deuxième cycle de géographie en passant par l'Université de Savoie et l'Université de Toulouse, une co-tutelle de thèse franco-allemande se proposait et le sujet se prêtait parfaitement à illustrer les difficultés et ambiguïtés rencontrées, qu'impose la traduction de notions et concepts issus de cultures différentes. Il s'avère que les notions fondamentales et concepts sont souvent transformés même s'ils arrivent à franchir la barrière linguistique, tandis que d'autres sont presque intraduisibles, pour ne citer que « l'aménagement » et les « milieux naturels ».

Les traductions de l'Allemand vers le Français ont été, les cas échéant, effectuées par l'auteur elle-même, la version originale (en Allemand) de la citation se trouve souvent en note de bas de page, afin de permettre aux lecteurs germanophones de retrouver le sens original de la citation tout en allégeant le texte principal pour les lecteurs francophones. Les citations en langue anglaise n'ont pas été traduites, l'auteur suppose que l'anglais est largement diffusé, lu et compris par le lectorat de chercheurs, une traduction aurait dans ce cas contribué à davantage d'inexactitude. Les citations, généralement écrites en lettres *italiques* et accompagnées de guillemets françaises (« ... ») se distinguent des citations en allemand „*mit deutschen Anführungszeichen*“ par leurs guillemets („...“), différentes également des citations en langue anglaise “*english citations*” aux guillemets inversées (“...”) par rapport aux guillemets allemandes.

Liste de sigles

ACP	Analyse des composantes principales (PCA en angl., <i>Hauptkomponentenanalyse</i> en allm.)
AFC	Analyse factorielle des correspondances (CA en anglais, <i>Faktorenanalyse</i> en allm.)
AGRNN	Association Gestionnaire de la Réserve Naturelle de Nohèdes
allm.	allemand
angl.	anglais
ATM	Analyse Transdisciplinaire du Milieu (cf. DaLage et al. 2000), associée à l'école « franco-ivoirienne » ou « école d'Abidjan », qualifiée aussi d'Analyse Intégrée du Milieu
BDD	Base de données
BKA	<i>Bodenkundliche Kartieranleitung</i> : manuel de description des sols selon la classification des sols allemande
BP	<i>before present</i> , (1950 = 0)
CAH	Classification ascendante hiérarchique
CEC	Capacité d'échange des cations (en allemand : <i>KAK</i> : <i>Kationenaustauschkapazität</i>)
CDB	Convention sur la diversité biologique (Rio, juin 1992), en anglais CBD
CTE	Contrats Territorial d'Exploitation
DEA	Diplôme d'études approfondies, aujourd'hui <i>master 2 recherche</i>
DFCI	Défense de la Forêt Contre les Incendies
DIREN	Direction Régionale de l'environnement (cf. DREAL), service déconcentré du ministère chargé de l'environnement
DO	directive « oiseaux », directive 79/409/CEE du Conseil d'Europe du 2 avril 1979 concernant la conservation des oiseaux sauvages à l'origine de la création des ZPS
DOCOB	Document d'objectifs, plan de gestion pour un site Natura2000 (SIC /ZSC et/ou ZPS)
DREAL	Direction Régionale de l'Environnement de l'Aménagement et du Logement regroupant les DIREN, DRIRE et DRE depuis 2009 (janvier 2010 pour la DREAL Languedoc-Roussillon). Service déconcentré du ministère chargé de l'environnement
FFH	Directive Flore-Faune-Habitat, aussi appelée directive « habitats »
FRAGSTATS	logiciel pour l'analyse d'images raster par des indices paysagers
GEODE	laboratoire de géographie de l'environnement UMR5602/CNRS rattaché à l'Université de Toulouse 2 le Mirail
IfGG	Institut für Geographie und Geoökologie; Forschungsuniversität Karlsruhe
KIT	Karlsruher Institut für Technologie (<i>Karlsruhe Institute for Technology</i>) fusion (en 2009) de l'Université de Karlsruhe avec le centre de recherche (Helmholtz) de Karlsruhe
LIFE	« L'Instrument Financier pour l'Environnement » : fonds de l'Union européenne pour le financement des politiques environnementales
MNHN	Muséum national d'Histoire naturelle
MNT	Modèle numérique de terrain ; DEM en anglais, DGM en allm.
OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques (en anglais : OECD, Organisation for Economic Cooperation and Development)
ONF	Office National des Forêts
PEBLDS	Stratégie paneuropéenne pour la diversité biologique et paysagère
PNR	Parc Naturel Régional
RN	Réserve Naturelle
RNN	Réserve Naturelle de Nohèdes
RNC	Fédération des réserves naturelles catalanes
RP	Référentiel pédologique (français)
SIC	Site d'importance communautaire ; « pSIC » = SIC potentiel ; en angl. : « SCI » et « pSCI »
SIG	Système d'information géographique, « GIS » en anglais ou allemand
SPAD	logiciel de traitements statistiques
UE	Union Européenne, EU en anglais ou allemand
UGI	Union Géographique Internationale (International Geographic Union, IGU en angl.)
PNUE	United Nations Environment Program (UNEP en angl.)
WRB	<i>World Reference Base for Soil resources</i> , nomenclature internationale des sols
ZNIEFF	Zone Naturelle d'intérêt Ecologique Faunistique et Floristique
ZPS	Zone de Protection Spéciale (issue de la Directive oiseaux) - en anglais SPA (Special Protection Areas)
ZSC	Zone Spéciale de Conservation (issue de la Directive habitat)

Sommaire

PRÉSENTATION.....	15
1 - PREMIÈRE PARTIE : DIVERSITÉ PAYSAGÈRE ET GÉODIVERSITÉ	19
1.1. Introduction à la diversité spatiale.....	20
1.2. Le foisonnement des conceptions de la « diversité paysagère » et de la « géodiversité »	36
1.3. Recueil d'un corpus pour l'analyse de la géodiversité	80
1.4. Premiers éléments pour une méthode de mesure de la géodiversité	131
2 - DEUXIEME PARTIE : LE MASSIF DE MADRES-CORONAT : CADRE GÉOGRAPHIQUE, APPROCHES DISCIPLINAIRE ET MULTISCALEIRE	161
2.1. Critères de sélection de la zone d'étude.....	162
2.2. Présentation du Massif	168
2.3. Le cadre physiogéographique de la diversité des milieux du Madres-Coronat	177
2.4. Occupation du sol, évolution des paysages et démographie.....	220
3 - TROISIEME PARTIE : DU TERRAIN À LA CARTE - MÉTHODES ET TECHNIQUES	235
3.1. Relever la diversité	236
3.2. Mesurer la géodiversité	339
4 - QUATRIEME PARTIE : LA GÉODIVERSITÉ DU MADRES-CORONAT	363
4.1. Les relevés des milieux du Madres-Coronat	364
4.2. La diversité végétale et pédologique - approche disciplinaire	377
4.3. Approche intégrée à la mesure de la géodiversité	418
4.4. Complémentarité des approches disciplinaires et intégrées	496
5 - CONCLUSIONS	507
5.1. Géodiversité et diversité paysagère.....	508
5.2. Aspect méthodologiques	511
5.3. Évaluation et valorisation de la diversité paysagère et de la géodiversité.....	514
BIBLIOGRAPHIE.....	517
TABLE DES MATIÈRES	563
ANNEXES	585
DEUTSCHE KURZFASSUNG	707

Présentation

La mosaïque des milieux et paysages peut se caractériser à travers la notion de *diversité paysagère*, reflétant dynamiques paysagères dans le temps, pratiques anthropiques actuelles et passées, potentiel écologique et conditions physiques des milieux. L'étude de cette diversité spatiale, objet géographique par excellence, offre des perspectives intéressantes pour saisir l'interaction entre l'environnement et les sociétés : l'étude des disparités spatiales, par l'entrée de la diversité paysagère ou par celle de la *géodiversité*, se prête à la recherche environnementale dans la mesure où une lecture raisonnée de cette diversité, s'exprimant de façon visible dans le paysage permet de saisir de manière holistique les interactions entre les composantes réunies dans ces lieux. La compréhension de cette diversité qui structure les paysages et des enjeux liés à la diversité paysagère peuvent être profitables afin d'intervenir de façon plus durable dans les choix de gestion, d'aménagement et de protection des milieux qui conduiront aux paysages du futur. Puisque la diversité des paysages s'exprime dans l'espace, on peut se demander si cette « diversité géographique » peut être considérée comme une « géodiversité ».

Le fondement de cette recherche est ainsi constitué par une réflexion théorique articulée autour de deux termes, *diversité paysagère* et *géodiversité* pour aboutir à une étude empirique et exploratoire appliquée au Massif du Madres-Coronat situé dans les Pyrénées Orientales. L'émergence de ces deux termes dans le contexte de la conservation du patrimoine naturel (Grenier, 2000; Muséum National d'Histoire Naturelle, 2001; Gray, 2003; Mathevet, 2007), de la protection de l'environnement et de l'aménagement du territoire (Leser, 1997b; Leser et Nagel, 1998) ainsi que la gestion et de la préservation des paysages (Council of Europe, 2000) justifie amplement que l'on s'intéresse à ces deux termes et que l'on détermine s'ils constituent des concepts toujours bien délimités ou des notions floues, voire des mots tellement utilisés qu'ils en perdent leur sens. Dans le contexte très vaste qu'est la protection de l'environnement on s'interrogera sur le lien entre diversité paysagère, géodiversité et biodiversité, rendant ces deux premiers concepts potentiellement utiles pour la gestion intégrée des espaces naturels.

Dès le départ le problème de la signification des termes se pose, car leur interprétation varie assez considérablement d'une communauté scientifique à une autre et même d'un auteur à l'autre au sein de la même discipline. On notera que l'emploi de ces deux notions se fait parfois de manière synonymique, parfois de façon complémentaire ou encore par un emboîtement hiérarchique. Leur usage dépend le plus souvent du contexte dans lequel ils sont appliqués et toujours du cadre théorique. La confusion, les ambiguïtés et les contradictions nuisant à leur utilité méritent par conséquent d'être éclaircies avant de faire un choix quant à leur application. Une revue bibliographique des termes *diversité paysagère* et *géodiversité* en langue anglaise, allemande et française ouvrira le débat sur les difficultés et perspectives d'utilisation de ces notions dans un contexte international.

Si ces notions se trouvent aujourd'hui de plus en plus utilisées, il est nécessaire, après une première clarification terminologique, de s'interroger sur les manières de les appréhender, de les évaluer et de les mesurer. Toutes les facettes du paysage et de sa diversité ne seront jamais mesurables et le seraient encore moins dans le cadre d'une recherche individuelle : des choix doivent être entrepris sans ignorer la complexité de l'ensemble. Pour permettre l'exploration des différentes mesures de la diversité et mettre en évidence leurs corrélations, un important recueil de données a été indispensable, nécessitant tout de même une restriction pragmatique et raisonnée de la nature et du nombre des données à collecter.

En abordant ici l'aspect « matériel » de la diversité paysagère on l'appellera *géodiversité*, comprise comme une interprétation *sensu lato* de la diversité de la géosphère et abordée à travers le paradigme systémique. Le géosystème, système géographique et concept spatio-temporel (*sensu* Sočava, 1974; Beroutchachvili et Bertrand, 1978b; Klug et Lang, 1983; Preobrazhenskiy, 1983; Blumenstein, Schachtzabel *et al.*, 2000) (*cf.* chap. 1.1.2.3 et chap. 1.3.) offre en principe trois entrées complémentaires par l'appréciation de la diversité d'ensembles comprenant des composantes anthropiques, biotiques et abiotiques : la diversité des structures du fonctionnement et du comportement dynamique. Partant du postulat, que les formes visibles reflètent au moins en partie les structures relationnelles et en conséquence également le fonctionnement et la dynamique - en grande partie invisibles - des ensembles considérés, nous allons essayer de déceler par l'inventaire et la quantification des structures spatiales - donc par une analyse de la morphologie de la diversité du système - un certain nombre de significations écologiques. C'est-à-dire que nous cherchons à décrire, à partir de la composition matérielle et des structures spatiales, des facteurs dominants, caractérisant l'état actuel de la diversité. Ainsi s'est cristallisée la question s'il est possible d'identifier par l'étude de la diversité des formes et structures spatiales des caractères dominants du fonctionnement géoécologique. (*cf.* chap. 1.1.1.2).

En décomposant la partie matérielle du paysage, les constituants des milieux naturels, en contenus (objets, matériaux, espèces) et contenant (unités paysagères ou milieux cartographiables, strates ou géohorizons) afin de restituer leur organisation spatiale et de mettre en évidence les éléments matériels qui composent l'ensemble, on procède à une analyse rendant quantitativement comparables ces « compositions paysagères ». Les types de milieux identifiés se distinguent par leurs formes et leurs contenus et reflètent ainsi une certaine diversité. Ils seront confrontés entre eux, comparés à l'aide des variables environnementales relevés, ce qui permettra une quantification de la diversité et une mise en relation de leurs caractéristiques morphologiques et fonctionnelles.

A partir des données exploratoires issues d'une mise au point méthodologique pour relever la géodiversité *in situ*, plusieurs hypothèses sont envisageables. Afin de s'interroger sur la possibilité d'intégrer les concepts de *géodiversité* et de *diversité paysagère* dans la gestion des paysages et espaces naturels : on suppose que la géodiversité mésologiques est corrélée avec la diversité végétale.

Afin de tester cette hypothèse nous avons effectué des relevés de terrain très détaillés sur une zone de montagne très diversifiée, en relevant l'organisation spatiale des composantes du milieu, tout en tenant compte d'un grand nombre de variables de type floristique, pédologique, géomorphologique, et anthropique. Quoiqu'une recherche appliquée sur un terrain précis comporte toujours un aspect monographique et bien que chaque système, selon l'échelle et l'angle sous lequel on l'étudie relève toujours de sa logique propre, on souhaite proposer par cette étude une réflexion sur le fondement et les méthodes d'évaluation de la diversité spatiale avec l'objectif de contribuer à la recherche géographique dans ce vaste champ qu'est la diversité de l'environnement.

En guise de fil rouge on peut se laisser conduire par un enchaînement logique de questions soulevées par le sujet de la diversité spatiale, structuré en cinq parties :

Pourquoi s'intéresse-t-on à la *diversité paysagère* ou à la *géodiversité*, par quels prismes scientifiques ou politiques sont considérées ces notions, en quoi diffèrent-elles et comment pourrait-on les évaluer ? Dans une **première partie** traitant très généralement de la diversité paysagère et de la géodiversité on s'interroge ainsi sur la nature, les conceptions de la diversité paysagère et de la géodiversité et sur les approches envisageables pour leur évaluation. Les sources disponibles et les fondements épistémologiques propres à différentes écoles de pensées sont exposés en premier lieu et dans un contexte international. Cela inclut une revue des conceptions de la diversité se référant aux milieux et paysages, tenant compte des dimensions géographiques, mésologiques et systémiques. Cet effort d'analyse théorique nous permet de situer notre conception de la diversité spatiale dans l'état des connaissances actuelles.

Quelles sont les caractéristiques du terrain d'étude dont la diversité spatiale sera à quantifier et en quoi ils contribuent à la diversité spatiale ? On se focalise sur un lieu, un cas concret et un domaine d'application afin de mettre en place une méthode d'évaluation de la géodiversité. Le terrain d'étude avec un contexte spatial particulier sera exposé dans la **deuxième partie**. On y expose les spécificités et « diversités » de la zone étudiée, le Massif du Madres-Coronat, massif montagneux au carrefour des bioclimats méditerranéens et atlantiques.

Quelles méthodes peuvent mettre en évidence une géodiversité, quels outils interviennent dans la mesure de la diversité et comment s'articulent les différentes étapes d'évaluation ? Comment analyser, mesurer et évaluer la géodiversité ? Différentes méthodes de recueil des données sont exposées et combinées afin d'exploiter leur complémentarité dans la recherche exploratoire sur l'évaluation de la diversité, tout en servant de base pour la vérification de l'hypothèse principale. Dans la **troisième partie**, les stratégies d'échantillonnage, les référentiels et outils d'exploitation des informations quantitatives, tous susceptibles d'influencer fortement les résultats, font l'objet d'une réflexion centrée sur la représentation et évaluation de la diversité.

Quel est l'état actuel de la diversité des milieux sur le Madres-Coronat, comment s'articule la diversité des structures spatiales verticales et latérales avec la phytodiversité ? Dans la **quatrième partie** un essai de quantification de la diversité est étayé par des résultats statistiques et cartographiques mettant en évidence les interrelations entre les éléments, variables et mesures

issus d'une part des relevés de terrain et d'autre part de l'analyse spatiale des images aériennes et des couches thématiques par système d'information géographique. L'identification des structures de diversité est issue des données de terrain et cartographiques et de leur exploration quantitative et qualitative.

Quelles conclusions peut-on tirer quant aux méthodes se prêtant à la mesure de la géodiversité et plus généralement à l'évaluation de la diversité paysagère ? La **cinquième partie**, à la fois discussion des résultats obtenus, synthèse et **conclusion**, permet de faire le point sur le potentiel et les limites des méthodes utilisées en comparant les résultats quantitatifs en fonction des champs d'application potentiels. La mesure de la géodiversité est discutée notamment en analysant la relation étroite avec la phytodiversité. En guise de conclusion on discutera l'évaluation, les aspects complémentaires et la signification potentielle de la géodiversité pour dans la gestion des espaces naturels.

1 - PREMIÈRE PARTIE :

Diversité paysagère et géodiversité

« *Wo fass ich dich, unendliche Natur?* »

Faust I, Vers 455
Johann Wolfgang von Goethe (1749-1832)

1.1. Introduction à la diversité spatiale

1.1.1. De la diversité biologique à la diversité paysagère

1.1.1.1. Dynamique paysagère et biodiversité

Expression visible des mutations profondes qui ont lieu dans la société humaine, la transformation des paysages, perceptible au cours d'une vie humaine, se trouve être depuis quelques décennies quantifiable par la télédétection. La dynamique paysagère traduit l'évolution des pratiques par les traces qu'ont imposées au cadre naturel les révolutions techniques industrielles et agricoles accompagnées des fluctuations démographiques. L'état actuel du paysage relève ainsi d'une mosaïque qui subit une perpétuelle évolution. Des approches historiques de l'environnement cherchent à saisir et décrire son évolution et à expliquer la mise en place de la mosaïque actuelle, tandis que les études prospectives modélisent les paysages du futur en envisageant différents scénarios dans lesquels le facteur humain sera toujours le plus difficile à appréhender. Or, ces deux approches temporelles s'appuient sur ce qui existe dans le présent, sur l'état actuel de la mosaïque des paysages et des milieux, dont le caractère diversifié peut être décrit par des formes et des structures visibles qui ont été mises en place sous l'influence de nombreux processus d'ordre anthropique, biotique et abiotique. Nous discutons ici un concept qui peut contribuer à faire avancer la connaissance et l'évaluation de cette mosaïque.

De l'évolution des paysages au constat de la fragilité de certaines composantes naturelles

En dépit de l'évolution démographique globalement exponentielle, l'exode rural a marqué les paysages d'une grande partie des campagnes françaises : en 2005 seulement 23% de la population française vit encore en milieu rural contre 45 % en 1950 (World Population Prospects, 2008). Dans la partie orientale des Pyrénées, où se situe notre terrain d'étude, la population a atteint son maximum entre 1840 et 1880 (Métailié et Paegelow, 2003:219), puis l'abandon des terres cultivées s'est fait progressivement, en s'accroissant notamment à partir de la Deuxième Guerre Mondiale (cf. chap. 2.4).

Accompagnant l'évolution démographique et faisant l'objet de nombreuses inquiétudes (Convention sur la diversité biologique, United Nations, 1992a), la déperdition importante de la diversité biologique touche toutes les régions du globe. La pression démographique à laquelle s'ajoutent des moyens techniques de plus en plus puissants est aujourd'hui regardée comme une des causes principales de l'actuelle érosion de la biodiversité (Lévêque et Mounolou, 2008:97), considérée parfois comme la « sixième extinction » des espèces (Teysnière, 2004). La diversité des espèces végétales et animales est en premier lieu menacée par la modification et la destruction des habitats, accélérées par l'intensification des pratiques agricoles et forestières, le développement industriel, la croissance urbaine et la pollution (rapport UICN de Naveh, 1994b; rapport UICN de Vié, Hilton-Taylor *et al.*, 2009:65). Toutefois, même si un relâchement de la pression anthropique pourrait laisser croire à un effet positif sur la biodiversité, l'abandon des pratiques culturelles et

pastorales peut, lui aussi, contribuer à la perte de biodiversité (Stratégie Nationale de la Biodiversité, Ministère de l'écologie et du développement durable, 2004:11), notamment des espèces liées aux milieux ouverts. Ainsi l'évolution des mosaïques paysagères, traduisant intensification d'un coté et abandon de l'autre, exprime des phénomènes sociétaux et constitue en même temps le cadre dans lequel se manifestent les conséquences écologiques de ces phénomènes.

Pour mesurer l'impact de l'homme et du changement global sur les espèces animales et végétales, la notion de *biodiversité* s'est imposée. Ayant vu le jour en tant que telle dans l'ouvrage « BioDiversity » de Edgar O. Wilson en 1988 (Marty, Vivien *et al.*, 2005:67), vite appropriée par la communauté scientifique et amplifiée avec la Convention sur la diversité biologique de Rio en 1992, c'est un « mot-valise » (Lévêque et Mounolou, 2008:8) largement utilisé, approfondi et vulgarisé (cf. chap. biodiversité). Pour la protection des espèces, la notion de biodiversité est devenue une notion clé dépassant le seul domaine de la biologie. La préservation ou la conservation de la biodiversité compte aujourd'hui parmi les enjeux majeurs pour le développement durable (Agenda 21, United Nations, 1992b; Convention sur la diversité biologique, CBD, United Nations, 1992a) (. Afin de freiner la perte de la biodiversité notamment des espèces menacées et emblématiques, la société assigne à l'écologie la tâche d'identifier et de caractériser l'environnement naturel des espèces nécessitant une préservation et de choisir les habitats à protéger. Les habitats, eux, se manifestent dans le paysage et la diversité des écosystèmes se reflète alors dans la diversité paysagère.

Du biotope au paysage en passant par l'habitat et les milieux

On ne soulignera jamais assez l'importance de préserver les milieux dans un état favorable afin de protéger les espèces contre la menace d'extinction propre à « *l'anthropocène*² ». La préservation de la biodiversité, en privilégiant certains habitats par la gestion des espaces naturels, se concrétise sur des milieux. Les milieux dans lesquels s'épanouissent les espèces constituent en même temps la partie matérielle, biophysique et anthropisée de ce qu'on embrasse du regard en observant un paysage et font partie des ressources d'un territoire. Traduite dans l'espace par la notion d'habitat, la préservation des espèces n'est pourtant qu'une des problématiques spatiales d'un ensemble plus complexe où d'autres enjeux, intérêts et visions se croisent. Se pose là encore le problème de la durabilité. La durabilité écologique passe certainement, au moins en partie par des mesures mises en œuvre pour la préservation de la biodiversité, mais il est indispensable de prendre en compte - et d'accepter - qu'il existe aussi une dimension sociale et une dimension économique de la durabilité.

Pour assurer la durabilité des mesures visant à atténuer les effets négatifs de l'intervention humaine sur la biosphère et les ressources naturelles - en conséquence également sur la société elle-même -, une étude des milieux par observation simultanée des facteurs naturels et sociétaux semble s'imposer. Afin de mieux caractériser de la relation de la société à l'environnement, l'étude des interactions dépasse une simple confrontation entre le naturel et le culturel, ou, pour citer Robert Barbault, écologue (communication 01/12/2006 à Fischbach s/Dahn): « *il faut arrêter d'opposer l'homme et le milieu.* »

² Cf. Métaillé et Bertrand 2006 :11

Or, en se focalisant sur la richesse génétique, spécifique ou dans un sens plus large sur la richesse des écosystèmes, l'origine du terme *biodiversité* se révèle par essence biocentrique et véhicule une vision se rapportant clairement à la vie biologique et à l'écologie. Si on considère la dimension écosystémique de la biodiversité, la notion de biotope - l'environnement de la biocénose - est sous-entendue. Mais réduire les éléments physiques (abiotiques), les modes de gestion et les artifices d'origine anthropique au biotope, aux conditions du milieu - certes en interaction avec la biocénose - revient à leur faire jouer un rôle secondaire de simple facteur explicatif pour la compréhension du vivant.

1.1.1.2. L'observation de la biodiversité et du paysage incite à la prise en compte de la diversité paysagère

Permettant d'intégrer davantage l'aspect spatial et de rendre compte de l'influence des éléments physiques, abiotiques et des modes de gestion, la notion de *diversité paysagère* connaît aujourd'hui une popularité croissante. Elle est également utilisée dans le domaine de l'écologie où elle est parfois interprétée comme un élargissement du concept de biodiversité à l'échelle régionale ou paysagère. On la qualifie dans ce cas parfois de *gamma-diversité* ou *diversité gamma* (Whittaker, 1972; Whittaker, 1977; Luder, 1981; Romme et Knight, 1982; Schwabe, 1999:77) et l'utilise comme synonyme d'une diversité écosystémique. Dans ce sens, ce n'est pas la diversité du *paysage* qui est observée, mais la *biodiversité* à l'échelle, pourtant mal définie, du paysage. Sans ignorer l'intérêt potentiel de cette notion globale pour la gestion des espaces naturels, puisqu'elle intègre les dimensions spatio-temporelles, l'abiotique, le biotique et l'anthropique, on peut soulever la question de l'adéquation de la *diversité paysagère* en tant que concept uniquement naturaliste à l'interface homme - nature : respecte-t-on bien les limites de la signification de la *biodiversité* et le caractère multiforme et polysémique du *paysage* en élargissant la biodiversité à la dimension paysagère ?

Il ne s'agit pas de remplacer une notion aussi utile et populaire qu'est la *biodiversité*. Il n'est point nécessaire de recréer des termes pour la gestion de la flore ou de la faune mais il peut s'avérer utile de clarifier et d'affiner les fondements terminologiques s'appliquant à la gestion spatiale des milieux et des paysages surtout si on ne se limite pas aux aspects purement écologiques. Dans le cadre du paradigme écosystémique, les études de la diversité à « l'échelle du paysage » semblent utiles, mais elles restent essentiellement cloisonnées dans les recherches écologiques et ne peuvent s'appliquer à la formulation d'orientations politiques en vue de la protection, la gestion et l'aménagement des paysages eux-mêmes, réclamées par exemple par la Convention européenne du paysage (Council of Europe, 2000).

Les paysages ne sont pas seulement composés de mosaïques de milieux plus ou moins favorables à l'épanouissement des espèces, leur caractère est multifonctionnel. Ainsi ils constituent une ressource matérielle également pour la production agricole ou les loisirs, et une ressource immatérielle, culturelle, esthétique, créatrice d'identités et de valeurs. Une approche intégrale de la diversité paysagère ne peut pas se limiter à une vision uniquement biocentrique. La transformation des paysages suscite d'autres inquiétudes : le paysage étant sollicité pour d'autres fonctions, il intègre d'autres dimensions que celle du fonctionnement écologique. Si l'on souhaite élargir la signification déjà ample de la diversité écosystémique en tenant davantage compte du

rôle de l'homme dans la transformation de la nature et la modification de la biodiversité, le concept d'écosystème ne semble plus si bien approprié. Pour recentrer cette approche de la diversité par un concept plus spatial, peut-être davantage holistique et volontairement moins biocentrique, intégrant des indices d'anthropisation, ne se limitant pas au milieu biophysique et tenant éventuellement compte de la signification culturelle, des valeurs et de l'esthétique du paysage, pourquoi ne pas utiliser le terme de *diversité paysagère* ? Mais il serait souhaitable que l'on tienne compte de l'envergure de cette notion.

La diversité du paysage matériel, visible et perçu, autrement dit la diversité d'une portion ou de plusieurs portions « *de la surface terrestre donnée à voir* »³ (donc du paysage) peut être saisie par une multitude de démarches qui ne se limitent donc pas à une interprétation écologique. Si l'écologique fonde bien le symbolique, et « *le physique le phénoménal* » (Berque, 1993:199) une pratique paysagère « complète » ne peut omettre ni sciences sociales ni sciences naturalistes. La complexité de l'objet « *paysage* » peut être à la fois un casse-tête pour le chercheur aspirant à concilier dans une seule démarche le naturel et le social et séduire par son caractère populaire et sensible : à l'exception de quelques spécialistes naturalistes un observateur - qu'il soit touriste, agriculteur, chasseur ou randonneur - aura probablement plus de facilités à saisir intuitivement une certaine diversité paysagère qu'à appréhender la diversité biologique. Le problème réside cependant dans le fait que leurs interprétations respectives, d'ordre qualitatif, ne seront probablement pas analogues.

Multiplicité des approches du paysage

Le *paysage* a fait son entrée dans de nombreuses disciplines autres que la géographie, notamment en écologie, en sociologie, en passant par l'architecture, l'archéologie, les sciences politiques, l'économie ou le droit. Chaque discipline l'aborde par des pratiques et méthodes adaptées à ses paradigmes, aucune n'est *a priori* illégitime, sauf si elle prétend expliquer cet ensemble complexe qu'est le *paysage* à elle seule (Filleron, 1998b; Lévêque, 2003:154). Une étude globale et complète de la diversité paysagère devrait alors tenir compte des points de vue, des méthodes et des résultats des sociologues, des anthropologues, des historiens et des archéologues autant que de ceux des géographes ou des écologues. L'étude du paysage en tant que formidable objet de recherches interdisciplinaires implique qu'on incorpore également des phénomènes sociaux et culturels dans toute démarche visant une étude complète, intégrale ou globale de la diversité paysagère. Constatant qu'il est « *sans doute illusoire de penser que la totalité des pratiques intégrées dans l'analyse paysagère puisse être appliquée par un chercheur ou une équipe sur un territoire quelconque* » (Filleron, 1998a:12), et qu'il est invraisemblable qu'on puisse rassembler un jour la pluralité des démarches paysagères dans un grand complexe d'études véritablement transdisciplinaires, on s'efforcera ici de rassembler tout au moins quelques méthodes utilisées dans un certain nombre de disciplines naturalistes afin de mener à bien au moins une étude partielle de la diversité paysagère.

En tenant compte qu'« *une approche paysagère sera d'autant plus efficiente qu'elle prendra en compte le plus grand nombre de qualités que l'on prête au paysage* » (Filleron,

³ (Filleron, 1998a:2),

1998a:9), se pose alors le problème du « comment ». Comment saisir la diversité paysagère, par le plus grand nombre de ses aspects possibles, si on ne peut pas la saisir dans son intégralité, tout au moins dans le cadre d'une recherche doctorale ? Quoi qu'il en soit, la diversité paysagère semble faire dans toutes les disciplines appel à la « diversité que l'on perçoit » dans un paysage. Pour cela il est indispensable de préciser quelle « vision » l'on a du paysage, à quelles composantes du paysage on s'intéresse et à quelle échelle on les considère ((Pedroli, Pinto Corraei *et al.*, 2004:2). La question n'est alors pas de trouver « la bonne » et unique interprétation de la diversité paysagère mais de rappeler la diversité des approches possibles avant de procéder au choix d'une méthode.

Si on se limite, en raison des compétences acquises et par affinité personnelle, à une vision plutôt « matérielle » ou naturaliste du paysage, qu'on souhaite contribuer à l'étude de la diversité paysagère par une entrée disciplinaire « (physio-)géographique » en privilégiant ainsi le « paysage-objet » (Bertrand, 1972 :130; Filleron, 1995:10) existant sans l'observateur, on admet de fait que l'on puisse ranger au second plan les interprétations et significations sociales du paysage. Reste à déterminer en quoi consiste l'originalité de l'approche physiogéographique de la diversité paysagère, notamment par rapport à celle d'un écologue, si on s'intéresse comme celui-ci à la manifestation physique des paysages, qu'on peut également qualifier de milieux naturels. Une étude de la diversité tenant compte notamment des caractéristiques spatiales des objets de nature varié s'impose.

Cette étude sera alors clairement identifiée comme étant une étude partielle de la diversité paysagère, focalisée sur les aspects spatiaux du paysage matériel, de ses composantes et sur les milieux qui la constituent. En observant un ensemble de milieux, si naturels qu'ils puissent paraître, on ne contemple pas seulement des plantes et des roches, on se trouve face à un paysage et on est immergé dans environnement particulier. Quoiqu'il s'agisse d'une étude essentiellement géographique, on peut affirmer que cette approche sera de nature holistique car on s'efforcera de tenir compte de l'ensemble des paysages d'un massif, de l'ensemble des composantes matérielles, biologiques et abiotiques qui les composent et de leurs aspects socio-économiques.

1.1.1.3. La nature de la diversité et son évaluation scientifique

A condition de laisser de côté la perception subjective de la beauté du paysage ou encore sa signification sociale, il est possible d'envisager l'étude de cet objet complexe à travers le filtre du modèle systémique permettant d'appréhender la complexité inhérente aux systèmes dits naturels. Si on transcrit intellectuellement ce que l'on voit dans le paysage dans un modèle comme celui du géosystème (Sočava, 1974; Beroutchachvili et Bertrand, 1978b), on trouve là une traduction de la diversité observée dans le paysage par la diversité du géosystème, des géosystèmes, la diversité géosystémique ou simplement la géodiversité.

Il est alors possible d'envisager la *géodiversité* se fondant sur le paradigme *géosystémique* tel qu'il apparaît dans les années 1960 et 1970 (Neef, 1968; Sočava, 1974; Klug et Lang, 1983; Blumenstein, Schachtzabel *et al.*, 2000) avec ses composantes abiotiques, biotiques et anthropiques (ou « technogènes » (Sočava, 1974)). Il convient de préciser qu'il ne s'agit pas là d'une étude géosystémique visant à établir des circuits logiques qui mettent en évidence des flux de masses et d'énergies entre les composantes du système naturel territorialisé (Sočava, 1963 d'après

Beroutchachvili et Bertrand, 1978b). Ici, le géosystème sera considéré comme un modèle fondamental permettant de saisir la complexité de la réalité géographique (Preobrazhenskiy, 1983:131), équivalent du modèle écosystémique utilisé en écologie. Il s'agit donc d'un cadre théorique précis, le paradigme systémique, dans lequel seront étudiées les formes de la surface terrestre, plus précisément la morphologie, les structures et la dynamique des milieux et du paysage matériel se trouvant en interaction avec la société.

L'application du modèle géosystémique constitue un choix. D'autres modèles systémiques issus d'autres « écoles de pensée » seraient envisageables pour une étude tenant également compte des aspects spatio-temporels, des éléments anthropiques, biologiques et minéraux, s'éloignant ainsi de l'écosystème au sens le plus strict et à vision essentiellement biocentrique. On ne citera ici que le *Total Human Ecosystem* (Naveh, 1994b; Naveh et Lieberman, 1994) et le *Landschaftsökosystem (écosystème paysager)* (Leser, 1997a), qui sont issus de l'écologie du paysage, ou encore l'*anthroposystème* (Lévêque, Muxart et al., 2003), « plus résolument centré sur les sociétés humaines » (Vergnolle-Mainar, 2007).

Tous ces concepts - dans une certaine mesure interchangeables - ont l'avantage de créer un pont entre la prise en considération de la biodiversité et les problématiques spatiales et territoriales intégrant l'utilisation anthropique. Le choix du paradigme géosystémique, point de vue sciemment privilégié, confirme que ce travail s'inscrit clairement dans une démarche géographique, plutôt qu'écologique ou anthropologique. Si on privilégie ici le géosystème par rapport à l'écosystème, c'est qu'on juge indispensable que la caractérisation partielle de la diversité paysagère prenne en compte, et les dynamiques de l'anthropisation, cette dernière étant omniprésente dans les paysages européens, et celle des composantes abiotiques. Le géosystème en tant qu'« espace-temps anthropisé » (Bertrand et Bertrand, 2000) se prête par ailleurs parfaitement à l'étude de la diversité dans le temps et dans l'espace.

L'entrée retenue, l'étude des structures spatiales (horizontales et verticales), donc une approche par la morphologie, par l'observation des formes et des composantes matérielles du paysage, se trouve ainsi en concordance avec un caractère intrinsèque du paysage : il est perceptible car visible. Les conceptions individuelles qu'on peut avoir du paysage et des éléments qui le composent jouent ainsi sur la perception de la diversité.

Le filtre de la perception constitué par le modèle du géosystème convient à la problématique envisagée sans qu'on ait besoin de voir en ce modèle l'unique cadre théorique possible pour l'étude de la diversité paysagère. Inutile également de contribuer à l'émiettement des savoirs en redéfinissant ou en renouvelant les paradigmes. Malgré cette préférence pour le paradigme géosystémique (ultérieurement explicitée), il convient de préciser que la discussion est ouverte aux différents concepts et modèles, ce qui incite à transiter entre les divers champs disciplinaires et notamment entre la géographie de l'environnement et l'écologie du paysage.

La diversité des objets qui composent le paysage

Il est nécessaire d'accorder de l'importance à la nature de la diversité qui doit être évaluée. Autrement dit, de quelle diversité parle-t-on, quels objets seront comparés, comment les saisir et prendre en compte leur différence ? En choisissant d'étudier la diversité paysagère dans le cadre du paradigme géosystémique, il restera à déterminer une méthode pour la compréhension de la

diversité des milieux naturels ou de l'environnement. Pour choisir une méthode adéquate, la définition préalable de l'objet de l'étude, (paysage? milieux naturels? environnement? géosphère?) et de la nature même de la diversité (variété, pluralité, richesse, divergence, dissemblance ...) est indispensable.

Il faut préciser que la diversité ne peut pas être une donnée résultant immédiatement de l'observation d'un seul objet. Ordinairement elle est appréhendée par un regard se posant sur des éléments différents ou contrastés, sur un ensemble de plusieurs objets, ensemble caractérisé par une certaine richesse ou par l'abondance d'éléments disparates. La mesure de la diversité - toujours relative - doit ainsi s'effectuer sur un ensemble hétérogène, contenant des éléments se distinguant entre eux, mais qui restent comparables. Une approche scientifique de la diversité nécessite ainsi l'élaboration d'un système de mesure qui permet de classer du plus monotone au plus varié, du plus simple au plus complexe, du plus uniforme au plus divers. Cela suppose qu'on puisse identifier des éléments ou des ensembles homogènes pour étudier l'hétérogénéité d'un ensemble du niveau hiérarchique supérieur. La méthodologie proposée se base sur ce constat. De ce fait la diversité sera évaluée par la confrontation de variables qui mesurent la richesse, l'hétérogénéité et la configuration des entités « paysagères » considérées. Évidemment les objets comparés et le critère d'homogénéité dépendent de l'échelle considérée.

Les temps d'une thèse géographique

« Décrire la terre », nature artificialisée et peuplée d'hommes, environnement transformé par les sociétés, dans toute sa diversité, peut alors être chose simple ou œuvre d'une vie entière en fonction de l'échelle de précision et des critères de diversité retenus. L'enjeu d'une thèse cherchant à concilier exigences scientifiques et limites de moyens et de temps est aussi la recherche d'un compromis entre un travail concis et rapide et la nécessité de faire progresser les connaissances en s'appuyant sur les avancées antérieures tout en creusant les fronts de l'inconnu. Ainsi toute la diversité ne peut pas être décrite, ne sera pas décrite et des choix ont été faits.

Le temps a été celui d'une thèse en co-tutelle internationale, nécessitant, après une réflexion théorique en plusieurs étapes de mûrissement s'accordant aussi aux exigences des parties contractuelles, l'acquisition de données sur le terrain et une restitution statistique et cartographique de données nombreuses et complexes. La fenêtre de temps accordée aux relevés est certainement trop large pour être considérée comme un état momentané, mais chaque relevé s'inscrit dans un moment précis, comme celui de la prise des photographies aériennes utilisées pour la cartographie. Ainsi c'est l'état actuel (ou sub-actuel) de la diversité qui sera abordé. Quoiqu'une appréciation des dynamiques paysagères, donc une interprétation diachronique de la diversité paysagère par des analyses d'images aériennes plus anciennes, aurait été envisageable et sans doute intéressante, elle ne pouvait trouver sa place dans la présente recherche. Cette étude vise à élaborer une méthode de mesure de la diversité paysagère à partir de relevés de terrain précis, méthode qui n'est pas transposable au passé ni au futur.

L'étude des structures spatiales des composantes paysagères a été réalisée sur un terrain situé en zone de montagne dans la partie orientale des Pyrénées. La résolution des informations relevées varie, comme il se doit pour une approche multiscalaire, entre la petite échelle d'un

massif et la grande échelle d'une station, d'un géotope. Le Massif du Madres-Coronat, un interfluve défini par son étendu topographique, se situe à cheval entre le Conflent, le Capcir dans le département des Pyrénées-Orientales et la Haute Vallée de l'Aude dans les départements de l'Ariège et de l'Aude. Les structures spatiales latérales et un certain nombre de facteurs de diversité seront analysés par images satellites et divers fonds cartographiques thématiques sur ce terrain de 391km². En raison de sa taille importante l'étude sur le terrain et l'interprétation de photos aériennes se restreint cependant au site d'intérêt communautaire « Massif de Madres-Coronat » du réseau NATURA2000, qui se limite au département des Pyrénées-Orientales et couvre encore 214km². Une étude détaillée des structures verticales et des informations diverses d'ordre pédologique, floristique et anthropique a été réalisée à grande échelle. Il s'agit de relevés de terrain sur des parcelles généralement carrées, d'une taille variant entre 4 m² et 400 m², représentées par une coupe verticale de la roche altérée jusqu'à la cime des arbres. Ainsi un emboîtement des échelles permet de passer de l'échelle de la station à l'échelle d'un massif, des structures verticales aux structures latérales (horizontales), en considérant ainsi l'espace dans ses trois dimensions auxquelles s'ajoute la fenêtre du temps d'observation.

1.1.2. L'utilité de la géodiversité en question

1.1.2.1. La diversité morphologique des paysages se prête-t-elle à l'interprétation des fonctionnements ?

Une question initiale

Une première question avait initié la recherche sur la géodiversité. Ce terme présenterait-il un intérêt pour la gestion de l'environnement ou plus particulièrement pour la gestion spatiale des paysages ou des milieux ? Plus précisément, est-ce que la notion de géodiversité peut être utile dans la gestion des espaces naturels ? Dans une optique d'application il était nécessaire de déterminer s'il s'agissait d'une notion déjà connue ou non, s'il s'agissait d'un concept qui pourrait alors constituer une clé d'entrée ou devenir un outil. Chercher à savoir si la géodiversité constitue un concept méritant un approfondissement en raison de son intérêt pour la gestion des espaces naturels ne peut cependant pas constituer la question principale, car la réponse ne saurait être objective, même si on avance la pertinence de quelconque résultat quantitatif. Le temps d'une thèse ne permet pas d'appliquer le concept dans la gestion active d'un espace naturel et d'en mesurer les retombés. Un certain nombre de questions précèdent ainsi la formulation d'une question principale valable.

Des interrogations préalables

Premièrement, il est nécessaire d'explicitier ce qu'on entend par *géodiversité* et par *diversité paysagère* afin de déterminer la signification de ces termes pour la gestion des espaces naturels ou toute autre application. Si une définition terminologique préexistante fait défaut, qu'elle demeure floue, ambiguë ou incomplète, une recherche initiale s'impose. Ainsi s'est imposée une interrogation en amont de la question principale : « Qu'entend-on par géodiversité ? » La notion

ne va pas de soi, elle est, contrairement à la notion de biodiversité, parfois peu connue, peu utilisée et, de plus conçue de façon disparate (cf. chap. 1.2). Très souvent ce terme est par ailleurs compris comme un antagoniste de la biodiversité - la diversité du non-vivant, interprétation très restreinte par rapport à celle retenue pour cette étude. C'est la diversité des composantes biotiques, abiotiques et anthropiques associées en un lieu, autrement dit la diversité des milieux ou des paysages, (cf. chap. 1.2 et 1.3), qui constituera ainsi l'objet de notre recherche. La définition de la géodiversité relève en quelque sorte d'une analogie : si la diversité biologique en tant que concept s'inscrit dans le cadre de l'écosystème, il paraît logique de fonder la géodiversité - entendue comme la diversité des composantes biotiques, abiotiques et anthropiques associées en un lieu - sur le modèle du géosystème (Sočava, 1974; Beroutchachvili et Bertrand, 1978b; Blumenstein, Schachtzabel *et al.*, 2000). Une discussion terminologique est ainsi indispensable pour la cohérence des travaux et a nécessité notamment d'explicitier la relation entre la géodiversité et la notion proche de diversité paysagère.

Pour revenir à la question initiale de l'utilité de la géodiversité pour la gestion des espaces naturels, on doit ensuite s'interroger sur la façon de mettre en œuvre une détermination ou une évaluation de la géodiversité. Comment se relève et comment se mesure la géodiversité ? Les méthodes de mesure de la géodiversité dépendent de la définition initiale qu'on adopte pour la géodiversité.

La question principale

En partant d'une définition fondée sur la systémique certaines caractéristiques propres au système s'imposent: comme tous les systèmes, le géosystème se caractérise par une structure, un fonctionnement (activité) et une évolution dans le temps (Beroutchachvili et Bertrand, 1978b; Ladrière, 1996) qui caractérisent aussi le paradigme structuraliste (Le Moigne, 1990). S'ajoutent la notion d'environnement, qui caractérise l'état ouvert du système (Le Moigne, 1990:57) et l'hypothèse téléologique qui attribue une finalité (un projet) au système. L'état actuel de la géodiversité est le résultat du passé (la « morphogenèse » du géosystème), et conditionne au moins partiellement l'avenir (le « projet » du géosystème). Reste à souligner que la reconstruction complète d'un géosystème du passé est impossible (Blumenstein, Schachtzabel *et al.*, 2000:9).

En principe, deux approches principales pour saisir un système se dégagent : *l'approche objet* et *l'approche fonctionnelle* (Langlois, 2001:36). Si on souhaite ici aborder le système de manière descriptive, par sa diversité matérielle, il s'agit d'une approche objet qui permet de saisir la structure soutenant les interactions (Langlois, 2001). L'interdépendance entre structures et fonctions suggère que la caractérisation de l'un permet d'entrevoir ou d'interpréter - au moins partiellement - l'autre. Ainsi une étude de la structure spatiale, de la morphologie du système visible dans le paysage nous laisse espérer interpréter - au moins partiellement et de façon qualitative - le caractère ou la nature de certains processus menant à l'état actuel de la diversité. Afin d'étudier si la caractérisation de la géodiversité peut servir à la gestion des espaces naturels, on formulera alors la question principale suivante : Est-il possible d'identifier, par l'étude de la

diversité des formes et des structures spatiales des caractéristiques du fonctionnement géoécologique⁴ contribuant à l'expression de la géodiversité ?

En tentant de donner une réponse à cette question, on répondra subséquemment à la question initiale, c'est-à-dire qu'on évaluera de cette façon si la prise en compte simultanée des composantes anthropiques, physiques et biologiques de la diversité peut réellement offrir une vision plus globale des enjeux de gestion environnementale : en identifiant des fonctionnements d'ordre biophysique et anthropique par une quantification de la morphologie paysagère, susceptible d'influencer les habitats et les espèces, la géodiversité offrira de nouvelles perspectives pour la gestion des paysages et espaces naturels.

Des questionnements secondaires

De la question principale ainsi que de la conceptualisation de la géodiversité en tant que diversité « anthropo-bio-physique » découlent de nombreuses questions secondaires. On ne citera ici que les plus importantes, nécessaires à la mise en place méthodologique de la mesure de la géodiversité et à son évaluation.

- Quelles composantes des paysages ou des milieux naturels expriment la diversité ? Autrement dit : Par quels « descripteurs » (indicateurs ?), quantifiables parce que comparables, peut-on saisir la géodiversité ?
- Comment intégrer la prise en compte simultanée des composantes biologiques, abiotiques et anthropiques ?
- Comment la mesure de la géodiversité peut intégrer les dimensions spatiales et temporelles ?
- Quelles sont les échelles d'observation privilégiées pour l'étude de la géodiversité ? Quels systèmes taxo-chorologiques se prêtent à l'étude de la géodiversité et permettent la prise en compte des échelles hiérarchiquement emboîtées ?

1.1.2.2. A la recherche des liens entre morphologie paysagère et biodiversité

Parmi plusieurs hypothèses envisageables, une hypothèse principale a guidé la structure de l'analyse empirique de la géodiversité. Directement issue de la question principale s'interrogeant sur l'utilité de l'étude d'une diversité morphologique pour comprendre les processus à l'origine de la diversité spatiale, une hypothèse de travail a servi d'idée directrice pour l'analyse de la diversité. Elle a orienté la mise en place d'une méthodologie pour les relevés de terrain et a dirigé l'exploration des données.

En s'interrogeant sur la structure spatiale et la morphologie des composantes des milieux, on constate sans surprise que les milieux naturels ne se présentent pas de manière désorganisée. Quoique chaque type de milieux relève de sa propre organisation, l'ensemble des milieux terrestres connaît certains traits d'organisation spatiale analogues, ce qui est dû en premier lieu à la force de la gravitation et à l'énergie solaire (Richard, 1989a). Il s'ensuit une « stratification » le plus souvent

⁴ Le fonctionnement géoécologique fait référence aux processus biotiques, abiotiques et anthropiques

subhorizontale. Ainsi la disposition en horizons au sein du sol et de strates de végétation dans les écosystèmes disposant de plusieurs formes biologiques parmi les espèces végétales présentes s'avèrent le plus souvent nettement identifiables. A partir de cette observation, une subdivision en « géohorizons » appelés ici « hoplexols » (cf. chap. 1.4) est proposée. La stratification et les composantes du milieu semblent varier de manière caractéristique selon les types de milieux. La question principale porte ainsi sur la supposition que la structure des milieux peut révéler, au moins partiellement, les principaux fonctionnements ou processus qui sont structurants (« structureurs »). Des analyses factorielles réalisées sur un petit nombre d'observations effectuées en 2004 (Müller, 2004) ont suggéré que la description des volumes et composantes (ou *corps naturels localisés*, cf. chap. 1.4) présents dans les milieux peut faire ressortir des traits fonctionnels dominants ces milieux.

Notre hypothèse portera ainsi sur les relations entre géodiversité, phytodiversité (diversité spécifique végétale) et pédodiversité. Grâce aux relevés floristiques accomplis sur chaque parcelle de relevé, on étudiera l'hypothèse suivante : la diversité des formes mésologiques est corrélée avec la diversité végétale (phytodiversité).

Pour mettre en évidence ces relations nous mettons en évidence des traits caractéristiques des milieux menant à l'expression de la géodiversité par l'agencement des composantes des milieux dans des structures spatiales verticales et horizontales caractéristiques. Ces composantes, qu'il s'agisse de matières végétales, organo-minérales, minérales ou artificielles seront identifiés par leur nature, leur volume et peuvent être associés leur aux taxonomies naturalistes (espèces, types de sol, etc.). La richesse et hétérogénéité des milieux seront ensuite comparées à la richesse spécifique et la variété des sols.

1.1.2.3. Une démarche inductive et systémique

L'étude de la géodiversité se fera selon une méthode inductive cherchant la généralisation à partir d'un certain nombre d'observations effectuées sur le terrain et exploitées statistiquement. L'examen de la diversité des formes, donc de la structure spatiale des composantes du milieu naturel, de l'agencement des éléments matériels du paysage, doit permettre la confirmation ou la réfutation de l'hypothèse principale. La méthode inductive, fondée sur une hypothèse « aprioriste » et exploratoire (Gumuchian et Marois, 2000 :76), comporte le risque d'extrapoler des faits généraux peu représentatifs ou des règles abusives à partir d'observations en nombre toujours trop restreint. Une observation cohérente et structurée permet tout de même d'avancer les fondements théoriques.

L'idée directrice consiste à mettre en évidence des facteurs explicatifs à caractère fonctionnel par une méthode se fondant sur une étude globale des formes constitutives de la géodiversité. La complexité des milieux naturels et en conséquence de l'étude de leur diversité a favorisé le choix d'une approche systémique parmi d'autres approches possibles. En l'occurrence, il s'agit d'une recherche fondamentale considérant le paysage comme un « *ensemble d'éléments en interaction* » (Bertalanffy 1968-1973, d'après Le Moigne, 1990), donc comme un système complexe (cf. chap. 1.3.2). La démarche visant à répondre à la question principale et à vérifier l'hypothèse de travail est donc de type systémique.

La distribution spatiale des composantes et des contenants peut être qualifiée de morphologie matérielle ou encore appelée structure spatiale du système. Selon le paradigme systémique, la morphologie des milieux manifeste des interrelations avec les fonctionnements dominants. La complexité inhérente aux systèmes naturels nécessite de schématiser leur ensemble par une méthode adaptée, permettant d'identifier, de délimiter et de quantifier les composantes, qui - dans un niveau hiérarchique inférieur - constituent elles-mêmes des sous-systèmes.

En raison du caractère spatial des paysages et des milieux, on propose l'application du modèle géosystémique, donc d'un système géographique (Preobrazhenskiy, 1983) considéré parfois aussi comme un paradigme (par exemple (Sočava, 1974) ou comme un concept géographique (par exemple Burel et Baudry, 1999:9). L'aspect *géographique* du système concerne notamment l'organisation spatiale des éléments en interaction étudiés ainsi que le rattachement de l'ensemble des éléments qualifié de géosphère (Neef, 1968; Neef, 1983b; Preobrazhenskiy, 1983:131), surface terrestre au sens large. Si on utilise le terme de *géosystème* créé par Sočava en 1963 (d'après Rougerie et Beroutchachvili, 1991), il convient de souligner qu'on l'appliquera ici au sens large, donc en le « débarrassant » du paradigme thermodynamique (Sočava, 1974). C'est-à-dire qu'on ne réduira pas le géosystème aux masses et énergies en jeu mais qu'on le considérera comme un concept spatial et naturaliste « *mettant en évidence l'interaction entre ses trois composantes biotique, abiotique et anthropique* » (Bertrand, 1991:10). Il s'agit d'une façon de maîtriser complexité et diversité (Bertrand, 1991) afin de synthétiser les connaissances sur les phénomènes particuliers (Preobrazhenskiy, 1983:132) et de passer de la description individuelle à l'organisation des phénomènes géographiques (Neef, 1968).

L'abstraction de la réalité que constitue la conception de la géodiversité (explicité chap. 1.3) doit permettre de saisir la réalité géographique dans son ensemble, tout en respectant les disparités et variations spatiales. Seule la confrontation avec la réalité du terrain permettra de valider le concept en tant que tel (*cf.* 1.1.2). Ceci impose d'identifier dans un premier temps l'ensemble des éléments qui composent le système, l'ensemble des objets matériels, de nature parfois très diverse qui composent les milieux, en fonction de l'échelle considérée et sans en omettre aucun (*cf.* chap. 1.4).

On peut considérer la diversité à plusieurs échelles spatiales - emboîtées ou non - et temporelles (par une approche chronologique). Si l'on prend l'exemple de la diversité des formes perceptibles, on peut envisager une mesure de la diversité des structures horizontales ou latérales ainsi qu'une mesure des contenus et des contenants reconnaissables dans les profils verticaux. Ces deux dimensions combinées permettent une appréhension de la diversité dans un espace tridimensionnel.

Ce critère d'exhaustivité appliqué à la description des composantes matérielles du géosystème est cependant plus difficile à mettre en œuvre pour l'identification des interrelations, qui sont quant à elles le plus souvent invisibles. La description du système demeure ainsi incomplète, le caractère de certaines interrelations « reste dans la boîte noire ».

1.1.3. Évaluer la mesure et l'utilité de la géodiversité

1.1.3.1. Objectifs et intérêt de l'étude

L'étude de la *géodiversité* s'inscrit dans une recherche fondamentale sur la diversité de la géosphère, plus particulièrement à l'échelle des milieux « naturels » et des paysages. La géodiversité étant une notion voisine de la *diversité paysagère*, une confrontation de ces deux termes s'impose afin d'identifier leur différences. Cette recherche vise à contribuer à la clarification de deux concepts qui, émergents et proches l'un de l'autre, sont - probablement à tort - considérés comme acquis. Ni la *diversité paysagère* ni la *géodiversité* ne disposent pour l'instant du statut de « terme-outil » qui peut être celui de la biodiversité. La complexité du paysage et le nombre de « facteurs créateurs » de diversité rendent délicate une étude exhaustive. L'appréhension de se pencher sur les systèmes complexes sera encore plus grande si on cherche à tout mesurer. Cependant, cela ne justifie pas le vide méthodologique quant à l'évaluation d'une géodiversité ou d'une diversité paysagère globale, ni le manque d'études traitant de l'analyse empirique de la diversité des milieux en tenant compte de la réalité de la structure tridimensionnelle du terrain. Aussi, le rapprochement entre biodiversité et diversité paysagère, bien que pertinent, implique non seulement un changement d'échelle, mais un changement d'objet, souvent négligé.

Il est donc question de (re-)ouvrir le débat concernant la diversité des milieux et des paysages. Tout en se fondant sur les avancées théoriques de la deuxième moitié du 20^{ème} siècle, la discussion sur la diversité profiterait d'une prise en compte plus explicite du contexte actuel de polarisation entre des zones fortement urbanisées et artificialisées et des zones périphériques, notamment celles de montagne dont il sera question ici. Par ailleurs, le développement et l'utilisation aujourd'hui généralisée des nouvelles technologies, notamment des Systèmes d'Information géographique (SIG) et de la télédétection exigent d'élucider les fondements théoriques géographiques sur lesquels s'appuie l'interprétation des indices et des mesures issus de l'informatisation de l'espace. La recherche fondamentale doit constituer ainsi l'assise pour une recherche appliquée.

La *diversité paysagère* se propose pour une prise en compte simultanée d'objectifs écologiques, esthétiques et territoriaux. Il s'agit potentiellement d'un concept intégrateur, en mesure de tenir compte des différents objectifs de gestion sur un même espace donné. C'est un « terme-outil » d'apparence simple offrant l'opportunité de saisir à la fois les valeurs territoriales et les fonctions écologiques inhérentes au paysage. Cependant, des pratiques paysagères de nature différente, engendrant des méthodes distinctes, seront nécessaires pour étudier cette diversité paysagère dans son ensemble, alors même que le passage entre le naturel et le sociétal est réputé délicat. Ainsi on constatera avec Edgar Morin que la complexité ne se réduit pas à une idée simple: la pensée complexe « *sait au départ que la connaissance complète est impossible* » (Morin, 2005 :10). L'articulation méthodologique entre les mesures de la diversité biophysique et la diversité socioculturelle ne fera pas l'objet de cette étude, mais l'intérêt d'une prise en compte de la diversité paysagère mérite toutefois d'être soulevé.

En revanche, la *géodiversité*, conçue comme une diversité se matérialisant par des structures spatiales à la surface de la terre, à laquelle on s'intéresse ici notamment à l'échelle des

milieux et du paysage, offre la possibilité d'une approche quantitative réalisable par un certain nombre d'outils élaborés, combinant relevés de terrain, cartographie et exploitation statistique des données. La caractérisation spatiale, donc géographique, de la *géodiversité*, ici en occurrence par une approche systémique se fonde sur une prise en compte de toutes les composantes biotiques, abiotiques et anthropiques des milieux naturels et fait notamment appel aux connaissances de géographie physique. Une attention particulière sera accordée aux manières de mesurer cette diversité « *in situ* ». Chacune des méthodes de terrain et de traitement des données apportera les informations qui lui sont propres et leur confrontation permettra d'en extraire des informations supplémentaires. En outre l'application de méthodes naturalistes traditionnelles (relevés de végétation, description des sols) permettra d'évaluer la complémentarité et les passerelles potentielles entre le modèle de l'écosystème et celui du géosystème. Il ne s'agit pas là de conceptions concurrentielles.

L'étude doit permettre le développement et l'adaptation des outils méthodologiques grâce à une approche complémentaire et comparative des méthodes sectorielles et intégrées (cf. chap. 1.4 et 3). L'établissement d'une méthode pour l'étude de la géodiversité fait partie des objectifs principaux, quoique nous soyons conscient que chaque problématique exigera sa propre méthode. Il va de soi que la diversité considérée et les mesures effectuées dépendent de l'échelle considérée et sont valables en tant que telles seulement pour le cas étudié.

L'hypothèse principale cherche à établir un lien entre des faits spatiaux et des processus écologiques ce qui implique que l'évaluation de la géodiversité demandera à être différenciée en fonction de types de milieux distincts. La recherche exploratoire vise à conduire à des généralisations quant au caractère de la géodiversité. Toutefois l'analyse de la géodiversité doit dans un premier temps ignorer les jugements de valeur. Un paysage plus diversifié n'est pas forcément plus beau ou écologiquement plus viable. Il peut également signifier une fragmentation menaçant la survie d'espèces associées aux types d'habitat, ou être le résultat d'un « mitage » de l'espace.

Émerge alors un objectif principal, celui de contribuer à la connaissance globale de la diversité par des aspects théoriques et pratiques. Les principaux objectifs du présent travail se résument ainsi dans

- la recherche théorique concernant des notions existantes (diversité paysagère et géodiversité), en faveur du développement d'un concept de diversité « globale » de type géographique, donc spatiale (1^{ère} partie)
- l'établissement d'une méthode, adapté aux réalités d'un terrain, en occurrence le Massif de Madres-Coronat pour mettre en évidence cette « géodiversité » (fin de 1^{ère} et 2^{ème} partie)
- l'étude de relations empiriques entre cette diversité à caractère spatial et la diversité taxonomique des composantes vivantes et physiques des milieux, plus précisément entre la géodiversité et la phytodiversité (3^{ème} partie)

Ces objectifs constitueront le fondement pour discuter, en guise de conclusion, l'utilité de l'étude de cette diversité spatiale à la fois évidente, car visible dans le paysage et à la fois difficile à saisir en raison de sa complexité.

1.1.3.2. Les temps d'une recherche sur la diversité

Une première étape indispensable consistait à faire le point sur le thème de la *géodiversité* dans les sciences de l'environnement et sur ses interférences avec la *diversité paysagère* en tant que concept émergent. Afin de restreindre la recherche bibliographique tout en permettant une ouverture et application internationale, nous nous sommes limité aux sources anglophones, francophones et germanophones. Il s'agit tout simplement des trois langues les plus parlées dans l'Europe des 27. Par extension, la recherche bibliographique a nécessité aussi l'étude des autres façons de concevoir la diversité en géographie ou en écologie du paysage, notamment en abordant également la *géoécodiversité*, l'*écodiversité*, l'*anthropodiversité* et -bien évidemment - la *biodiversité*. Il s'agit d'insérer toutes ces notions dans le cadre épistémologique géographique et d'évaluer leur portée en tant que concept. Le résultat de cette réflexion théorique est présenté dans la première partie du présent travail

La prise de connaissance du terrain d'étude nécessitait de nombreux déplacements avant une installation temporaire sur les lieux de l'étude afin de mener à bien les relevés de terrain programmés. De nombreux échanges avec les acteurs sur place accompagné d'une recherche bibliographique concernant le terrain d'étude ont permis d'approfondir le champ d'application, la gestion des espaces naturels (Deuxième partie). Des données numériques et cartographiques précises ainsi que les sources bibliographiques mises à disposition par l'Association Gestionnaire de la Réserve Naturelle de Nohèdes ont largement contribué à l'élaboration de documents cartographiques (exposés dans la deuxième et troisième partie).

S'appuyant sur une réflexion fondamentale entamée lors d'un master de recherche (Müller, 2004) et largement approfondie par la suite, la question primordiale de la méthodologie est exposée dans la troisième partie. D'une part, il s'agissait d'adapter la méthode de relevés de terrain au questionnement concernant la relation entre la phyto- et la géodiversité, ce qui a nécessité des relevés de nature différente. D'autre part, une réflexion a été menée sur les outils statistiques et cartographiques permettant l'exploration des données en vue d'une mesure de la diversité, ce qui a en outre nécessité plus d'une fois une formation sur les outils informatiques.

Le fruit de cette réflexion méthodologique a abouti à une méthode de travail de terrain et de traitement de données, tenant compte des spécificités de la zone étudiée et des objectifs énoncés. Le recours aux relevés de terrain a eu pour conséquence la production d'un grand nombre de données de natures variées et d'échantillons pédologiques et floristiques qui nécessitaient de nombreuses vérifications, un tri indispensable, et une informatisation méticuleuse. Enfin, l'interprétation des résultats présentée dans la quatrième partie et discutée dans une cinquième et dernière partie se fonde sur ce jeu de données important. Étape finale, l'évaluation des résultats empiriques permet l'ouverture du débat concernant la valeur de la géodiversité dans le cadre d'une géographie de l'environnement, toujours d'actualité dans un monde en voie de rétrécissement.

1.1.3.3. Avertissements

On proposera dans la partie empirique de ce travail (*cf.* 3ème et 4ème partie) une méthode pour étudier la géodiversité, tout en sachant qu'elle ne rendra pas compte de tous les aspects de la diversité paysagère. Les milieux étudiés sous l'angle du paradigme géosystémique ne seront pas

confondus avec le paysage. La diversité paysagère ne se réduit pas à une diversité géosystémique comme le paysage ne se réduit pas au géosystème, même si ce dernier se propose comme un modèle pour l'étude partielle du paysage. Mais la question de l'étude de la diversité paysagère sera également posée et discutée. Deux notions caractérisent donc la partie théorique de ce travail : la diversité paysagère et la géodiversité. Seule cette dernière fera l'objet d'une étude empirique.

Pour des raisons de moyens et de temps, nous considérons dans ce travail seulement l'état actuel de la géodiversité du site NATURA 2000 du Madres-Coronat : une prise en compte de la dimension temporelle de la diversité par une démarche prospective ou modélisatrice, ou une reconstruction historique de la géodiversité aurait dépassé le cadre de cette étude et n'a jamais fait partie des objectifs affichés. L'approche restera ainsi essentiellement synchronique. Puisqu'une grande partie du volet empirique se base sur des données de terrain acquises au cours des étés 2006 et 2007, on peut considérer qu'il s'agit d'une fenêtre dans le temps assez large. L'exhaustivité des relevés effectués par une seule personne justifie que l'ensemble des relevés n'ait pu être réalisé dans une période plus restreinte.

Par l'analyse statistique des données spatiales on peut observer qu'un certain nombre de variables caractérisent la diversité de façon plus adéquate que d'autres, mais le raisonnement quantitatif n'étant jamais parfait, on ne peut pas être sûr d'avoir saisi l'ensemble des facteurs susceptibles d'influencer le résultat, la géodiversité visible dans le paysage. Or, dans un système si complexe que le paysage il serait prétentieux de revendiquer la prise en compte de tout ce qui a une influence sur la diversité actuelle. Inutile de préciser qu'un facteur non mesuré ne peut pas ressortir statistiquement des données. Ainsi ce travail n'expliquera pas entièrement la géodiversité d'un espace et n'étudiera pas la diversité paysagère dans son ensemble. Comparer les formes permettra tout de même de quantifier la diversité sur un plan qualitatif et structural.

Le thème de la diversité spatiale constitue un sujet à la fois banal et important pour les géographes soucieux de décrire des disparités spatiales. L'étude d'une géodiversité, qui semble également s'exprimer dans une diversité paysagère n'est pas une fin en soi, mais peut s'apprécier dans un contexte particulier, celui du rapport avec la diversité écosystémique. Malgré l'aspect sans doute monographique d'une description quantitative et qualitative de la géodiversité sur un terrain donné, c'est le terme et la conception même de la géodiversité qui se trouvent au centre d'intérêt de ce travail de recherche. La méthode d'étude de la géodiversité dépend à la fois de la conception et de la finalité qu'on attache à la géodiversité. L'évaluation de la géodiversité nécessite ainsi un travail de fond sur l'origine et les différentes interprétations faites de la géodiversité et du concept voisin de la diversité paysagère, abordés dans le chapitre suivant. La finalité consiste à évaluer si la géodiversité étudiée à travers la morphologie des milieux et paysages reflète directement la diversité végétale et pédologique qu'elle est censée d'intégrer selon une définition globale.

1.2. Le foisonnement des conceptions de la « diversité paysagère » et de la « géodiversité »

1.2.1. Diversité terminologique

1.2.1.1. Le caractère de la diversité

Pour introduire la discussion sur les notions de diversité paysagère et de géodiversité il convient dans un premier temps de réduire l'observation au même dénominateur et de s'interroger sur le terme de diversité.

Aspects étymologiques

L'étymologie attribue la diversité au latin *diversitas, diversitatis* (CNRTL, 2009)⁵, issu de « *diversus* », qui signifierait « *tourné vers l'autre côté* » (Marty, Vivien *et al.*, 2005 :11), et dans un autre sens, allant dans des directions opposés et diverses. En français la diversité est communément définie comme « *le caractère* » ou « *l'état* » « *de ce qui est divers, varié, différent* » (par exemple Larousse 2009; Hachette 1991; CNRTL). Les dictionnaires et encyclopédies affichent couramment comme synonymes, la *variété*, la *pluralité* (Larousse, 2009) mais aussi la *différence*, l'*hétérogénéité* (CNRTL, 2009), la *richesse* (Le Petit Robert, 2003) et la *divergence* (Hachette, 1991).

Le dictionnaire des synonymes français mis en ligne dans le cadre du projet de « l'Atlas sémantique »⁶ cherchant à mettre en évidence la proximité des synonymes par des analyses multivariées identifie parmi douze synonymes également *dissemblance, opposition, inégalité et disparité*. Ces derniers termes proches (ils se situent dans un même cluster) s'opposent (sur le premier axe factoriel) à deux autres groupes (clusters) caractérisés par la *multiformité et multiplicité* ainsi que la *multitude* et la *pluralité*.

Les synonymes révélateurs du mot « diversité » relèvent des sens différents, qui permettent de mesurer l'extension de la notion de diversité. En observant ces synonymes on pourra donc les rassembler en trois groupes : un premier ensemble de synonymes ayant une connotation d'opulence et d'abondance (*richesse, pluralité, multitude, multiformité*), un autre reposant sur une relation d'opposition ou de contraste (*différence, divergence, disparité*) et un troisième groupe, intermédiaire, caractérisant davantage la diversité des éléments au sein d'un ensemble observé (*hétérogénéité, variété*), sans doute le sens le plus proche du terme original. *Hétérogénéité* et *variété* ressortent par ailleurs comme les synonymes les plus proches sur le premier plan factoriel de l'atlas sémantique évoqué ci-dessus. On peut résumer que la *diversité* se prête de ce fait aisément à l'évaluation et à la mesure de la différence entre éléments disparates mais comparables en caractérisant la richesse et les divergences de cet ensemble hétérogène.

⁵ Centre National des ressources textuelles et lexicales, voir <http://www.cnrtl.fr/definition/diversité> et <http://www.cnrtl.fr/etymologie/diversit%C3%A9>

⁶ <http://dico.isc.cnrs.fr/dico/fr/chercher>

Diversité dans le domaine de l'environnement

Si on emploie l'idée de *diversité* dans le champ des questions environnementales, la *diversité biologique* ou *biodiversité* est sans doute le terme le plus largement utilisé. Parfois cependant, la diversité est mentionnée de façon plus large, plus générale. L'*Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege*, structure publique bavaroise pour la protection de l'environnement et la conservation des paysages (A.N.L, 1994)⁷ définit la diversité comme suit: „*Diversity is a measure for the variety of manifestations (species and structures) and the uniformity of their distribution, referred on a biocoenosis, an ecological system or a land unit. For the determination of the diversity also the “evenness” is consulted as measure for the uniform distribution of the parts; it is called also occurrence of the diversity*”. La diversité en tant que « mesure de la variété des manifestations et l'uniformité des distributions se référant à une biocénose, un écosystème ou une unité spatiale » se fonde sur une évaluation du caractère varié des espèces et structures ainsi que sur l'uniformité ou équitabilité de leur distribution. On peut noter également que la notion de diversité ne se réduit pas à la diversité biologique, la diversité des unités spatiales (*Land unit/ Raumeinheit*) étant considérée également.

La définition de *diversité* avancée par la Commission Européenne (European Commission / E.E.A., 2000 :4)⁸, dans le rapport sur les résultats du projet CORINE Land Cover, appelé « From Land Cover to Landscape Diversity in the European Union » reste très brève (cf. chap. 1.2.2.1). Dans le glossaire associé au rapport, on relève que la *diversité* caractérise des « *objets variés, différents* », mais qu'elle ne considère pas les relations entre ces objets. Ces relations seraient considérées en revanche par l'*hétérogénéité* définie comme « *Diverse character of a designated group of different objects* » (European Commission / E.E.A., 2000 :5). En outre le rapport précise que la *diversité* « *relies on two components: richness and evenness* » (European Commission / E.E.A., 2000 :4). L'*evenness* mentionné aussi par l'ANL (ci-dessus) pourrait être traduit comme l'uniformité, régularité, ou équitabilité par exemple d'une distribution, qualifié aussi comme « *the share of area among different classes in a reference unit* ». A partir de ce constat sont développés des mesures et indicateurs caractérisant la *diversité* que nous aborderons dans le chapitre dédié aux *landscape metrics*. En étudiant de ce fait un ensemble de pixels à l'échelle européenne, la diversité paysagère a été mesurée dans le cadre de CORINE Land Cover comme une expression mathématique de la distribution de classes différentes sur une surface donnée. On aura tendance à chercher le paysage dans la définition de la « diversité paysagère ». En vain ? Cette conception de la diversité paysagère devient plus claire en observant la définition donnée au paysage lui-même (op. cit. p.5) : “*Complex concept encompassing several definitions. The one adopted in this publication is considering landscape as an area containing a mosaic of land cover patches. Third dimension of space and its effect on visual perception are not taken into account* ” : un paysage plat constitué d'une mosaïque de pixels et dont l'effet visuel (la perception) est exclu.

⁷ traduction depuis l'Allemand par l'association internationale d'écologie du paysage (IALE) sur <http://www.landscape-ecology.info/Glossaren.html>: „*Die Diversität ist ein auf eine Biozönose, ein Ökosystem oder eine Raumeinheit bezogenes Maß für die Vielfalt von Erscheinungsformen (Arten und Strukturen) und der Gleichmäßigkeit ihrer Verteilung. Zur Bestimmung der Diversität wird z.B. die Evenness (Äquität) als Maß für die Gleichverteilung der Arten herangezogen; Sie wird auch als Ausbildungsgrad der Diversität bezeichnet.*“

⁸ <http://ec.europa.eu/agriculture/publi/reports/corine2000.pdf>

Dans cette définition du paysage et de la diversité retenue par le rapport sur Corine LandCover se confondent paysage et occupation du sol. Ces définitions, certes pragmatiques se prêtent cependant mal à la (re-)construction théorique de la diversité paysagère dans le champ épistémologique de la géographie. Si l'on ne s'intéresse pas seulement à la diversité de l'occupation du sol - n'étant pas plus qu'une carte de l'attribution des fonctions principales d'une surface - quelle diversité fait alors l'objet de cette étude ?

Avant de focaliser sur les sens et l'utilisation de la notion de paysage ainsi que sur le préfixe « géo- », dans ces deux cas en rapport avec la diversité, nous allons dans un premier temps discuter quelques-unes des sources qui mentionnent, parfois même définissent la diversité paysagère ou la géodiversité. Avant même de s'interroger sur le paysage ou sur l'application du préfixe « géo- » en ce qui concerne la diversité, ces sources sur le thème de la diversité paysagère et sur la géodiversité fournissent des clés de compréhension de la problématique terminologique.

1.2.1.2. La « géo- »diversité des paysages et des milieux

La géodiversité, « diversité des milieux et paysages » ou « diversité du milieu géologique et physique ?

Parmi les « Mots de l'environnement » (Métailié et Bertrand, 2006) on trouve également le terme de *diversité*, accueillant dans un même paragraphe *biodiversité* et *géodiversité*. Jean-Paul Métailié et Georges Bertrand (Vergnolle-Mainar et Desailly, 2005 :337; Métailié et Bertrand, 2006 :33) notent : « [...] La « *géodiversité* est un **concept** plus récent [que la biodiversité], concernant, pour les auteurs anglo-saxons, la diversité du milieu géologique et physique, et pour les auteurs français, la **diversité des milieux et paysages** créés par l'*anthropisation*. »

Ce constat que l'objet concerné par la géodiversité varie d'une communauté disciplinaire et linguistique à l'autre mais aussi d'auteur en auteur se trouve confirmé par nos recherches menées depuis 2002. Dès lors, l'interprétation de la géodiversité qu'on pourra qualifier de 'lithologique' ou de 'physiocentrique', c'est à dire l'interprétation plus ou moins abiotique, géologique et géomorphologique de la géodiversité semble prendre le dessus également en langue française. Peu importe si c'est le cas en raison de la puissance de la langue anglaise dans la communauté scientifique ou en raison des définitions plus rapidement établies parmi les disciplines naturalistes rigoureuses, oser considérer la géodiversité « à la française » ne va pas de soi.

Travailler sur le terme de géodiversité interprété selon ce dernier sens - *la géodiversité exprimant la diversité des milieux et paysages* - peut toutefois se justifier, même si ce contre-courant témoigne une fois de plus de la diversité des conceptions.

De quelle géodiversité parle-t-on ? Précisions quant à la terminologie utilisée

Si on fait face à cette ambiguïté connue depuis le début de ces recherches, c'est justement parce que cette question-là demande à être soulevée, parce que les concepts doivent être différenciés, identifiables et reconnaissables. Plutôt que de faire ici un simple inventaire des définitions existantes nous allons également faire un choix et contribuer à la conception retenue, celle de la géodiversité faisant référence à la diversité des milieux et des paysages, car le choix

entrepris - partagé par ailleurs - demande à être affiné par une revue de la conceptualisation du terme.

On sollicitera quelques éléments de compréhension supplémentaires, quelques détails concernant les différentes façons de concevoir la géodiversité et on notera l'évolution des concepts. Il est nécessaire encore, de signaler qu'il ne s'agit pas là d'un seul concept mais que les interprétations du terme diffèrent et qu'au sein des deux grands ensembles évoqués ci-dessus les définitions du terme géodiversité les explications et interprétations nuancent encore davantage. Si Jean-Paul Métaillé et Georges Bertrand soutiennent que la géodiversité est « un » concept, c'en est un qui n'a pas encore trouvé une stabilité bien arrêtée jusqu'ici.

Pour clarifier de quelle géodiversité on parle, sans faire à chaque fois allusion aux auteurs de nationalité différente on proposera de faire la différence entre une interprétation « lithologique », s'intéressant à la diversité des phénomènes géologiques, géomorphologiques ou plus généralement minéraux et physiques et une interprétation « généraliste » ou « globale », se référant à la « diversité des milieux et paysages ». Cela évitera de qualifier les dites conceptions de diversité « géologique » et de diversité « géographique » respectivement, sachant que la première peut être utilisée également par des géographes (géomorphologues) (cf. chap. 1.2.4 et 1.3.x).

1.2.1.3. Un thème ancien : La diversité géographique

On peut identifier des sources mentionnant une diversité géographique, une diversité paysagère ou une diversité des milieux sans forcément utiliser les termes en question. Pour continuer progressivement à cerner les fondements de la géodiversité globale on peut citer des sources bibliographiques plus anciennes qui témoignent que l'idée n'est pas nouvelle. Avant l'apparition et l'essor des termes de diversité paysagère ou de géodiversité, quand n'existaient pas encore des définitions et que l'usage du terme « diversité » ne faisait pas encore - même implicitement - référence à la biodiversité, la diversité géographique et paysagère n'étaient nullement ignorées.

Variété et diversité en géographie

De nombreuses sources mentionnent la diversité géographique comprise comme la variété des paysages et des milieux. En excluant ici la diversité géographique des salaires, des infrastructures ou des « pays membres de l'UE », des observations plus générales sur la diversité de la terre, du monde, de la nature, des relations « homme-nature », des caractères d'un pays, se trouvent être très nombreuses et parfois assez anciennes.

L'étude de la diversité des phénomènes géographiques à la surface de la terre constitue en quelque sorte l'essence même de la géographie. Sans insister outre mesure nous n'en citerons ici que quelques exemples :

Karl Ritter fait allusion à la diversité de la nature dans l'introduction de sa « *Géographie générale comparée ou étude de la terre dans ses rapports avec l'homme* », en évoquant l'exploration et la mesure de la terre par les savants du siècle des Lumières: « *L'homme au regard si borné [...] peut se reconnaître ainsi au milieu de la diversité et la grandeur infini de la nature* »

(Ritter, 1837 :31). J.R Pitte et X. de Planhol soulignent que « Vidal de la Blache et la plupart de ses contemporains cherchaient à construire une histoire naturelle de la différenciation régionale et de la **diversité des paysages** à la surface de la terre. » (Pitte et de Planhol, 1995 :178). Paul Claval note également dans son « *Essai sur la géographie humaine* » que Vidal de la Blache « vit la diversité humaine se traduire dans la **diversité des paysages** sans cesse renouvelé » (Claval, 1976 :54). Par ailleurs Paul Claval évoque la diversité du monde en tant qu'objet géographique, en retraçant la vision de la géographie sociale de Pierre George (Claval, 1976 :126): « *La géographie humaine ne cherche pas à élaborer des lois, elle se contente d'éclairer la **diversité du monde** en utilisant des lois générales qui lui sont fournies par d'autres disciplines.* ».

Un autre exemple plus récent se trouve dans un article de R.F. Doumenge du Muséum National d'Histoire Naturelle, portant sur l' « *Unité et diversité des caractères naturels des Îles Tropicales* » (Doumenge, 1984 :9) où le géosystème côtoie paysage et diversité : « *Ainsi, dans les zones intertropicales des océans Atlantique, Indien et Pacifique, les îles auront des **paysages** souvent identiques car leurs caractères naturels y sont semblables. Cela permet de les regrouper dans une même classe d'aspects géographiques. Cependant, une parenté étroite ne traduit qu'une partie des caractères d'un **géosystème** complexe dont les aspects naturels varieront en fonction de facteurs propres d'évolution de l'histoire géologiques, des systèmes morphologiques, ainsi que de la dynamique de la colonisation des formations végétales et des peuplements animaux.* » La comparaison des paysages des îles tropicales suscite là une interrogation sur les variations des aspects caractérisés par le géosystème. Par ailleurs on notera que le vivant fait ici parti du géosystème.

1.2.2. La diversité des conceptions de la diversité paysagère

Quoique la *diversité paysagère* et la *géodiversité* se retrouvent aujourd'hui plus fréquemment dans les sources bibliographiques, et dans un contexte plus restreint, notamment des sciences de la nature et de la terre, leurs évocations restent encore souvent assez vagues et les termes sont - à quelques exceptions près - pas clairement définis. Ils sembleraient alors s'expliquer par eux-mêmes. Toutefois, quelques éclaircissements, des ébauches d'interprétation et de véritables définitions se trouvent ici et là, nous nous efforcerons d'en commenter un certain nombre pour démontrer qu'ils n'existent pas indépendamment du cadre épistémologique ou du contexte « politique » dans lesquels ils ont vu le jour.

1.2.2.1. La notion de diversité paysagère dans le contexte des politiques publiques et de la législation communautaire

Les termes de diversité paysagère et de géodiversité semblent, autant que la biodiversité, mériter une place dans le champ du droit de l'environnement qui « *a pour objet de supprimer ou de limiter l'impact des activités humaines sur les éléments ou milieux naturels* » (R. Savy 1989 d'après Prieur, 2001 :8). Peu étonnant donc, que la diversité paysagère y ait déjà fait son entrée via la Stratégie Paneuropéenne de la Diversité Biologique et Paysagère.

La Stratégie paneuropéenne de la diversité paysagère et biologique (PEBLDS)

La « Stratégie paneuropéenne de la diversité biologique et paysagère » (PEBLDS), soumise par le Conseil de l'Europe à Sofia (Bulgarie, 23-25 octobre 1995) et validée par les Ministres de l'Environnement de 55 États a été ratifiée par la France en 1996.

En observant un « *processus général de dégradation d'un grand nombre de paysages, d'écosystèmes et d'espèces, phénomène qui se répercute sur la qualité de la vie humaine* », la PEBLD a proposé un plan d'action axé sur les paysages, les écosystèmes et les espèces (Annexe 2 de la Stratégie paneuropéenne de la diversité biologique et paysagère, version française, Council of Europe, 1996:79). Ainsi elle cherche à orienter la stratégie « *sur les écosystèmes et les paysages ayant une valeur en matière de conservation de la nature pour l'Europe tout entière et ses régions* » (op. cit.) (Council of Europe, 1996). En ce qui concerne la diversité paysagère, elle est examinée à l'échelle internationale et l'on s'intéresse notamment aux « *paysages terrestres et marins les plus intéressants au niveau européen* ». Dans ce contexte sont cités « *toundras, taïgas, collines, bocages, campagnes, steppes, paysages arides, paysages régionaux et artificiels* », formations végétales, types de reliefs et paysages confondus. Les signataires s'accordent à reconnaître que « *le problème de la diversité paysagère n'a pas encore été correctement abordé dans les mécanismes visant à protéger et à améliorer l'environnement naturel* » (Council of Europe, 1996 :16). Ceci constitue un élément de première importance pour notre propos.

Ici la diversité paysagère est clairement identifiée et désigne « *les nombreuses relations existantes au cours d'une période donnée entre un individu ou une société et un territoire défini d'un point de vue topographique, dont l'aspect résulte de l'action, au fil du temps, de facteurs naturels et humains et d'une combinaison des deux* ». (Council of Europe, 1996 :15) Ainsi la diversité paysagère est-elle caractérisée par la relation spatialisée de l'action conjointe de l'homme et de la nature. Une définition un peu longue mais satisfaisante en ce qui concerne le contenu et que l'on pourra retenir.

Les actions pour l'entretien et la valorisation des paysages « *naturels et culturels* » européens visant à rétablir « l'équilibre » ne s'axent cependant pas sur les paysages et écosystèmes ordinaires mais sur ceux « *d'intérêt européen* », « *ayant une valeur en matière de conservation de la nature pour l'Europe tout entière et ses régions* ». (Council of Europe, 1996 :79). Les sites et les paysages visés se distinguent principalement par quatre critères, la *rareté*, l'*unicité*, la *représentativité* et le *caractère naturel*. Il peut s'agir de paysages plus ou moins « naturels », caractérisés par des formes géomorphologiques typiques de certaines zones géologiques ou climatiques comme par exemple les pingos, systèmes dunaires, dolines. D'un autre côté l'accent est mis sur les paysages « culturels », parmi lesquels seront retenus à la fois les habitats semi-naturels conservés pour la flore et la faune et caractérisés par un usage durable des ressources naturelles, des sites à *caractère pittoresque exceptionnel* et des régions dont les paysages relèvent de caractéristiques culturelles propres issues des modes d'utilisation des sols. Ces dernières peuvent alors se caractériser par une disposition typique des demeures, champs et terrasses ou encore par des itinéraires de pâturage anciens et des canaux.

Dans la lignée de la Convention sur la biodiversité, la Stratégie paneuropéenne de la diversité biologique et paysagère se focalise évidemment sur le maintien de la diversité écologique ou écosystémique qui se trouve au croisement entre la diversité biologique et paysagère. La

Stratégie paneuropéenne de la diversité biologique et paysagère encourage la conciliation nécessaire entre les objectifs écologiques et sociaux dans la protection de l'environnement. Le choix des paysages à maintenir est ainsi lié à la fois à la valeur écologique et à l'identité culturelle qu'on attribue aux paysages, ce qui différencie la PEBLDS de la directive habitats.

La Stratégie Française pour la Biodiversité

Dans le cadre de la Stratégie nationale pour le développement durable, le gouvernement français a adopté en février 2004 la Stratégie Nationale pour la Biodiversité avec l'objectif principal ambitieux de « *stopper la perte de la biodiversité d'ici 2010* » (Stratégie Nationale pour la Biodiversité, Ministère de l'écologie et du développement durable, 2004)⁹, objectif qui n'a malheureusement pas été atteint dans les temps (rapport UICN, Vié, Hilton-Taylor *et al.*, 2009).

Cependant on peut remarquer que le paysage et la diversité des paysages sont très fréquemment mentionnés dans cette Stratégie, intégrant les objectifs de la Stratégie paneuropéenne de la diversité biologique et paysagère. Elle insiste notamment sur la prise en compte de la biodiversité à l'échelle du paysage en raison de la connectivité écologique entre les populations. Ainsi la stratégie nationale pour la biodiversité vise une « *amélioration de la trame écologique du territoire national* » et y intègre la diversité paysagère de la façon suivante : « *on peut voir le territoire comme une trame dont le grain serait le paysage (qui correspond en gros à l'échelle cartographique du 1/25000e et aux structures paysagères que perçoit un observateur sur le terrain) et dont se dégagerait à l'échelle nationale une image de la diversité et de la continuité écologique du pays.* » (Ministère de l'écologie et du développement durable, 2004 :23). En s'inspirant visiblement des recherches en écologie du paysage elle précise fort heureusement le lien entre paysage et biodiversité : « *Il n'y a pas un type de paysage idéal pour la biodiversité. En particulier, il n'y a pas de relation entre la beauté d'un paysage et sa valeur en termes de biodiversité. Il est intéressant d'avoir des ensembles très diversifiés, des mosaïques, mais aussi de grands ensembles homogènes (en particulier forestiers, ou de pelouses). Il faut avant tout de la diversité des paysages.* »

Il n'est pas précisé de quel diversité des paysages il s'agit ni comment la maintenir ou la favoriser. La stratégie nationale pour la biodiversité déclare ouvertement qu'elle ne vise pas une politique d'intervention et avance quatre objectifs pour freiner la perte de la biodiversité : reconnaître la valeur du vivant, développer les connaissances scientifiques et inciter à la mobilisation des acteurs, ainsi qu'à la prise en compte de la diversité ordinaire, utile et remarquable par les politiques publiques. Concernant le développement de connaissances scientifiques et l'observation, la stratégie reconnaît que les indicateurs « *synthèses indispensables de l'information* » posent encore des problèmes méthodologiques. Par ailleurs il est reconnu que l'interaction entre développement durable et protection de la biodiversité fait appel à des approches fortement interdisciplinaires et nécessite aussi l'évaluation des interactions entre société et biodiversité et un développement des pratiques durables pour les habitats et espèces (Ministère de l'écologie et du développement durable, 2004 :pp.39).

⁹ <http://www.ecologie.gouv.fr/Strategie-nationale-pour-la-biodiversite>

La diversité des paysages dans la Convention Européenne du Paysage

La Convention Européenne du Paysage (European Landscape Convention, ELC) (European Landscape Convention, ELC, Council of Europe, 2000) a été ouverte à la signature par le Conseil d'Europe aux 46 États membres à partir du 20 octobre 2000 à Florence et constitue le premier traité international dédié au paysage. En reconnaissant le droit du public à jouer un rôle actif dans leur transformation la Convention se veut un instrument exclusivement consacré à la protection, la gestion et l'aménagement des paysages européens. Il s'agit d'un accord volontaire sous condition d'un minimum de dix signataires ce qui permettait son entrée en vigueur le 1^{er} mars 2004. La France, signataire de la première heure (en 2000) a ratifié la Convention le 17 mars 2006 ce qui a conduit à la publication du décret au Journal officiel le 20 décembre 2006.

D'après la Convention Européenne du Paysage, le paysage « *désigne une partie de territoire telle que perçue par les populations, dont le caractère résulte de l'action de facteurs naturels et/ou humains et de leurs interrelations* »¹⁰. La diversité des paysages y figure dans la préambule, elle n'est pas explicitée comme une notion en tant que tel, mais prise en compte dans le contexte européen : « *Les États membres du Conseil de l'Europe [...] reconnaissant que la qualité et la diversité des paysages européens constituent une ressource commune pour la protection, la gestion et l'aménagement de laquelle il convient de coopérer [...]* » (Council of Europe, 2000:6).

Pour notre propos on retiendra que les objectifs de cette Convention s'appliquent (contrairement à la PEBLDS) à tous les paysages, et non seulement aux paysages exceptionnels. Les signataires se sont engagés à identifier les paysages sur l'ensemble de leur territoire, suivre leurs transformations et analyser les pressions qui les modifient (Council of Europe, 2000:6). Par ailleurs « *Chaque Partie s'engage [...] à reconnaître juridiquement le paysage en tant que composante essentielle du cadre de vie des populations, expression de la diversité de leur patrimoine commun culturel et naturel, et fondement de leur identité [...]* » (Council of Europe, 2000:6).

Il est nécessaire et par ailleurs très intéressant de préciser que la Convention européenne du paysage n'a été à ce jour¹¹ ratifiée ni par l'Allemagne, ni par l'Autriche qui se situent de ce fait parmi huit de non-signataires¹² contre 39 signataires. Aucun pays germanophone n'a pour l'instant ratifié la Convention. Par ailleurs il n'existe qu'une version officieuse de la Convention en langue allemande car elle ne fait pas partie des langues officielles du Conseil de l'Europe. Sur son site Internet, le ministère de l'environnement suisse précise que la version officieuse allemande élaborée en accord avec l'Allemagne, le Liechtenstein, l'Autriche et la Suisse contient des notions qui ne sont « *pas d'usage* » dans les pays en question¹³.

Cela traduit en partie les difficultés de concilier des approches paysagères au niveau international. Christophe Schwahn (Schwahn, 2001)¹⁴ n'est pas le seul à constater que la signature de la Convention par la plupart des autres membres de l'Union Européenne est complètement passée sous silence en Allemagne et regrette que cet instrument à caractère holistique pour une

¹⁰ Traduction en allemand: "*Landschaft" ein vom Menschen als solches wahrgenommenes Gebiet, dessen Charakter das Ergebnis des Wirkens und Zusammenwirkens natürlicher und/oder anthropogener Faktoren ist*"

¹¹ <http://conventions.coe.int/Treaty/Commun/ChercheSig.asp?NT=176&CM=1&DF=&CL=GER>

¹² Parmi lesquelles on peut encore citer aussi les pays suivants : Liechtenstein, Monaco, Islande, Russie, Estonie et Albanie. Signataire n'ayant pas encore ratifiées la ELC : Suisse, Azerbaïdjan, Malte, Serbie et depuis 2010 / 2011 également la Serbie, la Bosnie et l'Andorre

¹³ <http://www.bafu.admin.ch/landschaft/00524/01672/01673/index.html?lang=de>

¹⁴ Citation d'après une version légèrement modifiée de l'article sur <http://www.dr-schwahn.de/europlk.htm>

gestion et un développement durable des paysages n'ait pas trouvé d'écho en Allemagne. Il avance que les Allemands pensent disposer d'une législation environnementale largement suffisante qui ne nécessiterait pas de convention supplémentaire aux formulations larges et vagues. L'ignorance affichée par le gouvernement (Bundesregierung) allemand peut effectivement étonner, surtout dans un pays où l'on s'est soucié fortement de la question du paysage et de l'environnement et ceci depuis fort longtemps (Schwahn, 2001). En refusant la signature, le gouvernement argumentait que « *la protection de l'environnement joue seulement un rôle secondaire dans cette Convention ; il s'agit de renforcer le droit des hommes de disposer (participation) du paysage qui les entoure.* »¹⁵ (Bund Deutscher Landschaftsarchitekten, 2007)¹⁶. En outre les réactions officielles signalaient que les mesures requises auraient été déjà appliquées par les réglementations complexes relatives à la protection de la nature et de l'environnement et concernant la « *Landschaftsplanung* » (planification / gestion des paysages), et qu'une application nécessiteraient trop de moyens financiers et humains supplémentaires (Marschall, 2005) pour établir les rapports requis. De nombreuses associations pour la protection de la nature et du paysage ont protesté contre ce refus¹⁷ en dénonçant de faux arguments, et en affirmant que les vrais intérêts de la ELC - notamment une véritable politique paysagère - ne seraient actuellement pas réalisés. La protection ne tiendrait pas suffisamment compte des aspects culturels et esthétiques dans la protection des paysages et les aspects de participation locale - peu dans l'habitude des instances officielles - contribueraient davantage à la durabilité des paysages culturels (Schwahn, 2001; Marschall, 2005; Bund Deutscher Landschaftsarchitekten, 2007).

Même si nous ne traiterons pas dans la partie empirique de ce travail la question esthétique et culturelle de la diversité paysagère, il est intéressant de noter que le comportement des autorités allemandes traduit en quelque sorte la vision plus « naturaliste » et « fonctionnelle » du paysage. Peu enclin à valoriser les paysages à travers ceux qui le regardent et les habitent, le gouvernement allemand se focalise ici sur les mesures qui préservent les paysages contre les pollutions et dégradations et permettent la protection des espèces qui y vivent. On peut se demander jusqu'à quel point cette approche est façonnée par la vision traditionnellement naturaliste et dans quelle proportion elle témoigne de la complexité politique et du « fonctionnariat ». Ainsi Schwahn insiste sur le fait que « *Landschaft hat nur zu einem Teil mit Ökologie zu tun.* » - le paysage n'est écologie qu'en partie¹⁸ et remarque par ailleurs cyniquement : « *[...] les instances officielles pour l'environnement ne se laissent pas dicter par la population en quoi notre paysage est diversifié, singulier et beau. La notion d'esthétique est volontairement exclue (« mise entre parenthèses »), parce qu'elle n'est pas objective. A la rigueur elle sera présentée en tant que conséquence de la variété et singularité paysagère, en quelque sorte par une formule mathématique (fonction) : variété multipliée par singularité égale beauté. Et ceci par des chiffres décimaux, si possible. [...] A d'autres [la Convention] peut paraître suspecte parce qu'elle place les autorités professionnelles de la protection de la nature derrière la volonté*

¹⁵ „Naturschutz spielt in dem Übereinkommen nur eine untergeordnete Rolle, es geht vielmehr darum, das Recht des Menschen auf Bestimmung über die ihn umgebende Landschaft zu bekräftigen.“

¹⁶ En guise de source on citera ici un mémorandum de prise de position par 20 professeurs d'architecture du paysage (http://www.bdla.de/pdf/memorandum_elc_bdla_12.07.2007.pdf), la convention européenne du paysage étant introuvable dans la documentation officielle de l'RFA. Voir aussi : <http://www.kolleg.loel.hs-anhalt.de/professoren/hlange/Ak-Landschaftsplanung/Aktuelles-Dateien/Dateien/LandschaftskonventionBBNAK150405IM.pdf>

¹⁷ Par exemple : prise de position de <http://www.na-hessen.de/downloads/dfv2006positionspapierelc.pdf>

¹⁸ Traduction littérale: « *le paysage n'a qu'en partie affaire avec l'écologie* »

*expresse des citoyens. (Mais) la plupart (des gens) ne la connaissent probablement pas, ils continuent à dormir avec la certitude que l'Allemagne guidera l'Europe en ce qui concerne la protection de la nature et de l'environnement.»*¹⁹ Cela illustre que l'acceptation hétéroclite des politiques paysagères communautaires ne se réduit pas à l'étymologie différente entre *Landschaft* et *paysage*, c'est aussi et surtout une question de « culture paysagère » particulière à chaque individu, chaque école de pensée et à chaque nation.

De CORINE LandCover à la diversité paysagère

Dans le cadre de CORINE (programme européen de coordination de l'information sur l'environnement piloté par l'Agence européenne de l'environnement) a été produite depuis 1990 une base de donnée sur l'occupation du sol appelé CORINE LandCover (cf. chap. chapitre 1.2.1.1). Une classification de l'occupation des sols en 44 classes regroupées par 3 niveaux hiérarchiques a été élaborée à partir d'images satellites Landsat jusqu'en 2000 et se fonde sur la photo-interprétation des images satellitaires de SPOT4 depuis 2006. La cartographie des zones d'une précision de 25 ha a été augmentée pour certaines zones à 5 ha depuis l'année 2000 et sera mise à jour par fréquence décadaire. Cette base de donnée géographique téléchargeable pour les années 1990, 2000 et 2006 permet de suivre l'évolution de l'occupation du sol dans 38 États européens.

Depuis 1999 la base de donnée a été systématiquement exploitée pour élaborer des indices « paysagers », c'est-à-dire des indices étudiant la fragmentation, l'hétérogénéité / diversité et la composition et organisation spatiale des unités cartographiées. La diversité paysagère à laquelle fait référence le rapport sur le programme CORINE LandCover se réduit (comme mentionné chapitre 1.2.1, CLC, European Commission / E.E.A., 2000)²⁰ à la diversité mesurable par la richesse et uniformité de la distribution des « patches » de la même classe. Cette réduction probablement utile à petite échelle (continent européen) considérant des mosaïques d'occupation du sol par les images satellites, est cependant peu acceptable pour une étude considérant le paysage comme un ensemble tridimensionnel et complexe ne se réduisant pas à l'utilisation des sols.

1.2.2.2. La diversité paysagère en géographie et écologie du paysage et le paysage dans un contexte international

Les textes et programmes élaborés dans le contexte européen s'accordent à traduire *diversité paysagère* (fr.) par *landscape diversity* (angl.) et *Landschaftsdiversität* (allm.). Si la traduction de *paysage* par *landscape* ou *Landschaft* est sans aucun doute correcte, on peut se demander tout de même si leur utilisation se fait toujours dans le même « sens ».

¹⁹ „Beispielsweise lassen sich die Naturschutzbehörden nicht von der Bevölkerung sagen, was an unserer Landschaft vielfältig, eigenartig und schön ist. Der Begriff der Schönheit wird dabei bewußt ausgeklammert, da er nicht objektivierbar ist. Allenfalls wird er als Folge von landschaftlicher Vielfalt und Eigenart dargestellt, gewissermaßen in der Funktion: Vielfalt mal Eigenart gleich Schönheit. Und das möglichst in Dezimalwerten. [...] anderen mag [die Landschaftskonvention] suspekt erscheinen, denn sie stellt die naturschutzfachliche Autorität hinter den artikulierten Bürgerwillen. Den meisten jedoch ist sie vermutlich unbekannt, sie schlafen ruhig weiter in ihrer Auffassung, Deutschland führe Europa in puncto Natur- und Umweltschutz an.“

²⁰ D'après <http://ec.europa.eu/agriculture/publi/reports/corine2000.pdf> : “Various different objects. Conversely to heterogeneity, it does not consider relations between them. Diversity relies on two components: richness and evenness.” (Commission Européenne, 2000, p. 4)

Il ne s'agit pas de recenser tous les documents et sources nombreuses évoquant la *diversité des paysages* ruraux, français, européens, de montagne, etc. Ce premier sens, très commun, pouvant être remplacé sans aucune hésitation par la *variété des paysages*, par *paysages variés*, *différents* ou *nombreux*, témoigne d'un recensement ou d'une typologie de paysages dans un région ou un pays et ne constitue en aucun cas un concept. Le passage de l'utilisation de ce terme dans son sens commun à l'application du terme dans un cadre conceptuel demeure en revanche peu fréquent.²¹

Afin de donner une impression des différentes façons de concevoir la *diversité paysagère* on se limitera par la suite à quelques sources mentionnant la diversité paysagère dans le domaine de la géographie ou de l'écologie du paysage, même si des définitions proprement dites font souvent défaut.

Diversité du paysage, des paysages ou diversité paysagère ?

Cette question ne semble se poser qu'en langue française ! En anglais ou en allemand la combinaison ou composition des mots *paysage* et *diversité* ne fait aucune différence : *landscape diversity* ou *Landschaftsdiversität* se traduisent littéralement « paysage-diversité », la diversité se référant au paysage. La nuance se fait seulement en français, ce qui pose problème à la traduction, car *diversité du paysage* et *diversité des paysages* se situent à des échelles différentes, tandis que la *diversité paysagère* constitue une notion plus large. Cette dernière évoque le caractère diversifié *d'ordre paysager* au sein d'une entité d'échelle variable : en se référant au paysage par l'adjectif « paysager » on peut désigner à la fois l'existence d'une multitude de paysages et la diversité caractérisant les aspects d'un seul ensemble paysager. En ce sens cette dernière notion constitue une appréciation générale, plus proche des équivalents allemands et anglais.

« Landscape diversity »

La plupart des sources bibliographiques citant la diversité paysagère sont vraisemblablement écrites en langue anglaise. Plusieurs explications complémentaires sont envisageables. D'une part, la langue anglaise domine assurément les publications scientifiques. D'autre part, la *landscape diversity* est très fréquemment mentionnée dans le contexte des recherches en écologie du paysage (*landscape ecology*), discipline aujourd'hui mieux établie dans les pays anglophones qu'en France et moins frileuse quant à l'utilisation du terme *landscape* en écologie.

Dans le contexte de l'écologie du paysage on peut observer une connotation plus naturaliste, plus écologique de *landscape diversity* (cf. chap. 1.2.2) que celle donnée par la Convention européenne du paysage. Comme mentionné dans le chapitre introductif, la diversité paysagère est alors fréquemment assimilée à la diversité biologique à l'échelle du paysage, c'est-à-dire à la diversité spécifique d'une région ou d'un paysage (diversifié), ou dans le meilleurs des cas à la diversité des écosystèmes. Cela remonte à la proposition de Whittaker (Whittaker, 1972; Whittaker, 1977; d'après Naveh, 1994b; Leser et Nagel, 1998; Farina, 2000:85), faisant la différence

²¹ On peut aussi se demander si cette utilisation triviale ne constitue pas une raison supplémentaire pour remplacer la notion de diversité paysagère dans le cadre d'études scientifiques par un terme moins polysémique et plus nettement délimité.

entre diversité biologique « alpha », « bêta » et « gamma ». Il s'agit respectivement de la diversité biologique au sein d'un habitat (alpha-diversité ou diversité locale) ou entre deux habitats (bêta-diversité ou « mosaic diversity ») et de la diversité biologique au sein de différents habitats d'une région géographique (gamma-diversité ou « regional diversity ») (Farina, 2000). C'est cette dernière qui a été par la suite souvent considérée comme « diversité paysagère », alors que Whittaker lui-même ne l'appelait pas ainsi mais la considérait comme une liste d'espèces établie au sein d'une unité géographique (Leser et Nagel, 1998 :137). La diversité des écosystèmes et la diversité génétique sont des concepts plus récents que la diversité spécifique (Norse, 1986 d'après Wilson et Frances, 1988; Norse, 1986 d'après Krishnamurthy, 2003). Bien que la *diversité écosystémique*, parfois aussi appelé *diversité écologique* (Krishnamurthy, 2003 :2), soit souvent confondue avec la *diversité paysagère*, elle est parfois encore considérée comme une quatrième forme de la diversité biologique également connue sous le nom de *pattern diversity* (Krishnamurthy, 2003 :2).

L'article fondateur de W. Romme et Dennis Knight (Romme et Knight, 1982) est régulièrement cité pour avoir introduit le « concept » de diversité paysagère, appliqué au parc national américain de Yellowstone. Les structures horizontales (latérales) ou « *patterns* » issu de la dynamique écosystémique spatialement différenciée par les perturbations (*disturbance*) et les gradients environnementaux, sont ici mis en avant par une adaptation des indices de diversité à la dimension spatiale du paysage. La définition reste cependant essentiellement biologique : “*the term landscape diversity refers to the diversity of plant communities making up a vegetational mosaic of a land unit.*” (Romme et Knight, 1982 :664). La prise en compte de la mosaïque des milieux résultant des effets des gradients écologiques et des perturbations reste une avancée importante pour l'écologie du paysage, mais le paysage se réduit à une unité spatiale (« land unit ») et la diversité paysagère reste une *diversité paysagère biotique* (Naveh, 1994b).

Zev Naveh, critiquant le fait que la diversité paysagère est fréquemment réduite à la prise en compte de la diversité du couvert végétal et n'englobe suffisamment, ni les aspect pédologiques et topographiques, ni les artefacts d'origine anthropiques ou l'utilisation du sol, propose le terme d'*écodiversité* (« *ecodiversity* ») (Naveh, 1994b; , cité d'après Naveh, 2007:129), parfois également appelé « *landscape ecodiversity* » (selon Naveh, d'après Leser et Nagel, 1998 :137). Constatant que la *gamma-diversité* est généralement plus élevée là où l'hétérogénéité environnementale (ou *hétérogénéité écologique*) est plus forte, Naveh remarque que l'hétérogénéité et diversité paysagère des régions méditerranéennes sont en relation étroite avec les pratiques anciennes d'utilisation du sol (Naveh, 2007 :120). L'*ecodiversity* se trouve en ce sens être le résultat de l'action humaine (utilisation culturelle des sols), de la diversité biologique et de l'*hétérogénéité écologique*. Elle s'inscrit dans une démarche transdisciplinaire entre l'écologie de la conservation et l'écologie du paysage (*op.cit.*, p.127). De la sorte, Naveh plaide pour la réhabilitation de l'*écodiversité* dans une perspective dynamique, qui nécessitera à la fois recherches sur le terrain et recherches expérimentales, un développement des méthodes et outils intégrés et demandera également des efforts législatifs, administratifs et éducatifs (Naveh, 1994b; Naveh, 2007).

Dans une section assez conséquente de l'Encyclopédie de Biodiversité de S. Levin, Debra Peters et Sarah Goslee (Peters et Goslee, 2001) décrivent la *landscape diversity* en tant que notion issue de l'écologie du paysage. Ici une définition claire mais assez restrictive précède un portrait des dimensions rattachées à la diversité paysagère : “*Landscape diversity is a description of the number and dominance of different patch types contained within a spatially heterogeneous area.*”

(Peters et Goslee, 2001 :645). Une définition se fondant sur le nombre et la dominance de différents types de *patches*²² ou paysages élémentaires dans un espace plus vaste confère à cette diversité paysagère une connotation indubitablement spatiale mais reste toutefois assez limitée quant aux objets pris en compte pour évaluer la diversité. La dimension spatiale reste par ailleurs surfacique, c'est-à-dire que la dimension verticale (le volume) n'est pas explicitement prise en compte. Le jeu d'échelles se limite essentiellement à deux dimensions chorologiques : l'échelle du *patch* en tant qu'unité spatiale relativement homogène et l'échelle supérieure du *landscape*, habituellement adaptée à l'*extent* (extension spatiale de l'étude) et de nature hétérogène. Toujours d'après Peters et Goslee trois caractéristiques fondamentales du paysage, la structure, la fonction et la dynamique du paysage influencent la diversité paysagère. La description de la structure se ferait d'un côté par la description spatiale (taille, périmètre...) des "patches" eux-mêmes, posant le problème de leur délimitation sans que la nature des objets spatialement délimités soit mentionnée. De l'autre côté, au niveau hiérarchique supérieur la structure du paysage est mise en évidence par la composition des patches et par la description de leur mosaïque ("*pattern*") à l'échelle du paysage ("*landscape level*") (Peters et Goslee, 2001 :pp.648). La composition du paysage se mesure de façon analogue à la diversité d'espèces par la richesse, la dominance des unités paysagères, sans se référer explicitement à leur localisation dans l'espace. Les mesures des mosaïques paysagères (*patterns*) peuvent se faire sans une localisation explicite en abordant l'abondance de certaines mesures, tandis qu'une référence à la configuration spatiale des unités paysagères est nécessaire afin de caractériser par exemple la dispersion des unités paysagères de type différents. Il en résulte que la diversité paysagère, d'après l'interprétation de Peters et Goslee se laisse décrire et mesurer par un certain nombre d'indices paysagers, appelés plus couramment *landscape metrics* (voir par exemple (McGarigal et Marks, 1995; Riitters, O'Neill *et al.*, 1995; Parresol et McCollum, 1997; Gallego et Escribano, 2000; Wu, Jelinski *et al.*, 2000; McGarigal, Cushman *et al.*, 2002; Botequilha Leitão, Miller *et al.*, 2006; Lang et Blaschke, 2007)).

Dans la même logique, la diversité paysagère est abordée aujourd'hui également dans les rapports et ouvrages touchant à la gestion agro-environnementale (Council of Europe, 1996; Pearson, 1996; European Environment Agency, 2005). Les indicateurs développés par l'OCDE pour les paysages agricoles (OECD, 1999; OECD, 2001) et par l'Agence Européenne de l'Environnement (European Environment Agency, 2005) y ont certainement contribué. Pour mesurer l'impact environnemental de l'agriculture, l'OECD retient parmi d'autres indicateurs les types d'habitats et la structure des paysages (OECD, 2001; NIJOS/OECD, 2003), tout en attribuant également aux paysages agricoles des fonctions culturelles, environnementales et économiques ainsi que des valeurs attribuées par les sociétés (OECD, 2001 :396). Parmi les 35 indicateurs agro-environnementaux développés dans le cadre du projet IRENA (*Indicator Reporting on the Integration of Environmental Concerns into Agricultural Policy*) on recense également deux indicateurs se référant aux paysages, les indicateurs IRENA 32 (*landscape state*) et IRENA 35 (*Impact on landscape diversity*) qui se fondent en partie sur l'état et les changements d'occupation du sol mis en évidence par Corine LandCover (European Commission / E.E.A., 2000) . On retrouve ainsi différentes formes d'indices de « *landscape diversity* » dans de nombreuses publications en rapport avec

²² „a patch is a relatively homogeneous area nonlinear area that differs from its surroundings“ (Peters et Goslee, 2001:646)

l'analyse spatiale par les systèmes d'informations géographiques (voir notamment Botequilha Leitão, Miller *et al.*, 2006)

Une considération plus holistique de la diversité paysagère - intégrant la signification socioculturelle et économique - a été défendue par Rob Jongman (Jongman, 2000) en considérant la mise en relation difficile entre biodiversité et diversité paysagère. Il constate que cette relation est, notamment dans les « paysages culturels » européens, loin d'être linéaire et ne se réduit pas à une simple corrélation positive (Jongman, 2000:80). L'homogénéisation d'un côté et la fragmentation de l'autre sont des processus dominants dans les paysages européens et modifient sensiblement à la fois la biodiversité et la diversité paysagère. Jongman attribue un rôle très important à l'homme : « *Defining the relationship between landscape and biodiversity in Europe is therefore not simply a matter of counting species and landscape elements but involves also the inclusion of the diversity in environments on the various scales of the landscapes in Europe and the impact of mankind through management and policy making.* » (Jongman, 2000 :73). Puisque les différences régionales tendent à disparaître avec la mondialisation des marchés l'interrogation sur l'impact de l'homogénéisation paysagère sur la biodiversité semble bien justifiée.

Les articles scientifiques qui mentionnent la *landscape diversity* (voir aussi :Angileri et Toccolini, 1993; Parresol et McCollum, 1997; Lenz et Stary, 1998; Palang, Mander *et al.*, 1998; Nagaike et Kamitani, 1999; Gallego et Escribano, 2000; Jongman, 2000; Parsons, 2000; Peters et Goslee, 2001; Nagendra, 2002; Carlson, Wang *et al.*, 2004; Pedroli, Pinto Corraei *et al.*, 2004; Jessel, 2006; Carranza, Acosta *et al.*, 2007; Koffi, Deblauwe *et al.*, 2008; Yeh et Huang, 2009; Zinck, Johst *et al.*, 2010) se résument donc essentiellement à la diversité paysagère considérée depuis un point de vue écologique quoique intégrant le plus souvent une dimension spatiale.

« Landschaftsdiversität »

De façon générale on fait référence à la diversité paysagère notamment en écologie du paysage (*Landschaftsökologie*), comme on le constate dans la littérature anglophone. Toutefois on trouve déjà des racines dans la géographie allemande dont l'écologie du paysage est issue. Selon Ernst Neef on peut observer la *variété géographique* (« *geographische Mannigfaltigkeit* ») (Neef, 1967b :67) dans les structures, dans la dynamique et dans le développement de la réalité géographique. Le concept de *Landschaftsdiversität* proprement dit a été en Allemagne notamment promu par Hartmut Leser ((Leser, 1994; Leser et Schaub, 1995; Leser, 1997b; Leser, 1997a; Leser, Haas *et al.*, 1997; Leser et Nagel, 1998). Il s'agit chez cet auteur d'une diversité résultant de l'interaction des systèmes biotiques et abiotiques, tenant compte de l'action de l'homme et considérée notamment à l'échelle topologique (cf. chap. 1.3) (Leser et Nagel, 1998:135). Elle a été définie comme « *diversité des espaces avec les systèmes environnementaux* », ou « *diversité spatio-environnementale* »²³ (Leser, Haas *et al.*, 1997 :442). Une définition plus courte, celle du lexique de géographie, reste simple et essentielle : « *Vielfalt der Zusammensetzung innerhalb und zwischen Landschaften* » (Brunotte, Gebhardt *et al.*, 2002 :306 (Vol.2)), la « *diversité de la composition au sein d'un et entre plusieurs paysages.* »

²³ „Diversität der Räume mit den Umweltsystemen oder die „Raum-Umwelt-Diversität“. Sie drückt sich aus in den Funktionsmustern der Landschaftsökosysteme in der Geobiosphäre, in der das Wirkungsgefüge des real unauflösbaren Zusammenhangs von Natur (Geos, Bios), Gesellschaft und Technik spielt.“

Leser attribue l'origine du terme *Landschaftsdiversität* à Zev Naveh (Leser, 1997b:164), qui semble pourtant préférer le terme « *ecodiversity* » (Naveh, 1994b), promu également par des botanistes et écologues allemands (Barthlott, Lauer *et al.*, 1996:320; Jedicke, 2001). Par l'utilisation du terme *écodiversité*, Barthlott et al. souhaitent éviter une confusion avec la gamma-diversité selon Whittaker (Barthlott, Lauer *et al.*, 1996:320) qui est parfois également appelée, non sans critiques *landscape diversity*. Arguant que Whittaker lui-même n'utilisait pas le terme de *landscape diversity* pour désigner la gamma-diversité, et considérant que la signification d'*écodiversité* resterait suffisamment proche du terme de « *Landschaftsvielfalt* »²⁴, en usage d'après lui depuis plus d'un siècle, Leser (Leser et Nagel, 1998 :137) encourage l'utilisation des termes plus précis de *landschaftsökologische Diversität* (« *landscape ecological diversity* ») ou, en accord avec Naveh et Liebermann (Naveh et Lieberman, 1994) de *Landschaftsökodiversität* (« *landscape ecodiversity* »).

L'approche systémique de la diversité paysagère passe par l'intégration de la notion par ce même auteur dans le cadre du « *Landschaftsökosystem* » (pouvant être traduit comme « *écosystème paysager* »). La diversité paysagère, plus que la somme de ces constituants reflète alors les « *patterns* » structuraux, fonctionnels, spatiaux et temporels (Leser et Nagel, 1998), en somme la mosaïque paysagère. Contrairement à la conception qui sera défendue ici, Leser considère par ailleurs la diversité paysagère comme un résultat de l'influence mutuelle des systèmes biotiques et abiotiques qu'il qualifie de *biosystème* et *géosystème*. Cette conception réduit le géosystème, et en conséquence la géodiversité aux parties abiotiques de l'écosystème, ce dernier étant considéré comme hiérarchiquement supérieur (Leser, 1994; Leser, Haas *et al.*, 1997) (Leser, 1997b; Leser et Nagel, 1998). A noter que biodiversité, géodiversité et diversité paysagère sont considérées comme des modèles: « *Geodiversity and biodiversity are thus subsets of the methodologically more complex model of landscape diversity* » (Leser et Nagel, 1998 :128).

En outre les synonymes ou concepts proches de la *Landschaftsdiversität* sont nombreux notamment dans le domaine de l'écologie du paysage. Leurs nuances semblent dépendre de la conception du modèle ou « *système* » propre à chaque scientifique. Au côtés de *Ökodiversität* (*écodiversité*) (Jedicke, 2001) ou de *landschaftsökologische Diversität* (« *diversité d'écologie paysagère*, plus précisément la diversité rattachée à l'écologie du paysage) déjà mentionnés, on trouve encore le terme *Geoökodiversität* (*géocéodiversité* ou *diversité géoécologique*) ou la notion plus « *large* » de *Raumvielfalt* (*diversité spatiale*). Andreas Wulf (Wulf, 2001) compte parmi les synonymes également la *diversité extérieure* (*äußere Diversität*), le terme anglais « *patchiness* » ainsi que l'*hétérogénéité horizontale* (Wulf, 2001 :142). En accord avec Haber, la *diversité* (*variété*) *dans l'espace* ou « *Raumvielfalt* » désigne la mosaïque d'unités spatiales distinctes, mais « *en soi semblables* » dans un paysage²⁵ (Haber 1979:21, d'après Wulf, 2001). L'*hétérogénéité horizontale*, complémentée par un aspect vertical (Zonneveld 1990, p. 6 d'après Wulf, 2001:142) et temporel demeure ainsi très proche du concept de diversité paysagère et constitue un concept important en écologie du paysage.

²⁴ pouvant être également traduit comme *diversité paysagère*, sinon *richesse paysagère*, le terme sera considéré le plus souvent comme synonyme de *Landschaftsdiversität*

²⁵ *Raumdiversität* : « *das Gefüge oder Mosaik (pattern) unterschiedlicher, aber in sich gleichartiger Raumeinheiten oder -zellen in einer Landschaft* »

« Diversité paysagère »

Les sources francophones concernant la diversité paysagère sont moins nombreuses, notamment si on exclut les sources mentionnant la variété des paysages en général sans se référer à une notion bien précise. Fréquemment il s'agit de rapports établis, voire traduits, dans le contexte communautaire européen, ou de sources faisant référence aux textes européens mentionnés plus haut. Les publications du Conseil d'Europe (Council of Europe, 1999; Council of Europe, 2006) en rapport avec la Convention Européenne du Paysage et la Stratégie paneuropéenne de la diversité biologique et paysagère insèrent la thématique de la diversité paysagère dans les objectifs de durabilité et de préservation de la biodiversité formulés à Rio de Janeiro (1992) : « [...] *les paysages peuvent contribuer à la définition de ces objectifs, à leur réalisation et à leur surveillance afin de les consolider. En premier lieu parce que les éléments de la nature représentent les bases de la grande diversité paysagère.* » (Zoido Naranjo in Council of Europe, 2006:74).

Un certain nombre de sources d'origine franco-française se limitent à la *diversité paysagère* dans sa signification écologique (*gamma-diversité*) déjà évoquée. La question de la mesure de la diversité spatiale en écologie du paysage et la mise en relation avec la diversité spécifique a été soulevée déjà en 1982 par Baudry et Burel (Baudry et Burel-Baudry, 1982 :177). La mesure de la diversité paysagère est cependant rarement évoquée en rapport avec les indices ou indicateurs paysagers dans les SIG. Les rares publications françaises qui mentionnent le terme sont le plus souvent en rapport avec la perception ou la variété des paysages, retenus lors d'études paysagères (Rautenberg, 1994; Galochet, Godard *et al.*, 2002; Lelli et Paradis, 2005; Germaine et Puissant, 2008), sans l'élever jusqu'au concept pour autant.

Dans un article sur les paysages helvétiques, Spichiger et Forney osent quitter les sentiers battus par la Stratégie paneuropéenne de la diversité biologique et paysagère, en soulevant le fait que la protection des paysages n'est pas toujours en accord avec la protection de la nature. « *Ainsi, les notions de diversité biologique et de diversité paysagère par exemple sont potentiellement contradictoires : un paysage rural diversifié, valorisé par beaucoup sur le plan esthétique, peut posséder une richesse biologique moindre qu'une zone de marais ou urbaine, n'ayant pour certains qu'une valeur paysagère faible.* » (Spichiger et Forney, 2005 :55). On regrettera seulement que l'occasion de décrire l'essence de la diversité paysagère n'ait pas été saisie.

Fait assez surprenant, toujours selon l'état de nos connaissances bibliographiques, il semble qu'un essai de formalisation ou de conceptualisation explicite de la diversité paysagère globale n'a pas encore été entrepris par des auteurs francophones, malgré une littérature très riche en ce qui concerne le paysage et sa transversalité. On peut en dire de même pour autant les conceptions existantes dans les sources anglophones ou germanophones, évoqués ci-dessus. Une raison pour cela peut être précisément la notion de paysage elle-même. Les approches du paysage sont multiples et la conception de la diversité paysagère en dépend.

1.2.2.3. A l'origine des divergences - Landschaft, landscape et paysage

Comme le suggèrent les sources et textes cités, la différence apparente entre les interprétations de la diversité paysagère semblent se fonder sur les divergences entre approches

paysagères. L'ambiguïté rattachée à la notion explique peut-être la rareté des définitions et études méthodiques de la diversité paysagère globale.

La multiplicité des approches du paysage non seulement en France mais à l'échelle internationale ne peut pas être exhaustivement discutée ici. Le paysage, « *on en parlait trop pour parler bien* » (Brunet, Feras *et al.*, 1992 :375). Le dilemme des thèses traitant de près ou de loin du paysage a été soulevé aussi par Filleron (Filleron, 1995 :2) « *Le doctorant se voit alors dans l'obligation de comparer entre elles les différentes définitions qui fleurissent dans les publications, de retenir celle qui lui semble la plus appropriée à l'entrée dans sa thématique [...]* ».

Toutefois différentes conceptions du *paysage* impliquent des différences dans l'interprétation de la diversité paysagère et en ce sens on est bien obligé de faire des choix. Quelques précisions seront nécessaires afin de clarifier l'interprétation géographique du terme *paysage* et de ses traductions *Landschaft* et *landscape* précédant la construction d'une méthodologie d'évaluation de la diversité paysagère par l'entrée de la géodiversité.

Quoique la traduction du terme *paysage* en lui-même soit peu problématique en raison des origines étymologiques comparables en Europe, les différences des conceptions, des pratiques et des connotations que le *paysage*, la *Landschaft* et le *landscape* véhiculent sont parfois encore sous-estimées ou volontairement ignorées. Pour une vision complète on se référera ainsi aux très nombreux ouvrages consacrés à ce thème en langue française (Bertrand, 1968; Bertrand, 1972; Richard, 1975; Lacoste, 1977; Beroutchachvili et Bertrand, 1978b; Bertrand, 1978; Chatelin, Richard *et al.*, 1982a; Berdoulay et Phipps, 1985; Chatelin et Riou, 1986; Berque, 1990; Rougerie et Beroutchachvili, 1991; Berque, 1992; Robic, 1992a ; Berque, 1993; Berque, 1994; Clément, 1994; Bertrand, 1995; Roger, 1995 ; Filleron, 1998b; Berque, 2000; Bertrand et Bertrand, 2002; Décamps et Décamps, 2004; Donadieu et Périgord, 2005; Droz, Miéville-Ott *et al.*, 2005; Filleron, 2005; Brossard et Wieber, 2008; Godron et Joly, 2008; Wieber, Griselin *et al.*, 2008; Bertrand, 2009), en langue allemande (Paffen, 1953; Neef, 1955; Carol, 1956; Carol, 1957; Schmithüsen, 1963; Schmithüsen, 1964; Gerling, 1965; Neef, 1967b; Hard, 1970a; Paffen, 1973; Schmithüsen, 1974; Schmithüsen, 1976; Haase, 1977; Haase, 1991; Bastian et Schreiber, 1994; Haase, 1999; Mannsfeld et Neumeister, 1999; Tress et Tress, 2001; Hard, 2002) ou en langue anglaise (Forman, 1995; Schama, 1995; Schama, 1999; Fry, 2001; Antrop, 2005; Solon, 2005; Sauer, 1925 in: Wiens et Moss, 2005; Wylie, 2007; Gray, 2009; Morin, 2009; Olwig, 2009), tout en se limitant là encore au domaine de la géographie et de l'écologie du paysage. L'ouvrage de Rougerie et Beroutchachvili (Rougerie et Beroutchachvili, 1991) résume assez bien les différents approches paysagères.

Landschaft

Le terme de « *Landschaft* » est composé de *Land* (pays) et d'une transformation du verbe « *schaffen* » (créer), dérivant de l'ancien haut-allemand « *skapjen* » (Steinhardt, Blumenstein *et al.*, 2005 :25) constituant ainsi un « *Land* » (pays) créé par l'homme (Haber 1996 d'après Steinhardt, Blumenstein *et al.*, 2005:26). Dans sa plus ancienne mention, en l'an 850 il prend la forme de « *lantscap* », et apparaît comme traduction du latin « *regio* » (Schmithüsen, 1976 :73; Tress et Tress, 2001). Ainsi ce n'est pas le sens pictural qui domine l'origine étymologique du terme, mais bien un sens territorial.

Les fondements théoriques et scientifiques du terme de *Landschaft* en Allemagne ont été consolidés en géographie notamment par la *Landschaftskunde*, science du paysage (Meynen, 1985 :686) dont les fondements se réfèrent aux travaux de Passarge (Passarge 1919 et 1930, d'après Meynen, 1985:686; Klink in : Brunotte, Gebhardt *et al.*, 2002 :308, vol.2) et par la *Landschaftslehre*, issue de cette dernière, développée notamment par Neef (Neef, 1967b). La *Landschaftskunde* considéra comme objet central de la géographie la *Landschaftssphäre* (Brunotte, Gebhardt *et al.*, 2002 :307) ou *Landschaftshülle* (Leser, Haas *et al.*, 1997 :446) (*sphère paysagère*) qui est, selon certains auteurs considérée comme étant l'objet central de l'écologie du paysage (Brunotte, Gebhardt *et al.*, 2002 :307). Comme en France ou dans les pays anglophones, l'utilisation de la notion de *paysage* resta cependant très controversée, notamment en ce qui concerne sa place centrale en géographie (Gerling, 1965; Neef, 1967b :35; Hard, 1970b). Des études sémantiques sur la définition de la *Landschaft* ont été menées par Hard (Hard, 1970a; Hard, 1970b; Hard, 1983; Hard, 2002). Entre autre, il constate que l'utilisation « engagée » du terme *paysage* se fonde sur un certain nombre d'utopies esthétiques, cognitives et politiques associées au paysage (Hard, 1983; dans Hard, 2002). L'intérêt apporté à la diversité paysagère correspond aux attentes que l'on a de la notion de paysage en général.

Pour contourner le problème de la notion polysémique de « *Landschaft* » en géographie on tenta également de la remplacer. Josef Schmithüsen identifia deux douzaines de sens, significations et interprétations différentes associés à la *Landschaft*, qu'il regroupa dans son ouvrage « *Allgemeine Geosynergetik* » en neuf ensembles (Schmithüsen, 1976 :74). Cette ambiguïté l'amena à proposer le remplacement du terme trop familier de *paysage*, par le terme jugé plus scientifique de « *synergie* » (ou *géosynergie*) (Schmithüsen, 1963), afin de faciliter son usage sans équivoque dans un contexte international. On peut considérer cette proposition comme un réponse au reproche d'ambiguïté du terme holistique de *Landschaft* qui ne se prêterait pas aux études scientifiques, alors qu'il permet de structurer /subdiviser la géosphère sans la décomposer (Brunotte, Gebhardt *et al.*, 2002). L'approche *synergétique* attribue une structure spatiale à un système²⁶ caractérisé par des interactions d'ordre abiotiques, biotiques et « nootiques » (intellectuelles) (Meynen, 1985 :682). Cette conception eut le mérite d'entrer en tant que terme scientifique « *concept scientifique de paysage* » (*wissenschaftlicher Landschaftsbegriff*) dans le Glossaire Géographique International de l'UGI (Meynen, 1985). Il semble cependant que le *paysage* soit resté une notion bien trop populaire qui n'a pas permis la substitution durable de la *Landschaftslehre* (*science du paysage*) par son synonyme, la *synergétique*.

Déjà Paffen distingue un *paysage physionomique-perspectiviste*²⁷, qui place l'observateur au centre du paysage, délimité par l'horizon, et qui ne se prêterait pas à la prise en considération scientifique d'un *paysage objectif* qui découle de la seule apparence paysagère (Paffen, 1953 :20). Suivant ce dernier sens il considère le paysage *géographique* comme une unité spatiale à quatre dimensions (spatiotemporelle), une structure spatiale et « *Wirkungsgefüge*²⁸», qui se développe

²⁶ « *räumlich strukturiertes Wirkungssystem aus den drei nach unterschiedlicher Gesetzlichkeit erfassbaren Teilsystemen des Anorganischen, des Biotischen und des Nootischen* » (Meynen 1985 :682) (Meynen, 1985:682)

²⁷ „*Physiognomisch-perspektivescher Landschaftsbegriff*“ inspiré de Oppelt 1884 et Granö 1928 et „*objektiver Landschaftsbegriff*“, inspiré de Schmithüsen et Bobek 1949

²⁸ Le terme allemand « *Wirkung* » caractérise à la fois action et effet, donc une interaction, tandis que « *Gefüge* » désigne à la fois une structure et une composition ou un assemblage d'éléments. Ce terme, très employé en géographie est ainsi très difficilement traduisible. « *Assemblage interactif* » ou « *structure interactive* » semblent encore le plus proche.

sous l'influence des forces physico-chimiques et intellectuelles en intégrant des complexes abiotiques, biotiques et socioculturels (Paffen, 1953 :21).

Dans cette lignée, il convient de mentionner que la *géosynergétique* (*Geosynergetik*), comme science du paysage (*Landschaftslehre*) promu par Schmithüsen (voir notamment Schmithüsen, 1976) mérite d'être mentionnée en raison de son approche scientifique très rigoureuse situant le paysage au centre de la recherche géographique. On notera une certaine proximité avec le concept de géosystème (évoqué plus loin) en raison d'une tentative de séparation terminologique entre la réalité (le paysage) et son abstraction (Turba-Jurczyk, 1990 :34). Ainsi Schmithüsen fait la différence entre l'*Aitionik*, science s'occupant de l'étude des géofacteurs (*Geofaktorenlehre*) et la *synergétique* (*Synergetik*) qui étudie le *Wirkungsgefüge*, donc le paysage dans un sens plus large comme ensemble ou *Totalcharakter*. Aussi, il fait la différence entre la *synergétique* (*Synergetik*) et la *chorétique* (*Choretik*), donc entre la *Landschaftslehre* et la *Länderkunde* ou géographie régionale. Il s'ensuit des différenciations entre l'espace occupé par le paysage, « l'espace paysager » (*synergochor*) et ses unités élémentaires spatiales (*Choreose*), « synergétiquement isomorphes » et un paysage élémentaire proprement dit (*Synergose*) (Schmithüsen, 1976 : pp.77). Plusieurs paysages peuvent être regroupés en « systèmes paysagers d'ordre supérieur », les *synergèmes* (*Synergeme*). (voir aussi Schmithüsen, 1964) Le paysage en tant que notion *scientifique* et géographique d'après Schmithüsen, c'est-à-dire en tant que *synergose* ou *unité élémentaire paysagère* est défini de façon suivante : „*forme (physionomie /configuration) d'une partie de la géosphère, saisissable en tant qu'entité de par son caractère d'ensemble*²⁹, *de taille géographiquement pertinente*“ (Schmithüsen, 1963, d'après; Schmithüsen, 1974 :477).

Cette définition du paysage sera dans ses grandes lignes également reprise par Olaf Bastian et Karl-Friedrich Schreiber (Bastian et Schreiber, 1994 :30) qui considèrent le paysage également *comme une « partie de la surface terrestre »* constituant un lieu concret („*Erdstelle*“), ne se limitant cependant pas seulement à la „*Gestalt*“ et l'image extérieure, mais se caractérisant également par des *interactions fonctionnelles et processuelles* et des *relations spatiales extérieures et intérieures*.

Cela traduit que la notion de « „*Landschaft*“ est considérée en géographie (physique) et en écologie du paysage souvent sous un angle systémique et dynamique. Dans un dictionnaire de géographie générale allemand (*Wörterbuch Allgemeine Geographie*), quoique admettant douze autres définitions possibles, H. Leser déclare que le « paysage » est défini en géographie comme *écosystème paysager* („*Landschaftsökosystem*“), tandis que la perception du paysage, « l'*impression imagée* » („*bildlicher Eindruck*“) est reléguée au langage familier (Leser, Haas *et al.*, 1997 :438). Selon Aurada le paysage est considéré de manière « duale », étant à la fois le résultat de processus évolutifs différenciés et le support de ces processus, c'est-à-dire l'espace avec une disposition structurelle où ont lieu des processus (Aurada, 1999 :66).³⁰ Le paysage est fréquemment considéré dans cet esprit systémique comme l'addition d'un *espace naturel* („*Naturraum*“) et d'une

²⁹ „*Gestalt eines nach seinem Totalcharakter als Einheit begreifbaren Teiles der Geosphäre von geographisch relevanter Größenordnung*“. Le *Totalcharakter* faisant sans doute référence à ce que désignait A. v. Humboldt comme „*Totalcharakter einer Erdgegend*“.

³⁰ „ [...] *Ausschnitt der Erdoberfläche sowohl [...] strukturell differenziertes Ergebnis seiner prozessgeprägten Entwicklung als auch als prozesstragenden Zustandsraum bestimmter struktureller Disposition.* “

utilisation du sol („Flächennutzung“) (voir figures dans Haase, 1979; Haase, 1991; Neef 1967 d'après Tress et Tress, 2001). Cette subdivision de la *sphère paysagère* en *Naturraum* et *Kulturraum* peut se faire également sous l'appellation de *sphère naturelle* et *sphère anthropique*, pour distinguer une partie matérielle et idéale du paysage (Bastian, Beierkuhnlein *et al.*, 2002:49). La différenciation entre „*Kulturlandschaft*“ et „*Naturlandschaft*“ (paysage culturel et paysage naturel) encore fréquent au temps de la *Landschaftskunde*, est devenue obsolète en ce qui concerne les paysages méditerranéens, comme le soulignent aussi Bastian et Schreiber (Bastian et Schreiber, 1994 :30), mais se trouve parfois encore utilisée pour distinguer les paysages fortement anthropisés des espaces naturels protégés ou « vides d'hommes ».

Roger Brunet constate qu'« *en allemand, l'apparence et le contenu ne se séparent pas bien : le paysage et l'espace se confondent dans Landschaft* » (Brunet, Feras *et al.*, 1992 :374), en accord avec Schmithüsen (Schmithüsen, 1963; d'après Schmithüsen, 1974 :478) qui remarque qu'en français la différence entre *pays* et *paysage* permet de mieux conserver la différence entre un espace („*Raum*“) bien délimité et un paysage. Pour désigner un pays avec des paysages typiques on peut également le qualifier de *Landschaftsraum* (incorrectement traduit comme *espace paysager*), le paysage peint correspond en allemand plutôt au *Landschaftsbild* (Schmithüsen, 1963; d'après Schmithüsen, 1974 :489).

Enfin, les discussions scientifiques autour du terme *Landschaft* ont été amplement menées et perdurent même si cet objet est aujourd'hui le plus souvent relégué à l'écologie du paysage. Certains auteurs tendent à intégrer davantage les aspects sociaux. Bärbel et Günther Tress (Tress et Tress, 2001) plaident pour une approche transdisciplinaire du paysage (Zonneveld, 1983; Naveh et Lieberman, 1994), intégrant explicitement la noosphère en élargissant l'approche du paysage par rapport aux conceptions plus naturalistes (voir Forman et Godron, 1986; et Leser, 1997a), largement prépondérantes dans la géographie germanophone et *Landschaftslehre* du XX^{ème} siècle.

Landscape

Le dictionnaire anglais de Samuel Johnson (Olwig, 2009) de 1755 propose deux sens distincts au *landscape* : d'une part le paysage considéré en tant qu'unité territoriale, “*a region, prospect of a country* », d'autre part la représentation picturale d'une partie d'un espace, « *a picture, representing an extent of space, with various objects in it.* ” (Olwig, 2009 :240). C'est le premier sens, à travers l'ancien terme de « *landscipe* » qui est considéré comme plus ancien (Olwig, 2009), comme dans les pays germanophones. La connotation visuelle et esthétique du paysage en anglais est le plus souvent qualifié de *scenery* (Naveh et Lieberman, 1994 :1).

Carl O. Sauer considère que le terme *landscape* trouve son équivalent dans le *Landschaft* allemand. “*Landscape is the English equivalent of the term German Geographers are using largely, and strictly has the same meaning: a land shape, in which the process of shaping is by no means thought of as simply physical. It may be defined, therefore, as an area made up of distinct associations of forms, both physical and cultural.*” (Sauer 1925 in: Wiens, 2006; Sauer 1963 :321 d'après Wylie, 2007). Le régionaliste Sauer conçoit le paysage dans son article fondamental “*The morphology of landscape*” en 1925 comme le “*unit concept of geography*” (Sauer 1925 in : Wiens, 2006 :43) et l'estime équivalent aux termes “*area*” et “*region*”. La vision holistique du paysage fondatrice de l'école de Berkeley, se caractérisait également par une distinction des paysage

culturel et naturel, mettant fin au déterminisme naturel, tout en focalisant sur les formes et en négligeant davantage les processus (Spedding, 2003 :291).

Cette vision du *landscape*, proche des conceptions répandues sur le continent européen notamment dans la première moitié du XX^{ème} siècle, s'oppose en revanche à la vision de la géographie culturelle anglaise (Olwig, 2009), développée notamment à partir des années 1970. Le terme de *landscape* constitue dans la *cultural geography* un concept fondamental et se rapporte davantage aux "*representational practices*" (Morin, 2009 :287), les interprétations et représentations sociales du monde environnant les hommes.

La définition en anglais élaborée par Landscape Europe, un réseau d'instituts de recherche d'origine néerlandaise, et proposée par Dirk Wascher, mérite d'être mentionnée. "*Landscapes are spatially defined units, whose character and functions are defined by the complex and region-specific interaction of natural processes with human activities that are driven by economic, social and environmental forces and values.*" (définition de « Landscape Europe » 2001 d'après Wascher, 2004 :234). La prise en compte, simultanée, d'aspects objectifs et subjectifs, visuels et territoriaux, matériels et intellectuels est également revendiquée par son compatriote Han Lörzing (Lörzing, 2001).

Évidemment les définitions géographiques diffèrent de la vision plus naturaliste de certains écologues du paysage, notamment anglophones et germanophones (voir Tress et Tress, 2001 mentionnée dans le paragraphe "Landschaft " ci-dessus). Elle se reflète dans la définition suivante : "*Landscape as a heterogeneous land area composed of clusters of interacting ecosystems is repeated in similar form throughout*" (Forman & Gordon, 1986 in Farina, 2000:12).

Le paysage

En comparant les définitions précédentes avec celles données au *paysage* en langue française, le regard semble plus souvent être une composante indispensable à la définition du paysage, comme le soulignent aussi Rougerie et Beroutchachvili : « *le « paysage » français, dans l'usage habituel, se caractérise surtout par un aspect visuel.* » (Rougerie et Beroutchachvili, 1991 :9). La physionomie du paysage, l'aspect global visible, quoique résultat d'une production conjointe par l'homme et la nature reste l'élément dominant de nombreuses définitions. Cela s'illustre parfaitement par les définitions suivantes : « *le paysage c'est lorsque la subjectivité d'un regard croise la matérialité d'un territoire* » (Métailié et Bertrand, 2006 :84), ou « *un pays « donné à voir* » (Filleron, 2005 :3). Jean-Claude Wieber suggère qu'entre le *paysage de production* (physique) et le *paysage perçu*, deux sous-systèmes interdépendants du système *paysage*, doit se situer un troisième : le *paysage visible* (Wieber in : Wieber, 1985; Wieber in : Roger, 1995 :185).

Se pose aussi le problème des limites d'un paysage « *localisé par l'origine d'un regard que limite l'horizon* » (Berque, 1993 :197): elles dépendent du point de vue, autant dans le paysage réel que de celui de la construction intellectuelle des scientifiques. On ne reviendra pas sur les nombreuses façons de définir le *paysage* dans les travaux français de géographie (voir travaux d'études non publiés, Müller, 2003; Müller, 2004 :19-21), ni sur les « *disqualifications réciproques* » (Filleron, 1998b) qui marquent parfois le discours. Si on est d'avis qu'*il n'est de paysage que perçu* (Brunet, Dollfus et al. 1990 d'après Berque, 1992) on pourra reprocher à l'auteur de réduire

l'analyse du paysage ici au « *sens restreint de dispositif naturel* ». Ce n'est pas pour autant confondre « *le paysage et les objets matériels qui le composent* » (Brunet, Feras *et al.*, 1992), critique émise notamment par rapport à la *landschaftovedenie* (Brunet, Feras *et al.*, 1992; Berque, 1993). Comme le suggère le système établi par Wieber et Brossard (Brossard et Wieber, 1984; Wieber, 1985), la compréhension du système de production du paysage et de ses composantes abiotiques, biotiques et anthropiques est une démarche parmi d'autres, conditionnée par les filtres de perception du chercheur géographe physicien ou naturaliste. Ainsi le filtre appliqué à son analyse, celui de la description des enveloppes et composantes matérielles qui le composent est un choix volontaire.

En retenant seulement l'approche qui nous semble pertinente pour cette étude, le paysage sera considéré avant tout comme une « *portion d'espace matériel* » (Bertrand, 1972 :131), comme « *nature-objet, existant indépendamment de l'observation* » (Bertrand, 1978:247). Cette vision « naturaliste » du paysage est partagée par de nombreux géoécologues et physiogéographes, sans exclure que ce même paysage peut être aussi appelé « *nature-sujet* » (Bertrand, 1978) et faire l'objet d'approches scientifiques davantage centrées sur les aspects sensibles, culturels et sociaux du paysage. Le paysage étudié sera celui des éléments physiques, vivants et artificiels associés en un lieu et visibles. On ne tiendra pas compte des représentations subjectives ou de la dimension culturelle de la nature, sans pour autant nier leur existence.

Enfin, le paysage « *permet d'appréhender (...) le contact vécu de l'homme et du milieu* » (Ciattoni et Veyret, 2007 :75) et c'est cette dimension temporelle, à la fois passée et présente qui procure au paysage un intérêt pour la recherche. Le paysage se présente comme « *le reflet de nos choix de société, des décisions politiques, administratives, des pressions économiques, des possibilités techniques, des données naturelles comme des initiatives individuelles et la représentations que chacun en a.* »(Ciattoni et Veyret, 2007 :75). Même s'il ne peut pas immédiatement traduire les changements socioéconomiques les plus récents on peut y lire une partie des traces du passé, au moins celles qui ne se sont pas encore estompées sous la pression du temps à la fois biologique, anthropique et physique.

1.2.2.4. Un premier essai de synthèse concernant le paysage et sa diversité

La diversité paysagère croquée, photographiée et cartographiée

En dépit des multiples définitions, parfois contradictoires du *Landschaft* des géographes allemands, du *landscape* des géographes anglophones et du *paysage* des géographes français il apparaît qu'on retrouve le plus souvent des dénominateurs communs faisant référence à l'apparence, la *Gestalt*, ou la *physionomy*. Il semble alors que l'importance que les géographes du XIXème et de la première moitié du XXème siècle attachaient au paysage est issue aussi du fait que le regard de l'observateur sur le caractère multiforme du paysage permettait de saisir un grand nombre d'informations d'un seul « coup d'œil ». Dans le paysage, les relations entre hommes et milieux apparaissent saisissables tandis que sur la carte, plus objective, on généralise quelques phénomènes sans pouvoir reproduire la richesse des impressions vécus *in situ*. Pour une science

descriptive telle que la géographie et avant l'ère des images issues de la télédétection, carte et paysage semblaient alors se compléter.

Par l'introduction des photos aériennes (donc de la télédétection) pour caractériser certains traits (écologiques) du paysage, Carl Troll, plus tard considéré comme le fondateur de l'écologie du paysage paraît avoir annoncé la fin du croquis descriptif de l'ère de De Martonne. Le regard d'aplomb sur la surface terrestre à travers l'objectif de l'appareil photo semblait ainsi diminuer l'écart séparant la subjectivité d'une scène paysagère de l'objectivité apparente d'une carte. Les objets identifiés sur les images aériennes ont pu être confondus plus facilement et probablement à tort avec les paysages. Dans le souci d'élargir la vision du microcosme biologique à l'échelle du regard des hommes et des régions, on pourrait croire que les paysages étaient pour les écologues plus faciles à délimiter que des écosystèmes. En invoquant le paysage dans une approche écologique on semble conférer à l'écosystème un caractère spatial et anthropisé. Les unités cartographiées à partir d'une photographie aérienne sont devenues synonymes de paysages également pour un grand nombre de géographes. En cartographiant, classant, généralisant des phénomènes de la géosphère sans s'appuyer sur une définition claire du paysage, la confusion entre l'unité paysagère cartographiée et le paysage en tant qu'ensemble d'éléments disparates en interaction est probable.

Le problème essentiel dans l'étude de la diversité paysagère se pose non seulement dans la définition unique ou univoque du terme de *paysage* mais en fin de compte aussi dans la cartographie de celui-ci. L'essai de figer ou quantifier spatialement le paysage ôtera toujours la subjectivité du regard. Tandis qu'un paysage observé ou même la photographie d'un paysage relève d'une multitude d'informations qui seront analysées par l'observateur selon des filtres divers, la généralisation d'une carte paysagère tend à réduire les informations au point qu'une légende est particulièrement délicate à construire. Une carte du paysage ou des paysages ne doit pas se confondre avec une carte de l'occupation du sol relativement facile à établir par la classification d'images satellitaires. La cartographie des paysages ne se passera pas de la prise en compte des réalités du terrain et nécessite l'intégration d'une multitude d'aspects, dépassant le spectral, la formation végétale ou la topographie.

Pour cette même raison les unités cartographiées soumises à la discussion de la diversité paysagère du massif du Madres-Coronat ne porteront pas le nom de paysages. Les paysages du Madres-Coronat sont issus d'une composition d'éléments - si on veut : de milieux - qui attribuent un certain caractère aux paysages du massif. Des différents points de vue qu'on pourrait être amené à prendre lors d'un parcours sur ce terrain de montagne, plusieurs « milieux » composeront un même paysage et ses milieux cartographiés par les images aériennes porteront alors le nom de « géon ». Un « géon » n'est pas un paysage mais pourra être considéré comme une composante de celui-ci, une unité élémentaire et cartographique, donc par définition généralisée et simplifiée d'un ensemble qu'on pourra apprécier sur place comme un aspect du paysage, un paysage ou le paysage.

Diversité paysagère, Landschaftsdiversität et landscape diversity - atouts et limites d'une notion « grand public »

La diversité paysagère apparaît ainsi d'un côté comme une notion assez précise, notamment dans les écrits des auteurs issus de l'écologie du paysage, quoique essentiellement anglophones et

germanophones et d'autre côté comme un terme assez flou utilisé de façon peu précise pour désigner une certaine hétérogénéité visible dans le paysage sans faire appel à une discipline en particulier. Il est toutefois remarquable que l'utilisation n'ait laissé davantage de traces, notamment au sein de la géographie française pourtant intéressée par les questions paysagères.

Dans la pratique des écologues du paysage et des géographes proches de cette nouvelle discipline, la diversité paysagère est par ailleurs abordée dans le contexte des *indices paysagers* (*Landschaftsindizes, landscape metrics*). L'essor des indices paysagers se référant à la diversité paysagère se fonde sur une (supposée) relation entre la richesse paysagère visuelle (incluant la variété visible sur les photos aériennes) et la diversité fonctionnelle au sens écologique (Lausch, 1998). La mise en relation des données terrestres sur la diversité spécifique avec les indices issus de la télédétection par les SIG n'est pourtant pas encore tant exploitée (voir par exemple Ivits et Koch, 2003), puisque, dans bien des cas le travail de terrain semble se limiter aux « vérifications sur le terrain » après analyse sur l'écran. On peut noter aussi que la *diversité paysagère* se limite parfois exclusivement aux indices de diversité appliqués aux unités paysagères cartographiées, comme l'illustre bien le rapport « *From Land Cover to Landscape Diversity in the European Union* » (European Commission / E.E.A., 2000).

On peut, pour résumer, considérer que les différences entre la *diversité paysagère* et les traductions correspondantes de *Landschaftsdiversität* et *landscape diversity* sont moins importantes d'une langue à l'autre que d'un champ disciplinaire à l'autre. Même si les notions de *Landschaft*, *landscape* et *paysage* relèvent d'un contexte sémantique propre il n'est point nécessaire de souligner une fois de plus la polysémie de la notion de « paysage » au sein d'une même communauté parlant la même langue (Rougerie et Beroutchachvili, 1991). Que les uns reprochent aux autres de ne pas traiter le paysage comme un objet scientifique, ou que les autres accusent les premiers d'omettre la subjectivité du regard, cela nous intéresse dans la mesure où la diversité paysagère en tant que notion doit satisfaire le plus grand nombre d'amateurs et de professionnels des camps disparates s'intéressant au paysage.

Les avantages de la notion de *diversité paysagère* par rapport à la *géodiversité* se résument ainsi en deux points essentiels. Tout d'abord le *paysage* constitue une notion d'une grande popularité, utilisée et conceptualisée par un grand nombre d'auteurs et acteurs de disciplines différentes (aménageurs, urbanistes, historiens, sociologues, architectes, écologues, paysagistes, géographes, archéologues, etc.). En outre, la *diversité paysagère* semble se distinguer de la *géodiversité* par une clarté apparente, quoique toute relative : c'est bien à la diversité du ou des paysages qu'on se réfère. On ne constate là, en soi, pas l'ambiguïté dont témoigne la confusion semée par le préfixe « géo - » du terme de géodiversité, qui même en faisant clairement référence à la terre sera rattaché parfois à la géologie, parfois à la géographie.

Cependant le caractère populaire et polysémique de la notion de paysage, engendrant une pluralité d'approches portant souvent à confusion constitue le désavantage essentiel de l'utilisation du terme de diversité paysagère, du moins dans les études francophones de géographie. L'opportunité de transdisciplinarité qui semble offerte par l'emploi du terme *paysage* constitue en même temps un problème essentiel pour la réalisation d'une étude de la diversité paysagère. Car « [...] fonder rationnellement l'embranchement du point de vue physique et du point de vue phénoménal sur le monde, sans les confondre » (Berque, 1993 :197), semble un exercice toujours aussi délicat.

Comment étudier une diversité qui est, selon Georges Bertrand (Bertrand, 1968 :249) à la fois « sociale et naturelle, subjective et objective, production matérielle et culturelle, réelle et symbolique » ? Un choix semble indispensable, tant que le « comment » de l'embrayage demeure irréalisable.

Pour respecter les différentes visions que les géographes peuvent avoir du paysage même si une conciliation totale semble impossible, il est nécessaire de préciser que la diversité paysagère sera étudiée ici dans la mesure où on tiendra compte de son aspect « matériel », composé d'objets visibles. Il s'agit donc d'une étude volontairement partielle de la diversité paysagère. Sera étudié ce qui relève des compétences disciplinaires de l'auteur, la diversité paysagère du paysage-objet ou du sous-système producteur (Wieber, 1985), donc la diversité matérielle des objets qui composent le paysage.

Comme remarquent Rachel Spichiger et Jérémie Forney (Spichiger et Forney, 2005 :55), « l'étiquette paysage est ajoutée à de nombreuses mesures ou objectifs qui sont d'ordre écologique et non paysager. La principale conséquence de cette confusion générale est que les aspects paysagers, c'est-à-dire dépendants d'un regard, ont tendance à s'effacer au profit des considérations liées à la protection de la nature ». Afin d'éviter cette confusion, et de rendre compte du caractère de cette étude considérant la diversité paysagère nous préférons le terme de géodiversité pour rendre compte d'une étude de la diversité spatiale, se matérialisant par la distribution d'objets concrets dans l'espace³¹.

La diversité paysagère : diversité chorologique ?

Le caractère spatial du paysage attribue à la diversité paysagère une propriété qui permet de la localiser. En cela elle se rapproche de ce que nous appellerons une diversité spatiale ou **diversité chorologique**. La diversité chorologique (du grec « χωρα », *khóra* ou pays, lieu, espace, endroit) pourrait être comprise comme une diversité spatiale ou encore comme une diversité des lieux, une diversité du pays. La diversité spatiale co-crée par l'homme et la « nature » se manifeste certes dans la diversité paysagère, mais la diversité paysagère ne se limite pas à la diversité spatiale de la composition des objets qui constituent le paysage matériel. Si on restreint le caractère spatial au sens d'*espace géographique*, la diversité ne se réduit pas à la distribution du visible (Brunet, Feras *et al.*, 1992 :194), elle n'est pas forcément d'ordre matériel.

Le qualificatif « paysager » se trouve être imprécis et le plus souvent inappropriée dans cette étude qui, elle, se limite à la partie matérielle du paysage, quoique réalisée à l'aide d'un regard, celui du géographe. Tous les aspects paysagers, notamment esthétiques ne seront pas pris en compte. Puisqu'il s'agit d'une étude de la diversité spatiale, c'est une forme de diversité géographique qui sera étudiée. Ce qui nous amène à nous interroger sur la géodiversité.

³¹ « espace » compris ici au sens large, et non en tant qu'espace géographique.

1.2.3. Les « géodiversités » : géodiversité, *geodiversity* et *Geodiversität* considérées différemment

Conceptions plurielles de la « géodiversité »

En premier lieu il s'agit d'introduire différentes conceptions de la géodiversité telles qu'elles ressortent des sources bibliographiques. Comme annoncé ci-dessus (chap. 1.2.1.2), une vision restreinte « lithologique » s'oppose à une vision plus globale de la géodiversité. Les sources, encore peu nombreuses, présentent cependant des facettes différentes de ces visions opposées. Seront écartées de la discussion certaines sources mentionnant la « Geodiversität/*geodiversity*/géodiversité » dans un autre contexte que celui d'une richesse géographique au sens large, une diversité matérielle dans le monde physique, une diversité minérale, géologique ou géomorphologique, une diversité physiogéographique ou géosystémique ou la diversité géographique véritablement géographique³². Seront écartées aussi dans notre cas aussi les interprétations esthétiques de la géodiversité dont on pourra retrouver des traces dans les ouvrages d'architecture du paysage.

1.2.3.1. Geodiversity

Geodiversity - une interprétation anglophone exclusivement abiotique ?

Aujourd'hui, une interprétation très répandue de la géodiversité est, contrairement à celle retenue pour cette étude celle, très populaire, d'une diversité des roches et minéraux, se présentant souvent comme adversaire de la diversité spécifique associée au monde du vivant. Cette *geodiversity* « lithologique » est, notamment en Angleterre et en Australie une notion courante dans la géoconservation (voir Burek et Prosser, 2008b) et se retrouve dans les textes normatifs sur la protection de l'environnement (Eberhard, 1997; Australian Heritage Commission, 2002; International Association of Geomorphologists, 2004; Burek et Prosser, 2008a; Joint Nature Conservation Committee, 2009) . Le gouvernement anglais lancera prochainement un « plan d'action pour la géodiversité » (UK Geodiversity Action Plan : UKGAP) destiné à influencer favorablement la géoconservation.

Murray Gray, géomorphologue à l'Université Queen Mary de Londres, livre en 2008 (Gray, 2008) une synthèse de l'origine et de l'évolution du « concept » de *geodiversity* - dans son interprétation géologique et géomorphologique - et revendique en même temps d'élever ce concept au rang d'un paradigme (Gray, 2008 :34). Il présente la géodiversité comme l'équivalent abiotique de la biodiversité. L'auteur du seul ouvrage adoptant jusqu'à présent le titre de « *geodiversity* » (« *Geodiversity: Valuing and Conserving Abiotic Nature* », (« *Geodiversity: Valuing and Conserving Abiotic Nature* »; Gray, 2003) a le mérite de discuter l'avènement du terme dans le monde anglo-

³² Effectivement on trouve d'autres exemples de « géodiversité » pour ne citer que Gordon V. Smith et Russell L. Parr (« Intellectual Property », éd. 2005, p.396) qui évoquent la géodiversité parmi les facteurs influençant les risques de « l'exploitation » économique . Ainsi la géodiversité est illustrée là par l'exemple d'un risque plus élevé pour le propriétaire d'un seul restaurant fast food par rapport à un propriétaire de plusieurs restaurants de fast food en raison des conditions économiques locales susceptibles de changer rapidement.

saxon (Gray, 2008) et de consacrer ce livre au cadre théorique du concept (Gray, 2003). Gray souligne que l'emploi du terme de *geodiversity* a débuté dans les années 1990 et a été utilisé par des géologues et géomorphologues, soucieux d'intégrer les fondements abiotiques de la diversité dans la conservation de la nature (Gray, 2003 :5). Issu d'une « geomorphic diversity » ou « landform diversity » proposé par le forestier tasman Kevin Kiernan (Kiernan 1991 d'après Gray, 2008), le terme de géodiversité a été pour la première fois utilisé par C. Sharples de la Commission forestière de Tasmanie (Forestry Tasmania) en 1993 et défini comme « *diversity of Earth features and systems* » (Sharples, 1993 d'après Burek, 2008 :147; Gray, 2008) ou « *diversity of earth's physical features and processes* » (Sharples, 1995), définition simplifiée par Prosser, qui la qualifie de « *diversité géologique ou variété des roches, fossiles, minéraux et processus naturels.*»³³ (Prosser 2002 d'après Burek, 2008 :147). La définition donnée par Gray (Gray 2004:8 d'après Gray, 2008:31) reproduit essentiellement la définition donnée par la Charte de conservation de l'*Australian Heritage Commission* en 1996, mise à jour et rendue publique en 2002: "*Geodiversity means the natural range (diversity) of geological (bedrock), geomorphological (landform) and soil features, assemblages, systems and processes. Geodiversity includes evidence of the past life, ecosystems and environments in the history of the earth as well as a range of atmospheric, hydrological and biological processes currently acting on rocks, landforms and soils.*" (Australian Heritage Commission, 2002 :9). On peut noter que l'inclusion du sol dans la partie abiotique ainsi que l'inclusion des processus biologiques agissant sur la morphologie du relief pose un problème quant à la division entre le biotique et l'abiotique.

Un exemple d'application concrète de la notion est la classification de la géodiversité à l'échelle régionale présentée pour la péninsule ibérique par Benito-Calvo et al. (Benito-Calvo, Pérez-González et al., 2009). La *carte de géodiversité* présentée, établie à partir de données géomorphologiques, géologiques et climatiques est issue de la superposition et du recoupement de ces données, comprenant quatorze unités géologiques, dix unités morphométriques et cinq unités morphoclimatiques. Cette démarche a débouché sur une carte avec 419 classes, la géodiversité ayant été évaluée par l'application d'indices paysagers (*landscape metrics*) de diversité, à savoir les indices de diversité de Shannon et Simpson ainsi que l'indice « patch richness ». Les résultats indiquent entre autre une géodiversité « abiotique » généralement plus forte en zone de montagne, ce qui ne surprendra que peu.

Lors d'une conférence de l'association internationale de géomorphologie en 1999, Xavier Da Silva (Xavier Da Silva, 1999) a donné une définition plus souple car se fondant sur le terme d'environnement qui n'exclut a priori pas les composantes biologiques : "*geodiversity is the expression of the variability of environmental characteristics found in a geographic area*". Dans une perspective de classification géomorphologique d'une région géographique il propose de rendre opérationnelle cette définition en mesurant la géodiversité par l'utilisation des techniques de « *geoprocessing* » se fondant sur des bases de données spatialisées à informations environnementales diverses. Il propose des indices de géodiversité pour les formes du relief, qui permettront de les comparer, voire de les corrélés à d'autres indices, concernant par exemple le sol et la végétation. Ainsi les indices « spécifiques de géodiversité » se référant au sol, à la géologie, à la végétation et au relief permettent de classer les différentes formes du relief selon leur

³³ Traduction de „*geological diversity or variety of rocks, minerals and natural processes*“

« géodiversité multiple ». Dans le cas amazonien décrit en 1999 (Xavier Da Silva, 1999) les plaines alluviales se caractérisent par la plus grande géodiversité à l'opposé des « ridges » et interfluves faiblement drainés avec une géodiversité minimale. La définition proposée par Da Silva présente incontestablement un avantage par rapport aux définitions proposées par Gray et Eberhard. Da Silva qualifie sa définition de « pragmatique » et « robuste ». En recherchant des indices pour caractériser l'interrelation entre biodiversité et géodiversité, *“between the overall characteristics of a specific environment - geodiversity - and the variability of its biological components, i.e. its biodiversity”* il propose que la mesure tienne compte d'un inventaire de caractéristiques pas seulement abiotiques : *“ In effect, to measure the geodiversity of an area consists, essentially, in executing a careful territorial inventory of its prevailing physical, biotic and socio-economical characteristics.”* (Xavier Da Silva et Mendes de Carvalho-Filho, 2004). Dans l'étude de 2004 sera aussi pris en compte l'utilisation du sol.

Geodiversity - au sens large

D'autres conceptions que le sens restreint de *diversité lithologique* de la géodiversité peuvent émaner du préfixe « géo - ». L'intitulé de la thèse de doctorat de Pauli Tapani Karjalainen, géographe spécialisé en géographie sociale, professeur à l'Université de Oulu (Finlande) prouve qu'elles existent ailleurs dans le monde et non seulement en France. Cette thèse de 1986 s'intitule : *Geodiversity as A Lived World: On the Geography of Existence* » et souligne le champ de recherche du Professeur Karjalainen reliant les relations spatiotemporelles des individus aux champs philosophiques de l'existentialisme et de la phénoménologie (Karjalainen, 1986).

Bien avant la thèse de Karjalainen, Preston E. James, célèbre géographe américain qui s'inspirait au début de sa carrière des conceptions du paysage des géographes diffusées en Amérique par O. Sauer semble avoir utilisé le terme de geodiversity au sens large. Ceci constitue la première source écrite mentionnant la « geodiversity » identifiée au cours de cette recherche. Horacio Capel résume ainsi son propos: *« James insists that **geography deals with the differences in the earth's surface (geodiversity)** and investigates "what things are combined in different places to produce the complex characteristics of the world's landscape" »* (Capel, 1989, se fondant sur James, 1972). Un compte rendu de lecture de Ernst Neef (en allemand) concernant ce même ouvrage de Preston James « All possible worlds » (James, 1972), récapitule: *« Il lui importe de démontrer comment ont évolué au cours des millénaires les conceptions (représentations) intellectuelles de la „geodiversity“, ces aspects différents (phénomènes multiformes) de la surface terrestre. »* (Neef, 1976:49)³⁴. L'approche de Preston James de la géographie globale se caractérise par trois entrées: l'*ecosystem* résultant des processus biotiques et physiques, l'*habitat* de l'homme où les processus biotiques et physiques se voient modifiées, et les *regions* où les habitats se trouvent regroupés par des attributs culturels, socio-économiques et politiques semblables (James, 1971 :355). La diversité des aspects terrestres et la prise en compte des composantes biotiques, physiques et socioculturelles incluant les filtres de la perception semblent ainsi très proches d'une interprétation large de la géodiversité défendue dans le cadre de cette

³⁴ „Ihm kommt es darauf zu zeigen, wie sich im Laufe von Jahrtausenden die geistigen Vorstellungen von „geodiversity“, den unterschiedlichen Erscheinungsformen der Erdoberfläche, entwickelt haben“.

étude. Cette interprétation de la géodiversité par un adepte de la « nouvelle géographie » s'oppose ainsi très clairement aux visions plus restreintes de la géodiversité en tant que « diversité des milieux géologiques et physiques », développées deux décennies plus tard par un certain nombre d'auteurs anglophones et germanophones.

1.2.3.2. *Geodiversität*

Sous sa forme allemande, la *Geodiversität* apparaît assez tôt dans la littérature des physiogéographes et écologues du paysage (Leser, 1994). Communément, les dictionnaires et encyclopédies géographiques (Leser, Haas *et al.*, 1997; Brunotte, Gebhardt *et al.*, 2002) allemands désignent par *géodiversité* (*Geodiversität*) la diversité des systèmes abiotiques (Leser, Haas *et al.*, 1997 :251) ou la « *richesse des conditions environnementales abiotiques et structures spatiales* » (Brunotte, Gebhardt *et al.*, 2002 :13 (vol.2))³⁵. Malgré cette dernière définition un peu ambiguë (les structures spatiales abiotiques ou les structures spatiales tout court ?), la considération *abiotique* de la géodiversité domine la plupart des sources bibliographiques en allemand. Conformément aux travaux de Hartmut Leser à ce sujet (Leser, 1994; Leser, 1997b; Leser et Nagel, 1998), Eckhard Jedicke a défini la géodiversité comme la „*variabilité des composantes abiotiques*“³⁶, en considérant de façon équilibré des „géofacteurs“ comme le relief, la roche, le sol, les eaux souterraines et superficielles ainsi que l'atmosphère (Jedicke, 2001 :60). Comme Leser, Jedicke regroupe bio- et géodiversité dans un troisième terme prenant en compte les facteurs culturels. Contrairement à Leser il l'intitule cependant *écodiversité* (*Ökodiversität*) (Jedicke, 2001), inspiré probablement par Naveh (Naveh, 1994b) et non par la *diversité écologique du paysage* (*Landschaftsökodiversität*) selon Leser (Leser, 1997b; Leser, Haas *et al.*, 1997) (cf. chap.1.2.2.2).

Des exemples d'une utilisation plus globale du terme *Geodiversität* en langue allemande n'ont pas été rencontrés ; le sens « abiotique » du terme semble donc généralement admis³⁷. Selon les conceptions décrites ci-dessus, l'*écodiversité du paysage* (*Landschaftsökodiversität*) (Leser, 1997b) ou *écodiversité* (*Ökodiversität / ecodiversity*) (Naveh, 1994b; Jedicke, 2001), se rapproche cependant d'une conception globale de la diversité qui demeure proche de la géodiversité considérée ici : la diversité « visible dans le paysage » évoqué par l'*écodiversité* tient compte de facteurs biologiques, physiques et anthropiques et se différencie de la *géodiversité au sens large* « seulement » par le fait de se référer à l'écosystème et non au géosystème. Cette dernière caractéristique aura cependant été une raison suffisante pour ne pas avoir retenu l'*écodiversité* comme thème de cette thèse de géographie. En même temps, l'apparente absence d'une conception large de la géodiversité dans la communauté scientifique germanophone pose problème quant à l'utilisation du terme en allemand où l'on préférera le terme de *Landschaftsdiversität* pour parler de la diversité à la fois abiotiques, biotiques et anthropique.

³⁵ „*Vielfalt der abiotischen Umweltbedingungen und räumlichen Strukturen* .“

³⁶ „[...]die Variabilität von physiogenen (abiotischen) Bestandteilen in ökologischen Systemen unterschiedlicher Größenordnungen. Betrachtet werden als Kompartimente die Geofaktoren Relief, Gestein, Boden, Grund- und Oberflächenwasser sowie Atmosphäre in einander möglichst gleichrangiger Form sowie als räumlich-funktionale Beziehungssysteme Physiotope und - gemeinsam mit der Biodiversitätsforschung- Ökosysteme.“

³⁷ Cela implique certaines difficultés pour une traduction en allemand du concept de « géodiversité » présenté dans le présent ouvrage. Une traduction (plutôt « Rückübersetzung ») par « *diversité paysagère* » (*Landschaftsdiversität*) sera lors de mise. Cela explique en partie le titre et thème de cette thèse traitant des deux notions à la fois.

1.2.3.3. La géodiversité selon les sources francophones

Il est intéressant de constater que le terme de *géodiversité* (écrit à la française, c'est-à-dire à l'exclusion de la *Geodiversität* en allemand et de *geodiversity* en anglais) était encore très peu présent dans la recherche bibliographique en 2004 et 2005, mais depuis la deuxième partie de la décennie du nouveau millénaire le terme semble « prendre » aussi en France. Les résultats obtenus lors des recherches avec le mot clé « géodiversité » sont en perpétuelle augmentation³⁸. Par ailleurs c'est aujourd'hui la page d'accueil du site Internet de l'Inventaire National du Patrimoine Naturel du Muséum National d'Histoire Naturelle qui figure parmi les premiers résultats si on effectue une recherche du terme par les moteurs de recherche sur la toile³⁹.

Géodiversité = geodiversity ?

Effectivement, le comité scientifique d'orientation du Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN) français lui a assigné une mission scientifique centrale, « *l'inventaire raisonné de la diversité du Monde: biodiversité, géodiversité, anthropodiversité, diversité envisagée dans une perspective dynamique (c'est à dire dans une perspective évolutionniste caractérisant la systématique moderne), en faisant appel à l'arsenal des méthodologies existantes et en s'appropriant celles qui sont en émergence.* » (Comité d'orientation du Muséum National d'Histoire Naturelle, 2001 :4) (Comité d'orientation du Muséum National d'Histoire Naturelle, 2001 :4). La géodiversité dès lors en pleine émergence dans les pays anglophones a trouvé son approbation et appropriation par le MNHN dans un esprit de géoconservation. Il semble alors que le Muséum, première structure officielle à l'utiliser, donne son « feu vert » à l'interprétation lithologique ou géologique de la diversité pour l'ensemble de la communauté scientifique nationale. La conception lithologique de la géodiversité correspond effectivement beaucoup mieux à la fonction muséologique d'inventorisation et de conservation. On note là aussi l'essai de caractériser la diversité par trois aspects principaux de la nature (anthropisée) : le biologique, le minéral et l'anthropique. La superstructure appelée ailleurs *Total Human Ecosystem* ou *Landschafts(öko)diversität* (Naveh, 1994b; Naveh et Lieberman, 1994; Leser, 1997b; Leser, 1997a; Leser et Nagel, 1998) englobant ces trois ensembles est ici tout simplement qualifiée de « diversité du monde ». Cette conception semble alors progressivement prendre de l'ampleur, le site web de la DREAL du Languedoc-Roussillon l'affiche sans pour autant préciser la notion ni les mesures destinées à sa conservation

En ce qui concerne les ouvrages et articles touchant à la géodiversité, les sources francophones sont encore en nombre assez faible. Le plus grand nombre de travaux français dans le domaine géographique ou des sciences de la terre faisant usage du terme de géodiversité l'utilisent en fait dans les articles anglophones et selon une interprétation lithologique s'inscrivant dans les champs disciplinaires de la géologie, de la géomorphologie et/ ou de la géoconservation. Quelques exceptions d'ouvrages en langue française demeurent pourtant, comme en témoigne l'ouvrage «*la*

³⁸ Dans les catalogues, mais surtout sur internet. Par les moteurs de recherche sur Internet on a obtenu le 15 août 2009 33400 pages web en français recensées sur www.google.fr. La géodiversité trouve son propre espace sur «Wikipédia» depuis avril 2009, avec - comme un pouvait s'y attendre - une interprétation géologique du terme

³⁹ www.google.fr

géodiversité en Bretagne» de Max Jonin (Jonin et Graviou, 2008) , de la Société géologique et minéralogique de Bretagne.

La géodiversité « selon les auteurs français »

Si l'on recherche une définition de la géodiversité comprise au sens large en langue française, on constate qu'elles sont toujours rares, contrairement à ce que laisserait penser la définition de Métailié et Bertrand déjà mentionnée, évoquant une version « *selon les auteurs français* » s'étendant aux milieux et paysages (Métailié et Bertrand, 2006).

L'absence d'une conceptualisation bien identifiée est la règle, un « flou artistique » flagrant semble entourer la notion et le plus souvent sa définition doit être interprétée à partir du contexte dans lequel elle apparaît. On peut noter globalement trois domaines de la géographie française qui se sont actuellement familiarisés avec la notion de géodiversité : la géographie rurale et la géographie urbaine, qui se trouvent être assez complémentaires dans leurs approches, ainsi que la « géographie de la conservation » (Pumain, 1999; Grenier, 2000; Pourtier, 2003; Bertrand et Terrasson, 2004; Bertrand, 2005; Pumain, 2005; Mathevet et Poulin, 2006; Frémont, 2009; Mora, 2009, et autres).

Denise Pumain a marqué le terrain avec son éditorial paru dans *Cybergéo* en 1999 : « *Réinventer la géodiversité* », qui ne précisait encore rien, mais qui a inscrit le terme dans le contexte de la mondialisation avec l'appel : la « *géodiversité est toujours à réinventer* » (Pumain, 1999 :2). L'idée s'est précisée lors de la Journée de la population européenne (Pumain, 2005)(2005 :2) : « *Une philosophie commune devrait inspirer les politiques communautaires [...]. Sans adopter un point de vue trop normatif ni conservateur, on voudrait ici rendre attentif à la nécessité de prendre en compte et de continuer à soutenir une véritable **géodiversité urbaine** en Europe, un peu de la même façon que l'on a inscrit des programmes pour maintenir une biodiversité. [...] La première condition d'une politique de **géodiversité urbaine** est de bien connaître les particularités qui caractérisent l'urbanisation européenne, par rapport à celle des autres continents.* » La géodiversité, loin d'être là un concept naturaliste pourrait alors être interprétée comme une véritable diversité géographique, appliquée en l'occurrence aux espaces urbains. Quoique abordant le domaine de la « géoconservation » au sens large, elle s'oppose ainsi à la réduction de la géodiversité liée aux phénomènes géologiques ou géomorphologiques « naturels ».

Armand Frémont parle d'une « *géo/diversité* » en mouvement, « *par référence à la biodiversité, chère aux naturalistes* » (Frémont, 2009), en s'interrogeant sur le futur des espaces ruraux à travers des processus en cours et des scénarios du futur menant à la différenciation des territoires. « *Elle [la géodiversité] est banale en ce qu'elle se trouve aux sources de la géographie depuis des siècles. Elle mérite actuellement une réelle attention parce qu'on peut l'estimer menacée par l'extension des territoires métropolitains avec lesquels les nouvelles ruralités vivent en symbiose.* » En identifiant sur le territoire national quatre principaux processus en cours, une multiplicité des facteurs, notamment l'évolution démographique, la crise énergétique et les besoins alimentaires s'ajoutant à « *la position par rapport aux centres urbains et aux littoraux et la réactivité des acteurs locaux, le dynamisme et les projets des particuliers et des collectivités* » (Frémont, 2009) contribueraient à la différenciation des espace ruraux. Les scénarios quant à

l'évolution future laisseront « *très probablement en place une grande variété de solutions régionales, fondement d'une géo/diversité* » (Frémont, 2009).

Toujours dans le domaine des recherches géographiques sur les espaces ruraux et agricoles, Georges Bertrand évoque la géodiversité en explorant le thème de la « géo-agronomie » (Bertrand, 2005 :25): « *Le nouveau rapprochement qui s'opère autour de la géoagronomie soulève de multiples questions qui nous confrontent à la complexité-diversité des territoires où l'agriculture n'occupe plus une position dominante : une naturalité toujours présente mais moins naturelle, [...] l'émergence du paysage porteur de valeurs essentiellement citadines, l'indispensable dépassement de la biodiversité par la **géodiversité globale du territoire**, [...]* ». Déclarer ainsi la nécessité d'un concept global qui anticipe les limites de la biodiversité ne laisse pas de doute sur les dimensions de la géodiversité : une diversité à la fois physique, biologique et territoriale. L'appel à la convergence entre agronomie et géographie mène Georges Bertrand à inciter à se poser cinq questions portant sur le territoire (Bertrand et Terrasson, 2004 :427) et se structurant autour de la nature, du territoire, du paysage, du géosystème et du temps :

*« La quatrième question porte sur la **biodiversité et la géodiversité territoriales** : à travers les géosystèmes et les jeux d'échelle temporospatiaux. [...] L'écosystème a bien rempli sa mission. Mais l'agronome ne peut en rester là. Il est en permanence confronté à la complexité spatiale et temporelle du territoire : relief, climat, eaux courantes ou stagnantes, sols, qui interfèrent au sein du milieu cultivé. Les éléments abiotiques sont en interaction permanente avec les composantes biotiques et anthropiques. L'agrosystème est un géosystème tronqué et modifié pour produire une récolte. La combinaison entre tous ces éléments change dans le temps et dans l'espace.*

Une conception large de la géodiversité est également annoncée par Roland Pourtier (Pourtier, 2003 :4). En plaidant pour un développement « rurable » dans les pays du Sud, il revendique une démarche systémique « *seule à même de prendre en compte la multiplicité des facteurs qui entrent en jeu et la complexité de leurs interactions* ». La lucidité et la portée de la citation suivante se passent de commentaires supplémentaires :

« La géographie, à l'articulation des sciences de la nature et de la société, est particulièrement appropriée pour une approche globale, intégratrice, s'appuyant sur un spectre disciplinaire largement ouvert de l'écologie à la politique. La nature ne devient ressource que si les sociétés disposent des savoirs et des techniques requis pour leur exploitation, et en fonction des valeurs dont chaque culture est porteuse. [...]

Ce qu'il y a de paradoxal dans les processus actuels de mondialisation responsables d'une réduction de la diversité, liée à la recherche de la productivité et du profit financier - l'agriculture et l'élevage en donnent maints exemples - c'est l'affirmation concomitante d'une nécessaire sauvegarde de la « biodiversité ». Celle-ci, toutefois, est généralement considérée comme relevant d'une autre sphère que celle de la production. Elle participe d'une démarche conservatoire consistant à soustraire de l'activité humaine des espaces protégés destinés à la protection des espèces. L'inquiétude des naturalistes se justifie, certes, par la disparition constatée ou prévisible d'un grand nombre d'espèces animales ou végétales. Pourquoi la même préoccupation ne s'appliquerait-elle pas à la diversité de sociétés humaines et de leurs cultures, à l'ethnodiversité ? Car dans ce domaine aussi l'uniformité est synonyme d'appauvrissement. Un jour l'ennui naquit de l'uniformité...

*En vérité, ce dont traite la géographie, c'est bien de la **géodiversité**. Toute situation géographique résulte d'une combinaison de facteurs multiples, si nombreux que chacune ne peut être qu'unique. L'action humaine, en infléchissant le fonctionnement des milieux naturels et en organisant l'espace social modifie en permanence l'environnement. Impossible probablement de mettre en équation ces dynamiques. Au mieux peut-on distinguer des tendances générales dans les processus d'artificialisation de la nature et de territorialisation, et repérer des régularités dans les modes d'occupation de l'espace. L'infinie diversité de situations est ainsi partiellement résorbée dans des*

typologies rassurantes car elles introduisent un ordre, autorisent les comparaisons, fournissent des repères pour l'action. Le risque est de perdre de vue ce qui fonde la géodiversité et de vouloir appliquer ici des recettes qui ont réussi là, en oubliant la part d'irréductibilité des lieux. (Pourtier, 2003 :2-4)

Enfin, c'est Christophe Grenier qui a le mérite d'avoir clairement défini la géodiversité dont il fait usage. Il a promu une géodiversité toujours dans la lignée de la conservation de la nature, mais selon une approche plus large par une étude minutieuse sur l'impact de l'écotourisme sur les îles Galápagos (« Conservation contre nature. Les îles Galapagos » Grenier, 2000). Menant une « [...] réflexion sur la place de l'homme dans la nature, véritable plaidoyer en faveur de la préservation de la géodiversité » (Préface de Pourtier dans Grenier, 2000 :10) Grenier décrit la géodiversité « comme la somme des lieux terrestres permettant la perpétuation des processus de diversification tant biologiques que culturels par « spéciation géographique », selon un temps naturel ou historique propre à ces lieux et processus. » (Grenier, 2000 :238). Plus tard il précisera que cette géodiversité est définie « comme la biodiversité et la diversité mésologique (relative aux milieux) contenues, en un temps donné, dans des espaces multiscalaires, et rapportées à l'échelle planétaire » (colloque MNHN Grenier, 2006). La géodiversité se présente ainsi comme indubitablement géographique, combinant milieux naturels et vie biologique et tenant compte des influences culturelles. Se référant à un lieu, la géodiversité demeure clairement spatialisée et se trouve être comparée avec d'autres lieux afin d'établir un rapport hiérarchique: certains lieux, régions ou pays « possèdent une géodiversité plus ou moins importante par rapport à leurs homologues et contribuent ainsi plus ou moins à la géodiversité planétaire. » (Grenier, 2006). Il s'agit ainsi d'une diversité appréciée à l'échelle du globe.

La géodiversité a trouvé ainsi son entrée dans la conservation de la nature par une approche géographique, celle de la « géographie de la conservation » (Mathevet, 2007 :24), mobilisant le savoir-faire géographique pour combler le manque de prise en compte des facteurs culturels et socio-économiques. « Le paysage visible, créé par les hommes, vécu comme cadre de vie est pluriel, constitutif du territoire. Ce dernier est un espace produit issu de l'organisation collective de la société et de la nature. Il est porteur d'une culture et d'une biodiversité singulière, celle des nouveaux espaces de conservation qui succèdent à l'ère de la préservation excluante. Les approches de conservation intégrée au développement modèlent de nouveaux espaces portés par la « géodiversité », la superposition de la biodiversité et de la diversité culturelle, ce qui renouvelle le couple mobilisation des ressources renouvelables et usages » (Mathevet et Poulin, 2006 :347). On observe là une définition très proche de notre propos, combinant également les aspects culturels avec les aspects biologiques et faisant référence au paysage.

1.2.4. Essai de (re-) construction d'une notion

L'objectif des chapitres précédents était de confronter un certain nombre d'interprétations de la *diversité paysagère* et de la *géodiversité*, afin de retracer l'utilisation différenciée de ces notions dans un contexte international. En outre cette revue des sources et interprétations doit permettre d'expliquer les choix qui seront faits quant à la conception retenue pour cette étude. Il s'agit avant tout d'une étude géographique, ce qui nécessite de replacer la construction terminologique dans un cadre épistémologique adéquat.

1.2.4.1. Le champ de la géographie : Spécialisation disciplinaire versus définitions globales

Comme le souligne Strohmayer (Strohmayer, 1994) « *Geography almost completely lost sight of the contingent nature of its existence as a separate academic discipline* » [...] *the fascination of geography, its synthetic nature, is at the same time what refuses any easy scientific treatment* » (Strohmayer, 1994:486). La complexité de l'objet géographique échappe à toute approche simpliste. Toujours selon Strohmayer, la géographie souffre d'un problème d'identité, notamment dans la géographie allemande où le phénomène se trouve particulièrement accentué. La spécialisation disciplinaire qui caractérise la géographie contemporaine présente un intérêt pour le développement des méthodes et techniques quantitatives et qualitatives (Gumuchian et Marois, 2000 :19), mais semble parfois aller à l'encontre d'une approche holistique des problématiques environnementales qu'on pourrait lui souhaiter.

Redonner matière aux approches holistiques en géographie présente précisément l'intérêt de travailler sur les notions de *diversité paysagère* et de *géodiversité*. Les nombreux travaux consacrés aux notions de « milieu » et « paysage » (Robic, 1992b; Tissier, 1996) peuvent être également considérés comme des tentatives de freiner la spécialisation disciplinaire (Robic et Mathieu, 2001). Ce « *travail notionnel qui, pour être inabouti, ne manque pas d'intérêt* » (Robic et Mathieu, 2001 :169), témoigne de l'esprit de synthèse des géographes qui se trouvent « *à la charnière entre les sciences naturelles et sciences de l'homme* » (Robic et Mathieu, 2001). S'intéresser à ces deux notions représente une tentative de rompre avec l'étroitesse du champ de vision qui accompagne la spécialisation toujours actuelle au sein de la géographie et plus particulièrement au sein de la géographie physique.

Nous nous intéressons ici à la thématique de la diversité des milieux naturels et des paysages d'un point de vue matériel. La contribution de relevés pédologiques et botaniques amènera à considérer cette étude comme appartenant au champ plutôt « naturaliste » sans omettre pour autant la dimension anthropique. Même si cette étude reste centrée sur milieux naturels, on préfère rattacher cette étude à la **géographie de l'environnement** plutôt qu'à la géographie physique. D'une part, la partie théorique concerne la géographie toute entière et d'autre part le contexte de l'étude ne se limite pas au seul milieu naturel mais concerne une problématique traitant bien des interrelations entre société et environnement. C'est précisément la raison d'être de la géographie de l'environnement qui ne peut pas, moins encore que la géographie physique, se passer de la prise en compte explicite de l'anthropisation.

Ne prétendant cependant pas se situer au-delà d'une certaine formation disciplinaire, ne prétendant pas avoir l'ensemble des compétences requises pour une étude complète, exhaustive, transdisciplinaire et intégrale de la diversité paysagère, nous n'en étudierons ici qu'une partie. Des mesures quantitatives de la diversité paysagère ne semblent à première vue possibles qu'en appréhendant l'aspect matériel des paysages en tant que milieux biophysiques et anthropisés. Or, la diversité des milieux ne peut pas être synonyme de la diversité paysagère, ce qui explique pourquoi les **deux** termes font l'objet de cette recherche sur la diversité.

1.2.4.2. Diversité paysagère ou géodiversité ?

Des interprétations contrastées

Nous avons constaté qu'un certain « flou » accompagnait la notion de *diversité paysagère* en raison des interprétations ambiguës du *paysage*. Un tel flou s'observe aussi lorsqu'on étudie la notion de géodiversité. Il a été également annoté que la diversité paysagère des écologues du paysage, notamment germanophones (Leser, 1994; Leser, 1997b; Leser et Nagel, 1998), se rapproche en fin de compte d'une conception large de la géodiversité qu'on retrouve chez les auteurs français (Grenier, 2000; Pourtier, 2003; Bertrand et Terrasson, 2004; Bertrand, 2005; Grenier, 2006; Mathevet et Poulin, 2006; Métailié et Bertrand, 2006; Mathevet, 2007).

La diversité paysagère, à connotation écologique pour les écologues et écologues du paysage peut être mal comprise notamment en France, où le paysage fait plus souvent référence à la partie visible de la surface terrestre, ne se limitant pas au seul fonctionnement écologique. D'un autre côté, la conception assez restrictive d'une géodiversité associée au monde minéral et essentiellement abiotique, défendue notamment par les géologues, les (géo-) conservateurs anglophones et de plus en plus fréquemment adoptée par les naturalistes français, s'oppose à une vision de la géodiversité à caractère spatial et holistique que l'on retrouve dans diverses sources issues de la géographie francophone. Pour caricaturer, la géodiversité au sens large « des auteurs français » tenant compte de l'anthropisation des milieux et de la diversité du vivant contraste avec une géodiversité réduite à la diversité des sous-systèmes minéraux ou abiotiques, point de vue plus souvent adopté dans les pays anglophones et germanophones.

La diversité paysagère, concept écologique ou « global »

Bien que l'on rencontre le terme de « diversité paysagère » dans un certain nombre de publications les définitions de ce terme restent rares. L'interprétation que l'on fait de la diversité paysagère dépend de l'interprétation que l'on fait du paysage. Le paysage d'un géographe français restera probablement un objet beaucoup plus multiforme que le paysage de l'écologue américain qui, tout en lui attribuant la complexité des écosystèmes qu'il héberge, reste essentiellement une enveloppe spatiale pour les processus écologiques qui s'y déroulent. La position et la définition de la diversité paysagère donnée par un écologue du paysage allemand s'inspirant des fondements physiogéographiques occuperont probablement une position intermédiaire.

Après une prise en compte de nombreuses conceptions du paysage, une réduction simpliste à une unité spatiale aux échelles d'interprétation de la télédétection ne semble pas acceptable. Ainsi, la définition de la diversité paysagère ne peut pas se réduire à la diversité matérielle des composantes du paysage, ni à la mesure des structures visibles par l'analyse d'images satellitaires. Face à une interprétation pragmatique de la diversité paysagère appliquée en écologie du paysage, se réduisant aux mesures spatiales de la mosaïque paysagère (Peters et Goslee, 2001) une conception de la diversité paysagère tenant compte des aspects sociaux demeure une vision presque idéaliste.

En adoptant ici un point de vue « large », potentiellement défendu par la plupart des géographes français du paysage, la diversité paysagère devrait tenir compte, outre sa dimension géoécologique (Leser, 1994; Leser, 1997b; Leser et Nagel, 1998), de la dimension sociale du paysage. Ceci veut dire que, pour être complète, une définition devrait intégrer la diversité du paysage visible, du paysage perçu, des valeurs attribuées au paysage et des représentations. En ce sens, la diversité paysagère reflète le caractère physique intégral et spatial de l'environnement mais elle dispose aussi d'une connotation sociale et culturelle indéniable.

L'intérêt d'une telle interprétation de la diversité paysagère repose dans l'esprit global de l'interprétation proposée. C'est un concept holistique, quoique encore peu formalisé. La diversité paysagère lance le défi de la transdisciplinarité qui permet à une multitude d'acteurs de se retrouver autour d'un objectif commun. Elle engage géographes et chercheurs des champs disciplinaires voisins, à condition toutefois qu'ils partagent une définition commune, afin d'évaluer quelle diversité paysagère on cherchera à favoriser.

En guise de synthèse intermédiaire, on peut retenir dans un premier temps une définition partant d'une caractérisation très simple de ce qu'est un paysage et menant à la façon la plus sommaire de définir la diversité paysagère. Le paysage qui s'offre à la vue est à la fois un paysage matériel, paysage visible et paysage perçu et se caractérise par une certaine diversité (forte ou faible). La diversité paysagère pourra être ainsi défini comme une « diversité s'offrant à la vue ».

L'étude de la diversité paysagère

En respectant le sens large qui caractérise la diversité paysagère se fondant sur une définition multiforme du paysage, on se trouve par ailleurs confronté au problème de faisabilité d'une étude tenant compte de la multiplicité des facettes culturelles, sociales, spatiales, physico-chimiques ou écologiques du paysage. Étudier la diversité paysagère peut passer en conséquence par une multitude d'entrées en fonction des finalités envisagées et confronte le chercheur à la mise en œuvre de sa mesure. Une appréhension complète de la diversité paysagère ne peut pas être chose plus simple qu'une étude intégrale et complète du paysage lui-même, ce qui tend vers l'impossible, même si une telle approche a été ébauchée (Wieber, 1995). Le caractère complexe de la diversité paysagère nécessite très probablement des solutions complexes quant à son étude, dépassant le cadre proposé ici.

Dans la pratique, une étude quantitative de la diversité spatiale s'exprimant dans le paysage nécessite une prise de position, un choix de l'entrée qu'on privilégie pour son étude. La mesure de la diversité paysagère implique dans le cadre présent la réduction de l'étude aux paysages « matériels », qui sont d'une complexité toujours très importante. C'est ainsi qu'il apparaît clairement que l'objet de notre étude empirique (cf. chap. 2, 3 et 4) ne peut pas être vraiment la *diversité paysagère* au sens large, même si celle-ci mériterait bien davantage d'attention, au sens d'un approfondissement épistémologique et d'un développement méthodologique.

Or, ces paysages matériels, qui ne seraient considérés comme des paysages que par un nombre d'auteurs restreint (voir notamment la notion de « Landschaft » et « paysage », chap. 1.2.x) peuvent être considérés aussi comme un assemblage de *milieux* (qualifiés de naturels tout en étant anthropisés). L'avantage de la notion de *milieu* (cf. chap. 1.3.1) consiste à pouvoir écarter de

l'étude empirique la dimension « sensible » du paysage. La recherche d'une définition permettant d'appréhender la diversité spatiale des paysages matériels (des milieux) renvoie, comme le suggère la définition de Métaillé et Bertrand (Métaillé et Bertrand, 2006:33), à la question de la géodiversité.

« Géo -> diversité - visions restreintes et globales

Il apparaît que le terme de **géodiversité** (*geodiversity/ Geodiversität*) est souvent considéré comme une interprétation de la diversité géologique et géomorphologique, autrement dit comme une diversité lithologique, une diversité des composantes inertes, qu'on pourra même qualifier de « pétrodiversité » si on se limite à la diversité des roches (notion emprunté à Beierkuhnlein 2002 :267 in \ (notion emprunté à Beierkuhnlein in Brunotte, Gebhardt *et al.*, 2002 : vol.1, p.267). Cette dernière conception de la géodiversité s'oppose à la diversité du vivant et constitue une réplique des sciences de la terre à la vision « biocentrique » des sciences de la vie⁴⁰. Ce n'est pas au géographe d'en favoriser une plus que l'autre. Aussi, il a été démontré (chap. 1.2.3), que ce n'est pas la seule façon de concevoir la géodiversité. Même s'il n'est alors pas question de s'attaquer à certaines considérations de plus en plus répandues dans de nombreux textes et productions scientifiques, ni de contribuer davantage à la diversité terminologique par une définition supplémentaire portant à confusion, il est cependant important de remarquer que restreindre géodiversité à la diversité du patrimoine géologique relève de certaines faiblesses conceptuelles.

Concernant toutes les interprétations évoquées (chap. 1.2.3), il est indispensable de pouvoir identifier à quelle géodiversité on se réfère. Le préfixe « géo- » est plus ambigu que le préfixe « bio- » de la diversité biologique. Le « géo- » se référant à la terre, ou du moins à la surface terrestre peut être revendiqué au même titre par les géologues, géophysiciens, géographes, géomètres, géoinformaticiens et géomorphologues. La géodiversité peut être ainsi comprise comme une diversité géométrique, géosphérique, géosystémique, géoécologique, géographique, géomorphologique, géologique, géophysique, ... tout en se référant toujours à la terre. *A priori*, aucune de ces interprétations ne peut être rejetée. La compréhension divergente du préfixe « géo- » renvoie à la description de la terre dans un sens large, même si on lui accorde fréquemment un sens lithologique (« géologique ») et minéral plus restreint. Les interprétations contradictoires de la géodiversité⁴¹ relèvent ainsi du même problème que celles de la géosphère et du géosystème : c'est la concurrence éternelle autour du préfixe « géo » entre géographes et géologues, les géomorphologues s'associant le plus souvent à ces derniers. Comme pour le géosystème et la géosphère, on peut ainsi distinguer une vision *large* et une vision *restreinte*, qui ne s'apparente pourtant pas au « sens strict » : dans les trois cas on peut s'étonner que la vision « restreinte », semble être plus récente que l'interprétation initiale du géosystème *sensu lato* (Sočava, 1963; Sočava, 1974), de la géosphère *sensu lato* (Boesch & Carol 1960 d'après Schmithüsen, 1976 :14), ou de la géodiversité *sensu lato* (James, 1972 ?).

⁴⁰ Qu'on n'appellera pas « géocentrique », car l'emploi de « géo- » pourra de nouveau porter à confusion

⁴¹ Il reste à signaler que le même problème existe théoriquement pour l'écodiversité : se réfère-t-on à la diversité écologique, écosystémique ou économique ?

Afin de clarifier de quelle géodiversité on parle, la solution la moins ambiguë consisterait à préciser auxquels des adjectifs énoncés ci-dessus on se réfère. S'agit-il d'une diversité «lithologique» ou globale, d'une diversité géologique/géomorphologique ou géographique, d'une géodiversité au sens restreint ou d'une géodiversité au sens large ?

C'est la conception globale au sens plus large d'une **géodiversité** faisant référence au *géographique* qui sera retenue afin d'étudier la géodiversité, en somme la « *diversité des paysages et milieux* » interprétée à la façon des « *auteurs français* » (Métailié et Bertrand, 2006 :33), mais qui ne se limite pas exceptionnellement) la diversité induite par l'anthropisation. C'est la *géodiversité* conçue au sens large qui se prête à l'étude de la diversité géographique des milieux dits naturels. La géodiversité semble mieux représenter le caractère géographique, explicitement spatial, matériel et fonctionnel de la diversité.

1.2.4.3. Quelle géodiversité globale ?

La géodiversité : diversité géographique ?

La *géodiversité* se référant par son préfixe « géo-» sans aucun doute à la terre peut être revendiquée par les géographes autant que par les géologues. Si on souhaite dépasser ou quitter le cadre d'une diversité « géologique », on peut être tenté d'assimiler la géodiversité à la diversité « géographique ».

Dans les deux cas, la géodiversité aura de toute façon tendance à se distancer de l'écologie qui préfère intuitivement les termes d'écodiversité ou de biodiversité, visions davantage axées sur la vie que sur la terre. Toutefois, une diversité « géographique » par définition davantage centrée sur l'espace et les rapports environnement - société, décrira toujours la diversité de la surface terrestre, mais de façon beaucoup plus large qu'en sciences de la terre. La géodiversité interprétée par des géographes généralistes semble contrairement à la géodiversité « lithologique », se rapprocher davantage de la notion d'espace géographique ou de territoire. En témoigne la « *géodiversité territoriale* » (Bertrand et Terrasson, 2004 :427) aussi appelée « *géodiversité globale territoriale* » (Bertrand, 2005 :25) évoquée par Georges Bertrand.

Avantage ou dilemme, la géographie offre, tout comme le paysage, de très nombreuses entrées, de nombreuses possibilités d'interprétation de la géodiversité « géographique ». Des approches plus centrées sur la géographie humaine ou sur la géographie physique, sur l'urbanisme (Pumain, 1999; Pumain, 2005), sur la géographie rurale (Bertrand et Terrasson, 2004; Bertrand, 2005), ou la géographie de la conservation (Grenier, 2000; Grenier, 2006; Mathevet et Poulin, 2006) pour n'en citer que quelques exemples, permettent d'envisager une multiplicité de méthodes quant à l'étude de la géodiversité. Le sens de géodiversité « géographique » est incontestablement large.

Sans aucun doute c'est une forme de diversité géographique qu'on étudiera ici, car elle décrit la diversité de phénomènes ou d'objets géographiques. Néanmoins, les objets géographiques sont nombreux et l'utilisation du terme *diversité géographique* reste floue et nécessite une précision quant aux objets géographiques décrits.

De manière générale, la géodiversité géographique se fonde donc sur la diversité qu'engendre la variété des relations entre société et environnement au sein de la géosphère, une diversité qui s'exprime dans l'espace. Dans ce sens la diversité qu'on peut décrire à la surface terrestre est également une diversité géosphérique.

La géodiversité : diversité de la géosphère ?

D'après le glossaire de l'Union Géographique Internationale (Meynen, 1985 :364), c'est la réalité de la géosphère qui représente l'objet géographique par excellence⁴². La diversité qui s'exprime dans la géosphère peut être considérée comme diversité géosphérique, proche de la diversité géographique. Considérer la géodiversité comme la diversité relative à la géosphère est à la fois une façon élégante de concevoir une diversité géographique ou chorologique, sans exclure la diversité lithologique, mais pose de nouveau un problème de définition, celle de la géosphère.

On peut distinguer plusieurs façons, dont deux principales d'interpréter la géosphère : au sens restreint, la géosphère se limite aux sphères inertes, excluant notamment la biosphère et la noosphère, tenant ainsi compte, selon les auteurs, de la lithosphère, de l'atmosphère et de l'hydrosphère (Le Moigne, 1990; Huggett, 1995; Leser, Haas *et al.*, 1997) ou seulement de la lithosphère. La *lithosphère* concerne parfois seulement la croûte terrestre, parfois elle inclut manteau et noyau terrestre (Huggett, 1995 :5). Au sens large, retenu ici, la géosphère comprend toutes les sphères abiotiques et biotiques de la *surface* terrestre (Neef, 1967b:10; Blumenstein, Schachtzabel *et al.*, 2000 :23) incluant la noosphère (sphère intellectuelle d'après Schmithüsen, 1976). Cette dernière étant notamment considérée par les manifestations matérielles de la présence humaine. Parfois il s'agit de l'ensemble des sphères terrestres, incluant manteau et noyau terrestres (Bates & Jackson, 1980 d'après Gregory, 2009). Le plus souvent la géosphère est décrite comme une interpénétration de la lithosphère, de la pédosphère, de l'hydrosphère, de l'atmosphère, et de la biosphère, incluant l'homme, parfois décrit à part comme l'anthroposphère. En ce sens la géosphère est l'objet de la recherche géographique, conformément à Schmithüsen (Schmithüsen, 1976). La géosphère peut être considérée alors comme synonyme de la *géocosphère* ou encore la *sphère paysagère* (Vink & Davidson, 1983 d'après Haase, 1991:31; Vink & Davidson, 1983 d'après Gregory, 2009).

Si on considère cependant la géosphère comme opposée à la biosphère⁴³ la géodiversité devient diversité lithologique, géologique et géomorphologique et elle concerne donc seulement l'abiotique ou le minéral (à l'exclusion ou non de l'hydrosphère et de l'atmosphère). En revanche, une géodiversité ayant pour objet la géosphère dans un sens plus global, intégrera la diversité de biosphère, noosphère, hydrosphère, climosphère, pédosphère et lithosphère (si on limite cette dernière à la croûte terrestre).

La diversité géosphérique ou la diversité de la géosphère relève donc du même problème que la notion de géodiversité elle-même : une ambiguïté qui nécessite qu'on accompagne

⁴² „Geographischer Gegenstand: die Geosphäre in Ihrer realen Wirklichkeit, nämlich in den der Wahrnehmung zugänglichen Teilen und in den gedanklich erfaßten Sachverhalten, Entwicklungsstadien, Beziehungen, Abhängigkeiten, Funktionen und Wechselwirkungen, die räumliche Gefüge (Synonym: Raumstrukturen), die Landschaftsräume und gebietliche Strukturen ergeben. Geographischer Gegenstand ist das Wissen um die geosphärische Substanz des einzelnen Ortes bzw. die Kenntnis der Erdräume“ (in Meynen 1985:364)

⁴³ Suggéré par exemple par le programme international IGBP, International Geosphere-Biosphere Program

l'utilisation du terme géosphère par une référence. Il ne reste pas moins que la géodiversité, interprétée au sens large ou au sens lithologique peut dans tous les cas faire référence à la géosphère, cela dépend alors de l'interprétation que l'on fait de la géosphère et à quelle géodiversité on fait référence. La diversité géosphérique peut être considérée comme un synonyme de la géodiversité mais ne sera pas d'une utilité particulière si on veut éviter de tourner en rond.

Toutefois, cette diversité de la géosphère rappelle « diversité du Monde » évoqué dans le rapport du MNHN (Muséum National d'Histoire Naturelle, 2001) mentionné ci-dessus (cf. chap. 1.2.3.4). Elle présente dans ce sens une diversité à la fois géographique, biologique et géologique, regroupant sciences de la Vie, sciences de la Terre et sciences spatiales. Une interprétation plus large de la géodiversité est difficilement imaginable.

La géodiversité : diversité géosystémique ?

Une troisième façon d'interpréter la géodiversité *au sens large* sera d'attribuer à la diversité une qualité géosystémique. L'avantage immédiat d'une « diversité géosystémique » se présente par la clé de lecture qu'offre le modèle du géosystème. Celui-ci se prête très bien, comme on le verra plus loin, à une description de la « diversité des milieux et paysages » évoquée ci-dessus (Métailié et Bertrand, 2006 :33). L'abstraction inhérente au modèle géosystémique permettrait notamment de formaliser l'étude de la géodiversité. Il s'agit d'un modèle qui est essentiellement issu de la géographie physique (Sočava, 1974; Bertrand, 1982), permettant de considérer les composantes physiques des paysages ou milieux en interaction. Dans ce sens c'est, malgré une certaine réserve, une clé d'interprétation des paysages et un moyen de description des milieux dans leur ensemble.

Il faut toutefois relever le problème de la géodiversité définie comme diversité géosystémique repose ailleurs. L'association d'un modèle (géosystème) à la définition d'une notion (géodiversité) rend l'utilisation de la notion impossible dans tout autre contexte, c'est-à-dire en utilisant un autre modèle pour l'étude de la géodiversité. La conception de la géodiversité doit pourtant rester globale et indépendante de tout modèle, même si on peut rattacher son origine ou une définition à un champ disciplinaire. Une géodiversité conçue à la lumière du paradigme systémique en utilisant comme modèle de référence le géosystème pourrait probablement être qualifiée de diversité géosystémique mais la géodiversité elle-même n'aura pas de caractère géosystémique si le modèle du géosystème n'a pas été utilisé pour son étude. La géodiversité globale n'est donc pas par définition géosystémique.

D'autres inconvénients à considérer la géodiversité comme « géosystémique » apparaissent. On pourra objecter que l'ambiguïté des interprétations du géosystème ne permet pas d'identifier clairement la diversité géosystémique comme une interprétation au sens large de la géodiversité. Effectivement certains auteurs réduisent le géosystème à un sous-système du système « paysager », se préoccupant uniquement des composantes abiotiques (Leser, 1994; Leser, 1997b; Leser, Haas *et al.*, 1997; Leser et Nagel, 1998), tandis que le sens qui sera retenu ici tient également compte des composantes biotiques et anthropiques du milieu—qui s'expriment dans le paysage (Sočava, 1974; Beroutchachvili et Bertrand, 1978b; Bertrand, 1982).

Si ce n'est pas un modèle qui sert de base pour le préfixe « géo- » de la diversité décrite, cela signifie un retour à la case départ, la référence à la terre, réclamée par les géologues, géomorphologues, géographes, (géophysiciens, géomètres, etc.).

La géodiversité - diversité sur la terre

Indépendamment de l'interprétation qu'on pourra attribuer au préfixe « géo - » (« géographique », « géologique », « géosphérique », « géosystémique », etc.), le terme de « **géodiversité** » sera compris ici de façon très globale comme une diversité perceptible et descriptible de la surface terrestre. Dans ce sens les trois interprétations du préfixe présentées dans ce chapitre pourraient convenir pour une précision, mais pour une définition ils ne sont pas nécessaires. La diversité sur la terre ne se limite pas aux roches, mais à l'ensemble d'objets de la géosphère. Ces phénomènes peuvent être décrits d'un point de vue géographique ou autre, et ils peuvent être interprétés en utilisant le modèle géosystémique ou un autre modèle au choix.

On peut ensuite décider d'étudier qu'une part de ces objets ou phénomènes, tant qu'on ne prétend pas étudier toute la géodiversité du monde dans son ensemble et selon différentes approches. En ce sens on reviendra à la géodiversité de Preston E. James ('all possible worlds' de P.E. James d'après Capel, 1989) (*cf. chap. 1.2.3.2*), qu'il serait impossible d'étudier en une vie et par une personne.

1.2.4.4. Notion ou concept : la nécessité de formalisation de la géodiversité

Diversité paysagère, mésologique et géodiversité

La géodiversité étudiée ici ne concerne pas l'ensemble des phénomènes qui se produisent sur la surface terrestre mais se concentre sur la « *diversité des milieux et des paysages* », conformément à l'interprétation proposée ultérieurement par Métaillé et Bertrand (Métaillé et Bertrand, 2006).

En ce sens, et aussi pour la distinguer de la géodiversité « lithologique », une étude de la diversité des **milieux** peut être aussi considérée comme une étude de la **(géo-)diversité mésologique**. En conséquence une étude de la diversité des paysages pourra être qualifiée de **(géo)diversité paysagique**. Elle se réfère au paysage sans concerner tous les aspects de la diversité paysagère.

La diversité des milieux et paysages s'apparente également, par la prise en compte simultané d'éléments abiotiques, biotiques et anthropiques à une *diversité de l'environnement*. La **(géo-) diversité environnementale** est ainsi une autre appellation potentielle pour une interprétation de la géodiversité au sens large.

Ces considérations soulèvent quelques questions.

Tout d'abord celle de la limite de l'étude. Il faudra préciser si on étudie dans le cadre de cette recherche sur la géodiversité la **diversité des milieux** (géodiversité mésologique), la **diversité des paysages** (géodiversité paysagique) ou encore la **diversité de l'environnement** (géodiversité environnementale) ce qui est loin d'être la même chose. Il s'ensuit qu'il ne suffit pas d'évoquer la

notion de paysage (cf. chap. 1.2.2.3) mais qu'il sera également nécessaire de discuter des termes de milieu et d'environnement (cf. chap. 1.3.1).

Ensuite se pose encore une question de fond liée à la terminologie. Si la géodiversité intègre la diversité des paysages (au sens des « auteurs français »), il faudra trancher enfin si la géodiversité peut être considérée comme synonyme de la diversité paysagère. Si on est libre de choisir la réponse - et face à la multiplicité des interprétations possibles le choix s'impose - le choix est relativement simple. Toujours selon la définition de Métaillé et Bertrand (Métaillé et Bertrand, 2006), la diversité des paysages est prise en compte par la géodiversité et on pourrait croire que la géodiversité englobe la diversité paysagère ainsi que « d'autres géodiversités » (la diversité des milieux selon ces auteurs). Cela suggère que la géodiversité conserve un caractère « global » qui dépasse la diversité paysagère et qu'elle pourrait alors tenir compte des différentes interprétations de « géodiversités » mentionnées par Grenier, Pourtier, Mathevet, Frémont, Pumain, etc. (Pumain, 1999; Grenier, 2000; Pourtier, 2003; Pourtier, 2004; Bertrand, 2005; Pumain, 2005; Mathevet et Poulin, 2006; Frémont, 2009). Ainsi cette notion de géodiversité s'apparente à un concept, nécessite quelques précisions afin d'élucider ce qu'on étudie très exactement en l'analysant.

Géodiversité : notion ou concept ?

Pour passer de la notion de géodiversité au concept, la notion elle-même doit être explicite, c'est-à-dire qu'elle se doit d'être clairement formulée et définie. Cette définition est indispensable si on souhaite étudier l'objet en question. Les exigences pour une définition complète de la géodiversité se situent à plusieurs niveaux. Naturellement, la définition doit demeurer transparente et universelle pour être communicable. Compréhensible pour tout public, univoque et limpide, la définition doit pouvoir être traduite. Un concept en tant que terme construit, abstraction de la réalité, nécessite d'être univoque dans le cadre d'une théorie (Gumuchian et Marois, 2000). Idéalement, la définition doit se démarquer par une certaine opérationnalité, rester applicable et pratique, c'est-à-dire rester la plus simple possible. Pour que la *géodiversité* devienne incontestablement un concept, un minimum de formalisation est donc de rigueur. La question du cadre théorique, celui des théories généralement admises en géographie, reste épineuse et suscitera, on l'espère, encore bien des débats.

Sans pour autant creuser davantage les fondements théoriques d'un concept de *géodiversité globale*, on peut déjà entamer le débat en soulignant que cette géodiversité « géographique » doit respecter un certain nombre de caractéristiques propres à la discipline. Une *géodiversité globale*, avec la vocation de caractériser la diversité spatiale géographique dans le champ d'une géographie générale, dépassant le clivage entre géographie humaine et physique, ne peut être qu'une diversité chorologique, c'est-à-dire une diversité qui s'exprime spatialement. On propose que le concept de géodiversité doit incontestablement tenir compte de la notion d'échelle, des dimensions spatiales et temporelles (cf. chap. 1.3.3.3) et décrire des objets géographiques à la surface de la terre, au sein de la géosphère. On convient que tout élément de la surface terrestre, matériel ou non, pourrait constituer un tel « objet géographique » et cela reste alors une proposition très vaste.

Reste le problème du concept déjà existant d'une *geodiversity* « lithologique », notamment avancé par Murray Gray (Gray, 2003; Gray, 2008). La notion de *landscape diversity* réduite à la description du nombre et de la dominance d'unités paysagères (Peters et Goslee, 2001) et assez

incompatible avec une interprétation plus holistique de la diversité paysagère et semble également bien établi au point de constituer une conception aujourd'hui assez courante.

Contribuer à la cacophonie des notions ou accepter qu'une notion de diversité géographique n'ait pas sa place aux côtés de la diversité biologique et « géologique » ? Le choix est difficile mais nous avons choisi de contribuer et développer davantage une interprétation géographique de la géodiversité et de la mettre en relation avec la notion de diversité paysagère.

On pourrait proposer la théorie des systèmes comme cadre théorique, même s'il est à craindre que ce cadre-là ait un effet restrictif qui s'oppose à une vision globale de la géodiversité. En particulier, le modèle du géosystème avec sa connotation naturaliste risque de ne pas froisser que les adeptes d'une *nouvelle géographie*. En revanche le modèle systémique convient parfaitement comme dans le cadres cette étude sur de la géodiversité. Les paysages ou milieux appréciés sous l'angle de la systémique se voient dotés d'une structure, d'un fonctionnement et d'un comportement qui constituent des entrées privilégiées pour l'étude de leur diversité (cf. chap. 1.3.2). Pour la présente étude la géodiversité constitue ainsi un concept géographique. Aux géographes de discuter s'il peut s'agir d'un concept en géographie.

Limites de cette étude de la géodiversité

Une ébauche de conceptualisation de cette géodiversité globale « géographique »/chorologique fera l'objet des chapitres suivants, mais se limite à une conception opérationnelle dans le cadre de cette étude, c'est-à-dire une conception de la « diversité des milieux et paysages ». Elle pourra ouvrir le débat sur la construction d'un véritable concept de géodiversité globale.

Il s'agit d'une étude géographique et partielle de la géodiversité, reflet de la diversité qui se manifeste matériellement et visuellement dans la géosphère. Afin de rendre intelligibles et cohérentes la définition et la conception de la géodiversité « des milieux et paysages » qui sera retenues et présentée par la suite, plusieurs remarques s'imposent.

Comme mentionné plus haut (cf. chapitre 1.2.4.2), le paysage, et en conséquence la diversité paysagère, seront abordés uniquement dans leur dimension matérielle par une approche du « paysage-objet », même si l'évaluation de la diversité se fonde sur le *paysage visible*. La présentation partielle de cette géodiversité paysagère dans le cadre de ce travail reste ainsi une étude sectorielle d'une diversité paysagère « holistique » et sera, comme on le verra plus loin abordée sous l'appellation de *diversité « paysagique »*.

Une description de la diversité des milieux (géodiversité mésologique) nécessite des précisions quant aux notions fondamentales comme « milieu » et « environnement » qui seront abordées dans le chapitre suivant, suivies d'un aperçu sur les principes du géosystème et le cadre épistémologique géographique.

La diversité en géographie est par essence chargée d'une connotation spatiale. Plusieurs notions se proposent pour décrire une diversité géographique et les objets à décrire sont nombreux et multifformes. Diversité paysagère et géodiversité concourent à la description. Nous avons montré que selon l'interprétation que l'on fait des concepts associés et notamment du paysage, que ces notions sont soit interchangeable soit incompatibles. En étudiant l'utilisation des termes dans les trois principales langues d'Europe occidentale et centrale, le français, l'anglais et l'allemand, on constate un écart significatif des interprétations. Ces différentes interprétations dépendent en outre de leur inscription dans différentes écoles de pensée au sein de chaque communauté linguistique, les visions plus larges, voire « globales » s'opposant alors aux visions à portée plus restreinte.

Il en résulte que les notions de *landscape diversity* (diversité paysagère) et de *geodiversity* (géodiversité) connaissent un certain succès dans les publications anglophones, alors que la *géodiversité* dont il est question ici ressemble davantage à la diversité paysagère des écologues du paysage qu'à la géodiversité des géologues et géomorphologues. Toutefois, la simplification ou la réduction de la diversité paysagère à l'application des indices de diversité structurale, comme les « *landscape metrics* » est incompatible avec une vision généraliste de la diversité paysagère qui impliquerait à notre avis la prise en considération de l'ensemble des formes qui constituent le paysage et la compréhension de l'ensemble des liens qui unissent paysages matériels, visuels et perçus. En géographie, la multiplicité des approches paysagères gêne la transformation de la diversité paysagère en véritable concept.

La géodiversité, contraction d'une diversité qui se réfère à la terre, connaît aussi de multiples interprétations, passant du sens le plus restreint, diversité géologique et géomorphologique au sens plus large de diversité géosphérique et géographique intégrant l'ensemble des phénomènes de diversité à la surface de la terre. Afin d'établir une méthode d'étude de la géodiversité adaptée au questionnement, puisque la conception de la géodiversité demeure ambiguë, une conceptualisation s'avère indispensable. Sans exclure des interprétations « minérales », une approche géographique de la géodiversité ne peut se limiter à ce sens restreint.

Certains auteurs français interprètent la géodiversité comme la diversité de milieux et paysages et l'associent ainsi à d'autres notions intégratrices et multifformes. On pourra de cette façon distinguer une *géodiversité mésologique* et une *(géo)diversité paysagère*. Cela implique que la proximité et la confusion possible de la géodiversité avec la diversité paysagère méritent une attention particulière.

Parmi l'éventail des approches géographiques, ce sera ici une géodiversité se fondant sur le paradigme systémique qui retiendra notre attention. Ce cadre épistémologique et le développement d'une conception de la géodiversité feront l'objet du chapitre suivant.

1.3. Recueil d'un corpus pour l'analyse de la géodiversité

1.3.1. Notions fondamentales pour l'étude de la géodiversité

En revenant sur la définition de la géodiversité « *pour les auteurs français* », retenu par Georges Bertrand et Jean-Paul Métaillié : « *la diversité des milieux et paysages créés par l'anthropisation* » (Métaillié et Bertrand, 2006 :33) (cf. chap. 1.2.1), on aborde une question primordiale : en quoi se différencient la diversité des milieux et la diversité paysagère ? Si le paysage n'est ni nature, ni milieu, ni environnement (Donadieu et Périgord, 2005 :214), comment milieu, environnement et nature s'associent-ils à la notion de diversité paysagère ? Nature, environnement, milieu : autant de notions qui demandent à être explicitées, afin de rendre transparentes les limites de leur utilisation dans le cadre d'une étude de la géodiversité (mésologique).

Si on se focalise sur la diversité des milieux ou la diversité des paysages ne devrait-on pas également tenir compte d'une diversité environnementale ? Concernant cette dernière on peut alors se demander s'il s'agit toujours d'une diversité « géographique ».

Par ailleurs, en mettant l'accent sur la deuxième partie de la citation, on peut également se demander si on n'exclut pas une composante ou dimension « naturelle » de la diversité des milieux en insistant sur la création de la diversité par l'anthropisation. La géodiversité est-elle exclusivement anthropique ou peut-elle être « naturelle » ?

1.3.1.1. Les notions de nature et d'environnement associées à la diversité

Nature et naturel

Considérant la *nature* comme un concept-clé en géographie, Ginn et Demeritt distinguent en langue anglaise trois principaux sens interconnectés (Ginn et Demeritt, 2009 :309), qui peuvent se transposer en langue française : la nature intrinsèque des choses, qu'on peut interpréter comme les caractéristiques des objets et sujets ; la nature universelle, cette apparente force contrôlant les choses dans le monde qu'on appelle aussi « *mother nature* » ou en allemand, « *Mutter Natur* », et finalement la nature « externe » ou le monde extérieur matériel qu'on peut aussi appeler « *l'environnement naturel* » (Ginn et Demeritt, 2009). Ici c'est ce dernier sens, *l'environnement naturel* qu'on retiendra. Cet environnement naturel est interprété comme une réalité physique, biologique et il n'exclura pas l'action de l'homme.

Comme le soulignent Jean-Paul Métaillié et Georges Bertrand (Métaillié et Bertrand, 2006 :71), « [...] *on confond souvent nature et environnement, nature et paysage. Ces ambiguïtés sont entretenues par l'idée que l'on se fait de la nature et de la place et du rôle qu'on lui attribue dans la prise en compte de l'environnement* ». Si on fait ici référence à la nature, au naturel, c'est pour désigner les « *éléments d'ordre bio-physique* » qui « *dépendent des lois physiques indépendantes de l'action humaine* » (op.cit.) mais qui ont toutefois pu subir des modifications par

l'homme et qui, surtout sous nos latitudes subissent différents degrés d'anthropisation. C'est « *l'univers des formes et processus physico-chimiques et biologiques* » (Bertrand, 1991 :7) qui existent indépendamment de l'homme, sans nier pour autant son influence. Il n'est pas pour autant nécessaire de renoncer au *naturel*, car le fonctionnement naturel peut être influencé par l'anthropisation et *naturel* ne signifie pas *vierge* (Vogt, 1973 :604). L'anthropisation peut se nuancer, s'exprimer en gradients de naturalité, ce qui signifie qu'« *Il n'y a plus un absolu de la nature s'opposant à l'artificiel et à l'anthropique, il y a une gamme de nuances, un gradient qui peut affecter diversement les principales composantes de l'écosystème.* » (Simon in Arnould 2005 : 265) (L. Simon dans Arnould et Glon, 2005 :265). Nous n'avons pas fini de comprendre les relations et mécanismes régnant entre les éléments naturels et l'influence de l'homme. L'anthropisation ne peut s'étudier sans prendre en compte la partie naturelle, et une étude de « la nature », plus si naturelle que ça, doit prendre en compte l'état anthropisé.

L'ambiguïté des conceptions de la nature exclut de ce fait l'utilisation du terme « diversité naturelle ». On ne parlera pas ici de la diversité de la nature, car même si la nature n'est pas si naturelle, évoquer la diversité de la nature reviendrait à expliquer la diversité actuelle par la seule influence des facteurs bio-physiques. Au plus, on pourra envisager de chercher à distinguer des facteurs « naturels » et des facteurs « sociétaux » influençant la géodiversité, sachant qu'il s'agit d'une simplification assez critiquable. Par contre il sera difficile de prétendre que l'on puisse clairement distinguer une *diversité naturelle*, potentielle à laquelle s'est superposée une diversité *anthropique*. Cela relèverait du même esprit que le concept de climax ou de végétation potentielle naturelle et serait encore une fois une juxtaposition entre le « naturel » et « l'anthropique » difficilement conciliable avec une vision plus systémique où de nombreux éléments en interaction forment un ensemble complexe dans lequel il sera vain de différencier entre une partie anthropisée et une partie « naturelle ». Il suffit d'imaginer l'exemple de quelques hectares de friches qui ne sont plus exploités depuis quelques décennies : quelle est la part « naturelle » de la diversité de cette friche ? Une longue discussion s'ensuivra : même si la dynamique des dernières années a été « naturelle » dans son influence bio-physique sur le milieu (succession végétale, etc.), l'historicité du système ou par exemple le choix de l'abandon cultural des terres restent des facteurs anthropiques.

L'adjectif « naturel » dans cet ouvrage s'oppose le plus souvent à ce qui ne l'est pas : l'artificiel. Là encore la question est épineuse. Ainsi une murette de pierres sèches est constituée d'éléments naturels (les éléments rocheux) mais constitue bien un artifice. Les murettes et terrasses contribuent à la géodiversité observée malgré leur caractère peu naturel.

Les milieux et paysages du terrain d'étude, conjointement créés par la nature et par l'action millénaire de l'homme n'ont donc rien de vierge et les espaces naturels protégés étudiés seraient alors difficiles à caractériser par leur « diversité naturelle ». Est-ce que cette géodiversité pourrait être qualifiée en revanche de *diversité environnementale* ?

Environnement et diversité environnementale

Le champ de l'environnement traitant « *des relations existant entre les sociétés et leur cadre physique, de la place des facteurs naturels dans l'aménagement à différentes échelles*

spatiales » (Veyret, 1999 :4) se trouve, comme le paysage, à l'interface entre société et « nature » et prend en compte leurs relations d'interdépendance. L'environnement peut être caractérisé comme un ensemble, une combinaison d'éléments « extérieurs » qualifiés parfois de « naturel » qui constituent le cadre de vie et les conditions de survie des hommes et des êtres vivants (Da Lage et Metaillé, 2000 :186). « *Champ notionnel plutôt que concept* » (Depraz 2008: 12) le terme d'environnement intègre également les politiques publiques, les représentations esthétiques et les considérations affectives. Il s'agit d'un « tout », difficilement saisissable, qui est à la fois une donnée, un produit et un ensemble perçu (Dauphiné 1979 d'après Tissier, 1992 :205). Gabriel Rougerie estima même que l'environnement se caractérise par un état peu cohérent d'« *éléments disparates, formant un ensemble assez mal délimité, assez mal centré aussi et qui entourent un sujet sans nécessairement avoir tous des rapports avec lui.* » (Rougerie 1975 d'après Tissier, 1996 :21). Ceci laisse présager la multiplicité des sens possibles si on se réfère à une diversité environnementale.

D'usage surtout en langue anglaise, d'utilisation relativement faible, *environmental diversity* désigne le plus souvent la diversité des *conditions* environnementales, notamment en rapport avec l'étude d'organismes vivants, contribuant à leur spéciation, mais aussi, dans un contexte plus général, quand on le retrouve dans des publications issus de domaines aussi variés que l'architecture, l'économie ou l'archéologie⁴⁴. Dans quelques cas le terme relève d'une connotation écologique spatialisée, notamment comme synonyme de l'hétérogénéité spatiale ou expression d'un *pattern diversity* écologique⁴⁵. Il a été utilisé également dans le contexte de la géoconservation par Kevin Kiernan (Gray, 2003 :281), le forestier tasman que nous avons évoqué au sujet de l'utilisation des notions de « *landform diversity* » et « *geomorphic diversity* », précédant la conceptualisation d'une « *geodiversity* » lithologique (cf. chap. 1.2.3.2).

Toutefois, les utilisations de la notion de diversité environnementale semblent se cantonner essentiellement aux conditions et facteurs extérieurs diversifiés, influençant un organisme, un groupe d'individus ou une société. En ce sens l'usage de la notion de *diversité environnementale* n'est pas vraiment adaptée à une étude bien délimitée de la géodiversité, surtout si cette dernière est comprise comme une diversité à caractère spatial. Il s'agit tout simplement d'une question de point de vue : la diversité des milieux ou des paysages est étudiée en focalisant sur les milieux ou paysages eux-mêmes, ceux-ci étant tangibles / matériels et s'inscrivant dans l'espace. La diversité environnementale se présente plutôt comme un ensemble de facteurs influençant une population concernée. Si on caractérise le cadre de vie des habitants du terrain d'étude, il sera alors possible de traduire la géodiversité de cette zone en une diversité de leur environnement « naturel ». Une géodiversité importante sur le terrain peut être une diversité environnementale importante pour un individu, un troupeau ou la société qui la met en valeur. Cependant, pour conceptualiser la géodiversité, la diversité environnementale ne mène pas sur la bonne piste.

⁴⁴ Pour ne citer que quelques exemples: - Steemers, K. et Steane, M.A.; (éds.) 2004. *Environmental diversity in architecture*. Taylor et Francis; 237 p. - Forbes, H.A.; 2007. *Meaning and identity in a Greek landscape: an archaeological ethnography*. Cambridge University Press; (p.190) - Benson, C. et Clay, E.J.; 1998. *The impact of drought on Sub-Saharan African economies*. World Bank Publications; (p.8)

⁴⁵ Jarvis, P.J.; 2000. *Ecological principles and environmental issues*. Pearson Education; p.87 - Hawksworth, D.L.; 1996. *Biodiversity: measurement and estimation*. Volume 345 de Royal Society: *Philosophical transactions*. Series B, Springer; pp.48

Ce n'est pas pour autant que la notion d'environnement elle-même sera dépourvue d'intérêt. Une conception « géographique » de la géodiversité s'intègre dans le champ de l'environnement, mais géodiversité et diversité environnementale ne sauraient être confondues et ne peuvent pas être considérées comme synonymes en raison de l'ampleur du champ de l'environnement.

Une autre confusion fréquente s'observe entre les notions d'environnement et de milieu, peut-être parce que les milieux nous « entourent ». Aussi, le terme *milieu* se trouve traduit en anglais par *environment* (Jollivet, 2001 :168) et peut être traduit en allemand par le mot *Umwelt*, littéralement le « monde » (*Welt*) qui nous « entoure » (« *um* »). Certains considèrent l'environnement et notamment l'*environnement naturel* comme synonyme de milieu (Brunet, Feras *et al.*, 1992: 188). Pour une étude des milieux et de leur diversité cette approche ne peut convenir. Une étude de la diversité de l'environnement naturel fera appel à un autre objet d'étude considéré alors comme l'objet principal : la société qui se situe en son sein, au centre de l'étude. Si une géographie s'affirmant science sociale (du moins en France) favorise aujourd'hui l'étude des liens entre société et environnement plutôt que les rapports entre l'Homme et le milieu (Ropivia 2007 :pp.29)(Ropivia, 2007), cela n'empêche pas que le terme d'environnement reste bien trop flou pour caractériser la diversité d'une portion concrète et matérielle de la surface terrestre.

Délibérément, le choix a été fait, ici c'est le « milieu » qui se situe au centre de l'intérêt, un milieu qui n'existe pas indépendamment de la société mais qui entretient des relations réciproques importante avec elle, qui est influencé et transformé par elle. La systémique appliquée contredira toute reproche de déterminisme. On admettra que ces milieux puissent ensuite être considérés comme un environnement plus ou moins « naturel » par les sociétés.

1.3.1.2. L'étude du milieu (dit) « naturel »

Si on a longtemps préféré l'utilisation du terme *milieu* ou *milieu naturel* à celui d'*environnement* ou de *paysage*, c'est aussi parce ce que le premier présente l'avantage d'être « *d'usage exclusivement scientifique* » (Chatelin et Riou, 1986 :5).

De la *mésologie* comme étude du milieu et de ses composantes dérive « *mésologique* », « *ce qui est relatif au milieu* » (Da Lage et Metaillé, 2000 :335). La mésologie étudiant les influences du milieu physique et socio-culturel sur l'homme est une notion créée en 1872 par L.A. Bertillon (Berque, 1990; Berque, 2000) ; elle ne se limite cependant pas seulement aux milieux dits naturels.

Quel milieu ?

Afin d'éviter toute confusion, il est nécessaire de préciser qu'on se réfère aux milieux appelés parfois « naturels », mais qu'on préférera le plus souvent appeler *milieux* tout court pour ne pas se sentir obligé de préciser qu'il s'agit de *milieux dits naturels anthropisés*. Après avoir clarifié la notion de *nature*, il est sous-entendu que le *milieu naturel* sera considéré ici en conséquence comme *naturel* de par son fonctionnement bio-physique, même s'il a subi différents degrés d'anthropisation. Inutile donc de préciser qu'il s'agit de milieux « *dits* » naturels car on ne considérera pas la « nature » comme un espace vierge à l'écart de toute activité humaine. Le milieu

naturel s'oppose surtout au *milieu social* et au *milieu urbain* (Métailié et Bertrand, 2006 :71) en tant que milieux très fortement anthropisés, sans pourtant considérer les forêts, les landes, les pâtures, bref les campagnes et les milieux ruraux comme un univers physique à l'exclusion de l'homme. L'ensemble des milieux naturels peut être - et sera ici - considéré au sens large comme l'environnement naturel (Leser, Haas *et al.*, 1997 :512), qui lui non plus n'est pas si naturel que ça.

Il reste à préciser que la notion de *milieu (naturel)* sera à distinguer de deux termes toujours assez proches : la notion de *milieu géographique* et celle d'*habitat* au sens biologique du terme.

Le *milieu* évoqué ici n'est donc pas le *milieu géographique*, notion bien plus problématique, qui implique « *d'embrayer le physique au social, le naturel au culturel* » (Berque, 1992 :355). Le *milieu géographique* se rattache à la notion d'espace entourant un groupe humain (George et Verger, 2006 :268), qui est « *à la fois subjectif et objectif [...] collectif et individuel* » (Berque, 1992 :330). Le *milieu géographique* met l'accent sur les conditions socio-économiques et politiques qui influence l'état et le comportement des êtres qui s'y trouvent confrontés (Da Lage et Metailié, 2000 :342; George et Verger, 2006 :268) et ne fait pas l'objet de cette étude.

Nous étudions les milieux auxquels se consacre notamment la géographie physique ; le milieu est alors considéré comme « *l'ensemble des éléments de la nature (climat, sols, eaux, pentes, végétation, faune), présents et associés en un lieu et autour de lui, form[ant] le milieu naturel de ce lieu* » (Brunet, Feras *et al.*, 1992 :330). C'est en ce sens une notion à connotation spatiale, mais qui « *n'est pas un concept* » (Bertrand, 1982). Le contour spatial reste cependant relativement vague - plus vague en tous les cas que celui du géon, qui le remplacera dans la taxochorologie utilisée par cette étude. Toutefois l'utilisation du milieu naturel au pluriel implique qu'il se laisse délimiter par rapport à d'autres milieux avec des conditions spécifiques différentes. Le milieu naturel comprend les facteurs ou « *conditions particulières* » physico-chimiques, biologiques et anthropiques (Leser, Haas *et al.*, 1997 :512; Da Lage et Metailié, 2000 :342), et sa nature se fonde sur les échanges de matière et d'énergie (George et Verger, 2006 :268). Ces interprétations du milieu laissent apparaître la nuance entre milieu et paysage : « *définition objective et utilitaire* » pour le premier, « *conception subjective et sentimentale* » pour le deuxième (Richard, 1975 :85).

Le terme milieu est dans un sens plus large aussi utilisé pour caractériser une ambiance propre à un écosystème ou à un espace donné (Da Lage et Metailié, 2000 :342). Le Glossaire de l'Union géographique internationale indique que le terme « milieu », d'origine française porte le même nom en anglais et allemand et précise qu'il s'agit d' « *une notion du langage familier pour décrire la partie du paysage, respectivement de l'environnement artificiel et naturel, qui influence la vie des organismes et qui est pris en compte par celle-ci via leur comportement et se trouve fréquemment influencé par ces derniers* »⁴⁶ (Meynen, 1985 :783).

⁴⁶ Traduction de : „*umgangssprachliche Bezeichnung für den Teil des Landschaft, bzw. der natürlichen und künstlichen Umgebung der lebensbestimmend auf die Organismen einwirkt und von diesen durch Ihr Verhalten berücksichtigt und oft beeinflusst wird.*“ Meynen (op.cit.) ajoute par ailleurs : „*Der Begriff wird sowohl für anorganische Situationen wie vor allem in Verbindung mit den Lebensräumen der Organismen verwendet.*“ : « Le terme est utilisé pour les conditions anorganiques ainsi que et notamment en évoquant les habitats des organismes »

La traduction de la notion de *milieu* en allemand est toutefois assez problématique puisque le terme est associé davantage à la biologie ou la sociologie. Les milieux naturels au sens large s'apparentent davantage au terme « *Umwelt* » (environnement), le milieu (naturels) concrets, agencés dans l'espace à l'échelle d'unités paysagères élémentaires et localisés s'apparentent au « *Standort* » écologique (en angl. « *stand* ») et les milieux naturels considérées comme habitats naturels sont considérées comme « *Lebensräume* », littéralement des « espaces de vie ».

Cette définition constitue une conception intermédiaire entre la notion de milieu géographique et celle de l'habitat, focalisant sur l'influence des facteurs biologiques, physiques et anthropiques sur les organismes vivants. Sans vouloir s'étendre sur les notions d'habitat ou même de biotope qui sont d'utilisation plutôt biocentrique on peut affirmer qu'elles reflètent plutôt les conditions écologiques par rapport à une biocénose ou à une espèce en particulier (Müller, 2003 :17-18). Cependant il faut préciser que la directive habitats⁴⁷ à l'origine de la mise en place du périmètre NATURA 2000 étudié (cf. chap. 2.2) distingue *habitat naturel* et *habitat d'une espèce* (Council of Europe, 1992 :4). Une espèce mobile à territoire ample va occuper des milieux très diversifiés, son *habitat d'espèce* peut varier dans le temps (diurne, saisonnier) en fonction des cycles biologiques. Cependant un *habitat naturel*, notion moins dynamique et plus proche du *milieu naturel* peut se déterminer dans le cadre de cette directive par des caractéristiques biologiques spécifiques et correspondra à une entité spatiale cartographiable.

La carte des habitats élaborés par les gestionnaires dans le cadre des Documents d'objectifs pour les sites Natura2000 ressemble ainsi fortement à une carte des milieux mais se détermine essentiellement par la composition floristique déterminée sur le terrain. Si la distinction des milieux se fait exclusivement à partir de critères floristiques, il est préférable de parler d'habitats. Le code CORINE biotopes (Bissardon et Guibal, 2003) ou les cahiers d'habitats NATURA 2000 de Bensettiti et al. (2001-2005) (Bensettiti, Rameau *et al.*, 2001a; Bensettiti, Rameau *et al.*, 2001b; Bensettiti, Gaudillat *et al.*, 2002a; Bensettiti, Gaudillat *et al.*, 2002b; Bensettiti, Gaudillat *et al.*, 2002c; Bensettiti, Herard-Logereau *et al.*, 2004; Bensettiti, Bouillet *et al.*, 2005) permettent dans ce cas de distinguer des habitats par des associations végétales caractéristiques qui reflètent habituellement assez bien certaines caractéristiques du milieu. Dans la pratique sur le terrain, la différence entre les limites des *habitats naturels* et des milieux naturels peut être parfois insignifiante. La composition floristique reflète effectivement très bien les conditions climatiques, édaphologiques et géomorphologiques prises en compte par les milieux, la végétation « *intègre les variables écologiques prépondérantes* » (Long, 1974: 80). La différence se limite alors plutôt à la nomenclature, essentiellement de caractère botanique et très ample en ce qui concerne les habitats, mais aussi à la finalité de la cartographie et aux unités cartographiées de taille parfois très variables en ce qui concerne les habitats. Une carte des milieux reflètera plus facilement une différence de recouvrement qu'une nuance phytosociologique.

⁴⁷ Directive 92/43/CEE du 21 mai 1992

Mosaïques de milieu

Si on souhaite caractériser les milieux naturels par une démarche géographique plutôt qu'écologique, il est nécessaire de délimiter les milieux et de leur attribuer ainsi une propriété spatiale.

En s'intéressant à la structure spatiale des milieux et à l'assemblage ou à l'articulation de milieux de types différents et à leur diversité on considère ainsi la *mosaïque des milieux*, dont la distribution résulte « *du jeu de forces de la nature, dotées de leur propre échelle de temps* » (Dollfus 1990 :349 d'après Berque, 1992 :355). Elle traduit les héritages et contraintes inscrits dans l'espace. Si les écologues du paysage mesurent cette organisation en mosaïque surtout pour affirmer « *l'existence d'une liaison entre les structures spatiales et les processus écologiques* » (Décamps et Décamps, 2004: 69), il est également possible de « *préciser à quel point deux structures paysagères diffèrent l'une de l'autre* ». Une étude des mosaïques de milieux permet ainsi de caractériser la diversité spatiale des milieux, de décrire des paysages différents ou encore de retracer leur évolution dans l'espace et dans le temps.

En anglais, la *mosaïque des milieux* correspond au *pattern* mentionné ci-dessus et en allemand la mosaïque concorde avec le *Gefügemuster* de dimension chorologique qu'abordent Neef (Neef, 1964 :6) et d'autres auteurs allemands. Littéralement, le *Gefügemuster* traduit une mosaïque caractéristique des structures (spatiales). Le *Gefüge* constitue ainsi une *structure spatiale* (Meynen, 1985 :364), un ensemble hétérogène, composé, assemblé⁴⁸ de « cellules » paysagiques homogènes plus petites (voir dans Klug et Lang, 1983 :14). Il n'est alors pas étonnant, ni rare que la notion de *mosaïque des milieux* se trouve substituée par la notion de *mosaïque paysagère*.

La taille et l'échelle d'observation des milieux

La notion de « milieu » n'explicite pas l'échelle à laquelle on se situe. Entre un grand versant couvert de hêtraie acidiphile et quelques centimètres carrés de mousses sur un rocher suintant on passe par plusieurs ordres de grandeur. En décrivant des milieux et leur organisation en mosaïque il est alors indispensable d'indiquer en quoi se différencient ces milieux, c'est-à-dire de définir la précision des observations permettant de distinguer les milieux. La caractérisation de la mosaïque dépend ainsi de l'échelle d'observation (cf. chap. 1.3.4), « *le mode de classement choisi organise toute analyse ultérieure de la structure paysagère* » (Décamps et Décamps, 2004 : 71). A petite échelle la mosaïque peut être par exemple constituée par l'alternance de milieux ouverts comme les pâtures et des milieux fermés comme les parcelles forestières ou fructifères. A plus grande échelle, au sein d'une forêt ou d'un milieu pastoral ouvert, les conditions édaphiques, topographiques et hydrologiques ainsi que les différences de gestion et d'utilisation peuvent faire apparaître une mosaïque qui s'exprime habituellement par une variation de la composition floristique du couvert végétal.

Pour situer et cartographier les « *discontinuités objectives* » (Pinchemel et Pinchemel, 1997a :293) qui permettraient de délimiter les milieux, il faut déterminer la nature des discontinuités, qui dépend de l'échelle d'observation. Il sera nécessaire de renseigner la

⁴⁸ *fügen* : assembler

construction de la typologie des milieux, c'est-à-dire de dévoiler les critères de délimitation et de distinction des milieux ainsi que le niveau de précision appliqué au classement des milieux. Afin de fixer l'échelle de référence pour l'observation de la mosaïque des milieux, il convient de tenir compte du degré de résolution des observations. Il résulte d'un côté du grain des images de télédétection interprétées et de la précision cartographique mais aussi du nombre et des types de milieux étudiés sur le terrain. Les observations sur le terrain et par télédétection sont complémentaires, car elles associent l'exhaustivité spatiale par les images aériennes sur plusieurs centaines de kilomètres carrés (km²) à la précision des données et la grande quantité d'informations recueillies sur le terrain par des relevés sur des parcelles qui ne dépasseront pas le dixième d'hectare et qui sont en nombre limité. Néanmoins une description des milieux sans relevés sur place se fondant uniquement sur la télédétection serait aberrante.

Une étude géographique des milieux qui envisage de généraliser des observations ponctuelles et ne se limite pas à une seule échelle d'observation peut être ainsi définie comme multiscalaire. Comme le remarquent Y. Chatelin, J-F. Richard et G. Riou, « [...] *appliqué à des milieux concrets, réels, et lorsqu'il faut travailler à différentes échelles spatiales et temporelles, des moyens descriptifs supplémentaires deviennent évidemment nécessaires.* » (Chatelin et Riou, 1986 : 8) Pour ce type de démarche multiscalaire il est alors utile de préférer à la notion de milieu des notions plus précises qui s'insèrent dans un système taxo-chorologique dans lequel des unités spatiales (chores) d'un certain ordre de grandeur constituent à la fois des unités taxonomiques (taxons) paysagiques (cf. chap. 1.4.3.2). Toutes ces unités spatiales d'ordre de grandeurs différentes, du géotope au paysage élémentaire intègrent toutefois les caractéristiques des milieux : un « *ensemble d'éléments de la nature [...] associés en un lieu* » (Brunet, Feras *et al.*, 1992) (voir ci-dessus).

Cet ensemble, vaste et complexe, constitué par les éléments de nature divers réunis en un lieu n'existe pas indépendamment de son environnement et entretient des relations avec lui. La complexité inhérente à la nature nécessite une formalisation de l'approche pour saisir la complexité sans l'amputer. Cet ensemble d'éléments en interaction réunit les conditions qui justifient une approche systémique.

1.3.1.3. Notions de complexité et de systémique

La complexité de la réalité

Il va sans dire qu'un « *objet terrestre n'est jamais simple* » (Dauphiné, 2003 :46). Les milieux sont constitués d'un grand nombre de composantes « naturelles », mais leurs formes et compositions varient à l'infini. La démarche scientifique tend en général à rechercher une simplification de la complexité par la généralisation. Or cette généralisation fait perdre des informations qui pourraient contribuer à expliquer la diversité des phénomènes. Si l'affirmation de André Cholley est encore valable et que, « *à la différence de la plupart des sciences objectives, [...] la géographie considère la réalité dans sa complexité même* » (Cholley 1942 :10 d'après Claval, 2001: 148), une étude de la diversité des milieux et paysages nécessite une réflexion sur la façon de saisir cette complexité, sans trop la simplifier afin de réduire le risque de perte d'un grand nombre d'informations caractérisant justement cette diversité.

Les milieux se présentent sous la forme d'une complexité organisée : on observe des strates de végétation, des horizons pédologiques, parfois un tri granulométrique. Les feuilles d'une même espèce végétale se ressemblent le plus souvent, les blocs de roche ne se trouvent pas sur la cime des arbres, les feuilles ne se développent pas sous terre, les torrents ne coulent pas sur les crêtes. C'est une complexité organisée qui diffère d'une complexité aléatoire, chaotique (Dauphiné, 2003) et qui sera encore plus difficile à saisir. Comment étudier des ensembles complexes, et restituer des connaissances sur leur complexité sans avoir recours à une simplification abusive ? La question reste délicate. Edgar Morin résume la pensée complexe de la façon suivante : « [...] *la pensée complexe intègre le plus possible les modes simplifiantes de penser mais refuse les conséquences mutilantes, réductrices, unidimensionnalisantes et finalement aveuglantes d'une simplification qui se prend pour le reflet de ce qu'il y a de réel dans la réalité. [...] la pensée complexe aspire à la connaissance multidimensionnelle. Mais elle sait au départ que la connaissance complète est impossible : un des axiomes de la complexité est l'impossibilité, même en théorie, d'une omniscience.* » (Morin, 2005 :11)

Ainsi une étude des milieux se voulant holistique ne peut l'être jusqu'au bout, sous peine de devenir réductionniste. Il sera impossible d'étudier la complexité toute entière des milieux et paysages et à toutes échelles depuis la feuille de la litière jusqu'à la région toute entière. Il s'agit donc d'accepter la complexité de ces milieux, de distinguer des sous-ensembles sans les considérer de façon isolée. Mais comment ne pas dissocier les milieux, si on souhaite les cartographier, comment ne pas décomposer le milieu en ses composantes si on souhaite mettre en évidence la composition et la structure de celui-ci ? Les phénomènes observés sont liés entre eux par les interrelations qui en font un ensemble multidimensionnel et solidaire. Ainsi une analyse des composantes doit être suivie d'une synthèse et recomposition de l'ensemble tenant compte d'une appréciation de leurs interrelations.

Concrètement, si on décompose un pédon en horizons, les horizons ne sont pas des enceintes indépendantes mais restent en réalité un ensemble complexe et organisé, organisé par des échanges notamment verticaux de matière et d'énergie. On peut quantifier certains de ces échanges, mais tout ne sera pas quantifiable, tout ne sera pas mesurable, et au fond, est-ce nécessaire pour une description de la diversité des milieux si on peut supposer à partir de travaux scientifiques préexistants que ces échanges existent, et si de plus on peut apprécier la qualité de ces échanges à travers des indices fournis par la texture ou la couleur du sol ? Toutefois, une approche pratique de la diversité des milieux et paysages ne permettra pas de mesurer toute leur complexité dans un laps de temps convenable.

Une façon de rendre justice à la complexité pourrait être de décrire les nuances de l'organisation de ces ensembles complexes et de rendre de cette façon compte de la diversité. André Dauphiné (Dauphiné, 2003 : pp.44) décrit quatre formes de complexité d'intérêt pour le géographe, dont trois nous intéressent ici car elles sont liées à la structure du système étudié et à sa (ses) dimension(s) spatiale(s). La **complexité structurelle** due au nombre de composantes de natures biotiques et abiotiques diverses, auxquelles on peut ajouter les dimensions socio-économiques et culturelles, se reflète par le grand nombre d'interactions possibles et de nature diverse qu'on peut observer entre l'ensemble de ces composantes. L'interdépendance des phénomènes se présente par ailleurs sous trois formes, interdépendance d'un système avec son

environnement, avec ses propres sous-systèmes et entre les éléments du système (Moine, 2007: 18). Il s'ajoute une **complexité liée à l'imbrication des échelles** : une étude géographique de la géodiversité serait incomplète si elle ne se situait pas à plusieurs dimensions spatiales (cf. chap. 1.3.2). Le changement d'échelle implique le plus souvent de changer le type d'observation et multiplie ainsi les variables prises en compte pour l'étude du phénomène. Par exemple, lors d'un relevé de terrain à l'échelle stationnelle seront pris en compte les corps naturels qui composent le milieu, les espèces végétales ou la granulométrie d'un horizon pédologique, tandis qu'une interprétation des photos aériennes au 1/10 000^{ème} mettra en évidence les facettes topographiques, formations végétales ou discontinuités spatiales. L'augmentation de variables rend la description de la géodiversité plus complexe. Un troisième type de complexité retenu ici et lié au précédent est la **complexité due aux niveaux d'organisation**. La quatrième forme de complexité décrite par André Dauphiné est liée au comportement plus au moins chaotique d'un phénomène géographique (Dauphiné, 2003) et serait à prendre en compte si l'on s'intéressait aussi aux changements de la géodiversité dans le temps, autrement dit, si ce travail se focalisait sur la dynamique paysagère en tenant notamment compte du facteur humain peu prévisible. La complexité des milieux en un « instant t » ne peut toutefois pas se comprendre sans prendre en compte une dimension temporelle, celle de « l'histoire » du milieu, sa mise en place. Hormis quelques éléments historiques présentés lors de la description du terrain d'étude, un changement de méthode serait nécessaire pour intégrer une étude diachronique de la géodiversité, ce qui aurait largement dépassé le cadre de ce travail. Une telle approche n'est pourtant pas dénuée d'intérêt et constituerait une suite logique au présent travail.

Comme le résume bien Alexandre Moine, « *la notion de complexité pose donc plus de questions qu'elle ne permet d'en résoudre, mais en posant ces questions, elle ouvre un champ d'investigation considérable qui force à adopter du recul et à se doter des outils nécessaires afin de comprendre ce qui nous entoure.* » (Moine, 2007 :19).

Reste donc à déterminer la méthode sur laquelle se fonde la mesure du phénomène complexe qu'est la géodiversité. C'est un phénomène complexe dans la mesure où elle se fonde sur la diversité d'objets complexes, les milieux et les paysages. Conformément aux formes de complexité décrites par A. Dauphiné il sera nécessaire de déterminer les composantes de celles-ci, définir les échelles d'étude du phénomène et caractériser les niveaux d'organisation. La méthode appliquée s'insère de cette façon dans le cadre fondamental d'une approche de la complexité, approche qui peut être qualifiée de systémique, car les composantes naturelles des milieux ainsi que le complexe paysager seront considérés comme des ensembles en interaction. La proximité du concept de complexité avec la théorie des systèmes n'est pas à démontrer (Chorley et Kennedy, 1971 :1; Huggett, 1980 :16; Le Moigne, 1990; Morin, 2005; Moine, 2006)). La théorie de l'information et la théorie des systèmes « *furent les premières théories de la complexité* » (Dauphiné, 2003 : 82).

Théorie des systèmes et systémique

La largeur du champ de la théorie des systèmes, « *d'une ampleur qui s'étend à tout le connaissable* » (Morin, 2005 : pp.28) se propose pour l'étude des systèmes complexes puisque au centre même de la théorie des systèmes se trouve « *une unité complexe, un « tout » qui ne se*

réduit pas à la « somme » de ses parties constitutives » (Morin, 2005 :pp.28) Sans vouloir insister outre mesure sur la science des systèmes (la systémique), rappelons d'abord les principales caractéristiques de la théorie des systèmes proposée par le biologiste Ludwig von Bertalanffy (Bertalanffy 1969 d'après Le Moigne, 1990; Ladrière, 1996) pour comprendre ensuite en quoi un système naturel constitue un cadre intéressant pour l'étude d'entités complexes tels que les paysages ou les milieux.

Le système, le plus simplement défini comme *ensemble d'éléments en interaction* (L. von Bertalanffy d'après Le Moigne, 1990 : 61) possède des propriétés irréductibles à celles de ses composantes, et qui sont dues aux relations qui lient les composantes du système (Ladrière, 1996). : Ces interactions attribuent des qualités supplémentaires au système. L'axiome holistique exige que l'ensemble est plus que la somme de ses parts (Smuts, 1926 d'après Steinhardt, 1999) . Chaque système est constitué de composantes qu'on peut considérer comme des sous-systèmes, qui peuvent à leur tour se décomposer en sous-systèmes d'ordre inférieur (Ladrière, 1996 :1030), ce qui renvoie à l'organisation du système et finalement à la notion de dimension ou d'échelle à laquelle est examiné le système. Le système, qu'on peut aussi qualifier d'*entité globale organisée qui évolue dans son environnement en fonction des interactions dynamiques qui existent entre ses composantes* » (Le Berre 1989 d'après Péguy, 2001 : 54) ou encore de *« totalité organisée, plus ou moins ouverte sur l'environnement »* (Dauphiné, 2003 : 83) dispose donc d'une structure, d'une organisation, d'un fonctionnement qui évoluent dans le temps.

Il est utile de rappeler que deux paradigmes ont fondé la systémique : la cybernétique et le structuralisme (Le Moigne, 1990; Le Moigne, 1996). Le paradigme structuraliste décrit un objet structuré *« dans sa totalité, fonctionnant et évoluant »* (Le Moigne, 1990 :51), tandis que la théorie des systèmes va plus loin en couplant le paradigme structuraliste au paradigme cybernétique en lui conférant ainsi une finalité et en le situant par rapport à un environnement. La finalité systémique ne peut pas se confondre avec une intention(alité) consciente, l'hypothèse téléologique ou téléonomique qui attribue un *« projet »* au système est mise en évidence par le comportement du système, le maintien d'une stabilité ou la capacité d'adaptation aux changements structurels (Le Moigne, 1990 :56; Dauphiné, 2003 :93). Un objet complexe peut donc être considéré comme un système qui évolue dans le temps, et c'est le comportement du système qui se situe au centre de l'intérêt de la théorie des systèmes (Ladrière, 1996 :1030), car le système n'est pas immuable. Observé dans le temps, le système se caractérise par une succession d'états qui décrivent son comportement. Appliqué à l'étude des géosystèmes, c'est par ailleurs l'objet de recherche de l'éthologie du paysage (Beroutchachvili et Mathieu, 1977; Khebour-Allouche, 2007). Un système naît (systémogénèse) et peut mourir (systémolyse). L'équilibre, la stabilité, la résilience d'un système, son entropie et ses capacités d'auto-organisation sont autant de sujets associés à la dynamique des systèmes, mais ne peuvent être discutés ici, pas plus que le champ de leur modélisation.

Enfin, la théorie des systèmes n'est pas universelle pour autant. Comme le précise Bertalanffy (Bertalanffy 1993 d'après Dauphiné, 2003: 92), *« Toutes les constructions scientifiques sont des modèles qui présentent certains aspects ou certaines perspectives de la réalité. »* Cette objectivisation systémique reste un choix tout à fait subjectif comme le précisent Chorley et Kennedy : *“Although intellectually necessary, this decomposition of the real world into simplified structures is an entirely subjective product of the mind of the investigator.”*(Chorley et Kennedy, 1971:1). Le modèle retenu en tant que cadre pour l'étude des milieux mérite alors une attention

particulière car toute œuvre géographique est le résultat d'un travail de réflexion, donc le produit d'une abstraction (Dauphiné, 2003 :2).

Le paradigme systémique en géographie et l'analyse de système

Cette abstraction de la réalité géographique demeure une représentation du monde réel, où comme l'exprime Charles Péguy, il faut « *considérer qu'un système ne met pas en interaction des réalités physiques ou sociales, mais répond à notre besoin d'établir des relations logiques entre les perceptions que nous nous faisons de ces réalités.* » Péguy cité alors Le Berre en insistant que le système est « *création de l'esprit, il ne se perçoit pas par les sens comme un paysage. C'est une notion totalement abstraite (Le Berre 1986)* » (Péguy, 2001 : 138). Ainsi en regardant un paysage on ne peut pas voir de géosystème, mais on peut étudier le paysage sous l'angle d'une approche systémique en utilisant le modèle du géosystème.

L'approche systémique en géographie connaît plusieurs variantes et dénominations; les objets géographiques étudiés sous l'angle systémique ne sont pas toujours les mêmes. Le modèle du géosystème connaît plusieurs interprétations et approches possibles qui seront rapidement abordés. Il n'y a pourtant pas que le géosystème, et on peut noter un certain nombre de modèles systémiques 'd'intérêt pour les géographes' (cf. Chorley et Kennedy, 1971 :pp.3; Huggett, 1980 :pp.8). Chorley et Kennedy proposent un classement de ces modèles systémiques selon leur degré de complexité : les systèmes morphogénétiques (morphological systems), systèmes de type processus-réponse, systèmes biologiques, écosystèmes et systèmes sociaux gagnent progressivement en complexité en intégrant processus physiques, décisions intelligentes, processus biologiques, et facteurs sociaux. Les systèmes d'activités humaines illustrés par Checkland en 1972 ((Huggett, 1980 :11) montrent qu'il existe de nombreux domaines d'applications en géographie humaine. Alexandre Moine par exemple applique le principe systémique au territoire (Moine, 2006; Moine, 2007).

Pour l'ensemble de ces modèles systémiques les principes restent invariants, et en premier lieu il convient d'insister sur le fait que « *tous les systèmes vivants et sociaux, et donc les systèmes géographiques, sont des systèmes ouverts* » (Dauphiné, 2003 : 84) car ils entretiennent des échanges de matière, d'énergie ou d'information avec leur environnement.

Il apparaît alors que les modèles systémiques présentent un certain nombre d'avantages pour les géographes : « *Très tôt les géographes ont remarqué que la théorie des systèmes était très utile pour formaliser les relations hommes nature, leur complexité à partir des boucles de rétroaction.* » (Dauphiné, 2003 : 87) Cette façon d'échapper à la pensée causaliste et de privilégier la réciprocité (Péguy, 2001 : 129), de regarder l'assemblage plutôt que les pièces ((Bavoux, 2002 :120) est une méthode qui se prête entre autres plus aisément à la mesure de l'interdépendance des composants et à l'étude des structures spatiales, « *spatio-fonctionnelles, et spatio-temporelles* ». C'est une « *méthode qui favorise à la fois le décryptage du complexe, la modélisation et la transdisciplinarité* » (Bavoux, 2002 :121). La spécificité des systèmes géographiques repose aussi dans « *l'imbrication des relations verticales (entre niveaux ou fonctions) et horizontales (entre lieux). Ils combinent des échelles spatiales emboîtées et des pas de temps variés.* » (Bavoux, 2002 : 118). L'analyse d'un système géographique tient ainsi compte des

structures, des interdépendances entre les composantes de l'objet étudié, de l'évolution de l'ensemble dans le temps, des échelles multiples et se prête parfaitement comme cadre pour une étude de la géodiversité.

Holisme critiqué et défendu

Associé à la systémique, le principe holistique revient à regarder l'objet géographique comme un «tout» complexe et à constituer un ensemble par intégration au lieu de faire une simple addition d'éléments. Le principe d'intégration (Peters, 1998 : 127) stipule que les éléments ne sont pas seulement juxtaposés dans un ensemble mais que leurs interrelations les organisent et permettent de « fondre » („*verschmelzen*“) un ensemble. Même si « *c'est l'interaction et non pas la totalité qui est au cœur de la théorie des systèmes* » (Dauphiné, 2003 :93), la systémique applique l'axiome holistique dans la mesure où les éléments ne sont pas seulement considérés pour leur valeur et propriétés intrinsèques mais examinés dans leur contexte (Antrop, 2005 :35).

Le principe de l'holisme se trouve déjà chez Alexander von Humboldt, même si celui-ci n'utilise pas le terme de holisme, en revanche celui de *Gestalt*⁴⁹(Antrop, 2005), qui caractérise un ensemble par son apparence extérieure. Sa définition du paysage comme „*Totalcharakter (einer Erdgegend)*“ reflète assez bien cet esprit holistique. Effectivement, en raison du caractère « entier » du paysage, l'holisme est élevé en principe central notamment dans la science du paysage géographique („*Landschaftsforschung*“) (Peters, 1998) et dans l'écologie du paysage. Schmithüsen avait tenté par exemple de traduire le principe d'une observation entière, totale de la concomitance de l'espace („*Prinzip der Totalbetrachtung des Zusammenbestehens des Raums*“) (Schmithüsen, 1976 : 71) dans ses travaux sur la Synergie (cf. chap. 1.2.2.3); elle trouve son origine dans la synergétique, sous-discipline de la Thermodynamique (de *synergia*, concomitance) (Turba-Jurczyk, 1990 :pp.32). En écologie du paysage, Zonneveld et avec lui Naveh et Lieberman ont adopté un concept relativement proche, celui du *holon* (Zonneveld, 1989 : 70; Naveh et Lieberman, 1994), composante élémentaire du *Total Human Ecosystem*, plus ou moins autonome et « entier », qui peut toutefois être décomposé et recomposé en *holons* des dimensions hiérarchiques inférieures et supérieures (Antrop, 2005).

L'holisme est aujourd'hui critiqué par un certain nombre de chercheurs. “*This may be because holism is an abstract concept that is inherently difficult to apply, in particular when using so called objective quantitative methods.*” (Antrop, 2005 :35). L'holisme ne veut pas pour autant dire qu'il faudra tout étudier avant de pouvoir tirer des conclusions, “ *holism means that an object with all his properties can be considered as a natural whole, that, as such, can be recognized as a type by only a few well-chosen characteristics. Holism is hence also the basis of any typology or classification.*” (Zonneveld, 1989: 70). L'holisme s'oppose en revanche au réductionnisme et indirectement aussi à la spécialisation des savoirs. Le réductionnisme s'attache à l'analyse, l'holisme à la synthèse (Peters, 1998; Brunotte, Gebhardt *et al.*, 2002). C'est en ce sens qu'il faudra trouver le juste milieu entre réductionnisme et holisme (Moine, 2007), car une certaine

⁴⁹ Puisqu'il s'agit aussi d'un concept utilisé par exemple en Psychologie la traduction de *Gestalt* en « configuration » ou « forme » faisant en même temps référence à la structure est assez insatisfaisant...

réduction est nécessaire pour une approche analytique, répandue en géographie (Peters, 1998 :131).

Analyse et système

L'antinomie entre la démarche analytique et systémique incite à considérer une étude ou description du système plutôt comme une *systémographie* (Le Moigne, 1996) qu'une analyse de système. La démarche analytique, très différente de la démarche systémique, vise d'abord une étude détaillée des éléments pris un par un, et « *peut à la rigueur démêler le compliqué, mais est incapable de maîtriser le complexe parce que chaque objet géographique participe d'une totalité et répond à une finalité d'ensemble.* » (Bavoux, 2002 :120). Pourtant, la « *théorie des systèmes ne s'écarte pas totalement de la démarche analytique, car lors d'une première étape, le géographe décompose tout en parties. Ce n'est qu'après cette décomposition que la théorie des systèmes offre des règles de reconstruction du monde* » (Dauphiné, 2003 : 82). Conformément à la méthode d'*analyse des systèmes* décrite par Berry (Berry 1971, d'après Dauphiné, 2003 : 83), on peut distinguer trois étapes adaptées aux propriétés du système : identification des éléments, étude des interrelations (structure fonctionnelle) et de la structure spatiale (relations entre espaces) et enfin l'étude de sa dynamique en tenant compte des relations avec son environnement. En s'inspirant de cette méthode pour mettre en place une étude de l'état de la géodiversité, il conviendra alors de décrire d'abord les composantes du système (les composantes du milieu et/ou des paysages), de caractériser au moins de façon qualitative leurs interrelations fonctionnelles, puis de caractériser leur organisation spatiale. Des approches diachroniques peuvent compléter la démarche par une étude de l'évolution du système dans le temps, mais ne seront pas abordées ici.

Avant toute caractérisation du système il faudra cependant identifier les particularités du système qui doit être décrit, c'est-à-dire préciser de quel type de système il s'agit.

1.3.1.4. Des systèmes « naturels »

L'écosystème et les concepts associés

S'il est nécessaire de choisir un système de référence, il sera judicieux de s'intéresser d'abord de plus près à la conception de l'*écosystème*, en tant que premier modèle systémique utilisé dans les sciences de la nature. L'utilisation de la théorie des systèmes dans les sciences de la nature, plus précisément dans les sciences de la vie sous la forme de l'*écosystème* établi par Arthur George Tansley en 1935, était précurseur à l'application de la systémique en géographie : le géosystème a été défini par Sočava seulement en 1963.

Même si la notion de *système écologique* (*ökologische Gestalt-Systeme*) avait déjà été abordée par Woltereck en 1928, (Müller, 1980 :113) il est admis que c'est Tansley qui a introduit en 1935 le terme d'*écosystème* proprement dit et bien avant la *General System Theory* de von Bertalanffy (von Bertalanffy, 1968) qui consolidera l'approche systémique en écologie. Dans l'article fondateur, Tansley affiche clairement le point de vue d'un écologue issu des sciences de la vie, portant son regard tout d'abord sur les organismes vivants. Malgré cela l'importance de la prise en

compte de leur environnement physique est reconnue. *“Though the organisms may claim our primary interest, when we are trying to think fundamentally we cannot separate them from their special environment, with which they form one physical system. It is the systems so formed which, from the point of view of the ecologist, are the basic units of nature on the face of the earth. Our natural human prejudices force us to consider the organisms (in the sense of the biologist) as the most important parts of these systems, but certainly the inorganic “ factors” are also parts - there could be no systems without them, and there is constant interchange of the most various kinds within each system, not only between the organisms but between the organic and the inorganic.”* (Tansley, 1935 :299). Cette définition convient parfaitement pour la plupart des études en écologie du paysage et également les études biogéographiques dans la mesure où l’approche écologique se concentre notamment sur les organismes vivants : sont considérées les interrelations entre organismes (biocénoses) et environnement (biotope), ainsi que les interrelations entre organismes. En revanche les interrelations entre les éléments de « l’environnement », entre les composantes abiotiques ne sont pas mentionnées, et les composantes anthropiques ne sont pas explicitées dans cette définition. Par ailleurs, on note une certaine souplesse de la notion : *“These ecosystems, as we may call them, are of the most various kinds and sizes.”* (Tansley, 1935:299). Ce constat permet d’observer des écosystèmes aux échelles les plus diverses, des dimensions microscopiques à macroscopiques, sans pour autant se référer à la notion d’espace.

Aujourd’hui l’écosystème se trouve parfois interprété dans un sens encore plus large comme le conçoivent Pickett et Grove (Pickett et Grove, 2009), qui estiment que de nos jours un concept volontairement élargi de l’écosystème peut également s’appliquer à l’écologie urbaine, en intégrant les habitats urbains, les actions et institutions humaines, les artifices construits et les infrastructures. Au lieu de se réduire aux complexes biotiques et physiques de l’écosystème, ces auteurs proposent d’intégrer également un complexe social et un complexe des artifices construits (*built complex*) (Pickett et Grove, 2009 :6). Cela s’approche de la conception du *Total Human Ecosystem* proposé par Naveh (Naveh et Lieberman, 1994) (cf. chap. 1.1.1.3 et 1.2.3.4) et le *Landschaftsökosystem* (l’écosystème paysager) formulé par Leser (Leser, 1997a). Ces derniers intègrent explicitement des composantes anthropiques, biologiques et physiques et se rapprochent ainsi de la conception du géosystème retenu généralement par les auteurs français. Il apparaît que le concept d’écosystème est interprété de façon extrêmement variée et qu’en principe tout objet écologique peut être apprécié sous l’angle des principes systémiques, c’est à dire sous l’appellation d’écosystème (Peters, 1998 :193). Il ensuit une utilisation assez banale du terme d’écosystème. Comme le précise Wolfgang Peters qui fournit par ailleurs quelques éléments théoriques très intéressants sur la construction des modèles de l’environnement et de la nature (Peters, 1998), différents modèles écosystémiques peuvent présenter des contenus très variés malgré une conception identique sur le plan formel (Peters, 1998 :194)⁵⁰.

Les écosystèmes se caractérisent par une certaine dynamique et se comportent comme des systèmes ouverts qui échangent avec leur environnement, leur conférant une variabilité spatio-temporelle illustré par l’hétérogénéité spatiale (*patch dynamics*). Bien d’autres notions associées à

⁵⁰ „Je nach biologiegeschichtlicher und wissenschaftstheoretischer Tradition können konkrete Ökosystemmodelle trotz des formal gleichen Typs sehr unterschiedliche Inhalte repräsentieren.“ (Peters, 1998)

l'approche écosystémique (cycles biogéochimiques, chaînes trophiques, relations interspécifiques, etc.) ainsi que des hypothèses importantes globalement admises en écologie (théorie des îles, concept des niches écologiques, résilience, ...) permettent une meilleure compréhension de la biodiversité et contribuent ainsi à l'interprétation intégrée de la géodiversité, mais ils ne pourront pas être discutés ici. On peut se référer aux ouvrages en la matière (Müller, 1980; Frontier, Pichod-Viale *et al.*, 1991; Glavac, 1996; Lamotte, Blandin *et al.*, 1996; Lamotte et Duvigneaud, 1996; Frey et Lösch, 1998; Frontier, 1999; Odum, 1999; Ramade, 1999; Barbault, 2000; Lacoste et Salanon, 2000; Ozenda, 2000; Lévêque, 2001; Chapin, Matson *et al.*, 2002; Schulze, Beck *et al.*, 2002; Dajoz, 2003; Ramade, 2003; Nentwig, 2004; van der Maarel, 2006; Beierkuhnlein, 2007; Townsend, Begon *et al.*, 2009). De façon générale l'approche écologique semble privilégier l'étude du fonctionnement (Rougerie 1988 :219) de l'écosystème comme en témoigne l'intérêt pour les flux d'énergie et les cycles de matières. En étudiant les biocénoses dans leur environnement, l'approche écosystémique privilégie la relation entre composantes biotiques et abiotiques (Beierkuhnlein, 2007 :211) et par analogie on peut se demander si l'étude d'une géodiversité « globale » ne devrait pas se fonder sur un modèle mieux adapté à étudier les relations spatiales les composantes abiotiques, biotiques et anthropiques se manifestant dans les milieux.

L'écosystème et le géosystème

Est-ce que l'écosystème suffira comme modèle de base pour l'étude de la géodiversité, ou faut-il privilégier un système plus géographique comme le géosystème ? Écosystème et géosystème sont deux modèles pour étudier la nature dans un esprit systémique. On peut les considérer comme deux approches comparables (Burel et Baudry, 1999 :9), mais cela pose en même temps la question de leurs différences. Or, la mise en évidence de ces différences dépend de la conception que l'on a des deux types de systèmes, car celles-ci ne se présentent pas de façon uniforme selon les différents auteurs et rendent difficile une distinction bien nette. Une différenciation sera pourtant nécessaire pour mettre en évidence si ces systèmes se situent sur un pied d'égalité ou s'ils s'emboîtent hiérarchiquement, s'il s'agit de modèles contradictoires ou complémentaires. Comme le souligne Wolfgang Peters (Peters, 1998 :192), les différents modèles considérant l'environnement ou la nature de façon systémique (écosystème, géosystème, écosystème paysager, etc.) ne sont pas rigoureusement définis et se chevauchent fréquemment de façon à ce que l'on se voie dans l'obligation de citer l'auteur respectif de chaque interprétation et que des affirmations ne puissent être faites seulement en se référant à des sources précises⁵¹. Cela induit qu'il n'y a pas un seul géosystème mais de multiples conceptions du géosystème, qui seront alors à discuter dans le chapitre suivant, afin de déterminer le modèle retenu.

Semblables grâce à leurs propriétés systémiques intrinsèques, thermodynamiquement ouverts et similaires dans leur approche environnementale ou encore naturaliste en considérant les interrelations entre vivant et milieu (Rougerie 1988 :234), « *concepts naturalistes qui incorporent plus ou moins directement certains aspects sociaux (impact anthropique)* » (Bertrand, 1978),

51 „Die einzelnen Modellkonzepte stehen dabei nicht streng definiert und abgegrenzt nebeneinander, sondern überschneiden sich vielfach. Zudem werden die Modellkonzepte im einzelnen sehr unterschiedlich aufgefaßt, so daß unter einer Überschrift immer verschiedenen Auslegungen bzw. Varianten der Modellkonzepte betrachtet werden müssen und Aussagen immer nur für genau bestimmbare Quellen und Autoren getroffen werden können.“ (Aurada, 1999)

écosystème et géosystème semblent toutefois se distinguer, ne serait-ce que par leur préfixe. La question du choix entre l'écosystème et le géosystème est en fin de compte la question du rôle qu'on attribue à l'écologie en géographie. Associé à cette question se trouve le champ disciplinaire de l'écologie du paysage et son rapport avec la géographie (cf. chap. 1.3.3.3). Les contributions de l'écologie du paysage aux approches spatiales (écologiques), aux milieux et aux paysages sont incontestables et ne peuvent être ignorées ici. Pas étonnant alors que *l'écosystème paysager sensu* Leser (Leser, 1997a)) empiète à la fois sur des conceptions larges de l'écosystème et du géosystème. Malgré les chevauchements et recoupements nombreux et confus, on peut tenter de mettre en évidence quelques divergences entre les modèles écosystémiques et les modèles géosystémiques soulevés par les géographes, même si certains auteurs sont d'avis que le géosystème « *reste encore un concept peu développé, loin de la maturité scientifique de l'écosystème* » (Bertrand et Bertrand, 2000 :70) .

Gabriel Rougerie, en reprenant des travaux sur des géosystèmes faits par Georges Bertrand (1968) et par Jean-François Richard, estima en 1988 que le géosystème « *est généralement de plus vaste étendue territoriale* » que l'écosystème (Rougerie 1988 :234). Or, c'est attribuer un ordre de grandeur tant à l'écosystème qu'au géosystème alors que la notion même d'échelle reste discutable si on considère ces systèmes comme des modèles. En revanche, il constate à juste titre que le géosystème intègre aussi « *les interrelations entre composantes abiotiques, indépendamment de la présence du vivant* » (Rougerie 1988 :236)., qui ne sont pas prises en compte en tant que telles dans la définition de l'écosystème selon Tansley (voir ci-dessus). Comme « *l'écologie est une science biocentrique et l'écosystème [...] un concept biologique* » (Bertrand, 1978 :244) la finalité des études écosystémiques privilégie l'étude des processus et éléments biotiques au détriment des composantes abiotiques et anthropiques. Le géosystème cherche à prendre en compte éléments biotiques, abiotiques et anthropiques avec « *égal intérêt* » et « *ajoute une dimension latérale à la seule dimension verticale retenue par la plupart des approches écosystémiques* » (Rougerie et Beroutchachvili, 1991 :61). Par ailleurs, la *gravité*, force négligée dans les approches du fonctionnement écosystémiques, serait plus explicitement prise en considération dans le géosystème (Rougerie 1988 :235).

Reste à souligner discrimination fondamentale qui différencie le géosystème se de l'écosystème « *du fait de sa territorialisation et de son anthropisation* » (Bertrand et Bertrand, 2000 :69), il s'agit d'un « *modèle géographique territorial* », qui « *répond [...] à un souci plus géographique ou plus physiogéographique d'appréhender l'espace.* » (Rougerie 1988 :235)

Le géosystème se prête alors mieux comme modèle fondamental pour l'étude d'une géodiversité géographique, à condition de préciser de quel géosystème il est question (cf. chap. suivant 1.3.2).

1.3.2. L'approche systémique en géographie : cadre pour une étude de la géodiversité

1.3.2.1. Le géosystème, les géosystèmes

Un modèle « *à la fois concept et méthode* » ((Richard, 1975 :81) sur lequel repose l'abstraction de la réalité géographique peut constituer le cadre fondamental de l'étude de la géodiversité. Se propose un modèle géographique, car insistant sur le caractère spatial, un « *système géographique* » parfois qualifié de *naturel* (Richard, 1975; Beroutchachvili et Bertrand, 1978b). Le géosystème, « *lié à un territoire* » (Beroutchachvili et Bertrand, 1978b).

Le vocabulaire géographique traduit en allemand et anglais par Ravail et Braun livre une courte définition du géosystème, appelé "geosystem" en anglais et „Geosystem“ en allemand : « *système résultant de l'existence d'un milieu naturel et des actions de l'homme sur le milieu* » (Ravail et Braun, 2004). Cette interprétation a l'avantage d'être très simple. Un peu plus explicite et systémique, la définition du dictionnaire de biogéographie (Da Lage et Metaillé, 2000 :252) : « *modèle d'organisation de systèmes spatio-temporels, reposant sur une interconnexion par échanges de matière et d'énergie entre substrat sol, eau, masses d'air et communautés vivantes, homme compris.* » mentionne les principales composantes du géosystème en respectant le paradigme thermodynamique et en intégrant l'homme à la composante biologique. Parfois ces composantes matérielles du géosystème sont remplacées par une intégration des *sphères* comme sous-ensembles abstraits étudiés en géographie : biosphère, atmosphère, hydrosphère, lithosphère et pédosphère, à leur tour « *éléments en interaction qui composent le géosystème* » (Veyret, 1999 :26; Ciattoni et Veyret, 2007 :70).

L'émergence et l'utilisation du géosystème

Terme lancé en 1963 par Victor B. Sočava⁵² (Sočava, 1963:59; Sočava, 1974 :166; d'après Rougerie et Beroutchachvili, 1991), le géosystème est conçu par son auteur dans l'esprit du paradigme thermodynamique comme système naturel géographique à côté duquel il identifie également un système de production territoriale (*territoriales Produktionssystem*) (Sočava, 1974 :161). Les géosystèmes sont définis dans son ouvrage « *Introduction à la science des géosystèmes* » de 1978 comme des « *systèmes naturels de niveau local, régional ou global, dans lesquels le substrat minéral, le sol, les communautés d'êtres vivants, l'eau et les masses d'air, particuliers aux diverses subdivisions de la surface terrestre, sont interconnectées par des échanges de matière et d'énergie, en un seul ensemble.* » (Sočava,1978 cité à partir de Rougerie et Beroutchachvili, 1991 :59). Sočava propose (dans un article paru en allemand) de remplacer au sein de la géographie, notamment au sein de la géographie physique, le paradigme *paysage* par le paradigme *géosystémique* (Sočava, 1974). Pour combler la nécessité d'une théorie unifiant toutes

⁵² parfois aussi écrit comme Sochava ou Sotchawa

les disciplines géographiques⁵³, il propose d'appliquer le paradigme systémique également à l'organisation des sciences géographiques.

L'essor du géosystème dans la géographie soviétique (Rougerie et Beroutchachvili, 1991 :59) s'insère dans le développement de la *landschaftovedenie* russe initiée et avancée entre autres par V.V Docoutchaev, L.S. Berg, N.A. Solntsev et A.G. Isachenko (Billwitz, 1963; Preobrazhenskiy, 1983; Rougerie et Beroutchachvili, 1991). Le succès du concept de géosystème réside dans l'application de la théorie des systèmes dans la science du paysage, c'est-à-dire dans l'étude des paysages à travers le modèle systémique, mais l'idée n'est pourtant pas si nouvelle.

Elle se retrouve au sein de la *landschaftovedenie* déjà dans le concept de *complexe naturel territorial* (CNT), développé à la fin du XIXème siècle par le pédologue V.V. Dokoutchaev (Rougerie et Beroutchachvili, 1991). Parfois aussi appelé *complexe territorial naturel* (Pinchemel et Pinchemel, 1997a :292) ou *complexe naturel géographique* (« *natürlicher geographischer Komplex* ») (Billwitz, 1963), son intérêt réside dans la prise en compte de toutes les composantes de la surface terrestre en tenant compte de leurs interrelations.

Proche du CNT de Dokoutchaev la notion de „*Geokomplex*“ a connu un certain succès en Allemagne, plus particulièrement en RDA. Elle décrit les phénomènes associés en une portion concrète de l'espace « naturel » („*Naturraum*“) (Richter, 1968; Haase, 1991 :34). En tant que système énergétique et matériel, le géocomplexe peut être lui-même qualifié de géosystème (Klug et Lang, 1983 :10). C'est-à-dire que le géocomplexe peut être considéré comme une représentation concrète, une application localisée et bien délimitée du modèle abstrait de géosystème. Le géosystème est alors une approche du *géocomplexe* (Rougerie et Beroutchachvili, 1991 :61), ou comme l'expriment Klug et Lang : « *la science des géosystèmes se préoccupe [...] des géocomplexes, respectivement de géosystèmes de dimensions variés.*⁵⁴ » (Klug et Lang, 1983 :10). Le géocomplexe est caractérisé par la concomitance des composantes matérielles appelées aussi « *substances géosphériques* » („*geosphärische Substanz*“) et des forces naturelles et anthropiques (techniques) ou *géofacteurs* qui se manifestent dans l'interaction entre les composantes d'où résulte le *Wirkungsgefüge*⁵⁵ du paysage soumis à une dynamique (Haase, 1991 :34) (cf. fig. 1.1). Le *complexe paysager* et le *complexe naturel* („*Landschaftskomplex*“ , „*Naturkomplex*“) sont considérés comme des synonymes du géocomplexe (Richter, 1968 :40). En Allemagne de l'Ouest le *géocomplexe* trouva son équivalent dans le « *Synergochor* » comme unité spatiale de la « *Synergose* » (paysage) (Klug et Lang, 1983 :6).

L'intérêt du géosystème, forgé d'après le modèle de l'écosystème, mais proposant de dépasser ce dernier système « *a priori biocentrique* » (Rougerie et Beroutchachvili, 1991 :61) et tenant plus explicitement compte de la dimension spatiale, a eu toutefois un succès mitigé à l'échelle internationale. Davantage utilisé dans la partie orientale de l'Europe, son application reste modeste par rapport à l'écosystème d'usage plus populaire⁵⁶. Même si Richard Chorley et Barbara

⁵³ „Bereits 1963 wurde auf die Notwendigkeit einer Theorie hingewiesen, die alle geographischen Disziplinen vereint, in denen Nature, Wirtschaft und Bevölkerung untersucht werden.“ (Sočava, 1974:166)

⁵⁴ „In Geosystemlehre (und Geosystemforschung) setzt sich die Landschaftskunde mit Geokomplexen bzw. Geosystemen verschiedener Größenordnung auseinander“ (Klug et Lang, 1983:10)

⁵⁵ « *structure interactive* » cf. note de bas de page du chap 1.2.

⁵⁶ Quoique modestement appliqué dans la géographie germanophone et francophone, le concept semble quasiment absent dans la géographie anglo-saxonne, ce qui est remarquable et pas anodin si on considère sa popularité en Russie et dans les pays de l'ancien bloc soviétique.

Kennedy ont adapté et publié en 1971 les fondements de l'approche systémique en géographie physique (Chorley et Kennedy, 1971), et que Richard Huggett synthétise l'analyse systémique en géographie, (Huggett, 1980; Huggett, 2007), leur propos reste universel, ils n'insistent pas sur le concept de géosystème proposé par Sočava. Sans insister sur une revue plus exhaustive de la littérature sur le géosystème, il sera toutefois nécessaire de clarifier quelques nuances d'interprétation entre auteurs germanophones et francophones.

Différentes conceptions du géosystème dans la géographie germanophone

Malgré l'impulsion donnée par Sočava en 1974, le „*Geosystem*“ connaît des interprétations différentes au sein des travaux germanophones, ce qui rend difficile l'utilisation de la notion sans se référer explicitement à des auteurs précis. De façon un peu simplifiée, on peut distinguer deux grands courants de pensée. Selon les travaux des géographes allemands qui s'accordent avec la conception de Sočava, le géosystème tient compte des composantes abiotiques, biotiques et anthropiques. En ce sens, le géosystème occupe parfois un niveau hiérarchique supérieur à *l'écosystème paysager* („*landschaftliches Ökosystem*“)(Neef, 1970 : 163 selon Mosimann 1984; Haase, 1979 : 9; Klug et Lang, 1983 : pp.31 et p.164) par l'intégration explicite des composantes techniques et anthropiques. Un autre courant de pensée, plus récent, considère le *Geosystem* au contraire comme une partie constituante de *l'écosystème paysager* conférant au *Geosystem* une portée limitée.

Klug et Lang (Klug et Lang, 1983) livrent une introduction assez complète de la « science des géosystèmes » („*Geosystemlehre*“) et Brigitta Turba-Jurczyk (Turba-Jurczyk, 1990) a consacré un ouvrage à la recherche géosystémique („*Geosystemforschung*“) en Europe centrale. A travers ces ouvrages, on peut constater que le géosystème, tenant compte du potentiel écologique, des actions anthropiques et des productions biologiques (Klug et Lang, 1983 :164), se retrouve en filigrane dans de nombreux travaux de géographes allemands. Tantôt objet géographique réel en tant que système défini par des flux de matière et d'énergie, tantôt reproduction abstraite d'une partie de la géosphère aux propriétés systémiques (Klug et Lang, 1983 :164), la proximité intellectuelle entre géographes d'Europe centrale et orientale s'exprime dans les conceptions retenues. Peu après l'introduction du paradigme systémique dans la géographie allemande par Sočava (Sočava, 1974) et l'application de principes systémiques dans la *Landschaftskunde* et dans l'écologie du paysage en RDA, (par exemple (Neef, 1967b; Richter, 1968), le manuel de *géosynergétique globale* („*Allgemeine Geosynergetik*“) de Josef Schmithüsen consolida l'approche systémique en géographie en Allemagne de l'ouest sans toutefois mentionner le *Geosystem*. En revanche, Ernst Neef posa très tôt les fondements pour l'étude des géosystèmes qu'il inséra dans le champ notionnel de la „*Landschaftskunde*“ de l'époque. Il promouvait entre autres la topologie des géosystèmes (Neef, 1972b; Neef, 1983b) tout en insistant sur le fait que les géosystèmes existent dans divers ordres de grandeurs (Neef, 1968) aussi appelés dimensions. La topologie des géosystèmes („*Geotopologie*“) se consacre à l'étude de plus petites unités paysagères ou géosphériques que l'on peut considérer comme des « *géosystèmes élémentaires* » (Meynen, 1985), les géotopes. Conformément aux systèmes la taxo-chorologiques établis par Neef, Haase et autres (Neef, 1963; Neef, 1964; Neef, 1967b; Haase, 1976; Haase, 1979), la géochorologie („*Geochorologie*“) se consacre à l'étude des

géochores, mosaïques des unités spatiales topiques (topologiques). Le géosystème, composé de *géoéléments* („*Geoelemente*“) reliés entre eux par des « *géorelations* » („*Georelationen*“), reste une notion « relative ». Autrement dit ; la définition des géorelations et des géoéléments dépend des objectifs de recherche et du choix de l'échelle (dimension), ce qui détermine sa délimitation verticale et latérale (Klug et Lang, 1983 :22). A la différence de l'écosystème les géorelations entre les géoéléments du géosystème ne peuvent se réduire aux relations écologiques caractérisant organismes et environnement : les trois types de géorelations décrites par Haase (physico-chimiques, écologiques et technologiques, (cf. fig.1.1) (Haase, 1979; Haase, 1991) peuvent en revanche être qualifiées de *géosynergétiques* („*geosynergetisch*“) (Klug et Lang, 1983 :7).

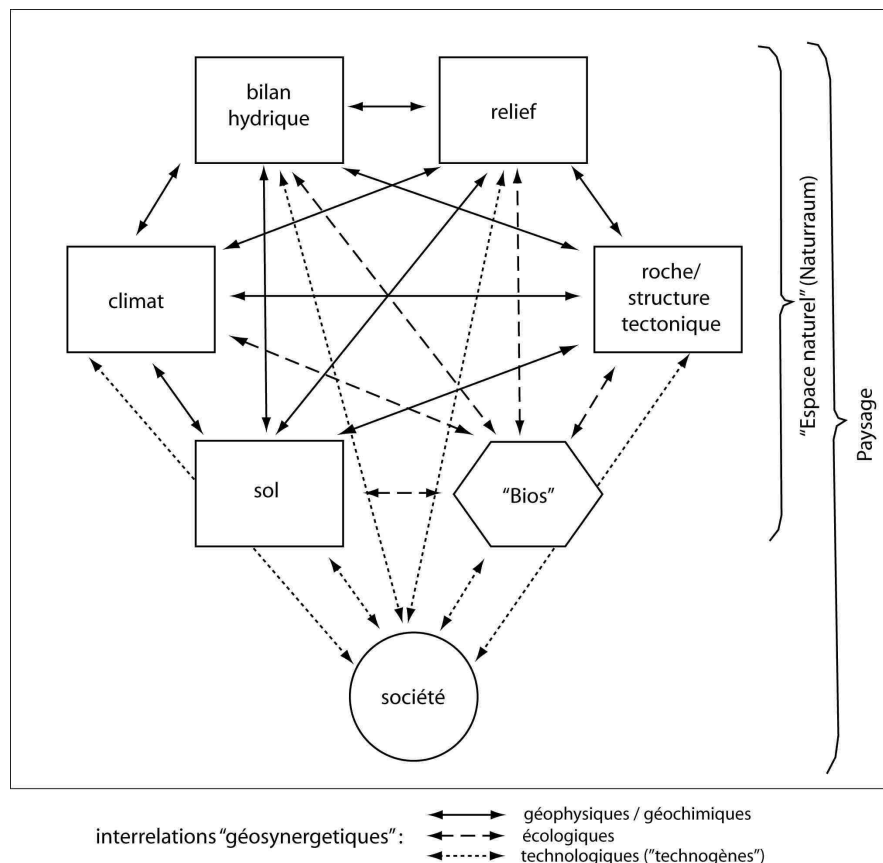


Fig. 1.1 : Représentation simplifiée des principales composantes du géosystème (géocomplexe) et de leurs interrelations

Source : d'après Haase (Haase, 1979 :8 et Haase 1991, d'après une ébauche de Haase et Barsch, 1977), légèrement modifié, simplifié et traduit par A.M. Müller

Les problèmes de quantification et de mesure des processus, d'échelle et de délimitation cartographique ne sont que quelques-uns des thèmes abordés dans cet esprit par de très nombreux travaux germanophones (Neef, 1956a; Billwitz, 1963; Neef, 1967b; Barthel, 1968; Richter, 1968; Neef, 1970; Neef, 1972a; Haase, 1973; Haase, 1976; Haase, 1977; Neumeister, 1977; Barsch, 1978; Haase, 1978; Neumeister, 1979a; Neumeister, 1979b; Neumeister, 1981; Neef, 1983a; Neumeister, 1988; Haase, 1989; Haase, 1991; Blumenstein, 1994; Mannsfeld et Neumeister, 1999; Neumeister, 1999). Ces derniers auteurs comptent parmi les principaux promoteurs du géosystème dans la géographie germanophone dès la fin des années 1960. Le rôle de la « science des géosystèmes » pour la géographie peut être considéré comme analogue à la place qu'occupent les sciences des

écosystèmes dans la biologie (Haase, 1991 :29). Klaus Aurada soutient cependant que le concept de géosystème dépasse les capacités du concept écosystémique à décrire des systèmes auto-organisés qui se manifestent dans l'espace⁵⁷ (Aurada, 1999). Ce n'est pas pour autant un rejet de la *Landschaftsökologie* ou de la *Geoökologie*, considérées le plus souvent comme synonymes. Au contraire, l'écologie a fortement inspiré la géographie et la recherche géosystémique. Le concept du *Geosystem* s'insère dans la continuité des champs géographiques de la *Landschaftslehre*, de la *Geosynergetik* et de la *Landschaftsökologie (Geoökologie)* et constitue dès lors le fondement de la science du paysage géographique⁵⁸ (Klug et Lang, 1983). Pour Blumenstein les géosystèmes constituent l'objet de recherche de la géoécologie, qui est une science cherchant à élucider les structures, fonctionnements et interrelations entre géosystèmes (Blumenstein, Schachtzabel *et al.*, 2000 :9) ce qui ne se différencie pas fondamentalement de l'avis de Huggett qui qualifie cet objet de *geocosystem* (Huggett, 1995)..

Il est par contre nécessaire de préciser qu'il existe une autre interprétation du géosystème développé à partir des années 1980, et promue notamment par Hartmut Leser (Leser, 1997a; Leser, 1997b; Leser et Nagel, 1998) de l'Université de Bâle et son collaborateur Thomas Mosimann. Le géosystème se limite chez ces auteurs alors au système « partiel » („*Teilsystem*“) ⁵⁹ anorganique, hiérarchiquement inférieur au *géoécosystème* („*Geoökosystem*“), ce dernier englobant également le „*Biosystem*“. Du fait de nombreuses publications et contributions relativement récentes, dont des ouvrages encyclopédiques (Leser et Schaub, 1995; Leser, 1997b; Dictionnaire de géographie de Leser, Haas *et al.*, 1997; Leser et Nagel, 1998; Lexique de géographie de Brunotte, Gebhardt *et al.*, 2002), cette dernière école de pensée semble aujourd'hui assez populaire. Pour ces auteurs, il en résulte une vision restreinte de la géodiversité en tant que diversité des composantes physiques, lithologiques, minéralogiques et encore, par extension, pédologiques (Leser, Haas *et al.*, 1997 :251). La conception emboîtant le géosystème dans le *géoécosystème* („*Geoökosystem*“) ou encore dans *l'écosystème paysager* („*Landschaftsökosystem*“), est encore davantage brouillée par le fait que certains auteurs (Mosimann, 1984: 20) considèrent le *géoécosystème* comme synonyme de *l'écosystème paysager*, alors que Leser (Leser, 1997a: 128-193; Leser, Haas *et al.*, 1997) les différencie en considérant le *géoécosystème* comme un modèle fonctionnel du géotope, donc à l'échelle topique seulement, et en interprétant en revanche *l'écosystème paysager* comme un supersystème plus explicitement anthropisé (voir traduction dans Müller, 2004 : fig.1). Si on considère comme synonymes le *Geoökosystem* et le *Landschaftsökosystem*, cela revient en fait à admettre que l'écologie du paysage est synonyme de la géoécologie (Buttschardt in Brunotte, Gebhardt *et al.*, 2002 : vol.2 p.29).

⁵⁷ „Als Beschreibungsmöglichkeit sich räumlich manifestierender, selbstorganisierender Systeme geht das Geosystemkonzept jedoch über das Ökosystemkonzept hinaus.“

⁵⁸ « In Weiterführung der von Troll (1939) initiierten Übernahme des ökologischen Forschungsansatzes in die naturwissenschaftlich ausgerichtete Landschaftskunde fanden systemtheoretische und kybernetische Grundvorstellungen eine konsequente Anwendung[...].Dieser Prozeß[...] führte zur Ableitung und Anwendung des Geosystemkonzeptes, von dem die geographische Landschaftsforschung heute ausgeht.“ (Klug et Lang, 1983:1)

⁵⁹ A noter qu'un „*Teilsystem*“ (système partiel) diffère d'un « Subsystem » (sous-système) (Brunotte *et al.* 2002) et qu'un système partiel d'un géosystème ne constitue pas forcément un géosystème hiérarchiquement inférieur.

Mosimann souligne par ailleurs, que des divergences terminologiques existent sans qu'il y ait pour autant de différences fondamentales en ce qui concerne les contenus (Mosimann, 1984 :19)⁶⁰: Dans son ouvrage présentant une méthode très complète d'analyse des complexes paysagers, inspirée par l'écologie du paysage (*Landschaftsökologische Komplexanalyse*), il en vient souvent à considérer comme synonymes *Geosystem* et *Geoökosystem*, en disposant l'un entre parenthèses derrière l'autre (Mosimann, 1984 : pp.34, p.49, p.57 etc.) En ce sens, le géoécosystème des travaux de Mosimann se rapproche de nouveau de la conception du géosystème promue par Ernst Neef, Günter Haase, etc. La vision restreinte du géosystème comme système partiel de *l'écosystème paysager* au sens de H. Leser n'est pas pour autant la seule conception répandue comme le démontrent l'ouvrage de Brigitta Turba-Jurczyk, résumant la recherche géosystémique de la géographie germanophone (Turba-Jurczyk, 1990) ou le manuel de géoécologie de Blumenstein (Blumenstein, Schachtzabel *et al.*, 2000). Il en résulte que la définition du géosystème de Sočava reste très proche de ce que Leser appelle un *Landschaftsökosystem* (écosystème paysager). En conséquence le géosystème dont il sera question ici s'apparente à ces deux systèmes à caractère global, tenant compte également des dimensions et composantes anthropiques et biologiques et non seulement des composantes physiques, comme le conçoit H. Leser. Le caractère global du géosystème au sens de Sočava, Neef, Haase, Klug et Lang et Turba-Jurczyk (Sočava, 1963; Neef, 1968; Neef, 1972b; Sočava, 1974; Haase, 1977; Klug et Lang, 1983; Turba-Jurczyk, 1990) correspond également de plus près au géosystème dont il est question dans la littérature francophone après 1978.

L'évolution du géosystème en France

On ne peut parler du géosystème dans la communauté des géographes francophones sans évoquer « l'école toulousaine ». Référence fréquemment citée comme l'introduction du géosystème en France (Lhenaff, 1997), l'article « *Paysage et géographie physique globale - esquisse méthodologique* » publié par Georges Bertrand (Bertrand, 1968) est considéré comme fondateur. Quoique reflétant des caractéristiques systémiques du paysage, le géosystème se restreint ici et dans un premier temps pourtant à une unité spatiale, se situant à une échelle précise dans la hiérarchie chorologique proposée par cet auteur. Placé « *entre la quatrième et la cinquième grandeur temporo-spatiale* », le géosystème est défini par Georges Bertrand comme « *unité dimensionnelle comprise entre quelques kilomètres carrés et quelques centaines de kilomètres carrés* », il se situerait entre la *région naturelle*, hiérarchiquement supérieure et le *géofaciès* et le *géotope*, hiérarchiquement inférieurs (Bertrand, 1968:259).

Comme « *l'idée du système ne se limite pas aux faits observables* » (Péguy, 2001 : 137), on peut constater qu'il y a là un amalgame entre le système considéré comme un modèle et l'unité spatiale également appelée géosystème. Or, c'est à partir de la deuxième moitié des années 1970 que le géosystème utilisé par Georges Bertrand ne se réduit plus au niveau taxo-chorologique et se rapproche davantage de la conception soviétique (Rougerie et Beroutchachvili, 1991 :81) comme en témoigne la collaboration entre Georges Bertrand et Nicolas Beroutchachvili (Beroutchachvili et

⁶⁰ „Ohne auf diese Diskussion näher einzutreten, soll [...] angedeutet werden, daß in der Literatur begriffliches Abweichungen bestehen, ohne daß die Inhalte im Fundamentalen voneinander abweichen.“

Bertrand, 1978b) à partir de laquelle le géosystème est désormais considéré comme un concept. Dans la « grille multidimensionnelle » du géosystème, le niveau taxochorologique situé hiérarchiquement entre le *géofaciès* et l'échelle du *pays* appelé *géosystème* en 1968 sera remplacé par le *géocomplexe* (Bertrand et Bertrand, 2000 :69). Pourtant la taxonomie établie en 1968 par Bertrand persiste dans la littérature et a été encore fréquemment propagée/diffusée après 1978 (Tricart et Kilian, 1979; Barrué-Pastor et Muxart, 1992; Pinchemel et Pinchemel, 1997b; Hertig et Fallot, 2006; Vergnolle-Mainar, 2007).⁶¹

Le géosystème dès lors qualifié de concept spatio-temporel, représentant « *l'espace-temps de la nature anthropisée* » (Bertrand et Bertrand, 2000) est considéré comme référence pour la recherche environnementale et les caractéristiques du géosystème, morphologie, fonctionnement et comportement sont mises en évidence (Beroutchachvili et Bertrand, 1978b). Les approches restent cependant, contrairement aux écoles russes et centro-européennes assez descriptives et se consacrent davantage à la structure qu'au fonctionnement. La distribution des composantes abiotiques, biotiques et anthropiques dans la structure interne du géosystème est appréciée par *géohorizons*, distribués verticalement et par une mosaïque de *géofaciès* sur le plan horizontal (Beroutchachvili et Bertrand, 1978b :172). Redéfini plus tard dans le concept tridimensionnel « GTP » (Géosystème - Territoire -Paysage) le géosystème sera qualifié par G. Bertrand de « *centralisateur d'une géographie physique en cours de reconstruction* » (Bertrand, 1991 :10). La prise en compte de la « composante anthropique », difficilement mesurable en termes de masses ou de volumes se limite essentiellement « à la prise en compte de l'impact économique et social » (Beroutchachvili et Bertrand, 1978b :176).

L'utilisation du géosystème dans la géographie actuelle

La comparaison des démarches « géosystémiques » en Allemagne et en France, (dont on n'a fourni ici qu'un maigre aperçu) mène à plusieurs constats. Tout d'abord, il apparaît que les analyses systémiques empiriques et quantitatives avancées notamment par Haase, Neumeister, Aurada, Klug et Lang, Mosimann et Leser contrastent très fortement avec les études dans l'ensemble plutôt qualitatives et descriptives des auteurs français. Une revue de la littérature géographique française et allemande montre qu'il s'agit d'un modèle aujourd'hui assez faiblement mobilisé dans les deux pays.

En Allemagne les recherches quantitatives, voire cybernétiques (Aurada, 1999; Aurada, 2003), sur le géosystème ne semblent pas avoir contribué de façon significative à la popularité du terme et que l'essor de la géoécologie / écologie du paysage privilège l'utilisation du géoécosystème ou de l'écosystème paysager. En ce sens l'utilisation modeste du concept de géosystème peut s'expliquer en Allemagne par les querelles terminologiques autour des notions de géosystème, géoécosystème et écosystème paysager qui auraient finalement pu pousser un

⁶¹ On peut se demander alors si la réduction du géosystème à une unité paysagère n'a pas contribué à la méprise du géosystème en tant que paradigme...

physiogéographe d'orientation naturaliste à adopter tout simplement une acceptation large de l'écosystème pour ses propos.⁶²

En France on peut avoir l'impression que le géosystème constitue plutôt un concept de fond. S'il n'est pas réduit à l'unité spatiale où les unités du paysage sont appelées géosystèmes, le géosystème semble être le « décor » des études où le « problème » est considéré comme un objet complexe. Le plus souvent même les études quantitatives ne raisonnent pas en termes de flux de matières ou d'énergie mais utilisent l'approche systémique comme alternative au raisonnement causaliste (linéaire) et ne font pas intervenir les principes mathématiques de la systémique dans l'exploitation des résultats. C'est que l'on reprochait par ailleurs aux études « systémiques »

Critiques, mises en garde et limites d'application

La conception du géosystème repose sur les principes de la systémique et que la théorie des systèmes se présente sous forme de modèles mathématiques. Une authentique analyse de systèmes se fonde alors sur de « véritables homologues mathématiques », préférables aux « modèles graphiques relativement vagues » (Dauphiné, 2003 :92). L'utilisation de la notion de géosystème ne se limite pas pour autant à une application cybernétique. A ce propos on peut préciser, comme le souligne Wolfgang Peters (Peters, 1998), que deux manières de percevoir un système coexistent : on peut considérer un système comme un objet « réel » qu'on souhaite modéliser (vision ontologique), ou alors apprécier le système comme un concept⁶³ (vision méthodique), représentation du géosystème adoptée dans le cadre de cette étude.

Abstraction de la réalité, le risque d'une simplification abusive lors de l'identification des composantes et structures du système compromettent rapidement l'idée même du modèle systémique lorsqu'on cherche à le schématiser (cf. Di Méo, 1991 :112). Le réductionnisme guette l'analyste du système (cf. figure 1.2 ci-dessous). Cette mise en garde rejoint aussi la remarque d'Edgar Morin: « il y a un systémisme fécond qui porte en lui un principe de complexité ; il y a un systémisme vague et plat, fondé sur la répétition de quelques vérités premières aseptisées (« holistiques ») qui n'arriveront jamais à devenir opérantes ; il y a enfin la 'system analysis' (...), qui transforme le systémisme en son contraire, c'est-à-dire comme le terme 'analysis' l'indique en opérations réductrices » (Morin, 2005 :29).

De nombreux schémas ont tenté d'illustrer de façon simplifiée un géosystème ou des concepts proches comme le complexe naturel (territorial), le géocomplexe, le système paysager, le géoécosystème ou tout autre système territorial ou unité géographique considérée schématiquement comme système d'éléments en interaction d'objets « naturels » et anthropiques (Armand, Preobraženskij *et al.*, 1968; Bertrand, 1968 :259; Sočava, 1974 : 165; Haase, 1977 :10; Neumeister, 1977 : 27; Neumeister, 1979b : 101; Bertrand, 1982; Klug et Lang, 1983; Preobrazhenskij, 1983 : 132; Mosimann, 1984 :15 et 17; Rougerie 1988 :237; Haase, 1989; Zonneveld, 1989 : 69; Turba-Jurczyk, 1990; Haase, 1991; Rougerie et Beroutchachvili, 1991; Finke,

⁶² Une autre raison hypothétique pourrait être la modification du poids russe sur la géographie allemande après la chute du mur et la perte de l'influence du géosystème en géographie en faveur de l'écosystème ou du géoécosystème, coïncidant avec la stimulation des préoccupations écologiques du développement durable et de la conservation de la biodiversité à partir de 1992.

⁶³ « systemanalytisches Modellkonzept »

1996 :169; Leser, 1997a; Aurada, 1999 :69; Demangeot, 2000 : 4 et 6; Tress et Tress, 2001; Aurada, 2003; Steinhardt, Blumenstein *et al.*, 2005; Moine, 2006; Moine, 2007). Ces modèles graphiques ont l'avantage d'expliciter la conception du modèle retenu par l'auteur. On peut remarquer qu'ils ne se ressemblent le plus souvent que sur le principe et à moins de rester très simples ils varient plus ou moins selon les objectifs soulignés par les auteurs : « *Jedes System hat seinen Autor* » (Lucadou et Kornwachs 1983 d'après Peters, 1998 :195). Les principes restent cependant les mêmes, d'illustrer les interactions entre objet ou éléments géographiques.



Fig. 1.2 : L'élément et le système »

Dessin : Jean-Paul Métaillié, reproduction avec l'aimable autorisation du dessinateur / directeur de laboratoire. (On notera les éléments des géosystèmes cantabriques...)

Certains espoirs et ambitions attachés au modèle du géosystème (Beroutchachvili et Bertrand, 1978b; Bertrand, 1982) doivent être relativisés. Des regards critiques retracent les difficultés pour passer de l'ambition d'un système comme concept « unificateur » à une véritable démarche interdisciplinaire unifiant aspects sociaux et naturels (Barrué-Pastor et Muxart, 1992). Effectivement, il s'agit d'un concept le plus souvent utilisé par les géographes d'orientation naturaliste (Beroutchachvili et Bertrand, 1978b; Barrué-Pastor et Muxart, 1992), qui n'a pas été accepté par l'ensemble de la communauté de géographes comme outil et paradigme d'interface nature-société (Vergnolle-Mainar et Sourp, 2006). Les limites sont cependant clairement énoncées : « *les concepts de géosystème et d'écosystème ne sont pas transposables à l'analyse sociale. [...] Cependant ils permettent de réduire la complexité du milieu naturel sans le mutiler, ils sont indispensables pour assurer l'insertion du naturel dans l'analyse sociale* » (Bertrand, 1978 :244; Bertrand, 1995 :94).

Un autre problème peut être une distinction lisible des concepts naturalistes comme l'écosystème et le géosystème, surtout si la délimitation des unités paysagères dans l'esprit géosystémique ne se différencie pas toujours bien d'un découpage faisant appel aux écosystèmes ou écocomplexes (Blandin et Lamotte, 1988). Écosystème et géosystème ne sont pourtant pas des modèles contradictoires mais peuvent se compléter (Haase, 1977)⁶⁴ sans nécessairement demander un emboîtement hiérarchique où le géosystème englobe l'écosystème (Barrué-Pastor et Muxart, 1992) ou inversement (Leser, 1997b; Leser, 1997a; Leser, Haas *et al.*, 1997). Il s'agit tout simplement de deux modèles différents par leur objet d'étude. La caractérisation empirique de la diversité spatiale des milieux et paysages peut se fonder sur n'importe quel modèle systémique de la nature. Le géosystème peut être un outil pour analyser la diversité des milieux, mais il n'est pas le seul. On peut préférer l'écosystème pour l'analyse des milieux (ou habitats) dans une approche centrée sur le vivant, ou l'anthroposystème pour une analyse plus explicitement sociale des milieux anthropisés. Enfin, on peut privilégier la notion de territoire ou de paysage pour décrire un espace concret au lieu de se fonder sur un modèle.

1.3.2.2. Des approches systémiques territorialisées proches

Le géosystème n'est donc pas le seul système territorialisé s'intéressant aux rapports entre société et environnement. Au moins deux termes alternatifs, proches, voire comparables méritent d'être mentionnés comme alternatives au géosystème (global) dans une étude géographique ou géoécologique : l'écosystème paysager et l'anthroposystème. Comme le géosystème, ils tiennent compte de la vie biologique et de l'action de l'homme et pourraient à ce titre également constituer un cadre pour l'étude de la diversité de l'espace.

L'écosystème paysager (*Landschaftsökosystem*) et le géoécosystème

Comme mentionné plus haut, géosystème et *géoécosystème* sont considérés par certains auteurs germanophones comme synonymes. Blumenstein traduit le géoécosystème de Huggett par géosystème (Blumenstein, Schachtzabel *et al.*, 2000 :9), Mosimann tient compte des travaux antérieurs sur les géosystèmes en les qualifiant aussi de géoécosystèmes afin de les distinguer des systèmes exclusivement physiques selon Leser (Mosimann, 1984). Ailleurs le géoécosystème est considéré parfois comme synonyme d'*écosystème paysager (Landschaftsökosystem)*, même si les définitions de Leser (Leser, Haas *et al.*, 1997) et Klink (Brunotte, Gebhardt *et al.*, 2002) nuancent en limitant le géoécosystème à la description fonctionnelle du « Naturraum » sans prise en compte explicite des composantes culturelles et des définitions données pour l'écosystème paysager. Malgré une association indéniable aux concepts modernes de l'écologie du paysage (allemande), les amples définitions de l'écosystème paysager ressemblent néanmoins fortement aux principes formulés en rapport avec le concept de géosystème. La vision d'ensemble (holistique) tenant compte des composantes biotiques, abiotiques et anthropiques se retrouve dans les termes du *Landschaftsökosystem* allemand (Leser, 1994; Leser, 1997b; Leser, Haas *et al.*, 1997; Leser et

⁶⁴ „[...] Dabei ergeben sich enge Berührungsflächen mit der in den Biowissenschaften entwickelten Ökosystem-Konzeption und den dazu laufenden Forschungsarbeiten. Die Erfahrung zeigt immer deutlicher, daß sich beide Forschungsansätze sich zum gegenseitigen Vorteil ergänzen.“ (Haase 1977:p9) (Haase, 1977:9)

Nagel, 1998) mais aussi dans le *total human ecosystem* (« THE ») d'après Naveh et Lieberman (Naveh, 1994b; Naveh et Lieberman, 1994) qui semble s'être inspiré du *Human Ecosystem*, summum des niveaux de complexité des systèmes naturels d'après une classification structurale des systèmes selon Chorley et Kennedy (Chorley et Kennedy, 1971 :3). Ces concepts, pas moins séduisants, dont la traduction est peu aisée sans procéder à une simplification du terme (*Ecosystème humain total ? Ecosystème totalement anthropisé ? Eco-paysago-système ?*), n'ont pas connu un franc succès dans les pays francophones.

La géodiversité reste très proche de la *Landschafts(öko)diversität* des écologues du paysage, puisque géodiversité et *Landschaftsökodiversität* se rapportent à la diversité des paysages matériels, les paysages-objets. Quoique la diversité du « *Landschaftsökosystem* » selon Leser ou la « *Landschaftsökodiversität* » (Leser, 1994; Leser, 1997b; Leser, Haas *et al.*, 1997) correspondent de très près à la définition de la géodiversité retenue ici, la langue française ne permet pas la flexibilité de composition terminologique qui est inhérente à la langue allemande. Ainsi le terme de « *diversité écologico-paysagère* » est à la fois une construction maladroite et un concept admirable témoignant de l'intérêt d'un lien transdisciplinaire entre le paysage (objet d'étude après tout très géographique) et l'écologie (ou l'écosystème), même si l'interprétation écologique du paysage n'est pas la seule façon de lire le paysage.

L'anthroposystème

Proposé par Christian Lévêque, Tatiana Muxart et collaborateurs (Lévêque, Muxart *et al.*, 2003) et conçu dans la « filiation » des notions d'écosystème et de géosystème (Muxart et Lévêque, 2004), l'anthroposystème propose d'intégrer sur un même espace le sous-système social et le sous-système naturel co-évoluant dans la longue durée. Il se distingue du géosystème par la division en deux sous-ensembles interactifs, « *l'écosystème(s) naturel(s) et/ou artificialisé(s)* » et le (ou les) « *sociosystème(s)* » (Muxart, Vivien *et al.*, 2003 :18), s'inscrivant dans un espace géographique. Le but affiché est de créer une approche transversale, « *soucieuse d'intégrer les chercheurs des diverses disciplines académiques en fonction de la nature des questionnements posés ou des problèmes environnementaux à résoudre* » en abordant « *les interactions sociétés-milieus sous la forme d'une boucle fermée* » (Muxart et Lévêque, 2004). D'après ces auteurs l'anthroposystème se distingue du géosystème en mettant par le préfixe adopté l'accent sur le rôle joué par les sociétés humaines et par le fait de mettre « *en perspective l'évolution temporelle du système du passé au futur* » tout en insistant sur l'aspect co-évolutif des systèmes naturels et sociaux (Muxart et Lévêque, 2004).

Quoique la notion du temps n'ait jamais été négligée par Georges Bertrand (cf. Bertrand et Bertrand, 2000; Bertrand, 2002) et bien que les interactions entre le potentiel écologique, l'exploitation biologique et l'action anthropique soient par définition co-évolutives, l'anthroposystème porte en lui indéniablement une connotation plus sociale. Il avantage potentiellement l'analyse des interactions entre le système naturel anthropisé et le système sociétal et se propose alors pour une meilleure prise en compte là où les enjeux environnementaux et sociaux sont très fortement entremêlés.

En soi, le concept ne semble pas proposer une démarche fondamentalement différente de celle du géosystème en tenant compte à la fois des composantes naturelles et sociétales. Cependant ce qu'on pourrait appeler le centre de gravité de ce système, qu'on peut alors qualifier de bipolaire, semble décalé par rapport à celui, tripolaire, du géosystème. Là où l'anthroposystème focalise les relations des sociétés avec le milieu, le géosystème se rapporte essentiellement aux milieux qui sont anthropisés.

Il serait alors envisageable et intéressant d'étudier la géodiversité, et plus encore la diversité paysagère, par une approche anthroposystémique puisque les « *interactions sociétés-milieux* » sont précisément à l'origine de la diversité. Mais comme on peut reprocher au géosystème d'être un concept naturaliste on peut constater « *une forme d'anthropocentrisme* » de l'anthroposystème (Zuindeau, 2003, mise en ligne le 27 septembre 2004). Dans la pratique, le choix du géosystème comme cadre de référence est pour l'instant une question de méthode. Il n'est pas simple de réaliser la boucle fermée, le va-et-vient entre sociétés et milieux. Là encore, la menace des études sectorielles et disciplinaires, la société d'un côté, les milieux de l'autre risque de remettre en question la vision d'ensemble du système. On risque toujours de se retrouver à recomposer les différentes parties du système par une appréciation seulement qualitative des interactions entre hommes et milieux. Comme le remarque Bertrand Zuindeau, « *c'est vrai aussi qu'entre un concept très globalisant -l'anthroposystème- et les analyses empiriques, manque-t-il probablement des «concepts intermédiaires» qui permettraient de rapprocher plus encore les démarches* » (Zuindeau, 2003, mise en ligne le 27 septembre 2004 :4). Ainsi s'explique pourquoi nous avons privilégié le géosystème : diviser le paysage en un sous-système naturel (anthropisé) et un sous-système sociétal suggère d'appliquer dans un premier temps deux méthodes de nature différente pour étudier les deux sous-systèmes, tant qu'il n'existe aucune méthode opérationnelle rendant compte des phénomènes à la fois « naturels » et « sociétaux ». Est-ce que cela ne reviendrait pas à diviser le système totalisateur et à opposer de nouveau l'homme et le milieu, même en insistant sur les interactions ?

Or, ce qui nous intéresse ici est déjà la diversité spatiale des milieux, même si la diversité des interactions avec la société est sans doute de plus haut intérêt pour l'interprétation de la diversité (géographique) des milieux. Au lieu d'étudier l'écosystème à la manière de l'écologue et de le confronter ensuite aux connaissances géographiques (ou sociologiques) du territoire, nous choisissons une approche hybride, intégrant dès le départ principes écologiques et physiogéographiques dans l'approche spatiale de la diversité. Au lieu de confronter sociétés et milieux (ou Homme et nature), la démarche retenue vise à intégrer l'action de l'homme de façon indirecte en incluant les traces de son action (l'anthropisation) visibles dans le paysage dans le système de mesure. Ce choix de considérer par une même méthode tous les caractères morphologiques, certes anthropisés, du milieu, s'apparente alors plutôt à une démarche géosystémique qu'anthroposystémique, sans disqualifier pour autant cette dernière pour une étude de la géodiversité. Enfin, peut-être serait-il plus adéquat pour une étude anthroposystémique de la géodiversité de l'appeler une étude de « *l'anthropodiversité* » même au risque d'empiéter alors sur les concepts d'anthropologie ou de sociologie.

1.3.2.3. Un modèle pour l'étude de la géodiversité

Le géosystème, modèle du paysage

Si on accepte l'existence d'une « *science du géosystème* » (Sočava d'après Bertrand, 1978 : 242) comprise comme « *science du paysage naturel* », son objet est bien le paysage dit *naturel* qui est « *à la fois une structure et un système qui fonctionne dans l'espace et dans le temps* » (Bertrand, 1978 : 242). Le géosystème partage avec le paysage le fait d'intégrer le vivant, l'artificiel et le physique dans toute sa diversité. On ne confondra toutefois pas le géosystème avec le paysage, « *le géosystème n'est pas le paysage* » (Bertrand, 2009 :20), quoique ce dernier puisse être considéré comme un système (Bertrand, 1978:249), et que« *le géosystème peut aussi s'analyser en terme de paysage [...] portion d'espace qui s'offre au regard de l'observateur*» (Ciattoni et Veyret, 2007 :74). Le paysage étant un objet concret et réel qui s'offre à la vue, le deuxième un modèle servant à « *comprendre le paysage* » (Clément, 2002 :29).

L'avantage du géosystème réside justement dans le fait de contourner l'ambiguïté de la notion de *paysage*. Comme le remarque Jean-François Richard, le géosystème « *concept universel et modèle apparemment très complet (...) [s'avère] tout de suite beaucoup moins approximatif que le Paysage des géographes français (...)*. » (Richard, 1989a :13). Il est possible de tenir compte de la composante sensible dans l'approche systémique, mais le système des représentations associé au paysage perçu constituera dans ce cas un autre sous-système que le paysage producteur matériel dont il sera question ici. C'est dans notre cas le *paysage-objet*, qui fait l'objet d'une abstraction. Étudier le paysage-objet par l'entrée du géosystème constitue une entrée naturaliste dans le paysage, entrée qui ressemble à celle adoptée par l'*écosystème paysager*. C'est une conception systémique du paysage physique qu'avancent aussi les écologues du paysage (par exemple (Peters et Goslee, 2001).

Approche objet

On peut distinguer essentiellement deux approches complémentaires possibles aux systèmes : une « *approche objet* » plus descriptive, « *anatomiste* où « *le système est perçu dans sa diversité matérielle* » et une « *approche fonctionnelle* »(Langlois, 2001 :36) qui s'intéresse plutôt aux activités et fonctionnalités du système. Dans notre démarche c'est définitivement la première des deux directions qui est retenue : C'est une approche qui souhaite relever l'organisation de la structure qui s'insère dans l'espace. Les échanges et interactions ne s'effectuent certainement pas davantage entre les éléments les plus éloignés qu'entre les éléments associés en un lieu et on postule que la structure peut aider à les déceler. L'approche objet privilégie ainsi une étude des composantes matérielles des milieux et paysages, leurs structures visibles. Ces objets sont reliés entre eux par leur association dans l'espace et cela laisse supposer l'existence d'interactions, d'une manifesté par exemple par les autocorrelations spatiales.

Le géosystème - conception retenue

L'utilisation de la notion de géosystème ne se limite pas obligatoirement à une acceptation cybernétique assez restrictive (Isnard, Racine *et al.*, 1981 :77), mais peut aussi incarner une portée générale, celui d'un ensemble d'éléments en interaction, avec une structure, un fonctionnement et une dynamique dans le temps. Il ne s'agit pas d'une analyse de géosystème proprement dite, mais les principes du modèle guident la méthode de lecture de la géodiversité. L'approche systémique offre des clés d'entrée pour déchiffrer la diversité paysagère du paysage-objet et la diversité des milieux anthropisés. Puisque cette étude de la diversité ne sera pas formalisée de façon mathématique, il ne s'agit pas d'une « analyse systémique », mais d'une étude de la diversité des milieux et paysages qui peuvent être considérés comme systèmes complexes. Le géosystème sera donc retenu comme modèle et outil pour cette étude. Nous utilisons le géosystème pour décrire la diversité d'objets géographiques complexes, à la fois naturels et anthropisés. Il s'agit d'objets avec une structure, un fonctionnement et une dynamique qui s'expriment dans l'espace et dont les éléments constitutifs et interactifs sont de nature biotique, abiotique et anthropique, formant des ensembles qui se distinguent de leur environnement immédiat. Il ne s'agit donc ni du géosystème dans sa portée restreinte au monde inerte selon Leser (Leser, 1997a; Leser, 1997b; Leser, Haas *et al.*, 1997) ni d'un système réduite à une unité paysagère (Bertrand, 1968). Quoique modèle souvent considéré comme essentiellement physiogéographique, le géosystème convient à une approche environnementale car il confère à l'environnement un caractère global qui n'exclut pas l'empreinte humaine.

Le présent travail n'appliquera pas les principes thermodynamiques à l'étude de la géodiversité. La géodiversité n'est pas mise en évidence par la variété de flux de matière et d'énergie dans l'espace et dans le temps. D'abord, une telle étude aurait été matériellement irréalisable, ensuite on peut se poser la question de l'apport de mesures stationnelles très précises pour quantifier la diversité paysagère déjà perceptible à l'œil nu. Il ne s'agit donc pas d'étudier la géodiversité du géosystème mais d'étudier la géodiversité comme un problème complexe qui peut être abordé en se fondant sur un système de référence spatialisé. Les milieux et paysages sont alors considérés sous l'angle de la systémique. L'abstraction des milieux et paysages considérés comme des systèmes permet, par l'étude de leur structure de saisir une partie de la complexité et de la diversité de ces systèmes étudiés, même si le rapport avec le fonctionnement ne peut pas être directement déduit. Comme on peut souligner les enjeux de la biodiversité en insistant sur son rôle dans l'écosystème, on procédera ici par analogie : la géodiversité est à la fois résultat et condition du fonctionnement du géosystème. Ce n'est pas le rapport entre biocénose et environnement mais le milieu anthropisé en tant qu'environnement de la société qui se trouve au centre de l'intérêt.

Une difficulté réside dans l'élaboration d'une méthode pour étudier un ensemble considéré dans l'esprit géosystémique. Comme le souligne Gabriel Rougerie, on constate, à propos du géosystème « *des dérives dans [...] son application à la recherche sur le terrain* » (Rougerie 1988 :238). Autrement dit, la méthode de terrain doit être adaptée aux principes de la systémique. Comme il est illusoire de vouloir étudier toutes les facettes de la géodiversité, il sera vain de vouloir étudier toute la diversité d'un géosystème par ses aspects structurels, fonctionnels et évolutifs à de multiples échelles et par une seule personne. Il s'agit de qualifier et de quantifier

certains aspects de la diversité de ces objets complexes et d'adopter une méthode de description qui respecte les principes de l'approche systémique.

Au lieu de quantifier des flux d'énergie ou de matière, la méthode se fonde sur la saisie de la structure spatiale. L'entrée retenue est celle de la morphologie des milieux, qui est à la fois résultat et condition partielle du fonctionnement de ces objets complexes dans le temps. Cela implique d'analyser la structure de l'ensemble en le décomposant en unités spatiales configurées dans l'espace afin de saisir la composition du système. Ainsi, ce n'est pas l'ensemble des propriétés d'une diversité géosystémique qui sera étudié, mais on focalise sur certains aspects morphologiques de la diversité des milieux, auxquels on peut attribuer des propriétés structurelles, fonctionnelles et évolutives.

Si l'évolution de la diversité ne fait pas l'objet de cette étude empirique on ne niera pas pour autant qu'il y a évolution et fonctionnement. Même si la supposition demeure d'une liaison entre structure et fonctionnement, et qu'elle peut même être considérée comme une hypothèse fondatrice pour l'écologie du paysage (Décamps et Décamps, 2004 :69), on ne peut pas prédire l'état futur d'un géosystème à partir de la seule connaissance de sa structure, comme le soulignent aussi Oswald Blumenstein et collaborateurs: « *Es gibt keinen Automatismus zwischen Kenntnis der inneren Organisation eines Geosystems und dessen Vorhersagbarkeit.* »⁶⁵ (Blumenstein, Schachtzabel *et al.*, 2000 :13).

⁶⁵ « Il n'y pas d'automatisme entre la connaissance de l'organisation interne du géosystème et sa prédiction / prévision. »

1.3.3. Pour une analyse géographique de la géodiversité : la géodiversité dans le contexte disciplinaire et pluridisciplinaire

1.3.3.1. Géographie et géoécologie pour l'étude de la diversité des milieux et paysages

Un certain nombre de courants issus de la géographie et de la géoécologie ont touché à l'étude des structures spatiales des milieux ou des paysages. On abordera quelques principes et fondements de ces disciplines afin d'y déceler des outils potentiels pour une étude de leur diversité. Il s'agit notamment de courants issus du domaine de la géographie physique, davantage préoccupés par l'étude des caractères physiques du paysage. Trop nombreux pour être abordés ici, l'histoire et les concepts de la discipline géographique et des champs associés sont discutés par exemple dans l'ouvrage élémentaire de Rougerie et Beroutchachvili (Rougerie et Beroutchachvili, 1991), qui récapitule un grand nombre de ces courants qui s'intéressent à l'étude et à l'analyse des paysages .

Géographie physique globale

Au sein de la géographie, l'étude d'un paysage-objet, physique et matériel fait notamment appel aux sous-disciplines de la géographie physique.

La plupart des composantes du géosystème, support rocheux caractérisé par un relief, formations superficielles et sols, vie biologique, et notamment couverture végétale mais aussi climat et caractéristiques hydrogéographiques peuvent être caractérisées par une approche physiogéographique. La difficulté consiste alors à tenir compte de l'ensemble de ces composantes en interaction avec les sociétés en dépassant la description « par tiroirs ». En outre les méthodes traditionnelles de description de ces objets disparates se différencient fortement. Par exemple, le phytogéographe, familiarisé avec les inventaires botaniques et la systématique des plantes, voire avec la phytosociologie, a d'autres compétences que le géomorphologue, familier avec la sédimentologie, la pétrographie et l'histoire géologique. Or, cette spécialisation nécessaire pour faire avancer la recherche sur les composantes et processus du géosystème peut s'avérer assez handicapante s'il s'agit de caractériser l'ensemble par une même méthode, voire par une même personne. De solides connaissances de l'ensemble des diverses sous-disciplines sont nécessaires pour interpréter l'ensemble.

Un point de départ, la biogéographie

A titre d'exemple, un biogéographe ne peut comprendre la répartition des végétaux s'il ne tient pas compte du relief, des différences de substrat, de l'histoire de l'anthropisation et du climat incluant le régime hydrique. En même temps, la composition végétale en tant qu'« intégrateur » (Tricart, 1985 :114; Rameau, Gaubeville *et al.*, 2000b :47; Rey, 2009)) concerne l'ensemble de ces domaines. Pour cette même raison la biogéographie est particulièrement bien placée pour une ouverture vers les autres disciplines. L'objectif de la biogéographie a été

caractérisé aussi par Müller (Müller, 1980 :11) comme étant l'élucidation des qualités du géosystème (« *Erhellung von Geosystem-Qualitäten* »), à travers les informations contenues par les organismes vivants⁶⁶. La biogéographie est par ailleurs un bon exemple pour illustrer le sens globalisateur de la géographie : Josef Schmithüsen, alors professeur de géographie à l'Université de Karlsruhe remarqua dans son manuel de phytogéographie (Schmithüsen, 1959) que la phytogéographie en tant que branche de la géographie étudie des paysages « équipés » de végétation et non de plantes en soi et pour soi⁶⁷. C'est par ailleurs ce qui la différencie du champ connexe de la géobotanique, qui s'intéresse à la répartition spatiale des végétaux. C'est dans cet esprit que la végétation contribuera à caractériser la géodiversité. Il n'est pas très étonnant que les géographes s'intéressant au vivant (biogéographie) se soient intéressés aux approches plus holistiques comme la géosynergétique (Schmithüsen, 1959; Schmithüsen, 1976)) ou à la géoécologie comme le montre l'exemple plus récent de Carl Beierkuhnlein (Beierkuhnlein, 1998; Beierkuhnlein, 1999; Beierkuhnlein, 2007).

En France, la phytogéographie a été incontestablement marquée par les travaux de Charles Flahault et Josias Braun-Blanquet et l'approche phytosociologique de l'école zurichomontpelliéraine. En dépassant la simple description de la composition floristique par les sigmaassociations végétales et le niveau caténal des géosigmaassociations, ils intègrent même un véritable niveau chorologique, celui des territoires phytogéographiques (Theurillat, 1992) (cf. chap. 1.4.4.). Si on s'intéresse à la végétation des Pyrénées Orientales, il faudra aussi retenir Maximilien Sorre, dont la thèse sur la biologie géographique des Pyrénées méditerranéennes (Sorre 1913) fournit un aperçu à la fois pittoresque, informatif et « élégant » (Allix, 1927) de la végétation et des paysages de la région d'étude. Treize ans plus tard Henri Gaussen publie sa thèse sur la végétation de la moitié orientale des Pyrénées (Gaussen, 1926), qui restera un ouvrage de référence pour qui s'intéresse de près ou de loin à ce secteur. Parmi les biogéographes toulousains on n'oubliera pas les travaux réalisées sur les Pyrénées par les membres du CIMA, dont Georges Bertrand, non seulement en raison de l'introduction du concept de géosystème. Ce dernier considère par ailleurs que l'histoire de la géographie physique fut entre autres marquée par le « rendez-vous manqué » « *avec la géographie allemande de tradition naturaliste (C. Troll)* » (Bertrand, 1991 :3).

Science du paysage, Landschaftslehre, Geosynergetik et landschaftovedenie

On peut supposer que cette remarque fait allusion aux travaux sur le paysage qui ont occupé une place centrale dans la géographie allemande d'après-guerre et se reflètent dans de nombreux ouvrages et articles de référence (Paffen, 1948; Troll, 1950; Lautensach, 1952; Paffen, 1953; Neef, 1955; Carol, 1956; Neef, 1956a; Neef, 1956b; Carol, 1957; Schmithüsen, 1964; Gerling, 1965; Neef, 1967b; Bartels, 1968; Paffen, 1973; Schmithüsen, 1974; Schmithüsen, 1976). En effet, la „Landschaftslehre“ défendait une approche intégrée (« *integrativer Ansatz* »), cherchant à considérer le paysage comme un « tout » et en conséquence à établir des méthodes pour étudier ce dernier dans son ensemble. D'après le Glossaire de l'Union Géographique Internationale

⁶⁶ „[...] das geographische Forschungsziel der Biogeographie [ist] die Erhellung von Geosystem-Qualitäten. Das gelingt nur über die konsequente Aufklärung des Informationsgehaltes der in den Geosystemen lebenden Organismen.“

⁶⁷ „Die Vegetationsgeographie als erdkundlicher Forschungszweig untersucht und beschreibt das Pflanzenkleid der Erde nach seiner Bedeutung für den Charakter der Erdgegenden. Nicht Pflanzen oder deren Gemeinschaften sind für sie das eigentliche Forschungsobjekt, sondern Länder und Landschaften und deren Ausstattung mit Vegetation.“ (Schmithüsen, 1959:6)

(UGI)(Meynen, 1985 :pp.685), la *Landschaftslehre* est considérée comme synonyme des termes „*Landschaftskunde*“ et „*Geosynergetik*“. La *Landschaftskunde* est considérée de par son évolution comme une « *sous-discipline de la géographie* » par l’UGI et se traduit en français, toujours d’après ce même glossaire, par « *science du paysage* », en anglais « *study of landscape*” ou « *Landshaftovedenie* » en russe.

Le paysage, par définition au centre des préoccupations de la science du paysage, est le plus souvent abordé par une approche systémique, comme un *physical-biotic-human system* (Mazùr, 1983), un système à la fois physique, biotique et humanisé (ou anthropo-bio-physique). A l’échelle internationale, les différents courants de la science du paysage se sont efforcés d’analyser le système paysage par des procédures variées, mais les analyses restent sectorielles, malgré des réalisations considérables de quantification des structures et processus et les efforts de synthèse comme la « *landscape synthesis* » (Rougerie et Beroutchachvili, 1991 :pp.178). A titre d’exemple la quantification des flux et structures en termes de masses et d’énergie au sein de la science du paysage russe reste exemplaire. Les analyses essentiellement physico-géographiques de la *landshaftovedenie* se fondent sur une acceptation du paysage comme unité naturelle et qui reste avant tout un concept physiognomique (Tricart et Kilian, 1979 :34).

Les approches physiogéographiques ne sont pourtant pas les seules à s’intéresser au paysage, comme le montre l’émergence de l’écologie du paysage (cf. chap. 1.3.3.2) ou les méthodes d’orientation « *naturaliste* » développées par le CEPE de Montpellier (Godron, Daget *et al.*, 1983). Avec ces dernières approches, les analyses du paysage partagent le mérite de « *relier l’écologie et l’étude de son support, le milieu naturel* », comme le résumait Jean Tricart et Jean Kilian (Tricart et Kilian, 1979). L’école franco-ivoirienne a démontré qu’une approche systémique aux milieux ne doit pas obligatoirement se limiter aux « *authentiques* » analyses systémiques quantifiant masses et énergies (Chatelin, Richard *et al.*, 1982a). C’est une méthode « *d’inspiration structuraliste* » (Bertrand, 1984) se fondant sur une taxinomie des paysages qui tient compte d’une organisation verticale et horizontale qu’on retrouve dans les géohorizons et géofaciès proposés aussi par Beroutchachvili (Beroutchachvili et Bertrand, 1978b; Rougerie et Beroutchachvili, 1991).

Transitions disciplinaires : géoécologie et l’écologie du paysage

Issue des approches intégrées du paysage, faisant appel à la fois à la géographie et à l’écologie, l’écologie du paysage, aussi appelée géoécologie, s’est consacrée à valoriser les avancées des différentes (sous-)disciplines en les rassemblant au sein d’une nouvelle construction théorique. L’approche géographique, surtout celle des physiogéographes, ou géographes de l’environnement, reste très proche de celle des géoécologues ou écologues du paysage. De nombreuses méthodes sont d’utilisation commune, comme le montrent les exemples de relevés floristiques, études pédologiques, mesures météorologiques pratiqués au sein à la fois de la géographie physique et de la géoécologie. L’analyse du paysage est pratiquée par les physiogéographes comme par les écologues du paysage, comme le prouvent les manuels de référence (Bastian et Schreiber, 1994; Zepp et Müller, 1999; Barsch, Billwitz *et al.*, 2000)).

La transition entre l’écologie et la géographie se manifeste par cette branche scientifique relativement nouvelle qu’est l’écologie du paysage, parfois assimilée à la géographie, parfois aux

sciences de la vie comme sous-discipline de l'écologie (Troll, 1966b; Luder, 1981; Naveh, 1982; Risser, Karr *et al.*, 1984; Forman et Godron, 1986; Barsch, Billwitz *et al.*, 1988; Naveh et Lieberman, 1994; Steinhardt, 1994; Zonneveld, 1995; Finke, 1996; Leser, 1997a; Leser, 1999; Schneider-Sliwa, Schaub *et al.*, 1999; Farina, 2000; Naveh, 2000; Bastian, 2001b; Bastian, 2001a; Steinhardt, Blumenstein *et al.*, 2005; Wiens et Moss, 2005; Farina, 2006; Wiens, 2006; Wu et Hobbs, 2007). En effet, Carl Troll qui créa en 1939 le terme d'écologie du paysage (*Landschaftsökologie*) était un docteur en biologie devenu professeur de géographie. Inspiré par l'utilisation des photographies aériennes pour l'observation des paysages, il fonda la base méthodologique pour une approche écologique, holistique et intégrée du paysage en constatant que „*Luftbildforschung ist zu einem sehr hohen Grade Landschaftsökologie*“ (d'après Antrop, 2005 in Tress, Tress *et al.*, p. 30) (Antrop, 2005)⁶⁸. Par la suite, l'écologie du paysage a été en Allemagne notamment développée par des géographes. Ernst Neef considéra la *Landschaftsökologie* comme une branche de la recherche physiogéographique qui se préoccupe des bilans de matière et d'énergie, donc du « budget naturel » (*Naturhaushalt*) et permet de considérer les phénomènes géographiques imbriqués dans leur ensemble (Neef, 1964). Selon Hans Richter elle permettrait d'apprécier les géocomplexes dans leur ensemble, incluant les processus engendrés par la société (Richter, 1968 :39). Victor Sočava considéra que le rôle de l'écologie du paysage était l'élucidation du fonctionnement écologique du géosystème et plus généralement de la totalité des mécanismes du géosystème (Sočava, 1972). Les fondements et le développement de l'écologie du paysage doivent incontestablement beaucoup à la *Landschaftslehre* et à la *Geosynergetik*, au moins en ce qui concerne son développement en Allemagne. Le terme de « Geoökologie » lancé par Troll remplaça d'après Sočava le terme de « *Landschaftskunde* » tout en reflétant l'orientation écologique de cette discipline (Sočava, 1972). Bien que Carl Troll traduisît le terme de « *Landschaftsökologie* » allemand par « *geoecology* » en anglais (Troll, 1966a; Brunotte, Gebhardt *et al.*, 2002), c'est paradoxalement en Allemagne que le terme de géoécologie est aujourd'hui d'usage tandis que le terme de *geoecology* n'est quasiment pas utilisé en langue anglaise. En Allemagne les deux appellations, „*Landschaftsökologie*“ et „*Geoökologie*“, sont utilisées. Ces disciplines peuvent être étudiées dans respectivement six et trois universités. Avec des contenu semblables, ils peuvent être considérés comme synonymes (Buttschardt in Brunotte, Gebhardt *et al.*, 2002 :Vol2 p.29), comme le suggère l'utilisation par Carl Troll, mais il n'est pas rare que géoécologues et écologues du paysage fassent la nuance (Blumenstein, Schachtzabel *et al.*, 2000) ou considèrent même la géoécologie comme un domaine partiel de l'écologie du paysage (Leser, 1997a; Leser, Haas *et al.*, 1997). Si on préfère ici l'utilisation du terme de géoécologie à cause de sa proximité avec la géographie au détriment d'une écologie du paysage pourtant davantage connue en France, il ne faut cependant pas la confondre avec une éco-géographie, « écologie géographique » (Bravard, 1995), approfondie malheureusement seulement par Tricart et Kilian (Tricart et Kilian, 1979; Tricart, 1994).

Toujours proche de la géographie, la géoécologie (ici considérée comme quasi-synonyme de l'écologie du paysage) se comporte comme une science interdisciplinaire se référant à la fois à l'écologie et à la terre et ainsi aux géosciences. Olaf Bastian (Bastian, 2001a; Bastian, 2001b) défend cette branche comme une discipline émergente et désormais autonome et Zonneveld, qui

⁶⁸ En anglais « *aerial photography is to a high degree landscape ecology* » qu'on pourrait traduire par « *la recherche sur les photographies aériennes est à haute degré une écologie du paysage.* »

contribua de façon essentielle à la consolidation de l'écologie du paysage, l'a considérée comme un « *mariage entre la géographie et l'écologie* » (Antrop, 2005 :30).

L'orientation des écologues du paysage anglophones se résume plutôt à une écologie spatialisée (Steinhardt, Blumenstein *et al.*, 2005 :65) et l'italien Almo Farina considère également l'écologie du paysage comme une sous-discipline de l'écologie.

Très développée dans les pays germanophones et anglophones, l'écologie du paysage a cependant trouvé « *peu d'adeptes* » en France et en Espagne, au moins jusqu'à la fin des années 1979 (Clément, 2002 :21) : « *L'association des mots écologie et paysage a été considérée dans ces deux pays comme étant contre nature, en raison de l'ambiguïté de la notion de paysage, qui recouvre à la fois des faits objectifs et des éléments subjectifs* ». En effet, la vision du paysage avancée par l'écologie du paysage, marquée par une « objectivisation » du paysage, est parfois vivement critiquée de la part des sociologues et géographes français. Ainsi Augustin Berque qui observe que « *l'interrelation du milieu physique et du milieu social - la relation d'une société à l'espace et à la nature - est irréductible au physique seul* (Berque, 2000 :32) du paysage.

Cela n'a pas empêché le succès et l'émancipation progressive de l'écologie du paysage à l'échelle internationale. On peut toujours discuter le caractère multidisciplinaire, transdisciplinaire ou interdisciplinaire de la démarche de la géoécologie ou de l'écologie du paysage: le débat n'est pas terminé et influence les objets de recherche et les méthodes de travail (Steinhardt, Blumenstein *et al.*, 2005 :68). Peu importe si on considère la géoécologie et l'écologie du paysage comme des discipline(s) autonome(s), des sous-disciplines ou comme un champ interdisciplinaire, il n'en reste pas moins que l'objet d'une science du paysage a été dans sa dimension (géo-)écologique considérablement avancé par l'écologie du paysage. L'écologie du paysage a continué à développer les méthodes et fondements pour l'étude du paysage « physique », souvent délaissé par les géographes soucieux d'intégrer, au moins en France, les aspects sociaux et préférant au paysage les notions d'espace ou de territoire. Comme Jesper Brandt on peut même se demander si la géographie ne devrait pas être considérée comme étant une « écologie de l'homme » contribuant à l'écologie du paysage (Brandt, 1999). La démarche systémique est restée vivante (Blumenstein, 1994; Billwitz, 1997; Blumenstein, Schachtzabel *et al.*, 2000; Steinhardt, Blumenstein *et al.*, 2005) et l'application concrète aux questionnements écologiques spatialisés a favorisé le développement des outils d'analyse et d'évaluation. C'est précisément pourquoi on s'intéresse ici à la géoécologie.

Géographie et géoécologie, en tant que disciplines voisines avec une filiation partielle défendent certains objets et objectifs communs, et ce travail s'inscrit dans un champ où les objectifs se recoupent. Des notions issues de l'écologie du paysage ou utilisé communément avec les géographes seront utilisées ici, à commencer par les termes *Geodiversität* et *landscape diversity*.

Une notion très proche de la géodiversité est celle d'**hétérogénéité** du paysage, parfois appelée également « *environmental heterogeneity* » ou « *spatial heterogeneity* ». L'hétérogénéité à l'échelle des paysages, qui peut être - au fond - considérée comme synonyme de la diversité paysagère, fait l'objet de nombreuses recherches en écologie du paysage (Turner, 1987; Kotliar et Wiens, 1990; Naveh, 1994b; Dearden, 1995; Brandt, 1999; Lavorel, 1999; Neumeister, 1999; Wu, Jelinski *et al.*, 2000; Turner, Gardner *et al.*, 2001; Sklenicka et Lhota, 2002; Holzkamper, Seppelt *et al.*, 2005; Wiens, 2006) entre autre en raison de son importance relative pour l'épanouissement des

espèces végétales et animales. En décrivant l'effet de l'hétérogénéité de l'espace sur la spéciation, Henri et Odile Descamps constatent que « *la dynamique de la biodiversité dépendrait donc en partie de l'hétérogénéité spatiale* » et que « *D'autres grandes questions liées à la distribution de la biodiversité renvoient pareillement à l'hétérogénéité de l'espace . [...] Sans doute l'hétérogénéité n'explique-t-elle pas tout, mais aucune explication ne peut l'ignorer. D'où la nécessité de décrire et de modéliser l'agencement des paysages.* » (Descamps et Descamps, 2004 :105 et pp.107). Outre une certaine hétérogénéité « naturelle », l'action anthropique est prise en compte par la notion d'hétérogénéité. Le concept de géodiversité ne peut que profiter des connaissances acquises sur l'hétérogénéité spatiale.

Enfin, l'écologie du paysage, considérant les objets d'un point de vue davantage écologique a contribué au développement d'outils métriques pour l'analyse des paysages. Comme en géographie, les systèmes d'informations géographiques et la télédétection occupent une place importante et les possibilités de quantification et de modélisation des phénomènes écologiques spatiaux, d'analyse et genèse de données à caractère spatial en font des outils aujourd'hui indispensables. Un secteur explicitement développé par les écologues du paysage est celui des indices paysagers, plus communément appelés *landscape metrics*. Les méthodes et techniques développées pour la description des structures et de la dynamique paysagère font appel à la géométrie fractale et aux géostatistiques ((Burel et Baudry, 1999). Elle se fonde sur les principes du modèle *patch-corridor-matrix* (Forman et Godron, 1986; Forman, 1995) et on distingue des indices spatiaux (entropie, *contagion*, etc.) et des indices non-spatiaux (diversité, dominance, etc.) (Farina, 2006). La mesure de la géodiversité en tant que diversité chorologique se fonde sur des cartes ne peut pas ignorer l'intérêt des indices, sans toutefois oublier que la géodiversité ne se résume pas à l'application de l'indice de « diversité » à une carte d'unités paysagères.

L'analyse intégrée des milieux

Enfin, une analyse holistique des paysages ou milieux ne s'inscrit par nécessairement dans une démarche écologique. L'analyse intégrée des milieux élaborés par l'école franco-ivoirienne d'Abidjan a également su franchir les champs disciplinaires pour une étude complète des milieux. Pour « *assurer le passage* » entre le « *paysage des géographes* » et « *le milieu des naturalistes* » (Rougerie et Beroutchachvili, 1991 :84), l'équipe franco-ivoirienne de « l'école d'Abidjan » propose une méthode appelée *Analyse Intégrée des Milieux Naturels*(Filleron, 1995). Développée par une équipe interdisciplinaire de chercheurs de l'ORSTOM et d'universitaires dans les années 1970 (Richard et Filleron, 1974; Richard, Kahn *et al.*, 1977; Chatelin, Richard *et al.*, 1982a; Chatelin, Richard *et al.*, 1982b; Richard, 1985; Richard, 1989a; Filleron, 1995), parfois aussi appelée *Analyse transdisciplinaire du milieu* (ATM) (Da Lage et Metailié, 2000 :75) elle se différencie d'autres méthodes par la création d'un « langage transdisciplinaire » se fondant sur un modèle verbal. Ce nouveau langage devenu commun (Chatelin *et al.* 1982), réunissant géologues, pédologues, géomorphologues, botanistes, écologues et géographes sur les mêmes terrains d'études africains, caractérise le principal trait de la méthode, celui de la transdisciplinarité réunissant les naturalistes par un même langage. C'est une « *démarche symétrique visant à produire, entre le domaine de la vie et celui de l'inerte, des dénominateurs communs* » (Filleron, 1995 :10)

La méthode élaborée propose d'analyser en un protocole unique les différents objets observés dans le paysage quelle que soit leur nature. Pour ce faire on peut utiliser entre autre le concept de « *corps naturels localisés* » (CNL) en tant que plus petite composante des milieux et paysages. Le *corps naturel localisé* est l'objet d'une *perception immédiate* (Richard, 1989a :17),, un élément matériel présent dans le géosystème, une importance première est accordée à sa morphologie. L'originalité de l'approche consiste à quantifier les volumes de toutes les composantes du milieu par une même méthode au lieu de recenser les différents éléments qui composent le milieu par des approches disciplinaires qui les rendent difficilement comparables. Il est possible, par les approches classiques, d'établir des corrélations entre type de roches, types d'horizons pédologiques et espèces végétales retrouvés dans un milieu. La quantification des volumes occupés par ces constituants du milieu dans leur ensemble, dans le but de permettre des comparaisons entre types de milieux à physionomie différente, reste cependant plus aisée par une analyse intégrée.

La méthode n'est pas incompatible avec des approches disciplinaires (par exemple phytoécologiques ou pédologiques), mais la finalité n'est pas la même comme on démontrera en insistant sur la complémentarité des approches transdisciplinaires et disciplinaires dans la partie empirique du présent travail.

1.3.3.2. Fondements des approches spatiales - les notions d'échelle et de dimension

Ce travail s'inscrit dans une démarche géographique qui suppose de savoir généraliser l'information spatiale et d'en restituer une synthèse en fonction de l'échelle utile à la problématique. Or, même si le terrain étudié est vaste, personne ne peut prétendre avoir une vue d'ensemble sans connaître un certain nombre de détails. Le problème du nombre de détails nécessaires, en fonction de l'échelle considérée, peut se faire seulement par une étude multiscalaire, permettant de regrouper les informations détaillées de la grande échelle et de les généraliser à une échelle plus petite à l'aide d'un emboîtement d'échelles.

Échelles et dimensions

Nous utilisons ici le terme d'échelle dans le sens des cartographes, contrairement aux pays anglophones où la notion de « scale » se réfère à la taille de l'espace considéré. Ainsi la « petite échelle » s'applique aux régions à dimensions kilométriques considérés en anglais comme « large scale », tandis qu'à grande échelle seront considérés les phénomènes dans les dimensions métriques auxquelles se réfère la notion de « small-scale » (Steinhardt et Volk, 2001 :138; Huggett et Cheesman, 2002 :28)

En passant d'une grande échelle à une plus petite on perd un niveau de précision mais on gagne davantage en vue d'ensemble. D'où l'importance de bien identifier le niveau de précision requis pour qualifier et quantifier le phénomène observé. "*The first step of the study should be the definition of scale and context at which the features should be studied.*" (Antrop, 2005:35).

La théorie des dimensions géographiques

La notion d'échelle permet de regrouper des phénomènes géographiques selon un ordre de grandeur représentatif. Neef propose d'examiner la question de l'échelle géographique sous la notion de « dimension » (Neef, 1967b), la dimension étant considérée comme un *ensemble d'échelles de signification similaire* : « *Maßstabsbereich gleicher Aussagekraft* » (Neef, 1963 d'après Klug et Lang, 1983), c'est-à-dire qu'il s'agit de tranches d'échelles spatiales ayant une résolution de l'information comparable et qui font appel aux mêmes méthodes de recueil des données (Neef, 1967b :70). La *théorie des dimensions géographiques* développée à partir de ces considérations (Neef 1963 Haase, 1991; Neef 1963 Steinhardt, 1999) se fonde sur des travaux géographiques plus anciens (par exemple Paffen, 1953; Steinhardt, 1999) et distingue quatre principales dimensions géographiques ou « marches » (Barsch 1975 d'après Klug et Lang, 1983 :162; Haase, 1991), qui permettent de saisir et d'analyser des réalités géographiques d'ordres de grandeur différents. La *théorie des dimensions géographiques* appliquée à l'analyse des paysages dans le cadre du paradigme systémique a favorisé aussi le développement de la *géotopologie* („*Geotopologie*“) qui s'intéresse à l'analyse, notamment verticale, des composantes du *géocomplexe*, et de la *géochorologie* („*Geochorologie*“) focalisant notamment sur la cartographie, (Haase, 1973; Haase, 1976; Haase, 1991)

Topologie et chorologie

En accord avec la théorie des dimensions géographiques, on différencie, en progressant des grandes aux petites échelles, les dimensions *topiques* (ou topologiques), *choriques* (ou chorologiques), *régioniques* et *géosphériques*. Tandis que la dimension géosphérique est adaptée à l'échelle du globe (par exemple mappemonde du climat ou de la végétation), la dimension régionale s'adapte à la cartographie des caractéristiques principales des (sub-) continents, pays et régions (par exemple climat régional ou tectonique). Toutes les dimensions se caractérisent ainsi par le principe d'une association d'éléments homogènes en un ensemble hétérogène et ce dernier sera considéré à l'échelle hiérarchiquement supérieure, donc par abstraction de nouveau comme un élément homogène (Herz 1973 d'après Steinhardt, 1999).

Initialement, la notion de « chore » n'était pas rattachée à une échelle précise, mais désignait des paysages géographiques de taille et nature différentes, bornés seulement par un « *faisceau de limites physio-, bio- et anthropogéographiques* » (Sölch 1924 d'après Turba-Jurczyk, 1990 :49). A la différence de Albrecht Penck qui considérait le « chore » comme la plus petite des unités paysagères, Ernst Neef développa le système hiérarchique où le chore était constitué d'une association (combinaison) de topes de taille inférieure (Turba-Jurczyk, 1990 :49). Ces deux dimensions se distinguent non seulement par leur échelle mais aussi par des critères menant à leur différenciation.

La **dimension chorique (chorologique)** se prête à l'analyse de la mosaïque d'unités paysagères (Neef, 1967b :70) avec des échelles se situant surtout entre le 25000^{ème} et le 100000^{ème}, voire des échelles plus petites.

La **dimension topique (topologique)** permet une analyse qualitative et quantitative des structures et *Wirkungsgefüge*⁶⁹(Neef, 1967b :70) selon la précision voulue, se fondant notamment sur l'homogénéité d'unités qui se différencient entre elles notamment par leur structure et leurs flux verticaux (Steinhardt, 1999 :51; Steinhardt, Blumenstein *et al.*, 2005 :35). Typiquement, la cartographie des unités topiques se situe à des échelles allant du 1/25000^{ème} au 1/5000^{ème}, voire plus grandes (Neef 1967 :70)(Neef, 1967b) et peut ainsi refléter des processus géoécologiques.

Il en résulte des unités spatiales adaptées. Le *géochore* est une unité spatiale « paysagère » de la dimension *chorique* selon la Théorie des dimensions géographiques c'est-à-dire lié aux échelles moyennes du 1/25000^{ème} ou 1/200000^{ème} (Brunotte et al. 2002 vol2 :12) et composé en principes d'unités paysagères de taille inférieure, les *géotopes*, *physiotopes* ou *écotopes*. Le *géotope*, quant à lui, connaît de nombreuses interprétations possibles (entre autres : Bertrand, 1968; Richard, 1989a), qui diffèrent en partie de celles proposées par Neef.

La multiplicité des unités spatiales

Les unités spatiales ou paysagères associées à ces dimensions ont connu malencontreusement une multiplication importante. Il en résulte ce qu'Ute Steinhardt appelle un *chaos de définitions* (« *Definitionschaos* ») (Steinhardt, 1999) raison pour laquelle elle suggère d'adapter l'appellation des dimensions aux trois principaux *scales* anglophones (*micro-*, *meso-* et *macroscale*) pour caractériser des phénomènes qui se « produisent » à petite, moyenne et grande échelle, mais qui seront cartographiés respectivement et confusément à grande, moyenne et petite échelle (George 2006 : 139).

Pour le présent travail et les études de paysage en général, ce sont notamment par les dimensions choriques et topiques (mesoscale et microscale) que l'on s'est intéressé pour l'évaluation de la diversité des milieux et paysages.

Le tableau suivant recense les propositions de nomenclatures de huit auteurs (*cf.* . tab. 1.1). Il permettra une comparaison des unités spatiales avec celles, franco-africaines, utilisées dans le présent travail (Richard, 1989a; Filleron, 1995) figurant dans la dernière colonne.

⁶⁹ littéralement des « *structures à effets interagissants* »

Tab. 1.1 : Terminologie des unités spatiales d'après divers auteurs et correspondances approximatives avec quatre dimensions géographiques principales

Sources : Leser 1997, Filleron 1995, Klug et al. 1983, Steinhardt 1999 ;
adaptation et traductions A. M. Müller (cf. Müller 2003)

N.B. les traductions des termes issus des sources allemandes figure en caractères italiques

DIMENSIONS GÉOGRAPHIQUES DES UNITÉS PAYSAGÈRES

	Schmithüs en 1949°	Paffen 1953°	Troll 1962*	Neef 1963*	Isačenko 1965*	Bertrand 1968 ° °	Zonneveld 1972*	Filleron 1995 ° °
géosphérique - macroscale	"geo- sphärische Zone"	"Land- schafts- gürtel" "Land- schafts- zone"		"Georegion" géo-région		zone domaine		régions supérieures
régionique - mesoscale (1)	"Naturräum- liche Region"	"Land- schafts- bereich" "Land- schafts- region" "Großland- schafts- gruppe" "Großland- schaft"	"Gruppen von naturräum- lichen Haupt- einheiten"	"Region" région "Megachore" mégachore "Makrochore" macrochore	zone province "Okrug"	région naturelle	paysage	région élémentaire
chorique*/ choro- logique ° - mesoscale (2)	"Naturräum- liche Haupt- einheit"	"Einzelland- schaft"	"Naturräum- liche Haupt- einheit"	"Mesochore" mésochore "Mikrochore" microchore Ökotopegfüge	 mesnost ourotchitche	géosystème	"land system"	paysage élémentaire (séquence de paysage)
topique*/ topo- logique ° - microscale	"Fliesen- gefüge"	"Kleinlandsc haft" "Landschafts zellen- komplex"	"Fliesen- gefüge"			géofaciès	facette paysagère "land facet"	segment de paysage
	"Fliese" [carreau]	"Land- schafts- zelle"	"Ökotope" écotope	"Ökotope" écotope	faciès	géotope	écotope	géon géotope

d'après ° KLUG & LANG (1983 :13); *LESER (1997 : pp.202) et ° ° FILLERON (1995 :7)

Taxo-chorologie retenue

La nomenclature retenue pour cette étude (Filleron, 1995) est celle développée dans le cadre de l'analyse intégrée des milieux, les dimensions hiérarchisés sont alors qualifiés d'ordres *taxo-chorologiques*. Les unités paysagères hiérarchisées dans une grille taxo-chorologique sont à la fois des unités systématiques (taxons) et des unités spatiales (chores) (Pinchemel et Pinchemel, 1997a :293) Des aires spatiales élémentaires se trouvent ainsi en autocorrélation spatiale avec des taxons paysagiques de nature semblable (Richard, 1975: pp.87). Des unités spatiales de divers ordres de grandeur (géotopes, régions...) sont classées hiérarchiquement : un ensemble de chores d'un niveau hiérarchique peut constituer un seul chore du niveau hiérarchique supérieur, un

assemblage de géotopes peut être considéré à une échelle plus petite comme un **géon** unique, « *unité paysagique de référence* » (Richard, 1989a : 181). Une combinaison de géons peut être décrite sous le terme de segment de paysage. Plusieurs segments de paysage s'assemblent à leur tour en un paysage élémentaire.

A plus grande échelle, l'extension verticale des milieux (géons, géotopes) peut se décrire par des géohorizons verticalement superposés. Ils sont appelés **hoplexols** dans l'analyse intégrée des milieux et peuvent être regroupées à leur tour en cinq ou six **hoplexions** qui constituent l'ensemble d'une coupe verticale depuis la cime des arbres jusqu'aux formations superficielles (ou à la roche-mère), appelée **holoplexion**. Cette taxinomie très complète, tenant compte des extensions verticales et horizontales des milieux et paysages, s'inscrit dans une cohérence méthodique avec une description élémentaire des composantes du milieu, présentée plus loin. (cf. chap. 1.4.3. et 3.1)

Le temps de la diversité

Les échelles spatiales font appel à la quatrième dimension, celle du temps. L'intégration de la dimension temporelle dans une conception globale de la géodiversité est indispensable. Quoique la dynamique de la géodiversité ne fasse pas partie de l'étude empirique du présent travail et qu'il n'ait pas été possible de traiter la dimension chronologique de la géodiversité dans le cadre de cette recherche, on se doit tout de même d'en souligner l'importance.

Dans toute interprétation des milieux naturels, la dimension temporelle est de loin la plus importante si on étudie la géodiversité sous l'angle du développement durable. Une interprétation des milieux naturels par des études diachroniques s'impose, notamment si on ne dispose pas encore de suivi temporel (monitoring) sur place. Études diachroniques, approches paléo-environnementales et modélisations sont engagées habituellement par ce type de questionnement.

Une conception systémique de l'approche temporelle est proposée par l'éthologie du paysage (Beroutchachvili et Mathieu, 1977) . Dans le cadre de l'analyse intégrée du milieu, Faiza Khebour-Allouche livre une contribution méthodologique important pour saisir la dimension temporelle des paysages (Khebour-Allouche, 2007).

1.3.3.3. Proximité et différence : inspiration du concept de géodiversité par celui de la diversité biologique

Rappelant l'analogie entre l'écosystème et le géosystème la géodiversité ne peut que profiter d'une analogie avec sa « grande sœur », la biodiversité.

Il n'est pas question de discuter en détail le concept de biodiversité, largement décrit dans la littérature (Wilson et Frances, 1988; Lamotte, 1995; Schwabe, 1999; Hobohm, 2000; Ozenda, 2000; Beierkuhnlein, 2001; Levin, 2001; Beierkuhnlein, 2003; Krishnamurthy, 2003; Marty, Vivien *et al.*, 2005; Mutke et Barthlott, 2005; Rossi et André, 2006; Thompson et Starzomski, 2006; Le Guyader, 2008; Lévêque et Mounolou, 2008). Les façons de mesurer et évaluer la biodiversité (Baudry et Burel-Baudry, 1982; Hawksworth, 1996; Zeide, 1997; Thompson et Starzomski, 2006; Buttschardt, 2009)), les mesures adoptées pour sa conservation (United Nations, 1992a; Council of Europe, 1996; Haber, 1999; Médail et Quézel, 1999; Jedicke, 2000; Raffin, 2000;

Barkmann, 2001; Ministère de l'écologie et du développement durable, 2004; Teyssède, 2004) et surtout l'application du concept à l'échelle du paysage et des milieux ainsi que la dimension spatiale de la biodiversité (Baudry et Burel-Baudry, 1982; Naveh, 1994a; Leser et Schaub, 1995; Balent, 1996; Deconchat et Balent, 1996; Beierkuhnlein, 1998; Schwabe, 1999; Barthlott, 2000; Jongman, 2000; Rameau, Gaubeville *et al.*, 2000a; Rameau, Gaubeville *et al.*, 2000b; Jedicke, 2001; Pignatti et Pignatti, 2001; Schnitzler-Lenoble, 2002; Gosselin et Laroussinie, 2004; Xavier Da Silva et Mendes de Carvalho-Filho, 2004; Zebisch, 2004; Arnould, 2006; Lepart et Marty, 2006; Simon, 2006)) sont particulièrement intéressantes pour notre propos. En revanche quelques caractéristiques de la biodiversité méritent d'être rappelées ici pour s'inspirer de ces facettes pour une conception de la géodiversité.

Caractéristiques de la biodiversité

Tout d'abord il faut rappeler que la notion de biodiversité est une compression de l'expression « diversité biologique », entendue plutôt comme « diversité du vivant » ou « diversité biotique » (Beierkuhnlein, 2001) qui a été souvent attribuée à E.O. Wilson (Wilson et Frances, 1988; Wilson 1993, d'après Marty, Vivien *et al.*, 2005), ou à W.G. Rosen (Rosen 1985 d'après Beierkuhnlein, 1998) même si certains affirment qu'il s'agit d'un néologisme déjà apparu à la fin des années 1970 (Ramade, 2009).

Comprenant dans la majorité des acceptations la diversité génétique, la diversité des espèces et la diversité des écosystèmes (United Nations, 1992a), elle met l'accent sur le nombre (la richesse d'espèces ou d'écosystèmes) et l'abondance relative (Burel et Baudry, 1999). La diversité génétique peut aussi se décliner dans la diversité des individus et celle des métapopulations (Ramade, 2009). Dans le sens le plus commun, celui de la richesse spécifique, le terme paraît clair et compréhensible et il se réfère alors le plus souvent à un espace délimité, de l'échelle locale à l'échelle globale, dans lequel l'évolution du nombre d'espèces et leur distribution sont caractérisées. En englobant, (bien qu'au rang secondaire) le biotope, la diversité de l'écosystème englobe indirectement des éléments physiques (sensu « non vivants », parfois encore appelés abiotiques, inertes ou minéraux) et s'élargit parfois à l'échelle des biomes. En conséquence il est compréhensible que certains auteurs assimilent la diversité écosystémique à une « biodiversité paysagère ».

Microcosme et macrocosme : dimensions et échelles d'organisation

La sub-division en trois types de « biodiversités », génétique, spécifique et écosystémique, qui se différencient par l'échelle d'observation appliquée à la diversité du vivant, étend la dimension de la diversité biologique du microcosme de l'ADN au macrocosme des biomes. Cette notion d'échelle peut tout à fait de se transposer très bien à une approche spatiale de la diversité d'objets géographiques ne se limitant pas seulement au vivant. Si on cherche à convertir ces trois principaux « niveaux » d'organisation de la diversité biologique à la géodiversité, on peut considérer les milieux et paysages (à défaut de les adapter à d'autres dimensions de la géodiversité globale) comme des organismes complexes.

En fonction des dimensions utilisées de préférence par les géographes, c'est-à-dire en fonction du système taxo-chorologique adopté, plusieurs dénominations des dimensions de la géodiversité sont envisageables (cf. taxo-chorologie). D'après (Bastian et Schreiber, 1994 : p.45 adapté de Bastian 1991), les niveaux d'organisation hiérarchiques concernés par la biologie et l'écologie peuvent être mis en relation avec les dimensions géographiques. Ainsi les niveaux « superposés » depuis la cellule vivante en passant par les tissus, les organes, les organismes, les populations et les espèces concernent essentiellement la biologie de dimension topologique, tandis que les biocénoses et écosystèmes (ou biogéocénoses), ainsi que le paysage faisant appel à la dimension chorologique, concernent aussi l'écologie du paysage.

Plusieurs façons de transposer les trois principaux niveaux d'organisation de la biodiversité à la géodiversité sont envisageables. Les niveaux d'organisation ne se limitent pas nécessairement aux dimensions spatiales et on peut considérer les niveaux d'organisation également dans les espace-temps ou dans l'esprit de la systémique. Nous proposerons ici trois façons de concevoir les niveaux d'organisation pour lancer le débat sur la prise en compte de la diversité spatiale géographique (cf. tab. 1.2).

A titre d'exemple, trois conceptions sont envisageables et se différencient entre elles par la transposition des trois niveaux organisationnels. Une première proposition tient compte des échelles emboîtées de la taxinomie spatiale adoptée (Analyse intégrée des milieux). Une deuxième proposition, qu'on pourra qualifier de spatiotemporelle ou encore « d'organisationnelle », fait appel à la genèse des mosaïques des unités spatiales élémentaires et à leur organisation « systémique » en mosaïques. Une troisième proposition attribue aux trois niveaux d'organisation les principales propriétés systémiques.

La première proposition suggère l'appliquer trois dimensions à la géodiversité selon la taxo-chorologie de l'analyse intégrée du milieu. Ainsi, la géodiversité génétique pourra concerner le niveau d'organisation élémentaire des corps naturels au sein des hoplexols et dans l'holoplexion. La géodiversité spécifique peut concerner les unités spatiales élémentaires, dans notre cas manifesté par les géons. L'organisation de ces géons, la mosaïque des milieux formant des paysages (matériels) pourrait correspondre au niveau d'organisation de la (bio-) diversité écosystémique, qu'on appellera alors plutôt géodiversité paysagique, faisant référence au paysage sans toutefois être synonyme de celui-ci. Cette première proposition est celle qui conviendra le mieux à cette étude.

La deuxième proposition prend l'exemple des trois niveaux d'organisation de la biodiversité (génétique, spécifique, écosystémique) à la lettre, et cherche des concepts équivalents pour une géodiversité spatiale globale. La diversité *génétique* ne peut pas seulement faire appel à la composition à la plus grande échelle de la géodiversité, mais aussi à son origine dans le temps. Dans ce cas on pourrait considérer les particularités et différences de l'histoire des milieux, l'historicité des paysages, donc les conditions de leur genèse comme une géodiversité génétique. La biodiversité *spécifique*, fait appel aux types, donc à la diversité mésologique ou à n'importe quelle autre typologie d'unités spatiales en fonction de l'approche géographique envisagée. L'organisation *système* pourra concerner l'organisation des types d'unités spatiales en mosaïques ou ensembles paysagers, voire des territoires ou des espaces géographiques *stricto sensu*. Les mosaïques

(*patterns*) se différencient d'une région à une autre et il pourrait alors s'agir d'une diversité des mosaïques, considérée comme une diversité systémique spatiale ou « chorosystémique », par exemple d'une diversité géosystémique ou encore d'une diversité des systèmes territoriaux.

La troisième proposition est une manière d'organiser les trois niveaux organisationnels de façon systémique, c'est-à-dire en attribuant à chaque caractère (génétique, spécifique, écosystémique) une caractéristique systémique. L'origine « génétique » est difficile à attribuer car structure, fonctionnement et changements d'état du système participent tous ensemble à la genèse du système. Toutefois, on peut opter pour le fonctionnement comme source « génétique » du système, car une structure qui n'a pas de fonctionnement et qui n'aura en conséquence pas de dynamique ne pourrait pas être considérée comme système. Subséquemment, la structure identifie un système comme un ensemble d'éléments aux interactions privilégiées, donc comme un type ou une « espèce » de système. Enfin, la dynamique des systèmes témoigne de l'organisation des systèmes dans le temps que l'on peut considérer comme une dimension supérieure

Bien évidemment ces propositions n'ont rien de définitif et constituent un brouillon de travail. En même temps leurs différences respectives démontrent l'ampleur du champ de la diversité spatiale et les vastes marges d'interprétation d'une conception globale de la géodiversité.

Tab. 1.2 : Plusieurs propositions pour une typologie des niveaux d'organisation de la géodiversité inspirée par celles de la biodiversité

Niveaux d'organisation (dimensions) de la biodiversité	(bio-) diversité génétique	(bio-) diversité spécifique	(bio-) diversité écosystémique
Proposition 1 : Dimensions spatiales de la géodiversité (Analyse intégrée des milieux)	géodiversité élémentaire (corps naturels localisés) : diversité des composantes élémentaires du milieu, organisation verticale	géodiversité mésologique (géons) : diversité des unités élémentaires paysagiques, organisation horizontale/ latérale (géons)	géodiversité paysagique (segments de paysage...) : diversité des mosaïques paysagères (organisation latérale)
Proposition 2 : Niveaux organisationnels / spatio-temporels de la géodiversité	géodiversité historique (génétique) : diversité génétique des milieux et paysages (histoire des espaces considérés)	géodiversité typologique : diversité des types de milieux et paysages (« typologie des unités spatiales »)	géodiversité (choro-) systémique ou organisationnelle : diversité de l'organisation de mosaïques/ complexes paysagers (de l'organisation en complexes spatiaux)
Proposition 3 : Niveaux d'organisation systémiques de la géodiversité	géodiversité fonctionnelle : la diversité du fonctionnement comme « origine » de la géodiversité	géodiversité structurelle : la structure / morphologie de la diversité comme expression de « types » de la géodiversité	géodiversité dynamique : structures et fonctionnement génèrent un comportement de l'ensemble dans le temps

Propositions : A. Müller

Appréciations de la diversité : alpha, bêta, gamma-diversité

Bien avant la création même de la notion de biodiversité, et parfois amalgamée⁷⁰ à la distinction entre diversité biologique génétique, spécifique et écosystémique, une autre façon de subdiviser la biodiversité, liée à la mesure de la diversité spécifique a été élaborée par Whittaker ((Whittaker, 1972; Whittaker, 1977; Beierkuhnlein in Brunotte, Gebhardt *et al.*, 2002 : vol1. pp.266). Afin d'évaluer la diversité spécifique d'un ensemble de relevés d'une même région d'étude, Whittaker distingue α , β -et γ -diversité (Farina, 2000; Beierkuhnlein, 2001; Beierkuhnlein, 2003), concept qui a été ensuite élargi selon différents auteurs à une diversité delta, epsilon et oméga.

- **α -diversité** (alpha - diversité) : Nombre d'espèces décrites au sein d'un biotope ou lors d'un relevé (aussi appelée **local diversity**)
- **β -diversité** (bêta - diversité) : Comparaison / changement de la combinaison d'espèces entre deux relevés (aussi appelée **species turnover**⁷¹, **gradient diversity**⁷² ou **mosaic diversity**⁷³)
- **γ -diversité** (gamma - diversité): Nombre d'espèces (total) d'un ensemble de relevés, issus d'un site ou relevés dans un paysage. (aussi appelée **regional diversity**)

Alpha- et gamma-diversité sont des données de même qualité, c'est-à-dire qu'il s'agit d'un nombre (limité) d'espèces d'un *plot* (relevé) qui peut être une surface précise. La diversité gamma résulte ainsi de la diversité alpha par regroupement des relevés et les deux types de diversité caractérisent la richesse d'un périmètre en se référant cependant à des échelles d'observations différentes. La diversité bêta ne se caractérise pas par un nombre d'espèces mais caractérise la différence entre deux ou plusieurs relevés et constitue ainsi une valeur relative, c'est-à-dire qu'elle exprime la variabilité en comparant différentes unités (Beierkuhnlein, 2003). La diversité spécifique est en conséquence très importante si alpha- et bêta-diversité sont élevées (en conséquences la diversité gamme l'est aussi). Ces trois façons de mesurer la diversité peuvent également s'appliquer à d'autres niveaux d'organisation que la diversité spécifique (Beierkuhnlein, 2003), par exemple au niveau de la biocénose, ou à la diversité des écosystèmes. Puisque la diversité gamma ne se limite pas à un niveau d'organisation dimensionnel précis, c'est-à-dire qu'elle ne se réduit pas à l'échelle du paysage, la confusion entre gamma-diversité et *diversité paysagère*⁷⁴ ou *ecodiversité*⁷⁵ reste à proscrire (Beierkuhnlein in Brunotte, Gebhardt *et al.*, 2002 :267),. En écologie du paysage l'attribution d'une dimension ou échelle à ces trois paliers de la diversité est cependant assez fréquente. Almo Farina parle d'une diversité à l'échelle des micro-, méso- et macrochoses, Zev Naveh respectivement d'une diversité des espèces, habitats et paysages (Naveh, 1994b; Farina, 2006). D'autres auteurs ajoutent une delta-diversité comme équivalent d'une bêta-diversité au niveau dimensionnel supérieur (comparaison de la diversité entre différentes régions ou complexité d'une région) (Schwabe, 1999; Schulze, Beck *et al.*, 2005 :567; Farina, 2006).

⁷⁰ Voir Spichiger, R.E. (2002) : Botanique systématique des plantes à fleurs, p.35,

⁷¹ (Schulze, Beck *et al.*, 2005)

⁷² (Schwabe, 1999).

⁷³ (Farina, 2000)

⁷⁴ Par exemple (Naveh, 1994b),

⁷⁵ Selon (Richter, 1998) d'après (Barthlott, Lauer *et al.*, 1996 :320). Barthlott, Lauer et Placke distinguent pourtant la *landscape diversity* interprété au sens d'une gamma-diversité biologique selon Whittaker d'une *ecodiversity* en tant « *total diversity of a region which is a combination of biodiversity and geodiversity.*»

Debra Peters et Sarah Goslee proposent d'appliquer les mesures de la diversité alpha et gamma à la *landscape diversity* en considérant les unités paysagères comme analogues aux espèces. Comme l'a suggéré aussi O'Neill, la diversité alpha correspondrait ainsi à la mesure du nombre de « patchs » différents au sein d'un « paysage » (Peters et Goslee, 2001) ou d'une « région » (O'Neill, Krummel *et al.*, 1988). La diversité gamma serait en conséquence le nombre total de patchs différents dans une région géographique (Peters et Goslee, 2001) d'extension supérieure. Quant à la conception de cette diversité paysagère se limitant à des unités spatiales dites « paysagères », l'affirmation qu'une bêta-diversité ne pourrait pas être mesurée est remarquable : « *beta-diversity has no analog at the landscape level* » (Peters et Goslee, 2001), ce qui démontre que ces unités spatiales sont conceptuellement parlant « vides ».

Si on transpose les « *trois niveaux d'appréciation de la diversité biologique* » (Da Lage et Metailié, 2000) suggérés par Whittaker à la diversité des espaces, plus précisément à la géodiversité, nous proposons de généraliser l'idée de ces trois niveaux, comme l'a suggéré également Beierkuhnlein (Beierkuhnlein, 1998)⁷⁶, c'est-à-dire de ne pas associer α , β -et γ -diversité à des dimensions précises mais plutôt de mettre en relation objets et dimensions.

- **α -géodiversité** : diversité au sein d'une unité spatiale, nombre d'objets décrits dans une unité spatiale
 - Si on se réfère à une unité spatiale ou unité paysagère élémentaire, la diversité sera alors mesurable par la diversité des composantes ou des contenants qu'on retrouve dans cette unité spatiale d'extension verticale ou horizontale. Dans ce cas il peut s'agir d'une **diversité mésologique**.
 - Exemple : la diversité des composantes qui sont contenues dans une unité spatiale de type géon, par exemple le nombre différent de corps naturels localisés au sein d'un holoplexion ou même d'un hoplexion
- **β -géodiversité** : diversité entre deux unités spatiales comparables.
 - En comparant directement deux ou plusieurs relevés ou unités spatiales, on peut mesurer la bêta-géodiversité
 - Exemple, le nombre de CNL différents qu'on trouvera dans deux holoplexions distincts. Autre exemple : nombre d'hoplexols moyen entre deux types de géons différents habituellement associés sur un transect.
- **γ -géodiversité** la diversité de l'ensemble des unités spatiales considérées à plus petite échelle, c'est-à-dire dans le contexte d'un ensemble spatial plus vaste.
 - Dans le cadre de cette étude on peut interpréter la gamma-géodiversité comme une mesure de la **diversité paysagique**, qui peut se mesurer sur les mêmes unités que la diversité alpha mais qui tient compte de l'ensemble des éléments relevés dans le secteur étudié.

⁷⁶ „In Erweiterung des Whittakerschen Ansatzes kann man α , β - und γ -Diversität nun allgemeiner als Vielfalt eines bestimmten biotischen Parameters innerhalb einer räumlichen, zeitlichen oder funktionalen Einheit (α), im Vergleich einzelner Einheiten (β) und als Variabilität in der Gesamtheit aller Einheiten (γ) verstehen.“ (Beierkuhnlein, 1998)

- Par exemple : ensemble des différents corps naturels localisés lors des relevés sur le Madres-Coronat.

Peu importe comment on dénomme les unités spatiales mises en évidence par une géodiversité globale, les différents niveaux d'appréciation de la diversité peuvent s'appliquer à toutes les dimensions spatiales et sont envisageables également pour des unités fonctionnelles et temporelles.

Qualité et Quantités : différencier pour comparer

Une autre façon de saisir les différentes possibilités d'évaluation de la diversité se fonde sur la distinction entre qualité et quantité des objets comparés. Carl Beierkuhnlein (Beierkuhnlein, 2001; Beierkuhnlein, 2003 :64) propose de distinguer les trois critères suivants :

- **Critère qualitatif ou diversité primaire** : « ressemblance entre objets » („*Ähnlichkeit zwischen Objekten*“). La diversité est plus grande pour deux objets très dissemblables.
- **Critère quantitatif ou diversité secondaire** : nombre d'éléments / diversité d'unités („*Anzahl der Elemente / Vielfalt von Einheiten*“). La diversité est plus importante si le nombre d'objets est important.
- **Critère fonctionnel ou diversité tertiaire** : complexité écologique, diversité des interrelations („*ökologische Komplexität / Vielfalt von Wechselbeziehungen*“). La diversité est plus importante si la complexité du système augmente par les interrelations plus nombreuses

Visiblement cette façon d'organiser la biodiversité s'inspire du système en tant *qu'ensemble d'éléments en interaction*. Appliquée à la géodiversité et plus particulièrement à cette étude on peut citer les exemples suivants pour illustrer ces critères pour une mesure de la diversité :

- Critère qualitatif de la géodiversité :
 - Exemples : Ressemblance entre deux hoplexols ou deux holoplexions à CNL contenus différents, ressemblance entre géons ou segments de paysage de nature différente
- Critère quantitatif de la géodiversité :
 - Exemples : nombre de CNL au sein d'un hoplexol ou relevé, nombre d'hoplexols au sein d'un type de géon, nombre d'unités paysagères de types distincts au sein d'un périmètre d'étude
- Critère fonctionnel de la géodiversité
 - Exemples : complexité des fonctions associées à un type de paysage ou relations entre objets d'un milieu

Approches combinées de la diversité

Si on défend que « *la pertinence spatiale de l'analyse de la biodiversité [...] mériterait d'être affinée* » (Simon, 2006), on peut remarquer que Carl Beierkuhnlein a définitivement contribué à faire avancer la réflexion sur le caractère spatial de la biodiversité (Beierkuhnlein, 1998; Beierkuhnlein, 2001; Beierkuhnlein, 2003). Si on peut constater que les mesures de diversité se consacrent fréquemment au nombre d'espèces, ce dernier auteur propose de prendre en

considération quatre niveaux d'intégration (organes, organismes, biocénoses et écosystèmes) et de les combiner à cinq critères spatiotemporels et fonctionnels de la diversité, à savoir la surface, la hauteur, le fonctionnement, la dimension temporelle et l'unité de mesure du niveau d'intégration ⁷⁷(cf. tableau 2 in Beierkuhnlein, 1998). En conséquence on obtient déjà vingt approches possibles de la diversité du vivant et on pourrait envisager d'élargir cette grille de lecture de la diversité à une troisième dimension, différenciant critères qualitatifs et quantitatifs.

Appliquée aux espaces (au sens large) et en excluant les dimensions fonctionnelles dans cette approche structuraliste, cette étude, adoptant la taxo-chorologie de l'analyse intégrée des milieux, pourrait traduire les niveaux d'intégration et les critères de diversité spatiale inspirés par Beierkuhnlein en remplaçant les niveaux d'organisation par les composantes et enceintes des milieux (CNL, hoplexols, hoplexions, géons,...) et en ajoutant aux critères spatio-temporels le volume.

La notion de géodiversité mériterait encore davantage d'attention en rapport avec la biodiversité, mais le but de cet exposé se limite à l'organisation hiérarchique de la géodiversité. Même si les adaptations à la géodiversité inspirées par les conceptions de la biodiversité n'ont rien de définitif, cet aperçu livre une impression du vaste champ concerné par la notion de géodiversité qu'on réduit encore trop souvent à la richesse spécifique. Parallèlement cela ouvre le débat sur la multiplicité des facettes qu'on peut attribuer à un concept spatial de la diversité.

⁷⁷ Par exemple : gènes en ce qui concerne les organismes, formes d'organisations cellulaires spécialisé concernant les organes (rhizome, feuilles caduques...) , composition pour les biocénoses...

Pour une étude de la géodiversité considérée comme une diversité des milieux et des paysages, la notion de milieu n'est pas de moindre importance que le paysage. D'autant plus que la diversité des paysages se réduira dans le cadre de cette étude au paysage-objet, qui n'est en fin de compte rien d'autre que l'aspect visible et matériel d'un assemblage de milieux naturels anthropisés. La complexité des milieux à composantes biotiques, abiotiques et anthropiques associée en un lieu ne laisse aucun doute sur la complexité de la géodiversité. La description de la mosaïque des milieux constitue même le cœur de cette étude de la géodiversité mais le géographe ne porte pas le même regard sur le milieu que l'écologue.

Utiliser la théorie des systèmes comme cadre pour la description d'une diversité à caractère géographique tient compte d'une géodiversité considérée comme étant un phénomène complexe. Le cadre théorique pour une étude de la géodiversité se réfère ainsi au géosystème en tant que système à caractère spatial ayant des propriétés structurelles, fonctionnelles et dynamiques obéissant aux principes de la systémique tout en s'inscrivant dans le champ d'une géographie naturaliste avec une ouverture sur les interactions société-environnement. Il ne s'agit pas d'une entité spatiale mais d'un modèle qui permet d'apprécier un phénomène complexe à des échelles multiples.

Une étude géographique de la diversité spatiale fait appel à d'autres notions comme « nature » et « environnement » mais aussi aux champs disciplinaires voisins, notamment à l'écologie et plus particulièrement à l'écologie du paysage, comme l'a suggéré déjà le travail notionnel sur la diversité paysagère et la géodiversité. L'analogie entre l'écosystème et le géosystème renvoie à une analogie entre la biodiversité et la géodiversité. Cette dernière ne peut que profiter des avancées théoriques dans le domaine de la biodiversité.

Toutefois la notion de géodiversité s'inscrit dans le champ théorique de la géographie et doit impérativement intégrer la notion d'échelle. On ne peut prétendre que ce travail s'inscrit dans une transdisciplinarité proprement dite, puisque, même en transgressant le champ disciplinaire, la finalité d'une description de la géodiversité reste au fond inscrit dans la discipline géographique. En revanche, c'est une géographie dont sont issus des courants de la science du paysage et de la géoécologie et auxquels le concept naissant de géodiversité peut faire appel pour établir une méthode d'analyse.

1.4. Premiers éléments pour une méthode de mesure de la géodiversité

1.4.1. Conception d'une géodiversité des milieux et des paysages

La construction d'une méthodologie d'évaluation de la géodiversité se fonde sur une explication claire et univoque de ce que l'on entend par géodiversité. La géodiversité traitée dans le cadre de cette étude constituera un aperçu de la géodiversité au sens large et sera conçue dans le cadre d'une approche géosystémique.

1.4.1.1. Diversité paysagère et géodiversité

Deux notions ou une seule - Choisir ou unir ?

Nous avons démontré (chap. 1.2.4.2) que les deux notions de diversité paysagère et de géodiversité se confondent parfois dans le sens où la *Landschaftsdiversität* de certains écologues du paysage germanophones (Leser, 1997a; Leser, 1997b; Leser, Haas *et al.*, 1997) s'approche de la conception de *géodiversité* de certains auteurs francophones (Pourtier, 2003; Grenier, 2006). mais qu'ils s'opposent également si on prend l'exemple de la *geodiversity* de conception « géologique » des auteurs anglophones (Gray, 2003; Gray, 2008) et qu'on la compare à une *diversité paysagère* conçue dans le champ des sciences humaines tenant expressément compte des dimensions sensibles, culturelles et sociales du paysage.

Face à la divergence des opinions et conceptions de ces deux termes, le choix des définitions retenues n'est pas aisé et la question d'une éventuelle complémentarité, sinon synonymie, des deux termes demeure toujours vive. Lier le terme de diversité à une notion de « paysage » à caractère spatial ou au préfixe « géo » inspirant la description ou science de la terre, peut amener à penser qu'il s'agit de termes comparables ou synonymes. Il est alors temps de délimiter la conception proposée ici, sans forcément adopter la plus courante, ni pour autant condamner d'autres points de vues.

A la recherche de points communs on peut constater que les différentes interprétations de ces deux notions se rejoignent dans le fait que la diversité paysagère et la géodiversité reflètent deux façons de concevoir une *diversité chorologique* (cf. chap. 1.3.4), c'est-à-dire une diversité qui s'exprime dans l'espace. Une diversité chorologique qui fera appel à la géographie comme discipline (une géographie globale dont on redoute parfois l'existence) pourra se fonder sur la notion de géodiversité. Une géodiversité globale et géographique décrit la chorodiversité de la surface terrestre sans se limiter à la lithosphère ou aux composantes abiotiques. Elle pourra en ce sens englober la diversité paysagère. Selon nos conceptions les deux notions, géodiversité et diversité paysagère, peuvent s'appliquer au paysage et le considérer comme système. Elles ne le décrivent pourtant pas de la même façon. Surtout, la géodiversité ne se limite pas à la seule dimension du paysage.

Or, avant de se lancer dans l'élaboration d'un concept holistique, peut être utopique et de *géodiversité globale* on se restreindra d'abord à une géodiversité qui peut avoir un intérêt pour l'étude de la mosaïque paysagère, autrement dit un sens dans la gestion du patrimoine naturel. Une telle géodiversité peut se situer, à l'échelle **des paysages et des milieux**.

La conception d'une telle géodiversité demande une définition suffisamment large pour laisser libre le choix de l'approche, mais en même temps elle doit être suffisamment parlante pour devenir opérationnelle.

La géodiversité comme « diversité des milieux et paysages »

Nous proposons ici d'étudier la géodiversité en tant que **diversité des milieux et paysages**, une (deux) forme(s) de diversité géographique, une partie de la *géodiversité globale* qui reflète la diversité de la géosphère, la diversité de la surface de la Terre, et constitue une forme de chorodiversité.⁷⁸

Après un aperçu des interprétations courantes des notions de *paysage* et de *milieu*, il paraît évident que la diversité du paysage ne peut pas être exactement la diversité des milieux. Le caractère multidimensionnel et complexe du paysage ne peut pas être assimilé au milieu à connotation naturaliste. Le premier ne peut se substituer au second que seulement dans le langage des écologues (et des écologues du paysage).

Il est question d'élaborer une méthode pour évaluer la diversité des milieux et des paysages par une approche systémique. Il ne faut cependant pas confondre diversité des milieux ou diversité des paysages avec une « diversité géosystémique ». Le géosystème est un modèle, le paysage une portion d'espace bien réelle. Cela n'empêche pas que l'on puisse considérer le paysage comme un système (Bertrand, 1978), même si « *le géosystème n'est pas le paysage* » (Bertrand, 2009 :20). De façon analogue, la diversité des milieux, apparente *in situ* n'est pas synonyme de diversité géosystémique, car cette dernière ne se limite pas au niveau d'analyse du milieu et constitue une abstraction de la diversité « anthropo-bio-physique » spatiale.

Limites de la diversité paysagère de cette étude, diversité du « paysage-objet »

Ce que l'on entend par diversité paysagère peut être très différent, selon que l'on considère le paysage comme un objet perçu et représenté, produit conjointement par la nature et la société ou, à l'opposé, comme un assemblage d'objets apprécié en terme de masses et d'énergies. Le caractère insaisissable du paysage et en conséquence la multiplicité des approches de la diversité paysagère fait apparaître la nécessité de choisir une approche particulière. Aborder la diversité paysagère offre ainsi de multiples possibilités.

La diversité paysagère sera abordée ici dans le contexte du paysage-objet (Filleron, 1995), c'est-à-dire comme paysage physique et matériel qui existe indépendamment de l'observateur et qui s'offre à la vue de tous. Il sera considéré seulement sous son aspect strictement matériel et à

⁷⁸ Afin d'éviter tout malentendu, il sera encore une fois souligné que la conception de la géodiversité dans le présent travail ne se limite pas à une *géodiversité lithologique, pétrographique* ou *géomorphologique*. Il ne sera pas non plus question de faire une étude complète de la *géodiversité globale* ce qui relève de l'impossible.

l'exclusion du paysage sensible, du paysage porteur de sens. C'est le paysage producteur au sens de Thierry Brossard et Jean-Claude Wieber (Brossard et Wieber, 1984; Wieber, 1985; Brossard, 1987), mais ses objets sont considérés à travers la dimension visible du paysage (« le paysage visible » selon ces mêmes auteurs). La diversité paysagère du paysage-objet demeure malgré cette simplification toujours très complexe, à l'image du paysage-objet lui-même.

Si on ne considère uniquement la partie matérielle du paysage en laissant de côté les aspects sociaux et culturels, on peut aboutir à au moins deux interprétations de la diversité paysagère :

- Une **diversité paysagère *lato sensu*** qui intègre, de façon sans doute idéaliste, tous les aspects du paysage et en décrit la diversité. C'est à la fois la diversité du paysage « matériel » producteur, les paysages visibles et le paysage perçu. Elle a un caractère hybride matériel et immatériel complexe.
- Une diversité du paysage-objet qu'on appellera simplement **diversité paysagique** pour la différencier à la fois de la diversité paysagère au sens large mais également des autres formes de diversité paysagère décrites dans la littérature (*landscape diversity*, *Landschaftsdiversität*). La diversité paysagique reflète la partie matérielle et visible de la diversité paysagère *lato sensu*. Elle se situe à l'échelle du paysage, voire à l'échelle d'un ensemble cohérent de milieux. C'est la diversité paysagique qui sera, au moins partiellement, décrite dans le cas concret de cette étude.

La caractérisation de la diversité paysagique déjà hautement complexe peut ainsi être considérée comme une étude partielle de la diversité paysagère

1.4.1.2. Une géodiversité spatio-temporelle et systémique

La géodiversité appréciée dans le cadre d'une approche géosystémique

Face à la complexité de la diversité des milieux et des paysages, le problème essentiel reste la faisabilité d'une étude de la diversité. Selon les approches systémiques (Neef, 1967b; Beroutchachvili et Bertrand, 1978a), les faits géographiques et ainsi la complexité des paysages ou des milieux se caractérisent par une morphologie, une structure, un fonctionnement et un comportement qui reflètent leur dynamique. Fréquemment, structure et morphologie sont confondues. On peut qualifier la morphologie, ou physionomie, qui reflète la disposition des éléments de l'ensemble dans l'espace concret de « *structure spatiale* », afin de ne pas la confondre avec la *structure fonctionnelle* du système, qui est d'ordre virtuel.

La géodiversité reflète l'état actuel de la variété des formes, résultat de l'interaction des structures et du fonctionnement et de la dynamique du passé. En conséquence une étude systémique des milieux et paysages offre en principe trois entrées principales : l'étude des structures, l'étude du fonctionnement et l'étude de la dynamique. Structures virtuelles et fonctionnements systémiques ne sont pas directement visibles et sont la plupart du temps difficilement quantifiables, du moins de façon exhaustive. Pour étudier les dynamiques, la connaissance des structures et la compréhension des fonctionnements sont indispensables. L'étude

des fonctionnements ne relève pas seulement des difficultés liées à une approche quantitative mais pose déjà un problème lors de l'évaluation qualitative du poids respectif des fonctions dans l'ensemble d'un système. En revanche, la morphologie du paysage, sa physionomie, son apparence visible se laissent saisir en observant les composantes et leur disposition dans l'espace. Les formes, un aspect visible de la complexité mésologique et paysagère, reflètent indirectement les structures virtuelles et le fonctionnement, et se présentent comme le résultat momentané de leur évolution. L'observation des structures *spatiales* de la géodiversité fournit ainsi un bon départ, qui permet de faire un « état des lieux » préalable à l'étude de la dynamique, et laisse espérer que la nature et la qualité diversifiée des éléments visibles dévoilent quelques caractéristiques du fonctionnement.

Dans la présente étude nous abordons donc le paysage par une approche « matérialiste ». C'est une vision qui est d'une part analytique car on décompose les milieux en éléments ou composantes matérielles et « visibles », ayant une forme et une morphologie. D'autre part, c'est une vision systémique car nous sommes conscients que la somme des éléments considérés ne correspond pas à l'ensemble du système puisque le fonctionnement et la dynamique, non relevés, interviennent également.

Dimensions de la géodiversité

On peut qualifier les milieux d'ensembles concrets qui se manifestent dans l'espace et évoluent dans le temps. Indépendamment d'une vision systémique, cela attribue aux milieux, comme aux paysages et en conséquence à la géodiversité, quatre dimensions spatio-temporelles. Les surfaces couvertes et la hauteur occupée par les milieux impliquent qu'il s'agit d'ensembles à trois dimensions. Les structures spatiales peuvent ainsi être exprimées par les unités de mesures de hauteur (par exemple dm), de surface (par exemple ha) et de volume (par exemple cm^3). La quatrième dimension, temporelle, peut retracer l'évolution de ces mesures dans le temps. Les dimensions surfaciques et temporelles n'ont pas de restriction d'échelle, en revanche l'extension verticale se réfère à l'échelle du milieu (mésologique), qui peut être interprété comme une dimension d'ordre topologique.

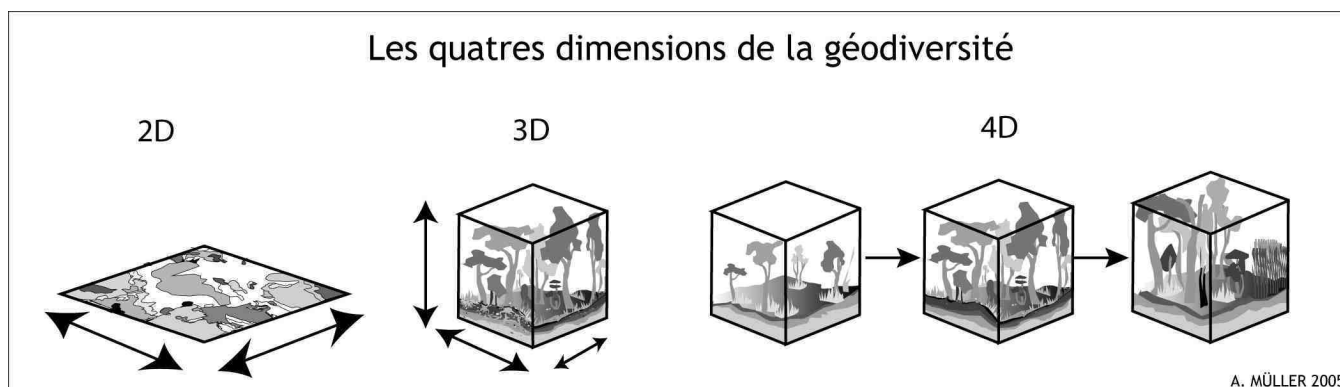


Fig. 1.3 : Les quatre dimensions de la géodiversité

Conception A. Müller

1.4.1.3. La géodiversité « mésologique » et « paysagique »

Géodiversité *stricto sensu*, diversité mésologique et paysagique

La géodiversité *lato sensu* ne se réduit pas à la diversité des milieux et paysages mais peut concerner également d'autres objets géographiques. Toutefois la diversité des milieux et la diversité paysagique peuvent être considérées comme des formes de géodiversité.

Afin d'éviter les malentendus avec toute autre dénomination de diversité dont le prochain chapitre livre un petit aperçu, nous proposerons ici deux termes qui exprimeront d'une part la qualité de la diversité recherchée et d'autre part le niveau d'analyse auquel se situe cette recherche. Comme la diversité paysagère d'un paysage-objet sera appelée une (géo-) diversité paysagique, la diversité des milieux peut être considérée comme une géodiversité mésologique.

- La **(géo-)diversité mésologique** s'applique à toutes les échelles permettant la construction du milieu, de l'objet le plus simple à l'ensemble du profil mésologique. C'est le profil du milieu associant substrat rocheux, sol, surface du sol, végétation et éventuellement des artifices. Cette diversité peut ici être qualifiée de « verticale ».
- La **(géo-)diversité paysagique** est d'ordre « latérale ». Elle combine à toutes les échelles, locale et régionale, les assemblages constitués par les types de milieux, des plus naturels au plus humanisés, dans leur extension spatiale.

Les termes utilisés, « *géodiversité mésologique* » et « *géodiversité paysagique* » s'appliquent à la reconnaissance des **formes**, c'est-à-dire à **l'ensemble des contours**, et aux **objets** ou « **choses solides et indépendantes qui affectent les sens et en premier lieu la vue** » dont l'assemblage constitue, selon les niveaux d'analyse considérés, le milieu ou le paysage-objet.

La géodiversité mésologique et la géodiversité paysagique caractériseront la **richesse** et **l'hétérogénéité (variété)** des composantes qui confèrent aux milieux et paysages, considérés comme des systèmes, leurs structures spécifiques et qui interagissent à des échelles temporelles et spatiales multiples. D'autres critères comme la singularité des éléments ou la configuration spatiale permettent de qualifier la diversité.

Si on tenait compte d'une dimension temporelle de la diversité (toutes échelles spatiales confondues), elle serait qualifiée de **diversité éthologique**.

1.4.1.4. Synonymes et notions complémentaires de la géodiversité

Les possibilités de dénommer la diversité des phénomènes spatiaux qui relèvent à la fois du biologique, du physique et de l'anthropique sont nombreuses. Différents noms sont envisageables pour qualifier une diversité « anthropo-bio-physique ». En guise de conclusion sur la notion de géodiversité approfondie dans le présent chapitre, on résumera ici d'autres notions déjà existantes ou simplement envisageables, qui se rapprochent de la définition de la géodiversité développée ci-dessus. Sera précisé également le raisonnement qui nous a fait exclure ces termes en tant qu'objet de recherche principal. Le fait de considérer les concepts suivants comme synonymes, complémentaires, hiérarchiquement supérieurs ou inférieurs, voire incompatibles avec la

géodiversité, relève bien évidemment des choix, définitions et interprétations personnels de l'auteur.

- mésodiversité: utilisée dans le cadre de cette étude comme synonyme de la diversité des milieux ou diversité mésologique, une forme de géodiversité se référant aux milieux. Rejetée cependant en tant que concept global car se limitant aux milieux et parce que la notion de milieu (naturel ? géographique ?) ne constitue pas une base théorique suffisante, ni un concept sans ambiguïtés. Par ailleurs la mésodiversité risque de transgresser le champ bien développé par (Berque, 1990; Berque, 2000) qui vise justement par la mésologie à élargir la vision sur le sensible et sur le culturel. En toute évidence c'est une notion qui est à distinguer clairement d'une diversité paysagère.
- chorodiversité: Diversité chorologique, diversité se référant à la chorologie, donc à la répartition d'objets dans l'espace, aux variations de la distribution spatiale, avec le désavantage qu'elle ne donne aucune idée sur l'objet de la distribution. En ce sens il pourrait s'agir d'un concept très large, mais mal défini, car faisant appel à la chorologie des géographes ou des géobotanistes, entre autres. En se référant à la chorologie des géographes dans un sens large, la géodiversité peut être considérée comme une chorodiversité, une diversité spatiale.
- écodiversité (Naveh, 1994b; Naveh et Lieberman, 1994; Jedicke, 2001): Diversité des écosystèmes englobant également la diversité abiotique. Aussi appelée « landscape ecodevity » par Naveh ((Naveh, 2007) ou *Ökodiversität* et en ce sens synonyme de la *diversité paysagère* au sens de Leser (Leser, 1997b; Leser, Haas *et al.*, 1997; Leser et Nagel, 1998). En tant que telle, notion envisageable comme quasi-synonyme d'une géodiversité « géoécologique », mais non retenue dans ce travail car privilégiant l'approche écosystémique et en conséquence écartée d'une étude géographique de la diversité spatiale, se fondant sur une approche géosystémique. Néanmoins c'est une notion proche ou concept complémentaire si on accepte une certaine complémentarité entre l'écosystème et le géosystème.
- géoécodiversité: Quasiment synonyme de la géodiversité, mais non retenue car se basant sur le concept de géoécosystème, non diffusé en France et davantage centré sur le fonctionnement et les processus géoécologiques que sur les structures spatiales. Par ailleurs le géoécosystème étant parfois considéré en Allemagne comme hiérarchiquement inférieur à l'*écosystème paysager* ou comme synonyme du géosystème on aurait remplacé un terme ambigu par un autre. Il pourrait être considéré comme synonyme de l'écodiversité avec une connotation plus équilibrée entre les biosciences et les géosciences.
- diversité paysagère sensu lato: On ne peut pas considérer la diversité paysagère *sensu lato* comme synonyme de la géodiversité pour les raisons largement discutées ci-dessus (chap. 1.2 et 1.3), à savoir que la dimension sensible n'est pas prise en compte par la géodiversité telle qu'elle a été définie ci-dessus car elle ne s'exprime pas dans l'espace et que la géodiversité ne se limite pas à l'échelle et à l'objet du paysage. Pour les autres interprétations de la diversité paysagère se référer ci-dessous (cf. aussi chapitres 1.2 et 1.3).

- diversité paysagère sensu *Landschaftsdiversität* d'après Leser (Leser, 1997b) : Quasiment synonyme de géodiversité mésologique et paysagère car tenant compte des composantes physiques, biologiques et anthropiques. Toutefois la différence réside dans les fondements du concept, se référant ici à *l'écosystème paysager* et non au géosystème et dans le fait de considérer la géodiversité, diversité du "Geos" essentiellement abiotique, comme composante partielle de la *Landschaftsdiversität*. Par ailleurs la *Landschaftsdiversität* est peu compatible avec une diversité paysagère *sensu lato* puisqu'elle semble se limiter essentiellement aux phénomènes (géo-) écologiques. Pour cette même raison il est préférable d'utiliser le terme de « *Landschaftsökodiversität* » (diversité écologique du paysage). En revanche la *géodiversité* « à la française » pourrait être traduite en allemand par *Landschaftsdiversität* « à l'allemande ».
- diversité paysagère / *landscape diversity* sensu γ -diversity (gamma-diversité) ou *ecosystem-diversity* (par exemple Naveh, 1994b) : Dimension de la biodiversité à l'échelle écosystémique, réduisant le paysage à la mosaïque d'écosystèmes. En ce sens une diversité écologique spatiale pouvant être qualifiée également d'*hétérogénéité* écologique, notion utilisée par les écologues du paysage. Notion assez « biocentrique » et pour cette raison écartée d'une étude géographique de la diversité spatiale.
- diversité paysagère / *landscape diversity sensu landcover-diversity* de CORINE LandCover ((European Commission / E.E.A., 2000; Gallego et Escribano, 2000; Peters et Goslee, 2001)) : Diversité se réduisant à la richesse à l'uniformité des distributions de *patches* ou unités paysagères délimitées selon des critères essentiellement biotiques, excluant ainsi le sens même de paysage et se fondant essentiellement sur les indices « paysagers » ou *landscape metrics*. Très proche d'une γ -diversity et malgré une connotation spatiale une diversité se réduisant essentiellement à la mosaïque de la couverture végétale (Romme et Knight, 1982). L'utilisation d'indices paysagers caractérisant la diversité d'unités spatiales peut également s'appliquer à l'écodiversité, à la géoécodiversité, à la géodiversité paysagique ou à la diversité paysagère *sensu Landschaftsdiversität*, mais ne fait pas de cette diversité paysagère un concept.
- anthropodiversité : elle se propose pour les études des anthroposystèmes au sens de Muxart et Lévêque (Lévêque, Muxart *et al.*, 2003; Muxart et Lévêque, 2004) D'inspiration anthropogéographiques, ce concept un peu trop anthropocentrique pour une étude des milieux « naturels » n'a pas été discuté ici. Le Muséum National de l'Histoire Naturelle (Muséum National d'Histoire Naturelle, 2001) la considère cependant comme « *relevant de la biodiversité et de la géodiversité, dans la mesure où l'homme relève du vivant et participe de l'environnement* ». Des traces d'anthropodiversité au sens ethnologique se retrouvent aussi chez Droz *et al.* (Droz, Lavigne *et al.*, 2006 :124). Elle pourrait être considérée comme un concept complémentaire à la mésodiversité.
- diversité bioculturelle (*biocultural diversity*) : Déjà mentionnée en 1995 par Philip Dearden (Dearden, 1995), il s'agit d'un élargissement du concept de biodiversité vers une dimension culturelle (Maffi, 2001 d'après Loh et Harmon, 2005). Selon Loh et Harmon, le concept peut être qualifié de « *total variety exhibited by the world's natural and cultural systems. [...] It includes biological diversity at all its levels, from genes to populations to species to*

ecosystems; cultural diversity in all its manifestations (including linguistic diversity), ranging from individual ideas to entire cultures; and, importantly, the interactions among all of these » (Loh et Harmon, 2005: pp. 231). C'est un concept utilisé notamment en ethnobotanique et qui reste pour cette raison une approche plutôt écologique (au sens large) que géographique, même si l'indicateur proposé par Loh et Harmon intègre aussi une dimension spatiale.

1.4.2. Choix méthodologiques

1.4.2.1. Mise en place d'une méthode

Éléments de méthode et méthodologie

L'élaboration d'une méthode pour l'étude de la géodiversité *in situ* se fait en deux étapes. En premier lieu, la méthodologie utilisée doit être adaptée à la problématique et à la conception des notions fondamentales retenues. Ce sont notamment les précédentes définitions de la géodiversité, plus précisément de la géodiversité mésologique et paysagique, adaptées au cadre de l'étude, qui conditionnent la mise en place d'une démarche visant à mettre en évidence cette géodiversité. Le cadre théorique a inspiré déjà quelques éléments de méthode qui seront succinctement exposés dans le présent chapitre. Le cadre théorique étant fixé et l'identification des principales notions achevée, il reste à mener une réflexion sur les méthodes de quantification de la géodiversité, susceptibles de fournir des réponses aux questionnements présentés.

Dans un deuxième temps, les grandes lignes de la méthodologie projetée doivent s'adapter à la réalité du terrain, aux données, aux outils, à la main d'œuvre et au temps disponible. Les méthodes précises de travail appliquées aux relevés de terrain, à la cartographie et à l'exploitation des données dépendent ainsi de nombreux facteurs et doivent être adaptées en conséquence. Pour cette raison, il est nécessaire de présenter d'abord le site étudié avant de détailler la méthodologie dans la troisième partie.

La confrontation avec la réalité de la construction théorique qu'est la conception d'une géodiversité des milieux et paysages se fait ici par une démarche inductive : on cherche à généraliser à partir d'observations faites *in situ*, c'est-à-dire essentiellement par les relevés de terrain et par la cartographie issue de la télédétection. Il est impossible dans le cadre d'une recherche doctorale d'étudier tous les aspects de la géodiversité ou de concevoir une méthodologie qui le permettrait. Les différents aspects de la géodiversité appellent différentes méthodes. Les méthodes adoptées constituent un ensemble qu'on pourra appeler en allemand un « Methodenbündel » (« un « baluchon » ou « faisceau » de méthodes) ou plus précisément la « Methodik »⁷⁹. Celle-ci sera confrontée aux hypothèses annoncées (explicitées dans le chapitre 1.1) et répond aux objectifs de la recherche fixés par la problématique.

⁷⁹ En langage allemand, contrairement au français il faut distinguer la méthodologie (« Methodologie ») et la « Methodik » (à ne pas confondre avec l'adjectif français « méthodique ») ; la méthodologie étant la science des méthodes scientifiques tandis que la « Methodik » (sensu méthodologie française) désigne les connaissances et l'application des méthodes scientifiques par le scientifique

Idéalement, l'ensemble de ces méthodes, la méthodologie adoptée pour la mise en évidence de la géodiversité mésologique et paysagère, doit pouvoir être transposable à d'autres problématiques associées à la géodiversité des milieux et des paysages. Cette ouverture et les possibilités d'adaptation seront discutées dans la dernière partie.

1.4.2.2. Fondements positionnements méthodologiques

Quelques principes et notions associés à l'analyse des milieux et paysages méritent d'être précisés avant de rentrer en détail dans les façons de relever les composantes et de quantifier leur nombre et leur ressemblance.

Support et couverture

Dans l'analyse paysagère il est fréquent de distinguer le support et la couverture (Delpoux, 1972). Le support, la croûte terrestre caractérisée par sa roche, son substrat, son relief « supporte » la couverture superficielle : les sols et la végétation qui s'y implante, la faune qui s'y développe et l'homme qui y vit, l'occupe et le transforme parfois considérablement. Dans la mesure où « *chacun de ces deux éléments transcende plusieurs variables écologiques* » .(Ducruc, 1985), c'est une façon de simplifier l'approche du milieu naturel en attribuant à la couverture essentiellement des caractères biologiques et anthropiques, tandis que le support, constitué par le relief avec ses caractéristiques géologiques, pétrographiques et géomorphologiques essentiellement physiques ou minérales (abiotiques) évolue généralement à une autre échelle de temps.

A quelques exceptions près, l'action anthropique n'intervient que rarement directement sur le support (carrières, gisements exploités) ; en revanche l'influence anthropique sur le support se manifeste notamment par une transformation de la couverture, provoquant par exemple une érosion accélérée des sols et formations superficielles.

La subdivision d'un paysage entre couverture et support constitue une abstraction schématique, une simplification surtout à l'égard des flux et dynamiques externes et des nombreuses interactions à l'interface support - couverture. A titre d'exemple, le sol est à la fois support de la végétation et couverture de la roche sous-jacente. Le sol en position d'interface l'est aussi en ce qui concerne les processus abiotiques et biotiques, sans oublier qu'il occupe parallèlement une position intermédiaire dans les échelles temporelles des processus d'évolution des paysages.

Toutefois, cette schématisation rappelle qu'on peut se laisser tromper dans l'appréciation des paysages par le regard superficiel (surtout en milieu de plaine), qui ne saisit d'abord peut-être que la prépondérance de la végétation et néglige que le soubassement de cette couverture, le relief, la roche et le sol ne doivent pas être négligés lors de la prise en compte des éléments du paysage.

Appliqué à cette étude, cela implique de ne pas limiter l'étude des milieux à la couverture, mais de tenir compte du relief et dans la mesure du possible des sols, formations superficielles et roches sous-jacentes.

Discontinuités et limites

Dans le système ouvert que constitue le système terre, le volume fini de la géosphère se présente par sa forme sphérique comme un *continuum* (Neef, 1967a :12) qui se caractérise cependant par des discontinuités plus ou moins prononcées. Le choix des limites des contenants dans cet espace tridimensionnel constitue ainsi une construction virtuelle, même si elle se fonde sur des ruptures fonctionnelles et/ou physiologiques réelles. Les limites entre paysages sont ainsi des produits intellectuels (Neef, 1967a :26), mais les paysages restent bien réels.

Le continuum fait appel à la discontinuité, qui peut être de nature variée (une paroi rocheuse, la bordure d'une forêt, une autoroute divisant la forêt). La discontinuité, rupture dans l'espace et dans le temps (Brunet, Feras et al., 1992) (Brunet, Feras *et al.*, 1992), est identifiée par des limites, c'est une interface dans la continuité de l'espace. Les problèmes associés aux limites et au passage entre le continu et le discontinu sont largement abordés en géographie et font l'objet de nombreuses publications (Carroué, Renard *et al.*, 2002; Filleron et Waniez, 2002; Simon, 2002; Rolland-May, 2003). Les limites et discontinuités restent dans bien des cas des frontières subjectives qui dépendent de l'observateur et bien évidemment de la typologie que ce dernier applique à une échelle précise. La notion de discontinuité est ainsi rattachée à la notion d'échelle.

Dans la pratique, les relevés, même d'une certaine extension spatiale allant jusqu'à 400 m² restent des stations localisées, des points à partir desquels toute extrapolation spatiale demeure du domaine de l'hypothétique. Ces relevés tiennent compte des sols, de la végétation, du relief, de l'altitude. Or, phénomènes climatiques, relief (altitudes) et dans une moindre mesure pentes, expositions, sols et végétation se caractérisent par une répartition spatiale à caractère continu, même si on peut observer des ruptures plus ou moins abruptes, des transitions d'extension relativement limitée (dans le domaine biologique on parle d'écotones) qui facilitent le traçage de limites abstraites. Ces limites ou seuils ont une importance première dans la cartographie. Les caractéristiques des unités cartographiées et ainsi les résultats de la mesure de la géodiversité dépendront des limites fixées dans la cartographie des unités paysagères mais aussi des cartes d'échantillonnage divers comme la classification des images satellites. Toute mesure de la géodiversité repose ainsi sur le choix des limites du cartographe et constitue les limites de l'objectivité du scientifique.

Contenus et contenants

La conscience des limites et discontinuités est également le fondement pour apprécier des enceintes spatiales de toute taille et de dimension verticale, horizontale ou tridimensionnelle.

Le contenu c'est ce qui compose la géosphère au sens large : des éléments ou des composantes, minérales, organiques ou artificielles. La qualification du contenu s'adapte à la taille du contenant : la cime d'un arbre dans une strate végétale, l'arbre dans une parcelle forestière ou la formation végétale dans un zonobiome.

Les contenants sont les enceintes caractérisées par leur contenu. Le choix de saisir la diversité par les structures, plus précisément par les formes, suppose de choisir une façon de délimiter des contenants. Plus particulièrement, une distinction des contenants aussi appelés

« enceintes » peut se faire par une caractérisation de leurs contenus. Les strates de végétation se distinguent par la répartition typique de la biomasse ou des biovolumes dans l'espace, les unités paysagères par la répartition caractéristique des composantes du paysage. Là encore les seuils dépendent du choix du cartographe et on essaiera de reproduire les choix de la façon la plus exhaustive possible pour permettre une reproduction des données.

Éléments et composantes

Les contenus, ce sont des éléments et composantes qui constituent les milieux et paysages.

La structure d'un objet géographique, « substance géographique » (Neef, 1967b : pp.15), sera considérée ici comme l'ensemble d'objets matériels qu'on appellera fréquemment éléments ou composantes. Un élément peut être mesurable et considéré isolément mais ne se décompose plus dans le cadre de la discipline géographique, comme par exemple un galet. A contrario, une composante, de taille variable, bien que constituant une unité qui peut se délimiter, se compose de plusieurs éléments, comme par exemple un horizon pédologique ou un géon. En ce sens il s'agit d'un ensemble intellectuellement construit, ce qui explique qu'on préférera le terme de composante au terme de composant. Si ce dernier terme est utilisé, il désignera davantage un objet concret matériel, et on préférera la plupart du temps le terme d'élément.

Dans une approche multiscalaire, une combinaison de composantes peut constituer une seule composante à une échelle d'observation plus petite. Par exemple, un assemblage de géons peut constituer un segment de paysage. Ainsi le géon cartographié en tant que contenant des composantes mésologiques devient composante du segment.

Enfin, composantes et éléments peuvent être localisés et leur assemblage caractérise la structure physionomique et spatiale. La quantification localisée des éléments et composantes constitue ainsi la clé de lecture de la structure spatiale.

1.4.2.3. Comment saisir la géodiversité ?

Caractériser la diversité

La mesure de la géodiversité se fonde sur l'idée de quantifier la variété des milieux ou encore la variété entre différents éléments et compartiments d'un même paysage ou de plusieurs paysages. L'entrée privilégiée est celle du milieu, notion relativement indépendante des approches sociales qui ne font pas l'objet de cette étude. L'assemblage des milieux se manifeste ensuite dans la partie matérielle du paysage, aussi appelé paysage-objet. Ce qui permet de distinguer les milieux entre eux, ou encore de différencier les différentes enceintes et éléments du milieu est précisément ce qui doit être relevé.

Si on souhaite quantifier la diversité des milieux cela peut se faire en tenant compte de la diversité primaire et secondaire suggérées par Beierkuhnlein (*cf.* chap . 1.3.3.4) (Beierkuhnlein, 2001; Beierkuhnlein, 2003). C'est à dire que dans un premier temps il est nécessaire d'établir une typologie et de procéder à une évaluation quantitative de la diversité. Le nombre d'unités spatiales

ou de composantes différentes constitue ainsi une géodiversité alpha⁸⁰. C'est à partir de cette richesse des composantes ou structures qu'il est dans un deuxième temps possible d'identifier la ressemblance ou la divergence qualitative entre les différents milieux. Cela permet de déterminer la bêta-géodiversité des structures et composantes du milieu.

La diversité se laisse donc caractériser par le nombre de composantes de type différent ou par la nature ou la qualité de la différence entre ces types. Il reste à déterminer quels sont les critères qui permettent de caractériser la différence. Ces critères sont dépendants de l'échelle d'observation, qui varie dans notre cas de la strate d'extension millimétrique jusqu'à l'échelle d'un massif.

A titre d'exemple, la diversité mésologique peut être caractérisée à partir de relevés des composantes du milieu (corps naturels localisés, hoplexols, hoplexions), tout comme il est possible de caractériser une phytodiversité à partir de relevés d'espèces. Cependant pour donner un caractère spatial quantitatif à la caractérisation du milieu, il sera nécessaire de quantifier les extensions spatiales des composantes. Pour caractériser la composition et la structure spatiale du milieu, une entrée par une mesure des volumes se propose. Si on souhaite caractériser la diversité paysagique, une approche surfacique permet de quantifier la forme et les dimensions des géons, mais on peut également tenir compte du contenu, donc de la composition des holoplexions avec leur extension verticale. Par les indices paysagers il sera également possible d'illustrer la diversité en tenant compte de la configuration latérale des géons.

Les critères pour une mesure de la diversité peuvent ainsi être de nature diversifiée :

- **composition** : nature des éléments et des composantes (nombre)
- **structure** (spatiale) : structure verticale, configuration latérale ...

Que veut-on et peut-on relever ?

Comme le suggèrent les principes de la systémique, toutes les composantes du géosystème sont susceptibles d'intervenir dans l'expression spatiale des structures et la variété des structures spatiales peut alors être influencée par toutes les composantes du milieu. Puisque la systémique impose également que l'ensemble est plus que la somme de ses parts, une évaluation complète de la géodiversité devrait tenir compte de toutes les composantes et de leurs interrelations et interactions. Il est évident que le cadre de la recherche ne permet pas de la faire, même si celles-ci étaient réellement toutes mesurables. Un choix doit être fait et on ne prétendra pas mesurer toute la géodiversité, mais au moins la saisir dans son ensemble **sans la décomposer en « diversités » distinctes**. Pour cette même raison, la diversité paysagère ne peut pas être la somme d'une « géodiversité » abiotique, d'une biodiversité et d'une anthropodiversité des artifices.

Pour aborder la complexité des milieux, des paysages et ainsi la géodiversité il est utile de procéder à une abstraction de la réalité. Cette abstraction est guidée par le modèle géosystémique. Si on considère les milieux et les paysages comme des systèmes, on peut supposer que des différences de structure, de fonctionnement, et/ou des états dynamiques variables sont à l'origine

⁸⁰ En changeant d'échelle la géodiversité alpha peut à plus grand échelle constituer une géodiversité gamma.

de leur variété. Il s'agit en premier lieu de rendre compte de la diversité paysagique et mésologique par une approche morphologique, excluant de fait les valeurs subjectives difficiles à quantifier et s'engageant sur des faits mesurables. L'entrée géosystémique retenue n'est pas celle de la thermodynamique, mais une entrée par les formes et contours, menant à une estimation de volumes. Une géodiversité évaluée dans le cadre du paradigme géosystémique tient par ailleurs formellement compte des éléments abiotiques, biotiques et anthropiques du modèle géosystémique. Même en ayant choisi de se limiter dans le cadre de ce travail uniquement à la structure spatiale, plus précisément à la morphologie visible des milieux, il y a toujours une certaine liberté concernant la façon de tenir compte des éléments et des compartiments pour étudier la physionomie de ces systèmes.

Afin de saisir contenus et contenants à différentes échelles, pour en extraire les nuances et déterminer la diversité, deux types de collectes de données complémentaires seront utilisés : des données « terrain » issus des relevés, et des données « cartographiques » issues de l'interprétation des images aériennes et satellites, des modèles numériques de terrain (MNT) et des cartes thématiques.

En ce qui concerne les relevés de terrain, on peut distinguer schématiquement deux façons d'étudier les milieux naturels *in situ*. D'un côté le découpage classique pratiqué en géographie physique vise à analyser les divers facteurs et constituants du milieu séparément et reconstitue l'ensemble de façon qualitative. D'un autre côté, « *le milieu naturel peut être considéré globalement, en refusant tout découpage qui risque d'être arbitraire et, surtout, en supposant qu'il existe une dynamique propre à l'ensemble. En géographie, cette analyse structurale insiste sur la dimension spatiale des phénomènes plus que sur leur aspect temporel.* » (Filleron et Richard, 1974 :109) Cette démarche développée par l'école d'Abidjan sera qualifiée d'analyse intégrée du milieu. Les relevés effectués selon les méthodes développées par cette 'école', même légèrement adaptés à notre terrain d'étude et à notre problématique seront appelés des *relevés mésologiques*.

Même si cette dernière méthode suffira (en théorie) pour caractériser la géodiversité mésologique par l'entrée des formes, un deuxième ensemble de méthodes pour l'analyse des milieux par une entrée disciplinaire sera appliqué. Ceci s'explique par plusieurs raisons : Tout d'abord la problématique adoptée, celle d'une mise en relation de la diversité des formes (diversité physionomique) avec la phytodiversité. Elle implique de relever des éléments pouvant caractériser la phytodiversité. En outre, une caractérisation de la géodiversité ne peut que profiter d'un certain nombre de variables supplémentaires qui permettent une caractérisation géoécologique des milieux. De façon plus explicite, ces variables permettent de vérifier l'hypothèse proposée. Si on relève des éléments de phytodiversité, ce n'est donc pas pour essayer de reconstituer une géodiversité à partir de « diversités disparates », mais pour confronter ces diversités à une diversité mésologique évaluée à partir de la physionomie des milieux.

Pour rendre intelligible la corrélation entre des éléments de biodiversité et de géodiversité mésologique et paysagique, les travaux de terrain entrepris sont relativement importants. Afin de pouvoir comparer les résultats de l'entrée structurale avec celle des entrées disciplinaires, les différentes méthodes doivent être appliquées sur le même lieu et au même moment. Ceci implique qu'un relevé de terrain se compose d'un relevé mésologique et de plusieurs relevés de type

disciplinaire, plus précisément des relevés phytosociologiques, phytovolumiques et pédologiques accompagnés d'un inventaire référençant les caractéristiques générales du milieu (topographie, occupation du sol, etc.). La démarche consiste à relier l'observation des formes sur le terrain, quelle que soit leur nature, aux éléments de la phytodiversité. Les relevés de terrain pour une caractérisation de la géodiversité à l'échelle mésologique s'imposent d'autant plus que, contrairement aux éléments paysagiques reconnus sur les images, les cortèges floristiques et les propriétés des sols demeurent du domaine de l'invisible.

Les données de terrain sont, dans une certaine mesure, cartographiables et le traitement des données sous SIG permet notamment un changement d'échelle plus aisé, non sans respecter les conséquences que cela implique. A noter toujours, qu'une superposition et croisement de couches disparates ne constitue pas non plus une carte de la géodiversité.

1.4.2.4. Mesurer l'utile : considérations métriques et mises en garde

De la mesure en mesurant

Si on laisse de côté les données issues de la cartographie et de la télédétection, il faut se demander ce que l'on peut et ce que l'on doit mesurer sur le terrain, sachant que tout n'est pas quantifiable, en raison de sa nature (qualitative) ou parce que nous ne disposons pas de l'instrument de mesure adapté. Même si on avait suffisamment de temps et d'instruments pour mesurer tout ce qui est quantifiable, de la pluviométrie au taux d'humidité du sol en passant par l'érosion réelle par cm² et le rythme de dissémination des plantes invasives, la question primordiale restera : comment intégrer ces variables dans une mesure holistique de la géodiversité et quelles sont les variables les plus pertinentes ?

Pour réaliser un relevé le plus complet possible sur le fonctionnement géosystémique et afin de quantifier les flux de matière et d'énergie régissant ce système, un certain appareillage est indispensable. Des études complètes de ce type existent et suivent un protocole rigoureux pour ne citer que l'exemple de la « *Landschaftsökologische Komplexanalyse* » (Mosimann, 1984) ou les travaux à la station expérimentale de Martkopi issus de la landschaftovedenie Équipée d'un GPS, d'un pH-mètre modèle « Hellige » (liquide d'indication), d'un clinomètre, d'une boussole et d'une pioche, une analyse des flux du géosystème pour la mise en évidence de la diversité était facile à exclure. Quoique d'un certain intérêt pour la recherche fondamentale, une recherche à équipement lourd n'est ni envisageable pour une étude doctorale hors programme de recherche, ni réalisable pour la plupart des organismes et petites structures pouvant potentiellement s'intéresser à la géodiversité ou diversité paysagère. Elle n'a alors que peu d'intérêt pratique.

Fort heureusement la plupart des méthodes classiques pour le relevé de la flore ou des sols sont peu exigeantes, matériellement parlant. Des méthodes faisant appel à la physionomie utilisent les yeux comme instrument de mesure, ou plus exactement comme instrument d'estimation tout comme le phytosociologue qui estime l'abondance / dominance d'une espèce. Resta à déterminer ce qu'il faut réellement relever sur le terrain afin de caractériser la diversité morphologique des milieux.

Approche physionomique et estimations

La question de l'échelle s'impose à nouveau, celle abordable par les yeux humains. L'échelle des Pyrénées ou l'échelle des cellules leur échappe sans l'aide des microscopes et récepteurs. Décrire ce qui est visible n'est pas pour autant facile et des choix sont là aussi nécessaires. Il n'est pas possible de décrire tout ce qui relève de la physionomie : « *D'abord, il y a tout ce qui se voit. Tout, c'est-à-dire une immense variété. Une variété de formes, une variété de couleurs, une variété de tailles et de dimensions. Une diversité et une multitude impossibles à traduire, quoi qu'on fasse, aussi longue que puisse être la description, aussi détaillé et aussi précis que puisse être le dessin.* » (Richard, 1989a :15)

Tout ne peut pas être décrit. Pour caractériser les milieux de la façon la plus complète possible, un relevé exhaustif du milieu consistera à essayer de caractériser tout ce qui se trouve sur place le plus rapidement possible. Les approches classiques privilégient souvent les relevés de végétation par détermination d'espèces et les relevés de sol par prise d'échantillons, en tenant compte de la localisation (relief, position, ...) de la parcelle et des formations superficielles (ou du type de roche). Cette approche peut être qualifiée de disciplinaire, ou pluridisciplinaire (multidisciplinaire) puisqu'elle fait appel à plusieurs disciplines (botaniques, pédologie, géomorphologie) qui fournissent un apport à l'étude des milieux mais constituent une juxtaposition de savoirs différents.

Si on cherche cependant à caractériser la morphologie du milieu dans son ensemble par une seule approche, une autre méthode s'impose et peut se fonder sur ce qui peut être discerné visuellement. L'identification des éléments disposés dans l'espace par leur physionomie tient alors compte de la forme, de la texture, de la couleur avant d'attribuer un caractère ou une fonction à ces éléments. Comme exemples d'interprétation on peut choisir le feuillage sempervirent d'un chêne vert adulte (semperphyse) ou la matière organo-minérale d'un horizon de sol brun sur calcaire (humichron carbonaté). Ce qui relève de la perception immédiate à hauteur de la résolution des yeux humains reste toujours multiforme, de taille et de couleur variées et constitué de matières différentes. Les filtres de perception, souvent considérés comme un inconvénient majeur et relevant de la subjectivité, peuvent cependant, s'ils sont appliqués de façon consciente et ordonnée, permettre une prise en compte logique des faits sur place. Il est notamment possible de distinguer, comme suggéré plus haut, entre éléments et composantes et entre contenus et contenants. Ceci est possible de plusieurs façons, en se fondant sur une approche disciplinaire ou en s'appuyant sur une approche intégrée à caractère transdisciplinaire comme elle est proposée par l'école franco-ivoirienne

- Délimitation des éléments / composantes (contenus) :
 - Approche disciplinaire : espèces, matériel pédologique
 - Approche intégrée : corps naturels localisés (CNL), ...
- Délimitations d'enceintes (contenants) :
 - Approche disciplinaire : strates de végétation, horizons pédologiques, ...
 - Approche intégrée : hoplexols, hoplexions, holoplexions

La délimitation des éléments et composantes se fait selon les typologies propres à chaque méthode. Tandis que les relevés floristiques s'orientent vers la systématique botanique, les relevés pédologiques font appel aux classifications des sols. L'approche intégrée, qui permet de caractériser l'ensemble du milieu, se fonde également sur une typologie univoque des matières, détaillée dans le lexique des *corps naturels localisés* figurant dans les annexes.

Tandis que les relevés floristiques se fondent le plus souvent sur une stratification verticale très simple (strate herbacée, strate arbustive, strate arborée) à limites (hauteurs) fixes, la décomposition du profil pédologique en horizons se fait selon les caractéristiques *in situ*, déterminées par la méthode et la typologie des sols retenues. De façon comparable, la détermination des enceintes appelées hoplexols, d'extension verticale variable, se détermine dans l'analyse intégrée par la présence ou l'absence de certains matériaux (CNL) caractéristiques (branches, matériaux organiques morts, etc.).

Beaucoup de paramètres relevés se fondent sur des estimations. Volumes des CNL, recouvrement végétal, abondance-dominance, pierrosité des horizons, etc. se fondent sur une estimation visuelle qui se rapporte presque toujours à un pourcentage. Le principe de l'estimation nécessite bien sûr de se référer régulièrement à une charte d'estimation (*cf.* annexes) pour améliorer l'exactitude des estimations visuelles, mais nécessite également que ces estimations se fassent toujours de la même façon. Cette dernière condition ne pose pas particulièrement problème s'il s'agit toujours du même auteur des estimations, mais il faudra être vigilant si les estimations se font par différents auteurs. Cependant l'avantage principal d'une relative simplicité de la procédure et le faible coût des relevés fondés sur l'estimation reste séduisant et très avantageux en cas de petits moyens.

Complémentarité des méthodes disciplinaires et transdisciplinaires

Il était question de regrouper plusieurs méthodes de terrain afin d'intégrer un très grand nombre d'informations dans la considération de la géodiversité ainsi que pour rechercher des informations complémentaires mises en évidence par différentes disciplines, tout en se fondant sur des méthodes déjà existantes.

D'un côté la prise en compte de la physionomie des milieux par une approche issue de l'analyse intégrée des milieux se résume par un relevé mésologique. De l'autre côté deux sous-ensembles du milieu, le sol et la végétation, support et couverture, seront pris en compte par des approches disciplinaires. La flore sera caractérisée par des relevés de type phytosociologique. La description classique du sol est complétée par quelques analyses effectuées au laboratoire. Enfin, quelques paramètres supplémentaires, surtout d'ordre topographique et concernant l'occupation du sol, permettront d'interpréter les résultats quantitatifs. Ils constituent des variables supplémentaires.

A partir d'un grand nombre de variables issues de méthodes diverses on pourra vérifier les possibles corrélations entre les résultats sectorielles et évaluer ainsi la nature des relations entre une géodiversité morphologique et les approches davantage disciplinaires à la diversité des sols et de la flore.

1.4.3. Éléments méthodologiques pour évaluer la diversité verticale et latérale

1.4.3.1. Aspects pratiques concernant les relevés et la cartographie

Que peut-on relever sur place ?

Les relevés de terrain doivent permettre de caractériser les principaux milieux du terrain d'étude, le massif de Madres-Coronat, afin de caractériser leur diversité. On peut distinguer d'un côté la diversité inhérente à chaque type de milieu en se fondant sur les différences entre relevés d'un même type de milieu, de l'autre côté la diversité entre ensembles de milieux dans différents secteurs du terrain.

Pour la détermination de la richesse des composantes et contenants sur le terrain, une étape consiste à identifier précisément les méthodes de relevé et à mettre en place les « clés » de lecture qui définissent le vocabulaire utilisé. Ces clés déterminent indirectement la « résolution » et donc le résultat de la mesure de la géodiversité. C'est le langage nécessaire pour reconnaître et donc identifier des espèces, des types de sols et des corps naturels localisés. Sur le terrain, cela demande des connaissances en botanique, pédologie, et nécessite la consultation régulière de flores, référentiels et lexiques pour l'identification des types et espèces dont le nombre détermine la richesse : le nombre des CNL ou des espèces relevées permet de caractériser la diversité en termes de richesse. Il est également possible de tenir compte du nombre de géohorizons (strates) identifiées par l'analyse intégrée des milieux afin de caractériser le développement et la complexité des structures verticales. La structure verticale qualifiée et quantifiée par des relevés de terrain reflète une forme de géodiversité mésologique. Dans la réalité du terrain les structures enchevêtrées et complexes ne permettent pas toujours facilement une délimitation d'enceintes homogènes. Il ne faut pas oublier qu'il s'agit d'une délimitation assez subjective malgré un protocole précis quant à la délimitation des hoplexols. Les relevés de terrain restent cependant le seul véritable moyen pour déterminer la stratification des milieux si on ne peut avoir recours aux techniques associées aux lasers aéroportés. Les images aériennes, même de haute résolution, permettent une évaluation de la diversité latérale mais ne se prêtent pas suffisamment bien à une caractérisation de la composition exacte des milieux et de leur stratification.

Adéquation entre méthode et terrain : échantillonnage

Un certain nombre d'aspects des méthodes adoptées dépend de la zone d'étude et des caractéristiques du terrain : Le nombre de relevés nécessaires, la période pour les effectuer, les types de milieux à relever etc. Par exemple, la taille de la zone étudiée influence indirectement le nombre des milieux qu'on y rencontre. La situation du terrain de recherche par rapport aux influences climatiques et biogéographiques et les effets de l'orographie joueront un rôle sur la période des relevés, notamment pour déterminer le meilleur moment pour une étude de la végétation.

Si on souhaite caractériser les milieux, la « résolution » de l'étude des milieux sera à déterminer puisqu'on ne trouvera pas deux relevés de milieux exactement identiques et des variations de milieux peuvent se détailler presque à l'infini. En ce sens il est avantageux d'utiliser des notions plus précises comme géotope, géon ou paysage élémentaire faisant appel à un ordre de grandeur pour l'étude des milieux et donc à un niveau de précision. Si cette question est essentiellement d'ordre cartographique elle intervient cependant lors de l'échantillonnage qui dépend là encore de la variété des milieux dans un terrain d'étude délimité à une échelle donnée.

Le type de répartition des relevés sur le terrain (relevés ponctuels, surfaciques, par transects, sélection de zones, ...) dépend beaucoup de la configuration spatiale des milieux. Choisit-on des distances prédéfinies selon un transect ou un maillage ou opte-t-on pour un échantillonnage aléatoire ? Pour des raisons diverses (discutées dans le chap. 2), l'étude de milieux nécessitera ici une stratification cartographique préalable, aussi appelée pré-zonage.

Si tous les milieux ne peuvent être relevés, il sera également nécessaire de réfléchir sur les milieux qui seront à relever prioritairement et sur la meilleure façon d'échantillonner. Lors de l'échantillonnage interviennent également des questions pratiques, comme les moyens logistiques et le temps d'accès qui limiteront le nombre de relevés possibles.

Un protocole rigoureux de terrain est indispensable pour assurer l'homogénéité des données recueillies. En aval s'ajoutent la mise en place d'un catalogue des espèces déterminées, le protocole d'analyse des échantillons pédologiques, la mise en place de la structure de la base de données pour les analyses statistiques et le protocole de cartographie, l'interprétation et le traitement d'images. Ces aspects et étapes seront abordés en détail après une présentation détaillée du terrain d'étude dans la troisième partie.

Que peut-on cartographier ?

La délimitation des unités paysagères élémentaires (géons) se fait sur images aériennes. La délimitation des unités d'occupation du sol par classification supervisée a pu être réalisée par la classification d'une image satellite de type SPOT4 disponible, mais qui ne dispose pas d'une résolution suffisamment importante pour caractériser des milieux à l'échelle de l'hectare (4 pixels). Pour la cartographie des milieux une interprétation de photos aériennes s'imposa. Par ailleurs la prise en compte de tous les paramètres d'interprétation de véritables unités paysagères aurait été difficile par une télédétection se fondant exclusivement sur des critères photogrammétriques.

Au-delà de ce qui est visible sur les images aériennes, c'est-à-dire le couvert végétal et la forme du géon, le contenu des géons sera mis en relation avec les holoplexions étudiés sur le terrain. Pour délimiter les géons, une clé d'interprétation des images de terrain est nécessaire et a été adaptée au terrain d'étude. Le regroupement par types ou groupes de géons permet de changer la « résolution » de l'étude de la diversité paysagère. Les autres paramètres relevés (espèces, types de sols, formes de terrain, anthropisation, ...) peuvent également être associés aux unités paysagères et permettent des analyses spatiales diverses

1.4.3.2. La diversité des formes : le relevé mésologique et la cartographie paysagique

L'étude intégrée des milieux et la taxo-chorologie franco-ivoirienne

Plusieurs raisons justifient l'application des méthodes de l'analyse intégrée des milieux. Comme précisé plus haut, la possibilité de quantifier l'ensemble des composantes du milieu par une seule méthode constitue l'avantage principal. La simplicité de perception des formes et contenus et une instrumentalisation minimale qui ne nécessite pas d'appareillage coûteux (stations météorologiques, tensiomètres...) favorisent également l'utilisation de cette méthode. Par ailleurs, l'approche taxo-chorologique, tenant compte des dimensions verticales et latérales des milieux, en fait une méthode assez complète pour une étude multidimensionnelle de la géodiversité. La dimension verticale ou mésologique se quantifie donc par les relevés de terrain. L'étude de la diversité horizontale ou paysagique se fonde sur la délimitation d'unités paysagères issues d'une interprétation des photos aériennes.

Les correspondances entre la taxo-chorologie élaborée et adoptée par l'école franco-ivoirienne (Filleron, 1995) et d'autres « systèmes » taxo-chorologiques ont été présentées plus haut mais ne résument que l'emboîtement des échelles de la dimension horizontale. La description verticale des milieux se fait à plus grande échelle. L'holoplexion est découpé par les géohorizons appelés hoplexols, regroupés en cinq (Richard, 1989a) ou six (Filleron, 1995) ensembles caractéristiques appelés hoplexions. Ces enceintes superposées verticalement se distinguent par leur contenu, ainsi que par les composantes appelées corps naturels localisés. Il peut s'agir d'une variation qualitative du type de contenu ou seulement d'une variation quantitative significative des volumes des CNL.

Les corps naturels localisés (CNL)

Une première typologie des *corps naturels localisés* (CNL) a été élaborée par une équipe transdisciplinaire franco-ivoirienne associant géomorphologues, pédologues, botanistes et géographes (Richard, Kahn *et al.*, 1977; Chatelin, Richard *et al.*, 1982a; Chatelin, Richard *et al.*, 1982b; Richard, 1985; Richard, 1989a; Richard, 1989b; Filleron, 1995). Le langage transdisciplinaire proposé s'inscrit dans la lutte contre le fractionnement des savoirs. Le résultat est une « métalangue » inspirée des avancées, en terme de connaissances, des différentes disciplines qui s'attachent à l'analyse de la surface terrestre. Cette métalangue se fonde sur un vocabulaire cohérent qui permet la description des milieux, depuis la roche et le front d'altération jusqu'à la cime des arbres en passant par le sol et la surface du sol.

La composition des milieux se caractérise par la présence de leurs objets matériels de nature minérale, organo-minérale, végétale, artificielle, gazeuse ou liquide. Les corps occupent un certain espace, plus précisément un certain volume au sein de chaque hoplexol, dans lequel ils sont localisés. L'ensemble du volume d'un holoplexion est ainsi 100% du volume d'un relevé. Il est composé par les corps naturels localisés aussi appelés « matériaux » puisqu'il s'agit de composantes matérielles. Il s'agit de matière plus ou moins dense (air, eau, végétation, roche, sol...), il n'y a pas de « vide ». Au lieu de raisonner par espèces végétales ou types d'horizons qui impliquent des

connaissances disciplinaires et qui ne décrivent pas l'ensemble des éléments présents, l'approche par CNL permet de distinguer les volumes de composantes de nature diverse par une même typologie et avec une seule unité de mesure, le centimètre cube (cm³) ou décimètre cube (dm³). Bien évidemment la typologie des corps naturels localisés suit une certaine logique naturaliste et s'inspire des disciplines concernées. La typologie originale élaborée en Côte d'Ivoire a été adaptée au terrain d'étude pyrénéen et volontairement élargie dans le but de permettre son application à d'autres régions françaises ou européennes. Dans le cadre de cette étude le vocabulaire utilisé pour désigner les composantes des milieux a été rassemblé dans le « lexique des CNL (matériaux) » (cf. annexes) qui constitue la clé d'interprétation pour les corps naturels localisés.

Enfin, lors de l'analyse des relevés, le grand avantage de cette méthode consiste à pouvoir traiter de façon quantitative et simultanée l'ensemble des composantes du milieu. Les corps naturels présents dans le milieu et relevés au sein des hoplexols peuvent être exprimés en volumes, en pourcentages ou tout simplement en mode binaire tenant compte de la présence ou absence. Il est même possible de transformer les volumes en masses en attribuant une densité moyenne à chaque type de CNL. La typologie et les détails concernant l'estimation des CNL seront présentés dans le chapitre consacré aux types de matériaux retrouvés sur le terrain d'étude.

La délimitation verticale des milieux

La localisation des CNL se fait par un recensement de leurs volumes au sein des *hoplexols*. Ces *hoplexols*, « sensiblement parallèles à la surface du sol » (Richard, 1989b), peuvent être compris comme étant les enceintes (ou *contenants*) qui hébergent les descripteurs du *contenu* (les *matériaux* ou *corps naturels localisés*). Ils sont délimités *in situ*, pendant le relevé des milieux naturels par des discontinuités verticales significatives, et caractérisent ainsi la stratification réelle du milieu. Non seulement cela permet de représenter au plus près la réalité sur le terrain, mais le travail d'estimation est également facilité puisqu'il se fonde sur la stratification réelle et visible sur place. Mentionnons que cela implique qu'on ne peut pas comparer les hoplexols entre différents relevés, inconvénient cependant compensé par les hoplexions. La délimitation des strates *in situ* implique une certaine subjectivité qui est cependant limitée par le protocole d'étude. Le regroupement d'hoplexols en ensembles de même type, les *hoplexions*, se fait par type de corps naturels dominants dans un ensemble d'hoplexols.

Un *hoplexion*, ensemble spécifique d'*hoplexols*, caractérise, par exemple, la strate herbacée, la litière, la strate buissonnante, les horizons organo-minéraux ou la strate arborescente. On peut schématiquement distinguer six *hoplexions* depuis la roche altérée jusqu'à la cime du plus haut des arbres. Ils sont délimités vers le haut par l'*acropause*, qui sépare le sommet de la végétation ou la surface d'un sol dénudé de la basse couche atmosphérique, et vers le bas par la *catapause*, caractérisant la base de formations superficielles ou encore le « front d'altération », donc par la roche-mère ou roche affleurante intacte. Une troisième limite sépare ce qui se trouve « au-dessus du sol » et ce qui est « en dessous de la surface du sol ». Cette limite, l'*épipause*, plus difficile à définir sur le terrain, est caractérisée par la présence / absence de certains matériaux typiques de la surface du sol.

En partant du haut on peut distinguer ainsi trois ensembles :

- le **supraplexion**, ensemble d'hoplexols caractérisant l'essentiel des parties aériennes de la végétation ligneuse, de la cime des arbres au branchage principal des ligneux.
- le **métaplexion**, ensemble d'hoplexions intermédiaires se subdivisant en trois (voire quatre) sous-ensembles :
 - a. le métaplexion supérieur : caractérise la partie aérienne de la végétation herbacée et arbustive
 - b. le métaplexion strict, surface du sol caractérisé notamment par la présence de litière, d'épilites et de dermilites. On peut sub-diviser le métaplexion strict supérieur et le métaplexion strict inférieur séparé par l'épipause. (Filleron, 1995)
 - c. métaplexion inférieur : matière organo-minérale pédologique
- L'**infraplexion**, formations superficielles et roche altérée

Un relevé de milieu ou relevé mésologique caractérisé ainsi par l'ensemble des *hoplexols* de nombre variable et correspondant à l'ensemble de cinq *hoplexions* (s'ils sont tous présents) constitue un **holoplexion**. Cette coupe verticale depuis les formations superficielles ou encore depuis la roche altérée jusqu'à la cime des arbres se caractérise par une hauteur. Elle peut également s'exprimer en un volume si on rapporte la hauteur à une surface étudiée. Un tel relevé mésologique peut être attribué à un géon ou à un géotope et on passe alors de l'extension verticale au développement spatial latéral⁸¹ du milieu.

Les unités paysagères d'extension latérale

En passant de la composition verticale des milieux à leur extension latérale on procède à la mise en relation des relevés avec des unités cartographiables. Chaque unité est considérée comme « plus ou moins homogène » à l'échelle d'analyse considérée

La plus petite des unités paysagères, le **géotope**, marque les discontinuités latérales qui apparaissent uniquement au niveau du métaplexion. Le géotope marque ainsi des discontinuités au sein d'un géon, unité hiérarchiquement supérieure de plus petite échelle. Le **géon** représente « l'unité naturelle de référence. [...] Il occupe les trois dimensions de l'espace et se définit comme un ensemble de relevés identiques décrivant un espace homogène et continu » (Filleron, 1995 :64). Il est simultanément taxon, s'insérant dans la hiérarchie taxonomique des milieux, chore, produit de l'extension spatiale d'un milieu homogène et, en ce sens, cartographiable aux échelles les plus grandes et type paysagique élémentaire. Le **géon** représente l'unité paysagique élémentaire et correspond à des unités spatiales différenciées par d'étroites corrélations entre sol et végétation. Les limites entre les géons de différents types se caractérisent par des changements significatifs de la composition (donc des composantes ou de leur structure spatiale) des milieux. Les discontinuités entre géons peuvent apparaître sur l'ensemble des hoplexols ou marquer un changement important au niveau du supra- ou infraplexion. Si la couverture végétale reste inchangée, les changements qui interviennent au niveau de l'infraplexion sont cependant difficiles à déceler par la photo-interprétation. Le **géon** utilisé dans l'analyse transdisciplinaire des milieux (ATM) ne sera pas à confondre avec la définition du « **géon** » proposée par Roger Brunet en 1990 dans le cadre de la

⁸¹ On préfère ici le terme de latéral au terme horizontal, puisque les milieux de montagne se situent très souvent dans un environnement de versant caractérisé par une certaine pente ; le terme 'horizontal' paraît alors moins approprié.

géographie chorématique, désignant alors une unité spatiale géographique formée par des forces sociales (Brunotte, Gebhardt *et al.*, 2002 :vol2 p.28), « *espace produit par un système géographique autour d'un attracteur* »(Brunet, Feras *et al.*, 1992). Le géon dont il est question ici est bien « *l'unité paysagique* » élémentaire ou de référence au sens de Jean-François Richard (Richard, 1989a).

Trois autres unités taxo-chorologiques sont habituellement prises en compte par une analyse intégrée des milieux, le *segment de paysage* (segment paysagique), la *séquence de paysage* (séquence paysagique) et l'unité spatiale appelé *paysage*. On ne les utilisera pas pour notre étude empirique se limitant à l'échelle du géon dans l'analyse de la diversité paysagique.

1.4.3.3. Éléments méthodologiques pour l'étude disciplinaire des milieux

Les relevés mésologiques et la cartographie des unités paysagiques se fondent sur les principes de l'analyse intégrée des milieux qui constitue une approche physionomique. L'approche physionomique, quoique suffisante pour caractériser la structure spatiale et la diversité morphologique des milieux, n'est pas la seule approche possible. Les approches disciplinaires classiques se fondent souvent sur d'autres variables pour caractériser les milieux. Des variables de type physiogéographique et géoécologique dominent.

L'approche disciplinaire s'applique si on souhaite soulever un aspect particulier des composantes du géosystème, par exemple la végétation ou les sols. Dans ce cas c'est une facette particulière du milieu ou du paysage qui est mise en évidence et l'approche disciplinaire est parfaitement adaptée. Mais la géographie physique fait aussi souvent appel aux différentes (sous-)disciplines, par exemple pour une introduction à un terrain d'étude. Ici la caractérisation d'un ensemble géographique se fait en juxtaposant les différentes facettes ou domaines physiogéographiques, qui peuvent être assimilées à des composantes du géosystème.

En accord avec les principales composantes du géosystème on peut envisager six à huit « domaines » concernés par les approches disciplinaires. Climatologues, géomorphologues, géologues, pédologues, hydrologues, botanistes / écologues et zoologues sont les spécialistes dans les domaines que le géographe cherche à rassembler pour une étude des milieux et paysages physiques. En fonction de la faisabilité des mesures dans les limites logistiques et financières, un certain nombre des variables peut être déduit des travaux des spécialistes ou relevé par le géographe avisé lui-même. Ils peuvent servir de paramètres supplémentaires pour l'interprétation la géodiversité à partir des relevés mésologiques (cf. tab 1.3).

Tab. 1.3 : Composantes du géosystème et variables / mesures envisageables dans le cadre d'une étude disciplinaire (physiogéographique) des milieux

	Exemples de variables et mesures envisageables
climat	Mesures stationnelles, Moyennes mensuelles et annuelles de précipitations et températures, Bulletins météorologiques et synthèses locales...
topographie / relief	Exposition, hypsographie, pentes, courbures, types de relief (<i>landforms</i>), cartes géomorphologiques ...
péetrographie/ géologie	Types de roches relevés, synthèses régionales de géologie, cartes géologiques, cartes des structures tectoniques ...
sols	Relevés des types de sol, caractéristiques des formations superficielles, type d'humus, profondeur, paramètres physico-chimiques (granulométrie, pH, calcaire, CEC, réserve en eau...)
hydrologie	Bilans hydriques, séries de mesures (si disponibles), déduction indirecte issue des données météorologiques et d'une évaluation des sols et de la végétation ...
végétation	Relevés floristiques (phytosociologiques, biovolumes...), carte des habitats, descriptions phytosociologiques, plans d'aménagements forestiers, ...
faune	Comptages & relevés faunistiques, rapports ...
Sociétés / homme / anthropisation	Relevé et cartes d'indices d'anthropisation (artifices, voirie ...), cartes occupation du sol, carte du foncier, parcellaire cadastral, données historiques et diverses, plans de gestion, entretiens et témoignages, ...

Climat et milieux

L'appréciation du climat régional peut se faire par une localisation bioclimatique du massif et s'exprime indirectement aussi dans l'étude de la végétation. En ce qui concerne le climat local, la présence de stations aux alentours du massif permet de mettre en évidence quelques différences entre les versants sous le vent et les versants au vent à l'échelle du massif. La présence d'une seule station à l'intérieur du périmètre d'étude et l'absence d'instruments pour une mesure directe ne permettront cependant pas la modélisation d'une étude spatiale détaillée des climats du terrain. La végétation comme intégrateur des conditions climatiques, hydriques, pédologiques et des perturbations anthropiques fournira quelques indices. Elle reflète notamment des effets d'exposition et d'altitude, caractères dont on tiendra compte pour l'échantillonnage. En raison du coût des données météorologiques, les moyennes mensuelles des températures et des précipitations doivent suffire pour une caractérisation des gradients altitudinaux des étages habités (350 m à 1600 m) et du gradient nord-ouest à sud-est lié aux courants principaux des masses d'airs.

Le rôle du relief et des roches

En milieu de montagne, le relief joue un rôle primordial pour la configuration des mosaïques paysagères, des pratiques associées aux étages et pour la dynamique géomorphologique. Générés à partir du modèle numérique de terrain, plusieurs critères d'échantillonnage tiennent compte du relief, à savoir la pente, l'exposition et l'altitude. Pour les dynamiques de surface, la courbure (*curvature*) perpendiculaire et parallèle au sens de la pente joue un rôle important. Elle est prise en compte par l'interprétation stéréoscopique des segments du paysage mais peut aussi se refléter dans la typologie des « *landforms* » (types de relief) réalisables de façon semi-automatique à partir des modèles numériques de terrain avec les outils d'analyse des systèmes d'informations géographiques.

Les formes du relief varient entre autres en fonction du soubassement géologique, mais la relative inhomogénéité des données (deux cartes géologiques au 1/50000 sur quatre concernant le terrain d'étude n'ont toujours pas été éditées) ne permet pas une analyse très fine des caractéristiques pétrographiques qui seront alors prises en compte de façon assez simplifiée. L'âge géologique des formations n'est intéressant que dans le cadre d'un rapide aperçu de la constitution du massif.

L'étude de sols pour une caractérisation de la pédodiversité

Comme la végétation, les sols sont pris en compte par les relevés mésologiques. Cependant une caractérisation de la pédodiversité profite également de variables physico-chimiques utilisées dans les approches classiques.

Le choix des paramètres pour caractériser les sols et donc leur diversité se fait en fonction des principales caractéristiques des sols de montagne du terrain d'étude. Des sols fortement caillouteux reposant bien souvent sur des formations superficielles de type colluvial, mais aussi des sols sur terrasses de culture aujourd'hui abandonnées sont très fréquents et incitent à la prise en compte de paramètres morphologiques, texturaux. Profondeur du sol, granulométrie, pH, présence de calcaire, rapport C/N, ainsi que des variables directement déduites de la couleur et de la granulométrie peuvent être retenus pour une analyse « géoécologique » de la pédodiversité.

Enfin, la description des sols peut se faire selon différentes nomenclatures, notamment le référentiel pédologique français, la *World Reference Base* internationale et la classification allemande des sols. Leurs avantages et inconvénients seront discutés en détail afin d'adopter la méthode la plus performante dans le cadre de cette étude.

Les caractéristiques hydrologiques

L'hydrologie du massif ne peut se présenter sous forme de bilan puisque le terrain d'étude ne constitue pas un bassin versant bien délimité et qu'on ne dispose pas de données détaillées concernant l'évaporation ou le débit des cours d'eau. Quelques caractéristiques disponibles pour l'Aude et la Têt, bordant sur certains secteurs le périmètre du massif, ne suffisent pas pour caractériser les conditions hydrologiques du massif. Les moyennes mensuelles des précipitations permettent d'attribuer un ordre de grandeur au régime hydrique qui se reflète également dans la

végétation. L'hydrisme est abordé de façon très simplifiée (échelle ordinale allant de 1 à 6) lors du relevé de terrain et notamment par le relevé pédologique. Enfin, le modelé et la position dans le versant des relevés livre un assez bon aperçu des différences d'hydrisme.

L'étude de la végétation

La végétation peut être prise en compte de multiples façons. Dans les approches classiques une identification des espèces végétales est la règle. La méthode phytosociologique mise au point par Josias Braun-Blanquet, se fondant sur le recensement de l'abondance-dominance (en tenant le plus souvent également de la sociabilité) des espèces végétales afin de déterminer des associations végétales, reste une méthode très populaire et permet de comparer les relevés avec d'autres jeux de données. Pour cette même raison cette façon de référencer la végétation sera adoptée sans toutefois insister sur une analyse des associations végétales qui n'a pas d'importance particulière pour notre propos sur la géodiversité.

La description de la composition floristique d'une station par la description de l'abondance (et dominance) des espèces peut se compléter par d'autres descriptions qui permettent de caractériser le caractère spatial de la phytodiversité.

Prise en compte de la faune

Pour la caractérisation des milieux une étude de la microfaune constituerait certainement un apport significatif. En revanche la macrofaune n'est que rarement inféodée à un seul type de milieu. En raison de leur mobilité méso- et macrofaune sont, à l'exception des troupeaux, difficilement observables directement lors des relevés de terrain. Pour les préférences mésologiques de l'avifaune on pourra se référer notamment aux travaux de Frédéric Blanc (Espeut, 1984; Blanc, 2003; Blanc, 2008). Des études exhaustives sur la microfaune ou encore sur les coléoptères susceptibles d'une sélectivité mésologique nécessitent des études établies par des spécialistes de formation zoologique. En l'absence d'études faunistiques détaillées réalisées sur l'ensemble des milieux étudiés la faune ne sera, comme c'est malheureusement souvent la règle, pas directement prise en compte pour la caractérisation des milieux. Indirectement les déjections animales, les constructions animales (type fourmilière) et même les déjections de la microfaune font cependant partie des corps naturels localisés décrits. En outre quelques paramètres généraux relevés de façon qualitative pour chaque relevé recensent la présence des traces de broutage, d'indices de pastoralisme et une éventuelle observation d'une faune sauvage.

Prise en compte de l'anthropisation et des relations société - milieu

Enfin se pose le problème de la prise en compte du façonnement des paysages par l'homme. L'anthropisation des milieux ne cesse d'être affirmée, mais sa prise en compte concrète et son intégration dans les systèmes de mesure et d'évaluation du paysage est loin d'être. La géographie physique classique prévoit peu d'outils pour prendre en compte l'action et l'empreinte de l'homme. C'est en quittant la dichotomie classique « géographie physique - géographie humaine » qu'une géographie globale peut se permettre de ne pas opposer homme et milieux mais de considérer

l'environnement en interaction avec les sociétés. En focalisant ici sur l'environnement en tant que milieu (espace) façonné par les sociétés (et non les sociétés qui se trouvent sous l'influence de leur environnement), la prise en compte d'indices décrivant son anthropisation est indispensable.

Cette empreinte n'étant pas toujours facile à déceler dans les paysages dans lesquels une grande partie des composantes sont soumises aux forces physiques « naturelles », l'inclusion de l'anthropisation dans la mesure de la géodiversité se fait plutôt de façon indirecte. Une pelouse sur un replat à sol relativement épais n'a rien de « naturel », si on considère comme traces d'anthropisation également les troupeaux, les cultures du passé et l'usage du feu. Or les indices visibles (traces et déjections des troupeaux, troncs d'arbres coupés ou cendres) de cette anthropisation observables sans interprétation ou connaissances des pratiques locales, peuvent s'avérer délicats et sont encore plus difficiles à quantifier.

Dans l'analyse de la physionomie des milieux par la description des corps naturels localisés, l'anthropisation apparaît directement, si on constate la présence d'artifices, c'est-à-dire des constructions et matériaux composites créés par l'homme (murettes, boîtes de conserves...). Tous les autres matériaux ayant subi une anthropisation, donc une modification de leur « dynamique naturelle » (par exemple arbres en taillis, graminées pâturées etc.) même en restant soumis à cette dernière restent des *corps naturels localisés*, malgré leur modification directe ou indirecte par l'homme. On peut supposer que même un pin à crochet de port naturel se trouve à cet endroit seulement parce que les acteurs de terrain ont décidé de laisser la parcelle boisée (ou tout simplement, il n'ont pas encore décidé de le couper). En ce sens tout corps naturel localisé, si naturel qu'il puisse paraître est un corps anthropisé. Tous les sols de terrasse ont jadis été travaillés, remaniés, probablement labourés même si les traces ne sont plus visibles à l'œil nu après une dynamique d'enrichissement vieille de 40, 80 ou 100 ans. L'anthropisation est de fait supposée, mais en l'absence de traces directes la prise en compte se fait seulement indirectement par interprétation.

En guise de support d'interprétation, des paramètres supplémentaires (proximité de sentiers, pistes, terrasses, orris) s'ajoutent à la connaissance des périmètres pastoraux, plans de gestion forestière, etc.

1.4.3.4. La mesure de la diversité latérale : cartographie et possibilités de quantification

Approches intégrées et disciplinaires peuvent ainsi se compléter pour une étude de la diversité mésologique à partir d'échantillons de milieux relevés sur le terrain. Ces données peuvent ensuite contribuer à caractériser une diversité latérale qui se fonde bien évidemment sur une délimitation d'unités paysagères par la cartographie.

La cartographie de la diversité

Les Systèmes d'informations géographiques (SIG) rendent possible une superposition de couches cartographiques reflétant les facteurs abiotiques, biotiques et anthropiques : climat, géologie, associations végétales, occupation du sol, etc. Cet empilement des « couches » et leur

recoupement ne peuvent pas constituer une carte de la diversité qui s'inscrit dans une approche systémique de la diversité. Par ailleurs, la production d'une carte issue du recoupement des cartes thématiques de nature variée, reflétant des données continues et discontinues, des échelles de résolution diverses, des classes en nombre arbitraires pose des problèmes d'ordre méthodologique mais aussi pratique puisqu'il est probable d'obtenir un grand nombre d'unités variées qui n'ont qu'une signification écologique limitée ...

Il est ici question de cartographier la diversité sans avoir recours à une superposition de couches thématiques. La morphologie des milieux, approche retenue pour caractériser leur diversité, peut alors se transposer de la diversité mésologique à la diversité paysagère. Les unités élémentaires paysagères, ou géons, se différencient alors par des caractéristiques physiognomiques reconnaissables au moins en partie sur les photos aériennes. Cette délimitation des géons nécessite inévitablement une clé d'interprétation qui soit encore une fois adaptée au terrain d'étude, à l'échelle de résolution, aux types de milieux présents et aux objectifs de l'étude.

Les unités délimitées grâce à une relative homogénéité physiognomique suggèrent que les différents « facteurs » ou « composantes » du milieu se comportent de façon semblable dans l'ensemble de cette unité.

La délimitation peut se faire par segmentation ou par photo-interprétation manuelle, mais toujours sur des images à haute résolution. Même si la délimitation manuelle des unités paysagères sur photos aériennes rencontre quelques problèmes d'ordre méthodologique, la cartographie manuelle sur photo aérienne connaît aussi un certain nombre d'avantages. Tout d'abord la délimitation des unités ne se fonde pas exclusivement sur des paramètres photogrammétriques qui peuvent dans certains cas induire des erreurs que l'interprétation manuelle sait plus facilement éviter (effets d'ombre par exemple).

De plus, la consultation parallèle de cartes thématiques permet de tenir compte des particularités biotiques, topographiques ou pétrographiques qui seraient difficiles à paramétrer dans une analyse automatique par segmentation.

L'analyse des images et en particulier de celles produites par la télédétection ne remplace pas les analyses sur le terrain. Or, les démarches qui mettent en évidence des relations concrètes entre les relevés terrestres et les indices de structure spatiale déduits de l'imagerie aérienne (voir par exemple projet BioAssess Ivits, Koch *et al.*, 2002), sont très rares. La démarche empruntée met l'accent sur les données de terrain. La cartographie des unités paysagères constitue le fondement pour une analyse spatiale tenant compte des données recueillies sur le terrain. Les unités paysagères peuvent également faire l'objet d'une analyse de diversité.

Les indices de diversité et indices paysagers

L'écologie du paysage propose un nombre intéressant d'indicateurs et d'indices de paysage connus sous le nom de *landscape metrics*. Ils permettent une reconnaissance de la configuration des mosaïques. Il faut insérer les indices paysagers dans le courant de l'écologie du paysage américaine et l'émergence du concept de « patch » comme unité élémentaire spatiale et constituant de base de la mosaïque paysagère (Lang, 1999) appelée aussi « landscape pattern ». Le patch « *territorial unit, which represents an area covered by one single class* » (European Commission / E.E.A., 2000)

peut être considérée comme synonyme de toutes les unités paysagères habituellement désignés en écologie ou en géographie, comme le géotope, le biotope, le faciès, l'habitat naturel, ou tout autre unité élémentaire défini dans le cadre d'une étude (McGarigal, Cushman *et al.*, 2002). Elle dépend donc entièrement de l'échelle d'observation et de la cartographie. Dans notre cas, le patch correspond au géon. Les indices paysagères décrivent alors les tâches (patches) individuelles ou rassemblées en classes et permettent de caractériser le paysage « *par son organisation, son hétérogénéité, sa diversité et sa dynamique* » (Burel et Baudry, 1999 :45). La sélection des indices appropriés pour analyser la diversité spatiale à partir d'une cartographie des géons sera discutée dans la partie « méthodes » .

Dans le cadre de cette étude, la conception partielle et provisoire d'une géodiversité au sens plus large, globale, se réfère uniquement aux milieux et au paysage-objet. Elle sera alors qualifiée respectivement de (géo-) diversité mésologique et de (géo-) diversité paysagique. Ces termes, délimités des « autres » diversités proches au point d'en paraître synonymes, seront dès lors opérationnels pour la mise en place d'une méthodologie pragmatique pour l'étude empirique d'une géodiversité des milieux et paysages.

La géodiversité décrite ici est une diversité morphologique et matérielle des milieux et paysages, un phénomène spatio-temporel qui ne peut s'évaluer qu'à l'aide d'une approche multiscalaire adaptée. Chaque niveau de l'appréhension des phénomènes spatiaux est dépendant de la dimension dans laquelle on l'observe et relève d'une information qui lui est propre.

Le travail de terrain s'avère obligatoire pour une recherche empirique, exploratoire et à la fois fondamentale. L'examen du contenu mésologique de la localisation et de la caractérisation des contenants spatiaux mène à une reconnaissance de la géodiversité. Le relevé mésologique constitue le point de départ pour une description des milieux dans leur ensemble fidèle à l'esprit d'une approche systémique aux structures du milieu. Des relevés d'espèces végétales seront indispensables pour explorer les relations entre la phytodiversité et géodiversité.

Parmi les nombreux paramètres supplémentaires qui peuvent être relevés pour décrire la géodiversité, on est obligé de faire un choix et de sélectionner les éléments quantifiables jugés suffisamment pertinents pour cette étude et accessibles sans appareillage particulier. Il s'agit le plus souvent de paramètres utilisés couramment dans les approches classiques physiogéographiques ou écologiques pour décrire des milieux. L'objectif principal n'est pas de décrire les milieux, les espèces ou les sols, mais d'explorer en quoi ils diffèrent pour décrire leur diversité et confronter les résultats des analyses pédologiques et floristiques avec les résultats de l'analyse intégrée des milieux.

Conclusion de la première partie

L'approche théorique relativement exhaustive de la géodiversité dans cette première partie constitue le fondement pour une recherche empirique appliquée sur le terrain d'étude, (décrit dans le chapitre suivant), tout en proposant une réflexion sur les fondements de l'étude de la diversité spatiale.

Cette première partie a poursuivi ainsi un double objectif. Il s'agit d'une part de synthétiser l'état des connaissances sur la diversité paysagère et sur la géodiversité dans le champ disciplinaire géographique. D'autre part c'est une synthèse et réflexion théorique sur la question et les fondements de la diversité spatiale qui veut être le fondement pour explorer de façon empirique les relations entre la diversité des composantes vivantes et inertes et la diversité spatiale et physiographique. Le questionnement initial, théorique aboutit ainsi à un problème empirique et exploratoire. Le volet empirique qui suit ne cherche toutefois pas à s'imposer comme la seule approche possible face à l'ampleur du champ de réflexion sur la diversité spatiale et ne constitue tout au plus une application possible des interrogations soulevés par cette première partie.

Au centre des préoccupations figure le couple de notions géodiversité - diversité paysagère, mais ce n'est que le premier de ces termes qui sera retenu pour une étude de la diversité spatiale à l'échelle des milieux et paysages. Cette première partie récapitule les différentes approches de la diversité paysagère et de la géodiversité pour aboutir dans le choix délibéré d'une conception holistique et toutefois géographique de la géodiversité qui sera à évaluer.

Saisir la diversité paysagère dans son ensemble et dans toutes ses facettes relève de l'impossible et sa description nécessite alors des choix quant aux définitions fondamentales et objectifs de description. Davantage « matérielle », la notion de géodiversité nous semble plus adéquate pour instrumentaliser la mesure d'une diversité spatiale géographique, voire physiogéographique. Il ne s'agit en aucun cas de développer une méthode pour mesurer la diversité spatiale (la chorodiversité) dans toute sa complexité multiforme, mais de mesurer certains aspects de la géodiversité qui s'expriment dans le paysage et les milieux par des méthodes d'inspiration naturalistes et géographiques, c'est-à-dire des méthodes se fondant sur la perception de réalités matérielles et physiques.

Dans le cas concret, une évaluation de la diversité mésologique et paysagère se fie à l'utilité du paradigme géosystémique et des outils développés par les divers courants de l'analyse des paysages, soit géographiques, issu de la géographie et de l'écologie du paysage.

La mise en place d'une méthode pour l'étude de la géodiversité a nécessité d'aborder quelques principes et des concepts courants en géographie physique et écologie du paysage avec une attention particulière accordée aux approches intégrées mais aussi aux approches disciplinaires biogéographiques et pédologiques.

2 - DEUXIEME PARTIE :

Le Massif de Madres-Coronat : cadre géographique,
approches disciplinaire et multiscalaire

2.1. Critères de sélection de la zone d'étude

2.1.1. Choix d'un type d'espace pour l'étude de la diversité

2.1.1.1. Où relever la diversité *in situ*

Puisque la propriété principale de la diversité consiste à caractériser des ensembles hétérogènes, diverses options se présentaient pour le choix d'un terrain d'étude. Une étude exploratoire de la géodiversité était en principe envisageable par trois entrées. D'un côté il aurait été intéressant de choisir un terrain d'étude d'aspect relativement homogène ou monotone et de mettre en évidence une certaine géodiversité en démontrant l'hétérogénéité dans le détail pour expérimenter la « résolution » de la méthode sur un terrain facile à examiner. D'un autre côté, afin de tester la prise en compte de multiples facteurs dans l'étude de la géodiversité il est intéressant de choisir un terrain d'étude très diversifié, reflétant de multiples aspects que ce soit au niveau végétal, topographique, ou par la variété d'utilisation des sols. Une troisième possibilité aurait été de comparer plusieurs terrains d'étude et mettre en évidence leurs différences, leur diversité, même s'il est toujours délicat de comparer ce qui n'est pas forcément comparable. Enfin il est possible d'intégrer cette troisième option en étudiant plusieurs portions d'un même terrain d'étude afin de les comparer.

C'est la deuxième option qui a été retenue. Un terrain d'étude très hétérogène offre la possibilité de tester la performance de la méthode et de tenter une généralisation des résultats à partir d'observations très variées. Une combinaison de plusieurs facteurs susceptibles d'influencer la géodiversité est souhaitable. Si on reprend la définition tripolaire de Georges Bertrand (Bertrand, 1968) une diversité paysagère importante est susceptible de se dégager là où on constate une combinaison d'une certaine diversité des utilisations anthropiques, des exploitations biologiques et du potentiel « écologique » des éléments physiques. Il va de soi que ces trois « pôles » d'influence sur la diversité sont en interaction et ne se trouvent pas dissociés sur le terrain. En revanche, pour choisir un terrain d'étude concret, ils livrent des critères de sélection intéressants. Choisir des espaces à usages et fonctions multiples et des milieux où une topographie accentuée concorde avec une certaine hétérogénéité de la répartition des végétaux du à l'exposition, à la variation des pentes et aux effets de l'altitude, se révèlent alors idéal. Pour tester et « aiguïser » la méthodologie, quel meilleur milieu pourrait-on choisir qu'une montagne à la limite du domaine méditerranéen ?

2.1.1.2. L'espace montagnard - spécificités azonales

Le choix d'une zone d'étude située en montagne s'explique par le fait qu'en montagne la variation des milieux est généralement assez considérable sur un espace relativement réduit. Selon Bruno Messerli et Jack Ives: « *Prises en leur ensemble, en raison de la nature tridimensionnelle, comme une unique vaste catégorie de formations géologiques, ou comme écosystème au sens le plus large, elles [les montagnes] regroupent le plus large éventail de phénomènes topographiques, de climats, de flore et de faune, de différences culturelles, connus de l'homme.* » (Messerli et Ives,

1999 :18). On ne définira cependant pas ce qu'est une montagne, car « *l'incapacité des scientifiques à proposer une définition rigoureuse, d'application universelle et accepté par tous a donné lieu à d'indéterminables débats sans résultats heureux* ». Par contre, ces mêmes auteurs en soulignent les principales caractéristiques physiques : l'altitude et la verticalité (la pente), qui conditionnent à elles seules déjà une importante variété des formes géomorphologiques liées à la pétrographie et les accidents de relief, ainsi qu'une diversité biologique élevée liée à l'étagement bioclimatique et aux différences d'exposition. Il s'y ajoute l'utilisation par les hommes, recréant ainsi une mosaïque en perpétuelle transformation selon les périodes de pression et d'abandon.

A l'exception des montagnes tropicales et des vallées fortement aménagées pour le tourisme il s'agit souvent de paysages relativement marginaux. On est en présence d'espaces souvent moins artificialisés que les centres urbains, ceux-ci se prêtent plus aisément à l'étude des milieux dits naturels. Ce n'est pas pour autant un espace dépourvu d'intérêts pour la société, bien au contraire. Les difficultés de développement, mais aussi les atouts liés aux caractéristiques des montagnes en font des espaces particuliers qui évoluent dans le temps. Ainsi le rôle des Pyrénées pour les sociétés qui y vivent a changé, exploitations et abandons s'inscrivent dans les paysages et contribuent à la formation de mosaïques de milieux.

Si on ajoute comme critère de choix celui très pragmatique de la proximité, c'est les Pyrénées qui se sont en effet proposées en premier lieu. L'accès envisageable en une journée depuis le logement personnel ou l'Université a favorisé ce massif pour des raisons financières et logistiques, sans évoquer les préférences personnelles. Nous n'avons retenu que la partie française des Pyrénées, puisque la barrière linguistique peut constituer facilement un handicap pour l'acquisition des données. Si on retient comme région d'étude les Pyrénées, d'autres critères s'imposent pour réduire le choix des sites d'étude potentiels. Avec comme principal critère la diversité des milieux biologique, minérale et anthropique, le choix entre les sites reste, malgré la possibilité de se fonder sur des cartes thématiques (carte de la végétation, carte géologique etc.), encore important.

2.1.2. Les espaces naturels comme cadre d'une analyse empirique

2.1.2.1. Les types de protection et de zonages réglementaires envisageables

Un cadre supplémentaire pour l'étude de la géodiversité s'est imposé : celui de sa finalité. Un cadre ou statut de protection, un zonage en rapport avec la problématique d'intégration de l'étude de la géodiversité dans la gestion des espaces naturels a été souhaitable pour le choix du terrain étudié. L'étude de la géodiversité n'étant pas une fin en soi, le terrain d'étude devrait faire partie intégrante d'un périmètre soumis à un certain type de gestion ou de protection du patrimoine naturel. Si on choisit comme première entrée le paysage, on peut constater que la convention européenne des paysages ne prévoit pas de zonage spécifique car elle insiste sur les paysages ordinaires autant que sur les paysages exceptionnels. En revanche la protection des espèces et des habitats fait l'objet de plusieurs types de zonages administratifs. Parmi les structures existantes quatre types de périmètres de protection ont attiré l'attention initiale et ont été étudié par rapport à la protection des espèces, tenant compte également des paysages : Réserves de biosphère, Parc nationaux, Réserves Naturelles, et sites Natura2000. Face à l'absence

de réserves de biosphère dans les Pyrénées, un Parc National déjà fort bien exploré et des réserves naturelles aux problématiques davantage naturalistes, c'est finalement les sites Natura 2000 qui ont retenus. Comparé aux trois autres types de structures le réseau Natura 2000 à caractère international tient plus explicitement compte des aspects économiques, sociaux et culturelles liés à la protection des espèces et habitats (Depraz 2008 :174). La protection des espèces à l'échelle internationale par la préservation des habitats, donc ces espaces au sein d'un réseau européen à surface assez conséquente, a favorisé ce choix.

2.1.2.2. Les sites NATURA2000

La directive 92/43 du 21 mai 1992 du Conseil des Communautés Européennes concernant la *conservation des habitats naturels ainsi que de la faune et de la flore sauvages*, appelé aussi fréquemment Directive Habitat Flore Faune (DHFF) ou simplement *directive « habitats »*, a pour objectif la création d'un réseau de périmètres de protection plus connus sous le nom de sites NATURA 2000 (voir aussi Müller, 2004 : pp. 39 -42). La procédure de désignation des sites n'étant pas encore totalement achevée, le réseau des sites Natura 2000 est constitué actuellement par deux types de sites, les *Zones de Protection Spéciales (ZPS)* et les *Sites d'Importance Communautaire (SIC)* pouvant se superposer ou se recouper. D'un côté les *Zones de Protection Spéciale (ZPS)* sont issues de la directive « oiseaux » (DO), directive 79/409/CEE du Conseil d'Europe du 2 avril 1979 concernant la conservation des oiseaux sauvages (Council of Europe, 1979) et ont été arrêtés pour la plupart dans les années 2005 à 2007. Les *Zones Importantes pour la Conservation des Oiseaux (ZICO)*, ont fréquemment servi de base pour désigner les ZPS. D'un autre côté les SIC, *Sites d'Importance Communautaire*, incluant les pSIC, *proposition de Site d'Importance Communautaire*, issus de la directive « habitats », directive 92/43/CEE du Conseil d'Europe du 21 mai 1992 concernant la conservation des habitats naturels ainsi que de la faune et de la flore sauvages (Council of Europe, 1992) sont en cours d'évaluation et doivent à terme être convertis en *Zones spéciales de conservation (ZSC)*, ce qui marquera la fin des procédures de mise en place du réseau des sites NATURA 2000.

La désignation des ZSC et ZPS se fait de façon différente selon les directives. Contrairement aux ZPS définies par la directive oiseaux, les sites proposés dans le cadre de la DHFF sont établis en plusieurs étapes. Proposés par les États membres (pSIC) et validés par la Commission Européenne (SIC), ils doivent ensuite être transcrites en droit national sous six ans (ZSC). Au moment de la sélection du site d'étude (fin 2003, début 2004) les sites proposés dans le cadre de la DHFF se trouvaient encore au stade de propositions (pSIC).

2.1.2.3. Critères supplémentaires pour un choix de site NATURA 2000

Lors de l'élaboration d'un mémoire de DEA en fin 2003, 25 sites (pSIC) dans les parties pyrénéennes des départements de l'Ariège, de l'Aude et des Pyrénées Orientales se sont proposés en raison de la mise en œuvre alors actuelle de la directive habitats, pour replacer l'étude dans un cadre de protection de l'environnement. A l'aide des descriptif des sites, des cartes de végétation et des cartes géologiques un dépouillement des sites en fonction du nombre d'habitats, de leur taille et des sources disponibles ce choix s'est restreint à quelques sites (vallée de l'Aston, Carlit-

Campcardos, Madres-Coronat, ...). Enfin, après concertation avec un « Pyrénéologue » aguerri (Jean-Paul Métaillé), le choix définitif s'est orienté vers un des 35 « sites pilote » établis pour expérimenter dès 1995 la mise en place du réseau Natura2000 et l'élaboration des Documents d'Objectifs (DOCOB) : le Massif de Madres-Coronat (Müller, 2004 : chap. 2.1.1).

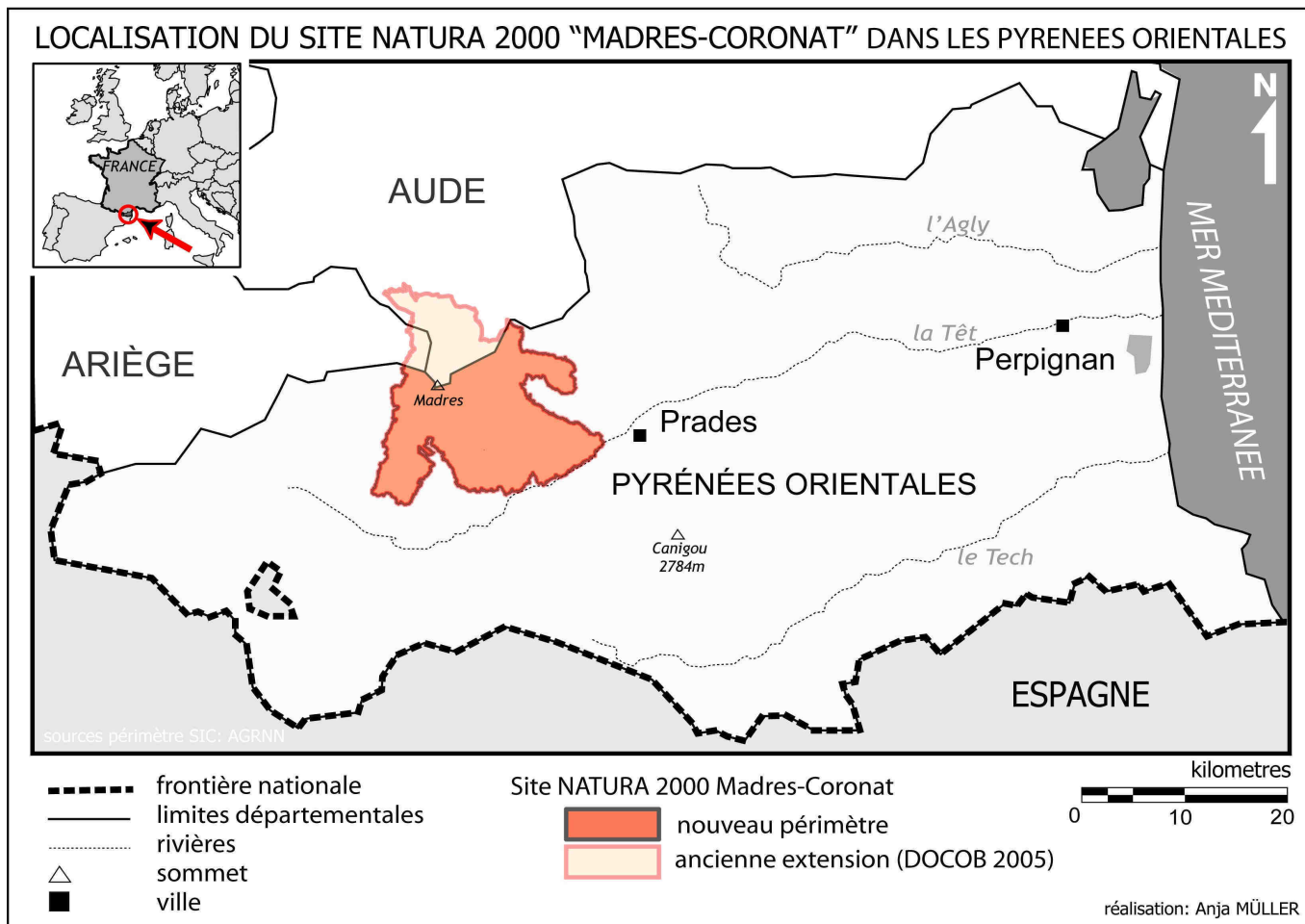
Un grand nombre d'études et de rapports non publiés, souvent élaborés dans le cadre de travaux universitaires de deuxième et troisième cycle ont permis de disposer d'un certain nombre de d'informations et de données cartographiques. Il s'agit essentiellement des travaux sur la dynamique forestière de l'Ombree du Mont Coronat d'Olivier Salvador (Salvador, 1995), les travaux cartographiques sur l'évolution diachronique des paysages par Roura y Pascual et Inga Ertel (Roura i Pascual, 2001; Roura i Pascual, 2002; Ertel, 2003; Roura-Pascual, Pons *et al.*, 2005), les travaux sur la dynamique spatio-temporelle du paysage pastoral de Vincent Parage (Parage, 2005) sur les rapports entre dynamiques paysagères et avifaune de Frédéric Blanc (Blanc, 2002; Blanc, 2003; Blanc, 2008), sur le suivi des prairies de fauche d'Elke Maes (Maes, 2001),, sur la mise en place du réseau Natura 2000 de Charlotte Meunier et de Johan Milian (Milian, 1998; Meunier, 1999a; Meunier, 1999b; Milian, 2001; Milian, 2003) ainsi que le premier Document d'Objectifs(DOCOB) de 1998 (A.G.R.N.N., 1998).

2.1.3. Limites et évolution du périmètre d'étude et échelles d'observation privilégiées : le site Natura 2000 « Madres-Coronat »

2.1.3.1. Le périmètre du site Natura 2000 (PN)

Le site « Massif de Madres-Coronat » délimité dans le cadre de la directive habitats (Council of Europe, 1992) et de la directive oiseaux (Council of Europe, 1979) a connu plusieurs extensions. Proposée en 1995 dans le cadre du programme « Documents d'Objectifs pour les sites Natura2000 » la création du site a abouti à l'élaboration d'un premier DOCOB en 1998 (A.G.R.N.N., 1998), engendrant les premières actions contractuelles en 2000.

Jusqu'à l'élaboration du DOCOB (2005)(A.G.R.N.N., 2005a), le site d'intérêt communautaire (SIC) du "Massif du Madres et Mont Coronat" (FR 9101473), approuvé comme site de la région biogéographique alpine le 22 décembre 2003 a été partagé entre les départements des Pyrénées Orientales, de l'Aude et de l'Ariège. En février 2002 il avait subi un léger élargissement en faveur d'une partie du territoire de la commune d'Escouloubre (département de l'Aude). Le DOCOB de 2005 ((A.G.R.N.N., 2005a) arrêté le 16 octobre 2006 présente encore l'ancien périmètre alors que la structure animatrice du site « Massif de Madres-Coronat » est depuis 2006 transférée de l'Association Gestionnaire de la Réserve naturelle de Nohèdes (AGRNN) au Parc naturel Régionale des Pyrénées Catalanes (PNRPC). Depuis ce transfert, le site s'est restreint au territoire des Pyrénées Orientales.



Carte 2.1 : Carte de localisation du site NATURA 2000 Madres-Coronat (ancien et nouveau périmètre) dans le département des Pyrénées Orientales

Sources utilisées : AGRNN (périmètre Natura 2000), IGN GEOFLA (départements) Réalisation A. M. Müller, projection Lambert III carto

Comme il a été mentionné plus haut, le réseau des sites NATURA2000 tient compte de deux zonages issus de la directive Oiseaux et de la directive « Habitats, les ZPS et les SIC qui se transformeront après validation en ZSC. En ce qui concerne les « Massif de Madres-Coronat » il s'agit en effet d'une superposition quasiment parfaite de ces deux types de sites différents, le ZPS « FR9112026 ; Massif du Madres Coronat » et le SIC « FR9101473 ; Massif de Madres-Coronat ». On peut noter toutefois une légère différence de 16,3 ha dans la description⁸² de la surface des deux sites superposés, ce qui est fort peu tenant compte d'une surface totale atteignant toujours 214 km². Si nous faisons référence au « site Natura 2000 Madres-Coronat » il peut s'agir théoriquement du ZPS ou du SIC, mais puisque la directive habitats nous intéresse par le caractère spatiale des habitats, c'est plus précisément du SIC dans son nouveau périmètre (post-2005) dont il est question. Le DOCOB de 2005, coordonné par l'Association Gestionnaire de la Réserve naturelle de Nohèdes (AGRNN), se réfère à la fois à la DHFF et à la DO.

⁸² <http://natura2000.ecologie.gouv.fr/sites/FR9101473.html> et <http://natura2000.ecologie.gouv.fr/sites/FR9112026.html>

La nouvelle de la division de l'ancien site Natura 2000 par la limite départementale et l'attribution de la partie ariégeoise et audoise à un autre site Natura 2000 a été prise en compte au début de la mission sur le terrain en avril 2006, donc après la réalisation de l'échantillonnage initial des relevés de terrain. Après quelques hésitations, les parties audoises et ariégeoises de l'ancien périmètre ont été définitivement abandonnées en printemps 2007 en raison de l'ampleur déjà largement suffisante du terrain d'étude. En effet, le site Natura 2000 Madres-Coronat avait été choisi initialement en raison de son caractère d'interfluve presque parfait. Le sommet Madres (2467 m) formant un dôme marqué par un réseau hydrographique de type approximativement radial (*cf.* photos et cartes), le site avait le charme d'un terrain d'étude où les influences climatiques dominantes sur les différents versants se présentaient presque de façon exemplaire. Aussi, la séparation de la partie septentrionale du massif a fait « perdre » au nouveau périmètre une partie non négligeable de sa diversité d'habitats (*cf.* description plus loin), donc de sa diversité paysagère. Enfin, l'échantillonnage était à refaire.

En guise d'orientation pour le lecteur, l'ancien et le nouveau périmètre du site Natura 2000 sont reconnaissables à leur abréviation PNA (Périmètre Natura2000 Ancien) et PNN (Périmètre Natura2000 Nouveau). Le périmètre PNN « Natura 2000 » sera à distinguer du périmètre d'étude au sens large, le massif dans sa totalité, plus succinctement baptisé périmètre « PT », présenté dans le chapitre suivant.

2.2. Présentation du Massif

2.2.1. Périmètre(s) du Massif

2.2.1.1. Le périmètre « morphologique » du Massif (PM)

Le périmètre du site d'intérêt communautaire Massif de Madres-Coronat (PNN), constitue l'échelle fondamentale pour cette étude de la géodiversité. Toutefois, considérer la diversité d'un massif de façon physiogéographique s'accordait mal avec un périmètre administratif, surtout une fois qu'il a été tronqué en 2006 pour n'occuper plus que la partie méridionale de l'interfluve. La partie septentrionale et audoise du Massif fait aujourd'hui partie du ZPS « Pays de Sault ». Le périmètre Natura 2000 n'est pas un périmètre qui concorde avec une délimitation paysagère ou géomorphologique du Massif. Le massif, par définition un « *ensemble de reliefs élevés, de sommets* » (George et Verger, 2006 :259) ne se restreint pas aux limites du périmètre Natura 2000, d'autant plus que celui-ci a été réduit à la partie se situant dans le département des Pyrénées Orientales.

En effet, dès la première sélection du site et lors des études préalables réalisées dans le secteur du Mont Coronat (Müller, 2004), il était question d'élargir l'analyse cartographique sur l'ensemble du massif. Le massif sera ainsi considérée dans des limites davantage « naturelles » que les limites négociées par concertation du pSIC Madres-Coronat. Effectivement on peut considérer le massif du Madres-Coronat en traçant les limites sur les cours d'eau, reliés entre eux par des cols. Il s'agit alors d'un massif en tant que relief, dans ces limites physiques, c'est-à-dire d'un interfluve dominé par le sommet du Madres. Ce périmètre qu'on pourra qualifier de « topographique », de « géomorphologique » ou tout simplement de « morphologique » sera appelé périmètre « PM » (périmètre morphologique).

Initialement on se posait la question s'il était préférable de choisir un bassin versant ou un interfluve en tant que terrain d'étude. L'avantage de l'interfluve par rapport au bassin versant est son « ouverture » de tous les côtés engendrant une exposition aux flux atmosphériques, contrairement au bassin versant avec son exutoire qui provoque toujours une certaine asymétrie altimétrique. Si on souhaite agrandir l'échelle d'étude, il est toujours possible de raisonner tout de même par bassins versants qui se disposent en auréole autour du sommet de massifs assez isolés tels le Madres-Coronat.

Le massif constitue ainsi une unité à la dynamique érosive plus ou moins autonome, et un assemblage de bassins versants se groupant autour d'un sommet, délimité par des limites physiques, morphologiques: les talwegs qui l'entourent. Le choix du tracé est évident en consultant une carte topographique ou le modèle numérique de terrain de la partie orientale des Pyrénées. En effet, le massif se délimite pour l'essentiel par quatre cours d'eau qui démarquent un massif aux contours approximativement triangulaires : Au sud, la Têt, s'écoulant de l'ouest-sud-ouest à l'est-nord-est en suivant la faille de la Têt, confère une limite à la partie méridionale du Massif. A l'extrémité orientale du massif, là où la Castellane se jette dans la Têt, on peut remonter la vallée de la Castellane depuis Catllar en aval de Prades, jusqu'au Col de Jau qui se situe sur la limite avec le département de l'Aude. La rivière de la Castellane (aussi appelée *Casteillane* ou *Castellana*)

constitue une limite septentrionale très nette dans la partie orientale du Massif. La limite occidentale très droite constituée par l'Aude s'écoulant du Sud ou Nord sur le plateau du Capcir le long d'une faille géologique (cf. photos), avant de prendre un chemin plus sinueux et s'écouler dans la vallée aux pentes accentuées au niveau du Donezan (Ariège), se transforme en aval en gorges. C'est la partie supérieure des gorges de l'Aude avec ses défilés réputés (gorges de St. Georges et défilé de la Pierre de Lys).

C'est au nord du massif, entre l'Aude et la Castellane que la délimitation est plus subjective. Pour notre part nous avons éliminé les contreforts calcaires de la rive droite des gorges de l'Aude en traçant la limite entre le Col de Jau et la vallée de l'Aude en passant par deux autres cols et en suivant les talwegs de plusieurs ravins et rivières.⁸³ Sur le versant oriental du Col de Jau on peut rejoindre par le talweg de la *Rivière de las Bottes* enfin la Castellane, rivière qui se jette dans la Têt en aval de Prades.

Ce périmètre morphologique du massif (PM) couvre une surface de 384,95 km², et son contour est de 107,8 km (projection Lambert 3 carto). La carte (carte 2.2 ci-dessous) permet de reconnaître qu'il s'agit d'un grand interfluve séparé des massifs voisins par des vallées et des cols relativement bas. Sa forme assez compacte et sa relative isolation topographique confèrent au massif du Madres-Coronat une originalité par rapport aux massifs aux reliefs plus accentués qui l'entourent (Carlit Campcardos et Canigou-Carança-Puigmal...).

2.2.1.2. Le périmètre d'étude *sensu lato* (PT)

Le périmètre Natura2000 dépasse par endroit les limites morphologiques du massif, notamment au nord-est, où il intègre la soulane⁸⁴ du Pic Dourmidou, mais aussi à l'ouest, où il englobe des prairies humides et près de fauche de la rive gauche de l'Aude supérieure dans la plaine du Capcir, habitat de la Ligulaire de Sibérie (*Ligularia sibirica*).

La réunion du SIC « Massif de Madres-Coronat » (PNN, nouveau périmètre Natura2000) avec le périmètre morphologique (PM) constitue ainsi l'ensemble étudié, le périmètre d'étude *s.l.*, le périmètre « total » PT. En raison de l'intégration de la soulane du Dormidou et des prairies de la rive gauche de l'Aude en Capcir, 648,5 ha s'ajoutent et le contour se rallonge. La surface du périmètre d'étude *s.l.* (PT) est alors de 391,44 km² avec un contour de 111,7 km.

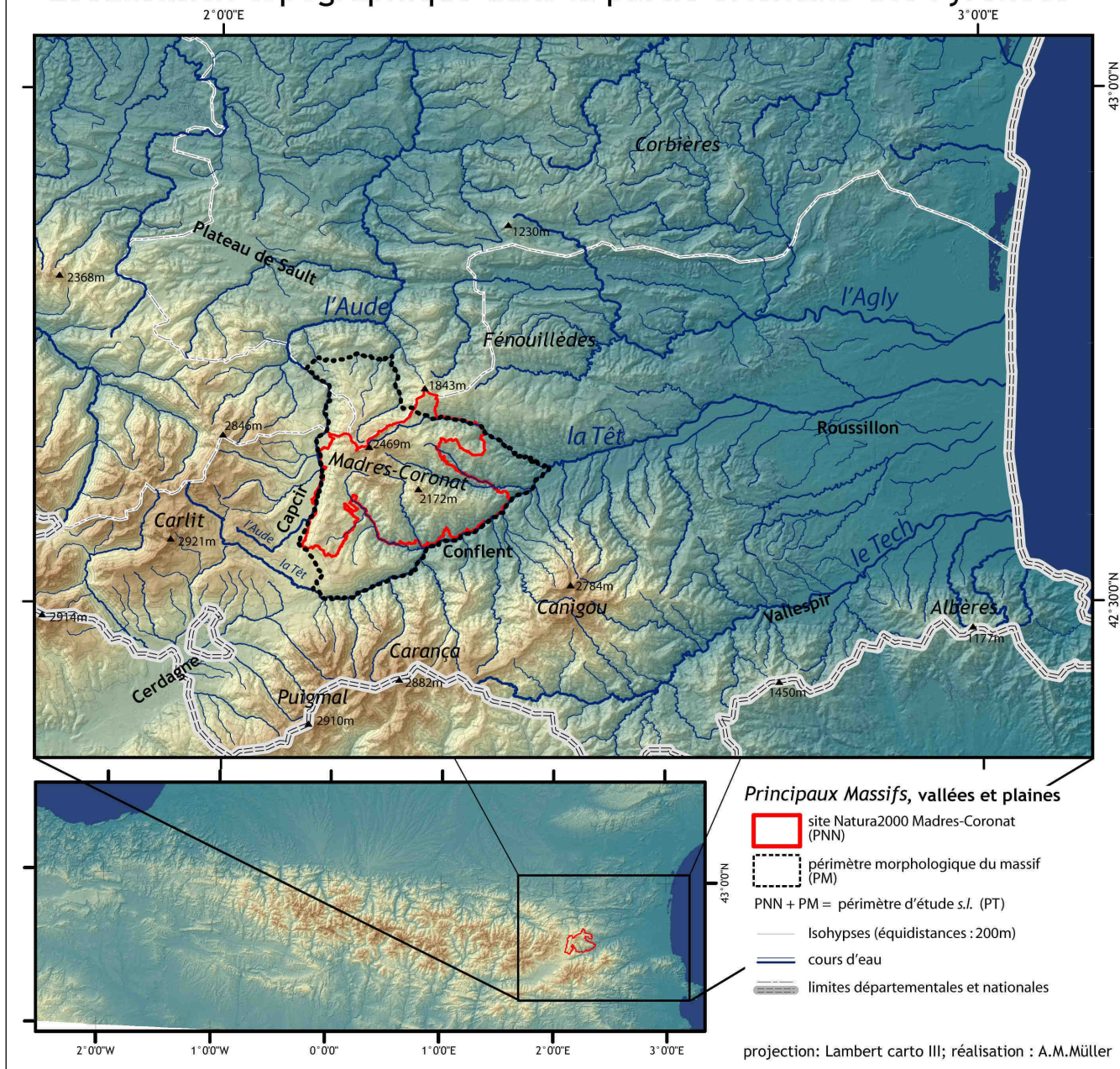
Le périmètre d'étude PT constituera la plus petite échelle d'approche et l'objet d'analyses spatiales réalisées à l'aide de la télédétection. Les relevés de terrain, la photo-interprétation et l'analyse fine de la géodiversité se limitent cependant au nouveau périmètre du SIC Madres-Coronat, terrain suffisamment ample avec une surface de 214 km².

⁸³ Plus précisément on quitte le talweg de l'Aude au niveau d'Escouloubre en remontant le ravin appelée *ruisseau de Crésène* puis on passe par le *col de Moulis (col del Mouly)*, et on redescend vers le village d'Escouloubre par le talweg qui rejoint le *ruisseau de la Vène* et le *ruisseau de Coumo Rousal*. En remontant ce dernier, devenant le *ravin de Péré*, on suit le fond d'un vallon sans écoulement de surface jusqu'au Col de Garabeil et on redescend dans le bassin versant de l'Aigüette par le *ruisseau des Pinouzots*, rejoignant le *Ruisseau du Prat d'en Buillac* et le *Ruisseau d'el Moulis* qui se transforme en rivière, le *Roquefort* en amont de Roquefort-de-Sault, qui rejoint la *Clarianelle* en aval du village. A la confluence de la *Clarianelle* avec l'*Aigüette* on remonte cette dernière rivière jusqu'au lieu dit de la *Moulinasse* et on quitte le lit de rivière de l'Aigüette en faveur du *Rau de Lapazeuil*, ruisseau qu'on peut remonter pratiquement jusqu'au *Col de Jau*. Noms renseignés par la carte topographiques IGN au 1/25000 et le plan cadastral disponible sur www.geoportail.fr

⁸⁴ **soulane** : Versant d'exposition généralement sud, sud-est ou sud-ouest appelé « adret » dans les Alpes. Elle s'oppose au « bac », « ubac » ou à « l'ombrée », versant nord au climat généralement plus rude et davantage exposé aux flux atmosphériques de type atlantique.

Le Massif du Madres-Coronat

Localisation topographique dans la partie orientale des Pyrénées



Carte 2.2 : Individualisation du Massif du Madres et Mont Coronat dans le relief compartimenté de la partie orientale des Pyrénées

Sources : ASTER GDEM (a product of METI and NASA), hydrographie BD Carthage, réalisation : A. Müller

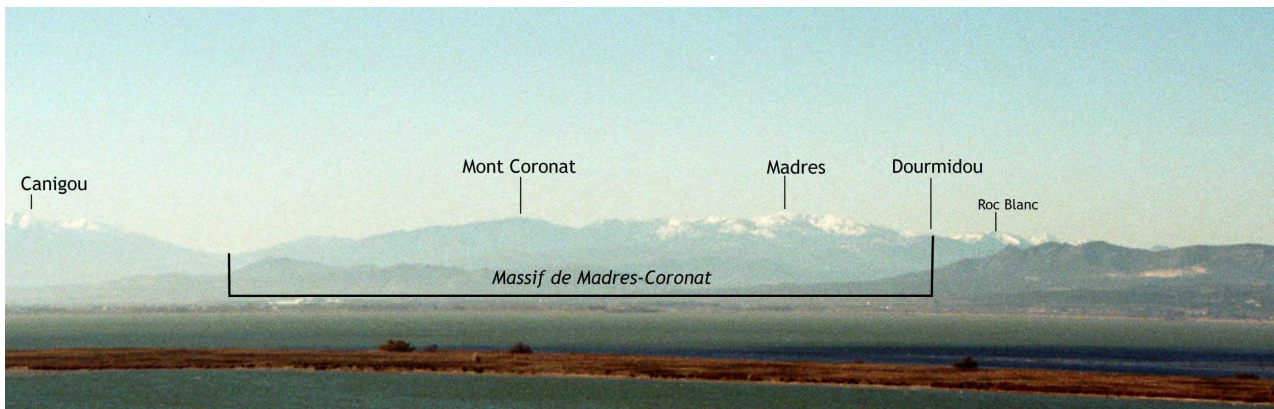


Photo 2.1 (ci-dessus): Entité géomorphologique Madres-Coronat, vue depuis la pont de Port Leucate (côte méditerranée) se situant à 75 km à l'est-nord-est du sommet du Madres

Cliché : Anja Müller ; janvier 2006

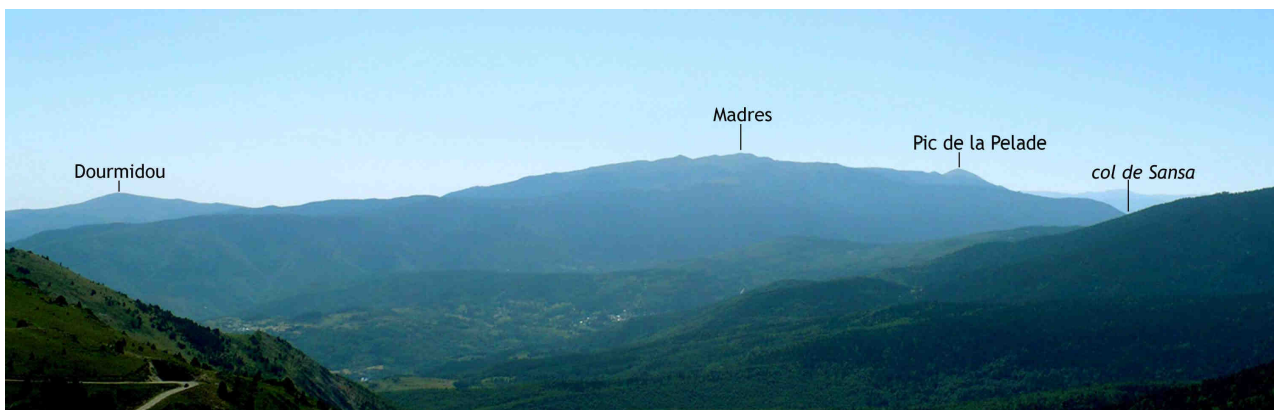


Photo 2.2 (ci-dessus) : Aperçu du Massif depuis le Port (col) de Pailhères (Ariège) se situant à 18 km à l'ouest-nord-ouest du Madres

Cliché : Anja Müller ; juillet 2009

Tab. 2.1 : périmètres d'étude :

appellation	abréviation	surface [ha]	Note	Auteur
périmètre Natura 2000 ancien (DOCOB 2005)	PNA	26614	Concertation	AGRNN
périmètre Natura 2000 nouveau (>2006) -SIC (non ZPS)	PNN	21412	Concertation, limite départementale	AGRNN
périmètre morphologique massif	PM	38495	Critères topographiques	A.M.
périmètre d'étude s.l. (=périmètre « total »)	PT	39144	= PNN + PM	A.M.

Sources : AGRNN, cartographie A. Müller

2.2.2. Un terrain d'étude dans la partie orientale des Pyrénées

2.2.2.1. La notion de « montagne méditerranéenne »

Les Pyrénées du département des Pyrénées Orientales sont souvent qualifiées de « Pyrénées méditerranéennes » ((Sorre 1913; Calvet, 1994; Calvet, 1996; Izard, 1999; Taillefer, 2000). Notion ou concept, la montagne méditerranéenne reste une appellation polysémique (Chamussy, 2000), délimitée parfois par des caractères climatiques ou végétales, parfois par des pratiques particulières.

En effet, comme l'affirmeront les diagrammes climatiques (chap. 2.3) certaines caractéristiques méditerranéennes, les pluies automnales et printanières persistent dans les stations entourant le massif, tandis que la sécheresse estivale s'atténue dans les stations situées dans les parties les plus hautes et les plus exposées aux masses d'air atlantiques. Si on considère les critères floristiques, on trouve des forêts méditerranéennes de chêne vert sur les soulans de la partie orientale du massif, en revanche la hêtraie-sapinière médio-européenne. Situé au carrefour des influences atlantiques et méditerranéennes il reste à ajouter le caractère montagnard du massif. Le caractère méditerranéen des façades orientales et méridionales du massif montre des nuances importantes en fonction de l'altitude. Paul Ozenda nuance la notion de montagne méditerranéenne pour les massifs européens du pourtour méditerranéen (Ozenda, 1995) et considère dans les Pyrénées Orientales seulement les étages de végétation inférieurs comme biologiquement méditerranéens⁸⁵, et considère l'étage subalpin et alpin comme appartenant au type médio-européen. C'est à l'étage intermédiaire, oroméditerranéen ou montagnard que la limite biologique méditerranéenne sera à rechercher et elle peut varier d'un massif à un autre, d'un versant à un autre.

Le relief morcelé des Pyrénées de l'est (cf. carte ci-dessous et chap. 2.3) s'ouvre vers la méditerranée sous forme d'un entonnoir que constitue la plaine du Roussillon et se prolonge vers l'ouest par le bassin du Conflent. Si pour Jean-Pierre Vigneau (Vigneau, 1986) le climat des hauts bassins et parties culminantes des massifs des Pyrénées Orientales appartient déjà au domaine climatique océanique, certains traits de caractère géomorphologiques mènent Marc Calvet à les caractériser comme relevant encore du domaine « méditerranéen dégradé », à l'exception toutefois du bassin versant audois à la nuance davantage océanique (Calvet, 1994; Calvet, 1996). Enfin, il paraît évident, qu'entre les deux catégories « méditerranéen » et « océanique » les nuances se font progressivement et amènent au constat que le Massif du Madres-Coronat est une montagne à caractère clairement méditerranéen dans sa partie orientale, caractère qui s'atténue avec l'altitude ainsi que sur les façades d'exposition nord et ouest.

De façon générale les sécheresses estivales dominent les plaines méditerranéennes et les vallées basses des montagnes méditerranéennes, tandis que le froid et la présence de neige hivernale en montagne ont favorisé le système de transhumance, migration saisonnière des troupeaux entre les plaines et vallées et les parties montagnardes (Pinto Correai et Vos, 2004 :144).

⁸⁵ c'est à dire les étages thermo-, méso- et supraméditerranéens, aussi appelés péri-, médi- et supraméditerranéens d'après Ozenda (Ozenda, 1995)

Là encore, le massif, qui se situe bien en zone de montagne mais qui est seulement en partie classée parmi les communes en zone sèche (Gumuchian, 1995) constitue un domaine de transition.

Si « *la montagne méditerranéenne se signale également par l'importance de l'occupation de jadis* » (Bordessoule, 2001), les terrasses de cultures dans les vallées et sur les soulans orientales du massif, plus ou moins bien conservées, et le plus souvent enrichies, étudiées notamment par Françoise Alcaraz (Alcaraz, 1993; Alcaraz, 1999) confirment un peuplement dense et une vie agricole et pastorale intense dans le passé. La pluviométrie plus importante en montagne a avantage malgré la contrainte des sols peu profonds et pentus de montagne des cultures en bordure de la méditerranée, marquée par le déficit hydrique estival. L'impact des transhumances estivales peut encore se deviner par le faible boisement, voire l'absence d'arbres sur les pentes méridionales. Avec l'effondrement de l'agriculture traditionnelle et l'exode rural post-industriel les Pyrénées orientales appartiennent aujourd'hui aux montagnes en déprise du pourtour méditerranéen (Bordessoule, 2001 : 186), plus faiblement peuplées qu'avant, même si on peut constater aujourd'hui un certain reflux de la population (cf. chap. 2.4).

2.2.2.2. Une anthropisation ancienne

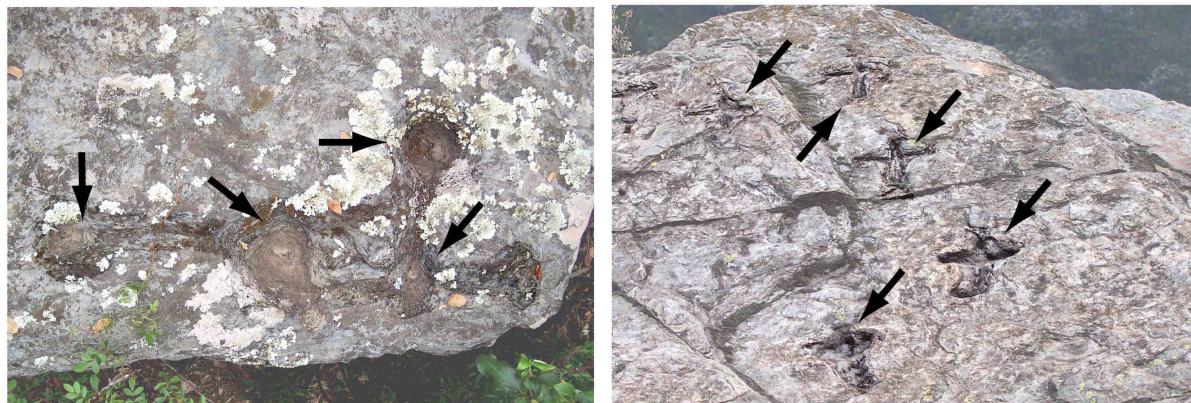
L'histoire de l'anthropisation des Pyrénées et plus particulièrement des Pyrénées Orientales fait l'objet de nombreuses recherches géoarchéologiques et paléo-environnementales récentes (Reille, 1990; Galop, 1998; Davasse, 2000; Vannière, 2001; Vannière, Galop *et al.*, 2001; Rendu, 2003; Galop et Vaquer, 2004; Carozza, Galop *et al.*, 2005; Bal, 2006; Galop, Cugny *et al.*, 2008). Sans vouloir insister ici en détail sur les cycles de mise en valeur et d'investissement de l'espace pyrénéen, quelques aspects méritent d'être abordés puisqu'ils participent à la mise en place de la diversité de milieux actuels.

L'anthropisation est assez précoce dans la partie orientale des Pyrénées, dont témoignent des indices polliniques d'anthropisation, constitué notamment de pollens des espèces cultivées et messicoles. Au pied des Pyrénées méditerranéennes, les premières traces d'anthropisation apparaissent entre 6700 et 5900 avant notre ère (BC) (Galop et Vaquer, 2004; Galop, Cugny *et al.*, 2008). Les premiers signes d'une activité pastorale au-delà de 1500 m d'altitude ont été mis en évidence entre 4700 et 4500 BC et se renforcent notamment au néolithique moyen entre 4200 et 4000 BC, étayés par les résultats des études archéologiques et paléo-environnementales menées sur la soulane d'Enveitg en Cerdagne (Rendu, 2003; Bal, 2006; Galop, Cugny *et al.*, 2008). Nombreuses traces, surtout *cupules* (environ 5000 BP selon le DOCOB 2005) et croix gravées découvertes dans les schistes des environs de Nohèdes témoignent de la présence des civilisations néolithiques (cf. photos).

Plusieurs cycles de déprise et de reprise, pas toujours en accord avec les données polliniques de basse altitude se succèdent. Ils se font ressentir dans les données paléo-environnementales à l'échelle de toutes les Pyrénées malgré des nuances importantes entre les différents sites. Parmi les phases d'extension majeures sont référencées notamment la transition entre l'âge du bronze et l'âge du fer vers 1000- 750BC (Carozza, Galop *et al.*, 2005; Galop, Cugny *et al.*, 2008), ainsi qu'une période débutant au VII^{ème} siècle, s'intensifiant jusqu'au haut Moyen Age (IX^{ème} / X^{ème} siècle), époques qui se traduisent par des déforestations massives (Galop, Cugny *et al.*, 2008). Les indices datés du moyen âge traduisent par ailleurs le rôle de la « montagne-refuge »

dans un contexte d'insécurité générale (Métailié, 2005). Une crise fini-médiévale (XIV^{ème}/XV^{ème} siècle), dominée par des altérations climatiques, des famines et la peste noire ne laissent que peu de répit à la forêt car elle coïncide avec l'apparition des moulins de fer installés au bord des rivières. Dès le XVI^{ème} siècle la pression anthropique augmente encore et aboutit à la mise en place du paysage agro-sylvo-pastoral pyrénéen (Métailié, 2005). A la mise en valeur des terres se superpose l'essor de la métallurgie et notamment des forges à la catalane. De nombreuses traces en témoignent encore aujourd'hui, celles laissées par la métallurgie et le besoin en combustibles (charbonnières, taillis, prédominance du hêtre sur certains versants...), en terres et en pâtures (Alcaraz, 1999; Izard, 1999; Métailié, 2005). Les mosaïques paysagères d'aujourd'hui ne peuvent donc pas se comprendre sans tenir compte du rôle du pastoralisme et de la métallurgie comme éléments de pression sur la forêt pyrénéenne (Desailly, 1984; Salvador, 1995; Izard, 1999; Davasse, 2000; Roura i Pascual, 2002; Métailié et Paegelow, 2003; Paegelow et Camacho-Olmedo, 2003; Métailié, 2005; Métailié, 2006).

Photo 2.3 et 2.4 : cupules et croix gravés : témoins d'une présence plurimillénaire de l'homme



Ci-dessus : Cupules gravés dans un dolmen au pont del Mari, Croix gravés dans la roche près du col de Marsac, entre Nohèdes et Urbanya. Clichés : A. M. Müller, avril et mai 2006

2.2.2.3. Des mutations récentes

L'abandon des forges à la catalane, la détérioration du climat du « petit âge glaciaire » à la fin du XIX^{ème} siècle, mais aussi la modification des ressources énergétiques, les mutations des pratiques agricoles et les guerres mondiales au début du XX^{ème} siècle ont amené petit à petit un changement dans les paysages pyrénéens. Comme ailleurs en Europe les retombées de la révolution industrielle et de la révolution verte ont provoqué des changements de pratiques agro-pastorales et une évolution démographique particulière (cf. chap. 2.4) qui se sont traduits avec un certain retard par l'abandon des cultures et un enrichissement des versants. Aujourd'hui le paysage forestier regagne du terrain : on peut parler d'un âge « néo-forestier » (Métailié, 2005; Métailié, 2006) où reboisements spontanés et plantations transforment rapidement les paysages de la partie orientale des Pyrénées, mises en place depuis le Moyen Âge (Métailié, 2005). Les vallées du Conflent ont subi un sort semblable aux autres régions de montagne méditerranéennes, la spécialisation agricole a provoqué d'abord un abandon des terres les moins productives, les terroirs « aspres », d'accès difficile (Pinto Correai et Vos, 2004) et mènent finalement à un abandon quasi-complet des cultures (Paegelow et Camacho-Olmedo, 2003). Les revenus, le plus souvent complémentaires, issus du tourisme ne sont pas générés avant les années 70, sauf pour la vallée de la Têt. L'accès difficile, et

un faible enneigement en raison d'une altitude peu importante font que le tourisme hivernal épargne les villages du Conflent et se limite au Capcir (station des Angles, Formiguères, Puyvalador) et à la Cerdagne (Font-Romeu -Pyrénées2000, etc.), il ne concernera pas le massif du Madres-Coronat à l'exception du téléski près du col de Jau aujourd'hui abandonnée. Pastoralisme et exploitation forestière restent ainsi les seules activités qui marquent le paysage à côté parfois d'une agriculture de subsistance.

Le rôle actuel du pastoralisme ne saurait être négligé. Max Daumas constatait en 1974 (Daumas, 2000: 417, 1ère édition 1974) que « [...] *l'agriculture, malgré ses faiblesses reste un élément indispensable à la mise en valeur de la région, car elle permet de maintenir une densité minimale de population au-dessous de laquelle toute œuvre d'aménagement devient impossible, et elle constitue un bon moyen d'éviter le retour à la nature sauvage qui nuirait à l'utilisation touristique et résidentielle du pays* ». Même si l'argument d'un retour à une « nature sauvage » peut être accepté par certains, c'est au pastoralisme que revient, en absence d'un tourisme de neige une fonction clé pour le développement local et la « vie de montagne ». Il permet le maintien et la réouverture des milieux et paysages.

En accord avec les structures de conservation de la nature et un tourisme vert, le pastoralisme présente aujourd'hui une réponse multifonctionnelle pour gérer l'environnement des montagnes méditerranéennes: le maintien et la gestion des pâturages mais aussi des prés de fauche pour fournir le fourrage hivernal contribuent aux fonctions écologiques (biodiversité des milieux ouverts, voir l'exemple de l'avifaune, (Blanc, 2008)), économiques (mise en valeur des pâtures au lieu de friches ou boisements improductifs, vente de produits locaux), sociales (une montagne vivante) et esthétiques (relativement subjective mais généralement favorable à une ouverture des milieux) et offrent ainsi des perspectives de développement local assez importantes (Pinto Corraei et Vos 2004 in Jongman, 148).

2.2.3. Un massif, plusieurs pays. Le Madres-Coronat à cheval entre le Capcir, le Conflent et le Pays de Sault (Madres audois)

2.2.3.1. Délimitation territoriale

Comme dans la plupart des régions de montagne la notion de territoire s'attache davantage à la notion de vallée qu'à celle de massif. Comme les communautés locales en Savoie s'identifient d'abord par les appellations de la Tarentaise drainée par l'Isère et de la Maurienne drainée par l'Arc plutôt que par le massif de la Vanoise cerné par ces deux cours d'eaux, il en est de même pour les Pyrénées Orientales. On ne vient pas du Massif des Madres mais du Conflent ou du Capcir, ou encore du pays de Sault ou du Donezan, comme en témoignent les appellations des villages « Roquefort-de-Sault » ou « Villefranche-de-Conflent ». Ce sont les vallées peuplées entourant le massif du Madres qui sont les références pour la dénomination territoriale. Les atlas de la Catalogne édités par Jean Bécat (Bécat, 1977; Bécat, Ponsich *et al.*, 1985; Bécat, 1992) utilisent également les dénominations classiques « el Conflent », « el Capcir » et « la Cerdanya », qui constituent avec le Vallespir et le

Roussillon (Rossellò) les anciennes comarques⁸⁶ de la Catalogne du Nord, territoire cédé à la France lors du traité des Pyrénées (1659).

En montagne les limites des pays et paysages se calquent en général sur les crêtes, limites de l'horizon, plutôt que sur le réseau hydrographique qui découperait les vallées fertiles, le découpage de l'atlas des paysages en fait de même.

2.2.3.2. Les paysages du massif selon l'atlas des paysages

La convention européenne des paysages a stimulé, entre autres, la création d'Atlas de paysages qui identifient les principaux paysages par département. Ceci étant, les limites entre paysages coïncident actuellement encore avec les limites administratives départementales. L'atlas des paysages du Languedoc-Roussillon en ligne (<http://www.languedoc-roussillon.ecologie.gouv.fr/atlas.asp>) ne suit pas tout à fait la division classique des Pyrénées Orientales en cinq ou six pays (anciennes comarques) mais divise le département selon des critères paysagers qui suivent parfois les crêtes, mais délimitent aussi vallées et massifs à mi-versant. La plus grande partie du périmètre d'étude (PT) est occupée par une unité paysagère appelée « *le massif du Madres* » qui est décrit comme une « *succession de cinq vallées confluant vers la Têt* », « *géologiquement riche et varié* » caractérisé aussi par des « *sites bâtis remarquables animant des vallées isolées* ». Seulement les flancs extérieurs du massif, à mi-hauteur de versant, sont attribués aux vallées environnantes, « *la vallée-verger* » de Prades, la « *haute vallée du Conflent* », le « *haut plateau ouvert du Haut-Conflent* » autour de Mont-Louis ainsi que « *le Capcir* ». En ce qui concerne les parties ariégeoises et audoises du massif il est nécessaire de consulter les atlas des paysages du département correspondant. Dans l'atlas des paysages du département de l'Aude on retrouve une unité paysagère appelée « *les estives et pentes boisées du Massif du Madres* ». L'Atlas des paysages « *Ariège-Pyrénées* » est structuré différemment et les pentes occidentales ariégeoises du Madres (Forêt domaniale du Caracenet) font partie du paysage du *Donezan*, décrites comme des « *paysages de montagne boisée* ».

Ainsi le massif au sens morphologique se retrouve de façon morcelée dans les différents atlas de paysages départementaux et ne constitue pas « un » paysage bien délimité, ni dans les esprits, ni dans le découpage administratif. Il s'agit plutôt d'un massif à multiples visages.

Les visages du massif de Madres-Coronat

L'unité du massif en tant qu'interfluve bien délimité n'empêche pas d'associer ses façades aux paysages qui l'entourent. Pour comprendre les différentes facettes du massif et en fin de compte sa diversité paysagère, on décrira dans un premier temps et de façon très classique quelques traits physiogéographiques du massif. Cela permettra également d'amorcer le raisonnement à l'origine d'un découpage opérationnel du massif, sur lequel s'est fondé l'échantillonnage pour les relevés de terrain.

⁸⁶ La *comarque* constitue une unité territoriale de la Catalogne historique et actuelle, parfois assimilé à la notion de comté, pays elle se situe entre l'échelle du canton et de l'arrondissement

2.3. Le cadre physiogéographique de la diversité des milieux du Madres-Coronat

2.3.1. Support physico-minéral et géomorphologie

2.3.1.1. Histoire de la mise en place des volumes

Aperçu sur l'histoire géologique de la partie orientale des Pyrénées

La diversité des formes et du substrat sur l'ensemble du massif est marquée et se comprend mieux en tenant compte du cadre géologique régional (*cf.* cartes de la notice de la carte géologique de Prades 1992).

La mise en place des volumes des Pyrénées Orientales et en conséquence la forme actuelle du massif de Madres-Coronat ne peut s'expliquer qu'en insérant les mouvements tectoniques locaux dans le contexte de la formation et l'histoire géologique des Pyrénées et du bassin méditerranéen. Même si l'orogénèse pyrénéenne hercynienne (paléozoïque) avec mise en place de corps plutoniques tardi-hercyniennes et l'orogénèse alpine (mésozoïque-cénozoïque) ne pourront pas être abordés en ici (se référer par exemple à Barnolas , Chiron *et al.*, 1996; Calvet, 1996; Durand, 2006; Laumonier, 2008), il est utile de mentionner, de façon sommaire les dernières phases de compression et d'extension cénozoïques.

L'aspect actuel de la partie orientale des Pyrénées se différencie de la morphologie des Pyrénées centrales et occidentales. Elle se caractérise notamment par un « compartimentage » des grandes unités morphologiques (Carozza, 1998) en massifs compacts et grands bassins sédimentaires (Capcir, Cerdagne, Conflent), et par des aplanissements néogènes (Calvet, Gunnell *et al.*, 2008), qui prennent la forme de replats de versants ou de *plas* sommitaux, dont la datation a déjà interpellé Pierre Birot (Birot, 1937).

Comme par ailleurs en Europe, les structures des Pyrénées hercyniennes (orogénèse du Namurien inférieur au Stéphanien, *ca.* 320 Ma -295 Ma) ont été réactivées lors de l'orogénèse pyrénéenne alpine qui a débuté au crétacé supérieur (Maurel, Brunel *et al.*, 2002). Cependant, les mouvements compressifs qui se perpétuent jusqu'à la fin du paléogène n'ont seulement abouti à une chaîne étroite aux altitudes assez modestes (Calvet, 1996; Calvet, Gunnell *et al.*, 2008). L'essentiel du relief actuel des Pyrénées Orientales est enfin issu d'une tectonique verticale plus récente, néogène. Après une dernière phase de compression paléogène qui a eu lieu durant l'oligocène (Calvet, Gunnell *et al.*, 2008)., des mouvements d'extension dus à l'ouverture du golfe de Lion (oligocène) ont provoqué l'effondrement de cuvettes dans la partie orientale des Pyrénées (Canérot, 2008). Ils ont notamment réactivé la faille de la Têt (Maurel, Brunel *et al.*, 2002) à laquelle est associée la formation du bassin miocène lacustre de Prades (notice de la carte géologique de Prades : Guitard, Laumonier *et al.*, 1998:7), et dont l'extension a débuté vers 28 Ma BP (Gunnell, Zeyen *et al.*, 2008; Gunnell, Calvet *et al.*, 2009). Lors du Miocène, les bassins subsidés du Roussillon et du Conflent se sont remplis de molasses continentales dont témoignent encore les formations d'Escaro situées en bordure du périmètre au sud-est du Massif. Les bassins

d'effondrement de la Cerdagne et du Capçir sont vraisemblablement plus jeunes et se mettent en place seulement vers 12 MA BP (Gunnell, Calvet *et al.*, 2009) (*cf.* photos 2.8).

Il apparaît que la partie orientale des Pyrénées est anormalement élevée alors que la racine lithosphérique lourde, importante dans les Pyrénées centrales, d'une profondeur d'environ 50 à 55 km est de profondeur relativement plus faible sous la partie orientale des Pyrénées (25 à 35 km) (Gunnell, Calvet 2008) (Gunnell, Zeyen *et al.*, 2008). On peut supposer qu'un amincissement de la lithosphère dans la partie orientale des Pyrénées se présente comme une conséquence des mouvements divergents dans la méditerranée occidentale (mouvements associés à l'extrémité méridionale de la zone de subduction alpine) et d'une érosion thermique du manteau qui peuvent être, par un mécanisme de réajustement isostatique à l'origine du soulèvement rapide postorogénique constaté dans les Pyrénées Orientales (Gunnell, Calvet *et al.* 2008) (Gunnell, Zeyen *et al.*, 2008; Gunnell, Calvet *et al.*, 2009).

Les « plas »

Un soulèvement assez abrupt et récent expliquerait également la présence et l'état étonnamment bien conservées des surfaces culminantes (appelés surfaces « S0 » par M. Calvet) et pédiments (surfaces « S1 » ou P) (Calvet, 1996; Calvet, Gunnell *et al.*, 2008; Gunnell, Zeyen *et al.*, 2008; Gunnell, Calvet *et al.*, 2009)). Ces aplanissements qu'on retrouve dans toute la partie orientale de la chaîne résultent d'une dénudation plurikilométrique du socle hercynien depuis la mise en place paléogène des Pyrénées. Les aplanissements culminants apparaissant dans la zone Carlit -Campcardos- Madres entre environ 2400 et 2900 m d'altitude (« S0 »), dont la paléoaltitude d'il y a 12 Ma a été estimé à environ 750 m (Gunnell, Zeyen *et al.*, 2008 :308). Ceci implique un soulèvement de l'ordre de 1500 à 2000 m depuis le Miocène moyen. Une érosion paléogène a été mise en évidence à partir du Bartonien (éocène) et les aplanissements encore visibles dans les parties sommitales du Madres-Coronat semblent avoir subi une dénudation très restreinte depuis 25 Ma (Gunnell, Calvet *et al.*, 2009). Les surfaces planes sommitales et de nombreux replats de versants ont été décrites déjà par G. Soutadé (Soutadé, 1973) et par Fritz Nussbaum (Nussbaum, 1945 :62) et systématiquement cartographiés pour ce secteur par M. Calvet (Calvet, 1996 :pp.310). Nussbaum leur attribuait une ampleur (surface) plus importante et un âge probablement oligocène. L'étagement des aplanissements suggère que ceux qui se trouvent en position inférieure, (S1 d'après (Calvet, 1996), P selon (Gunnell, Calvet *et al.*, 2009)), soient d'âge plus jeune. Déjà Fritz Nussbaum supposait une incision par étapes dû à des changements du niveau de base et distingue essentiellement trois niveaux (dans la vallée de la Têt et de la Castellane), en attribuant un premier niveau à la vallée perchée de Caudiès et aux replats de Jujols, de Flassa et de Belloc âgés du miocène ancien et un deuxième aux surfaces de Mosset, de Mollitg et d'Oreilla âgés du miocène supérieur se superposant au troisième niveau (pliocène) que pourraient constituer les replats / terrasses d'Evol. Marc Calvet associe à la surface S1 (miocène moyen) le pla de Balençou (environ 750 à 940 m à l'extrémité orientale du massif, PT) et le pla des Horts (environ 1300 à 1500 m à l'est du Coronat), ainsi que les aplanissements entre 1570 m et 1860 m au nord du Madres, entre la haute vallée de l'Aiguette et le village de Roquefort. On peut éventuellement associer à cette surface les replats en position de crête du Diagre (entre Jujols et Evol, 1440 m) et du Loumet (1650 m). A la surface supérieure, « S0 » d'âge oligo-aquitainien il attribue outre les parties sommitales du Madres

(photos 2.5, 2.6 et 2.7 suivantes), mais également les surfaces assez planes du Dourmidou et du Mont Coronat, incluant le replat de la Tartère (noms *cf.* carte topographique)(Calvet, 1996). L'inclinaison actuelle des aplanissements du pla des Horts et du Mont Coronat, ainsi que du pla de Balençou (aussi appelée pla du Valenço) témoignent d'un léger basculement du bloc du Madres à subi vers le sud et sud-est (Calvet, 1996 :291 & 310), ou vers l'est d'après (Biot, 1937 :66), dont témoignent aussi les décalages entre les formations au niveau des failles de la Têt (Fontpédrouse ; *cf.* fig. 138 in (Guitard, Laumonier *et al.*, 1998) et de Molitg.

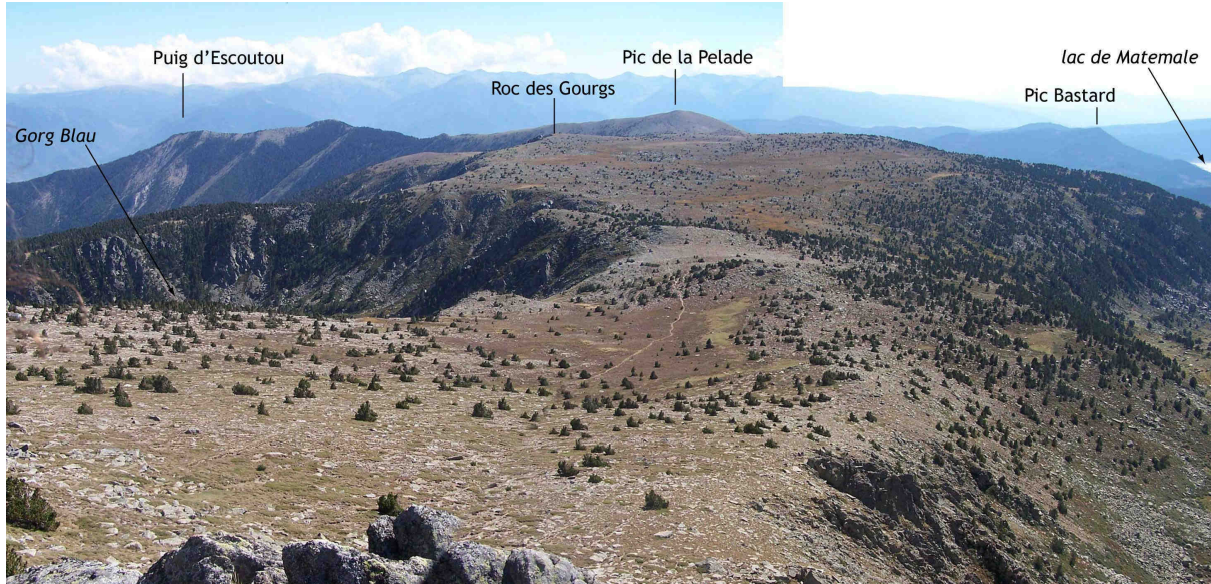
Délimitation tectonique du massif

Enfin, le bloc de forme plus ou moins triangulaire (*cf.* carte de localisation) et lithologiquement hétérogène du Madres-Coronat appartient entièrement à la zone (primaire) axiale de la haute chaîne pyrénéenne et se trouve structuralement délimité par plusieurs failles. De la tectonique récente, en jeux de blocs, témoignent les pentes très raides et souvent très nettes sur le versant de la Têt, du Capcir et sur le flanc nord du Mont Coronat. Au sud-est, la limite presque droite du massif met en évidence la faille normale de la Têt, accident majeur à rejeu récent, dont témoignent les facettes sur le versant nord du massif de la Carança-Canigou (Calvet, 1996; Carozza, 1998). A l'ouest, le massif est délimité par l'escarpement tectonique oriental du fossé du Capcir, ignoré par la plupart des cartes géologiques (Calvet, 1996)Calvet, 1996). Il est bien visible dans le paysage (*cf.* photos) et pourrait être attribué aux mouvements d'extension néogènes (Calvet, 1999). Paul Birot avait émis l'hypothèse de voir dans les cols sur la crête entre le Dormidor (à ne pas confondre avec le Pic Dourmidou au nord-est du Massif) et le Roc Couscoune, c'est à dire le cols de Sansa, le col de Creu et col de Torn une prolongation des vallées descendant du Carlit (exemple : la vallée du Galbe se prolongeant au-delà du Col de Creu dans le vallon du rec de Railleu), « *ensuite décapités par l'effondrement du Capcir* » (Birot, 1937 :64). Au nord-est, la limite toujours très nette du massif correspond à la faille inverse de Molitg (fig. 3a, notice carte géologique 1998 :12)(Guitard, Laumonier *et al.*, 1998: 12), accident hercynien à rejeu alpin. Puis, la faille de Mérens, également d'origine hercynienne et localement inversée, traverse l'ensemble du Massif du Madres-Coronat en direction est-ouest, délimite le Mont Coronat au Nord et sera retracée par la rivière de Nohèdes dans la partie intermédiaire de la vallée correspondante. La faille de Mérens, associée au synclinal de Villefranche et se situant au nord de ce dernier, sépare aussi les deux plutons de Mont Louis au sud-ouest et de Quérigut au Nord et se prolongé à l'ouest du Capcir dans la vallée du Galbe.

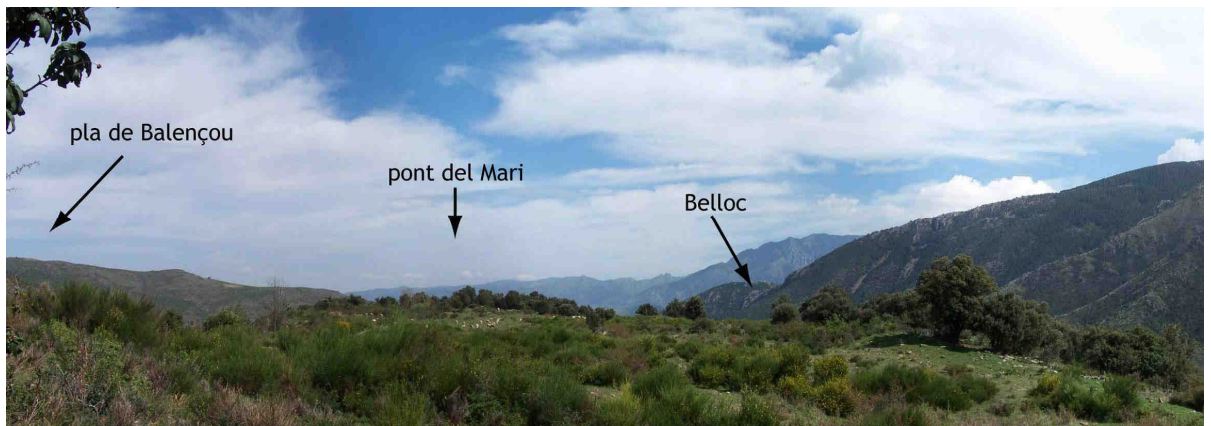
Photo 2.5, 2.6 et 2.7 : les aplanissements caractéristiques du massif



Ci-dessus : partie sommitale du Madres (2469 m), vue panoramique de 180°, centré sur le sud, depuis une butte résiduelle (2352 m). Cliché : A. M. Müller, août 2006



Ci-dessus : Pla des Gourgs : surface d'aplanissement à environ 2350 m d'altitude, vue depuis le Roc Nègre (2459 m) Cliché : A. M. Müller, 2006



Ci-dessus : pla du pont del Marie (pont del Mari sur la carte IGN) à proximité du relevé N°20, vue vers l'est (ESE) : le replats de Balençou et de Belloc semblent occuper des altitudes semblables. Cliché : A. M. Müller, avril 2006

2.3.1.2. Grands ensembles lithologiques

Lithologie

La zone axiale dans l'est des Pyrénées, limitée au nord par la faille nord-pyrénéenne (FNP) est dominée par les granitoïdes des intrusions plutoniques tardi-hercyniens (Millas, Quérigut, Mont-

Louis Andorre), par les massifs du socle précambrien (cadomien) à gneiss oeilé (Canigou- Carança, Aston, Hospitalet) et par des formations paléozoïques, essentiellement cambro-ordoviens (schisteuses) et dévoniens (carbonatés) qui s'intercalent entre ces formations du socle et les formations plutoniques (Calvet, 1996; Carozza, 1998; Guitard, Laumonier *et al.*, 1998).

Les formations de socle se limitent à l'extrémité sud du massif au gneiss de Fontpédrouse. On peut observer les *gneiss de la Bouillouse* au niveau du col de la Quillane à l'extrémité sud-ouest du massif (Guitard, Laumonier *et al.*, 1998 : Fig.1). Ces derniers forment le cœur du pluton de Mont Louis auquel appartient également la synforme magmatique de La Llagonne. Les intrusions magmatiques du pluton de Mont Louis constituent le secteur sud-ouest du massif. Similaire au pluton de Quérigut il est dominé par des granitoïdes de la famille calco-alkaline allant de quelques rares gabbros (θ_n) en passant par les tonalites (γ^4) et granodiorites (γ^4 et γ^{3-4}) au monzo-granites (γ^{3-4} , $\rho\gamma^3$, $\rho\gamma^2$) (Guitard, Laumonier *et al.*, 1998). Le pluton de Quérigut qui domine la partie septentrionale du Massif constitue la partie essentielle de sommets du Massif des Madres et a été mise en place à la fin de l'orogénèse paléozoïque. Des enclaves métasédimentaires issus de la mise en place du pluton dans les formations paléozoïques se manifestent par la présence de septa carbonatés dans la partie méridionale du pluton, formant par exemple le Roc Mary (cf. photo du septum au sud du col de Gavaches) (Durand, 2006).

Les formations paléozoïques schisteuses et calcaires associées à la faille de Mérens entrecoupent le Massif d'est en ouest et séparent les secteurs appartenant au pluton de Mont Louis au sud des secteurs attribués au pluton granitique de Quérigut dans la partie septentrionale du massif. Au nord et au sud dominant les granitoïdes à plagioclase (granite, granodiorite et tonalites), qui ne seront pas différenciés davantage.

Dans la partie orientale du Massif, les parties supérieures et septentrionales du Mont Coronat sont essentiellement constituées par les plis du chevauchement hercynien précoces de Villefranche, « *formidable empilement* » de calcaires, marbres et dolomies d'âge dévonien. On distingue une série inférieure « parautochtone » constitué essentiellement de calcaires d'une puissance d'environ 120 m, visible sur le versant sud du Mont Coronat (Jujols), surmonté par une série supérieure allochtone de 400 à 500 m qui est composé en majeure partie par des calcaires dolomitiques et dolomies et qui constitue la majeure partie des affleurements du Mont Coronat (Barnolas, Chiron *et al.*, 1996 :244). Au nord et au sud du synclinal de Villefranche-de-Conflent, les formations cambro-ordoviennes du groupe de Jujols (supposé d'ordovicien inférieur) et de Canaveilles (cambrien, subdivisé en trois formations, celle de Canaveilles, de Cabrils et d'Evol) constituent les soulans schisteuses de la vallée de Nohèdes / Urbanya et de la Têt entre Serdinya et Thuès-entre-Valls et les parties inférieures de la vallée d'Evol et des Garrotxes. On y trouve des grauwackes (Conat, Nohèdes) et des schistes sériciteux, mais aussi des grès et des pélites divers du groupe de Canaveilles et des schistes rubanés du groupe de Jujols entre Serdinya et Sansa et entre Prades et Urbanya (Guitard, Laumonier *et al.*, 1998). Enfin, les plutons granitiques ont provoqué une auréole de contact importante sur une large partie des formations paléozoïques, affecté par un métamorphisme régional (Durand, 2006).

Les dépôts alluviaux et glaciaires se limitent généralement aux fonds de vallées et talwegs. Dans les parties cristallines du massif on observe un petit nombre de dépôts morainiques (cf. Calvet 1998 descendant jusqu'à 1150 m (Calvet, 1996). Ces terrains, en pente faible et occupés par des sols d'apport épais sont assez propices à l'élevage et à la mise en culture là où ils descendent

suffisamment bas. Les formations glaciaires n'étant malheureusement plus prise en compte par la carte du relief glaciaire du Capçir de G. Viers (Viers, 1968) on trouve cependant une cartographie des cirques par Calvet (Calvet, 1994; Calvet, 1996). Pour une synthèse sur l'ampleur et de l'impact géomorphologique des glaciations quaternaires dans l'est de Pyrénées on consultera la thèse de Magalie Delmas (Delmas, 2009).

Carte géologique simplifiée

La carte géologique simplifiée (cf. carte 2.3 ci-dessous), compilée à partir de trois cartes géologiques à l'âge, aux échelles et aux légendes divergentes comporte seulement quatre catégories afin de simplifier l'aperçu et l'échantillonnage. On distingue ainsi les sédiments récents cénozoïques (essentiellement miocènes et quaternaires) constituée d'alluvions, de colluvions, d'éboulements et de dépôts glaciaires, les formations paléozoïques qu'on divise en roches carbonatées (calcaires, dolomies, marbres et calcschistes) et non carbonatées (essentiellement schistes) et les roches cristallines, essentiellement plutoniques et filoniennes. Pour trois formations de la carte géologique de Prades, le « *Siluro-Devonien indifférencié (s-d)* », le « *Siluro-Devonien (s1-s5) autochtone* » et le « *le Carbonifère à faciès flysch (Culm) (h1-2)* », voisines immédiates des roches carbonatées dévoniennes le classement reste assez opiniâtre en raison de roches de natures variées, à la fois carbonatées et siliceuses dans une même classe (flyschs, bancs carbonatés, grès, silts, schistes, calcarénites, nodules calcaires, grauwackes). Le domaine du siluro-devonien autochtone a été attribué aux roches carbonatées, les deux autres groupes aux schistes et roches sédimentaires siliceuses. L'auréole de métamorphisme de contact a été volontairement négligée en raison de son caractère progressif.

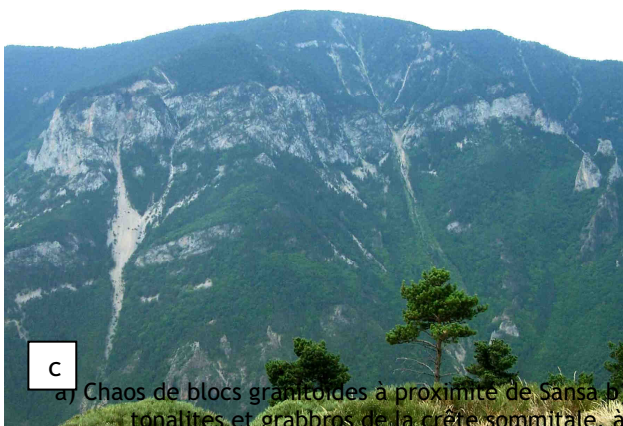
En résumant, les parties septentrionales et occidentales du massif sont essentiellement constituées de roches plutoniques, mais la plus grande partie (45% du PN, 42% du PT) du massif est formée par des formations paléozoïques siliceuses, essentiellement schisteuses (cf. carte 2.3). Au sud de la faille de Mérens, une bande de calcaires et de dolomies paléozoïques d'âge dévoniens divise le massif et les formations schisteuses et granitoïdes. Elle constitue la partie sommitale et orientale du Mont Coronat, et les crêtes du Pic de la Pelade.

Tab. 2.2 : types de roches rencontrés et surfaces occupés

classe	PN [%]	PT [%]	Formations typiques
Sédiments récents et actuels	6,1	6,1	Alluvions, colluvions, cônes de déjection, éboulis récents, moraines des vallées et cirques, sédiments néogènes (mio-/pliocènes)
Roches carbonatées (essentiellement dévoniens)	18,8	11,1	Calcaires (c. griottes, à chailles,...), dolomies, marbres
Roches cristallines essentiellement granitoïdes (plutoniques)	29,9	40,9	Granites et leucogranites, tonalites et leucotonalites, granodiorites, diorites et microdiorites, albitites, granulites, porphyroïdes, quartz filonien, orthogneiss
Roches sédimentaires paléozoïques siliceuses, (parfois +/- métamorphisées)	45,2	42,0	Schistes variées (rubanées, satinées, tachetées, grés-pélimitiques, grauwackeux, carburés...) shales, silts, argilites, grès, conglomérats, micaschistes, calcschistes

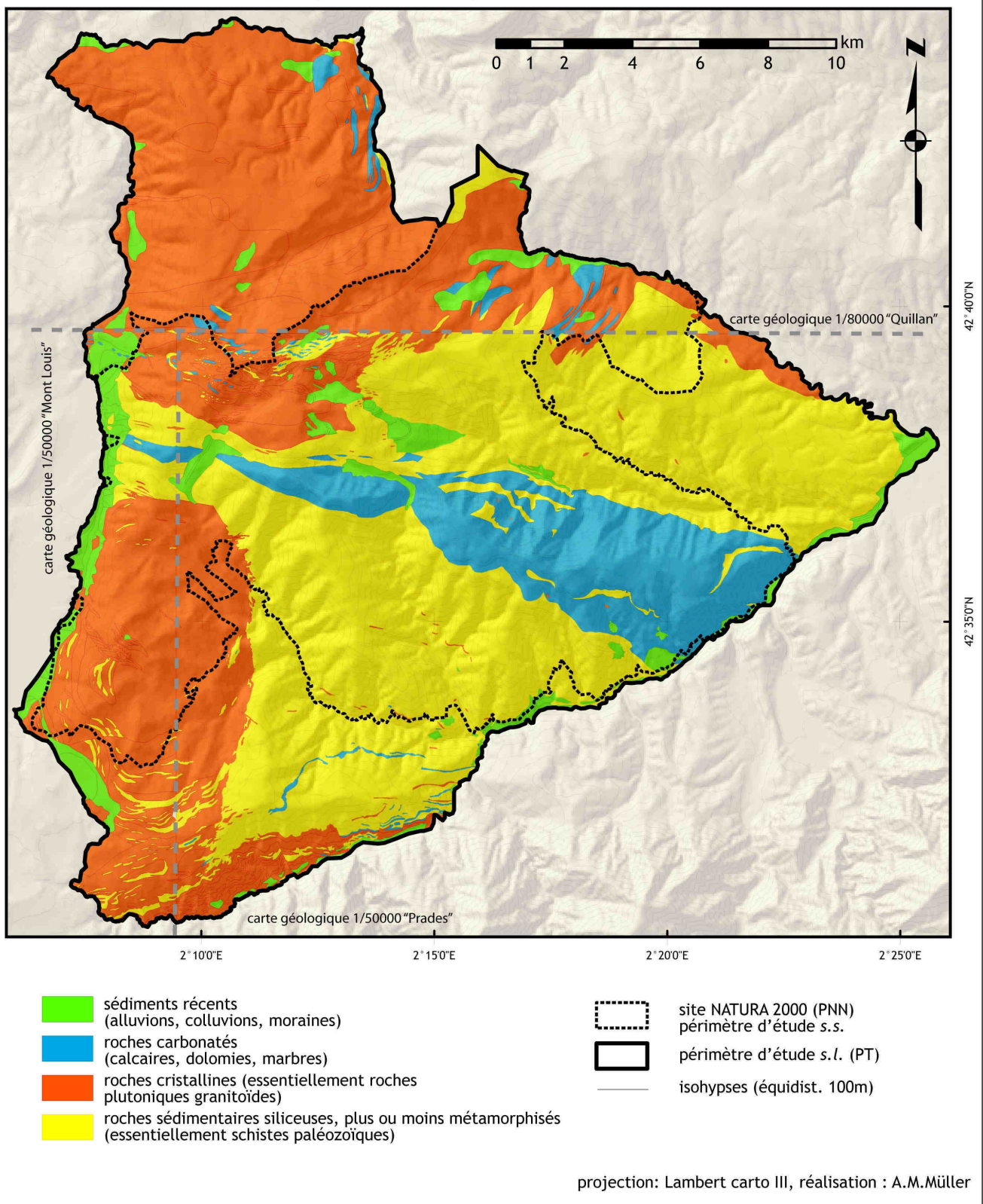
Sources : notices des cartes géologiques (BRGM), interprétation cartographique A. Müller

Photos 2.8 (a-d) : affleurements caractéristiques



a) Chaos de blocs granitoïdes à proximité de Sansa; b) Septum (ordovicien ou dévonien ?) dans les granodiorites tonalites et gabbros de la crête sommitale, à proximité du Col des Gavaches, vue vers le Nord; c) Affleurements de calcaires (infra-griottes : Bande supérieure) et calcaires dolomitiques (en bas à gauche), sur le versant Nord du Mont Coronat; d) *Blockhalde* (champ de blocs) d'exposition nord-ouest dans la Coume de Pontails. Clichés A. Müller, 2006

Carte géologique simplifiée (4 classes)



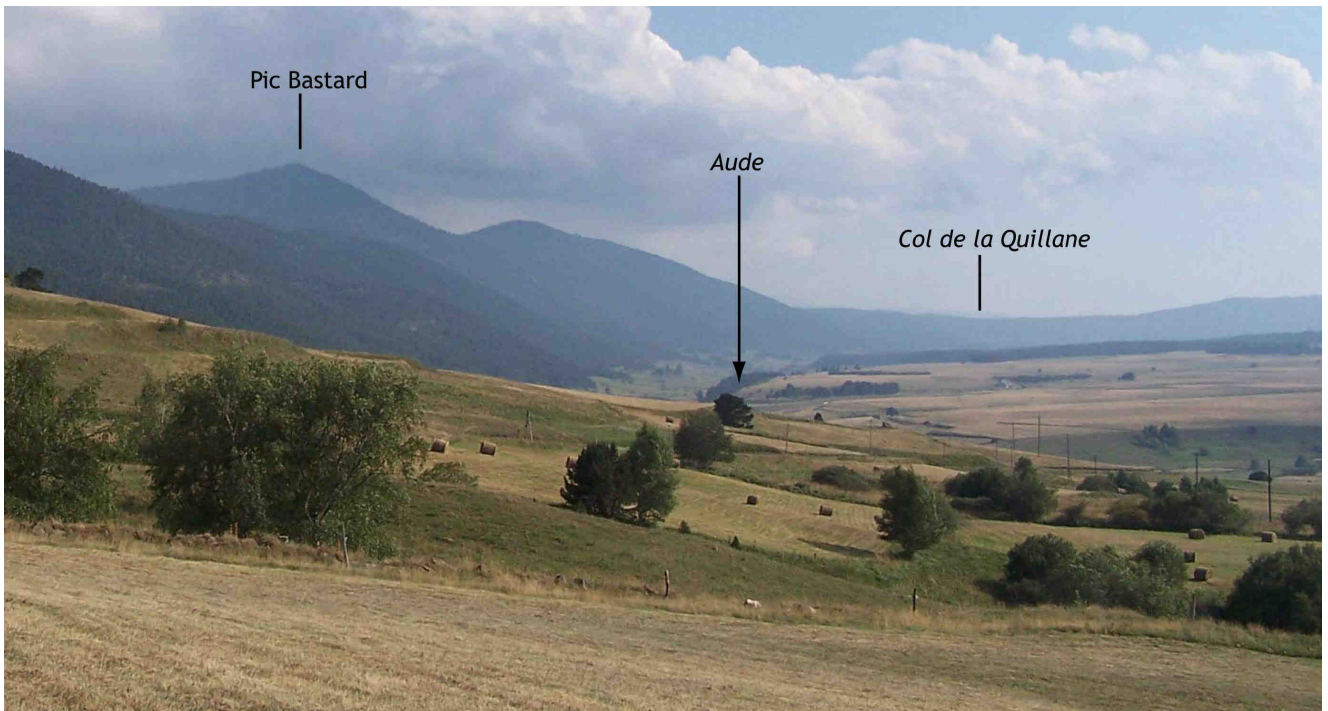
Carte 2.3 : Carte synthétique générée à partir des cartes géologiques de Prades (1/50000) de Mont Louis (1/50000) et de Quillan (1/80000) en 4 grandes classes (roches plutoniques, schisteuses et carbonatées, sédiments récents)

Sources : BRGM : carte géologique 1/50000 de Prades (N° 1095, 2001) et Mont Louis (N° 1094, non édité 2006), carte géologique au 1/80000 de Quillan (N° 254, 1938), carte au 1/80000, feuille de Prades (N° 257, 1968)

Photos 2.8 et 2.9 : transition nette entre le Massif du Madres et la plaine du Capcir :

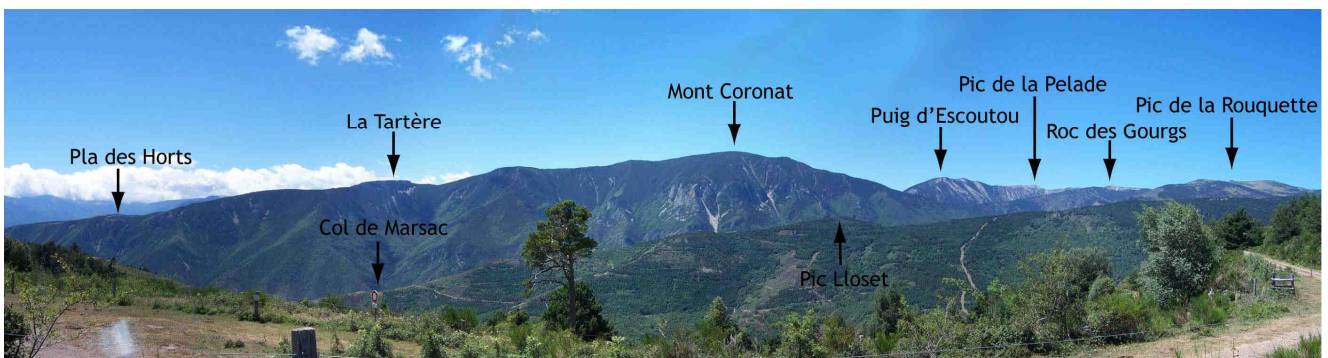


Panorama (ci-dessus) : A. Müller, janvier 2009, vue sur la partie occidentale du massif depuis les Angles



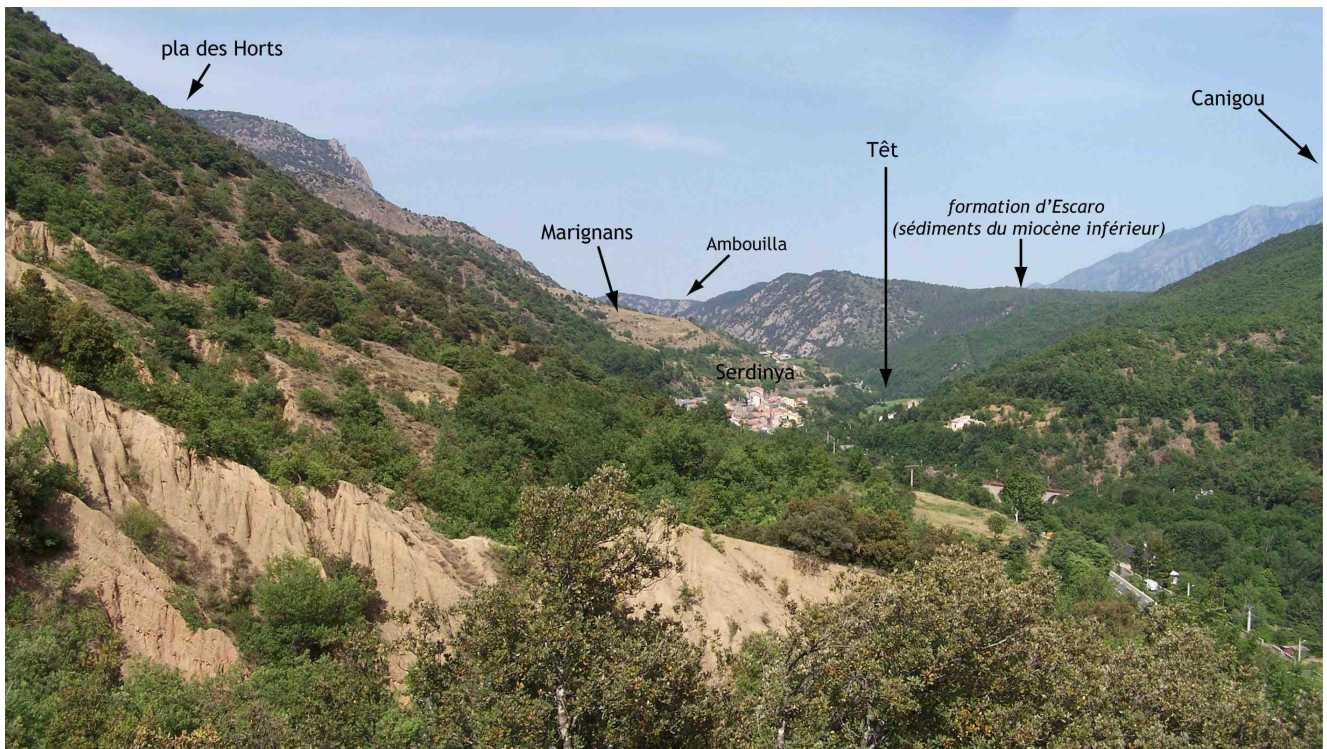
Cliché (ci-dessus) : A. Müller, juillet 2006, plaine supérieure, vue depuis les prairies de fauche entre Odeillo et de Réal vers le col de la Quillane au sud

Photo 2.10 (ci-dessous) : Les bac du Mont Coronat à pentes raides associés à la faille de Mérens

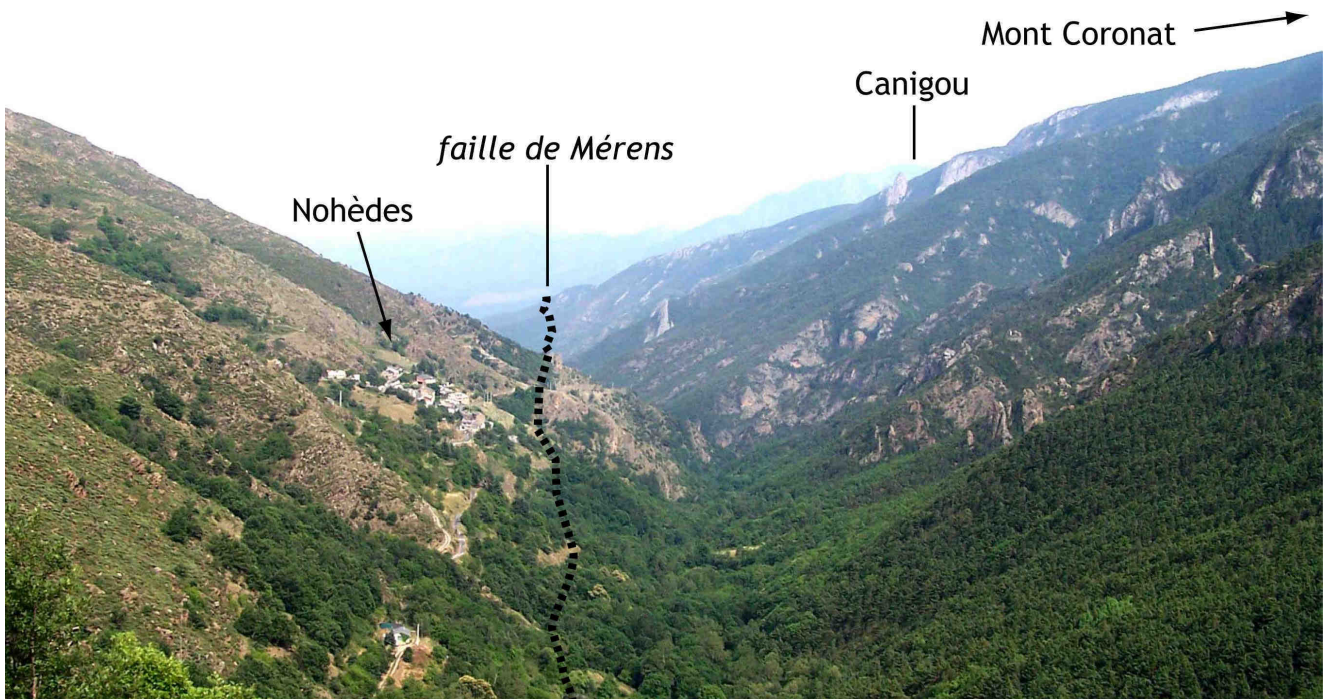


Cliché (ci-dessus): A. Müller, mai 2007, Les pentes boisées du Mont Coronat (2172 m) vue du nord et la prolongation du relief inversé du synclinal calcaire de Villefranche vers l'ouest (droite) : Puig d'Escoutou et Pic de la Pelade.

Photos 2.11 et 2.12 : particularités morphologiques locales



Cliché (ci-dessus): A. Müller, juin 2006, vue vers l'est sur le secteur épigénétique de la vallée de la Têt, à droite la surface des formations d'Escaro et de Lentilla (dépôts miocènes), à gauche la surface d'aplanissement des Horts au dessous de l'éboulement de Marignans. Au premier plan les dépôts, non datés schisteuses formant des orgues (R35)



Cliché (ci-dessus): A. Müller, juin 2006, vallée de Nohèdes, soulane schisteuses (gauche), bac (ubac) calcaire (droite), la faille de Nohèdes est bien visible dans le paysage

2.3.1.3. Relief actuel et topographie

Le dôme du Madres-Coronat

Comme le suggèrent les photos de présentation et la carte de localisation topographique (cf. photos 2.1, 2.2 et 2.8), le Massif de Madres-Coronat constitue de loin un dôme à la courbure assez régulière qui contraste avec les massifs voisins aux formes plus aiguës. Les surfaces d'aplanissement sommitales contribuent à cet effet. Cependant, vue de près, le relief est plus accentué, notamment à l'intérieur du massif dans les vallées remodelées par la glaciation et au niveau des parois rocheuses calcaires au nord et au sud-est du Mont Coronat (cf. carte des pentes). Le Massif du Madres-Coronat, plus bas que les massifs voisins (Carlit-Campcardos et Canigou-Carança-Puigmal) atteint 2469 m (sommet du Madres). Le périmètre morphologique du Massif (PT) trouve son point le plus bas à la confluence de la Castellane avec la Têt en dessous du Mas Riquer à environ 310 m (MNT : 311 m ; dernière côte sur la carte IGN, pont de Catllar 328 m). Le site SIC Madres-Coronat (PNN) descend jusqu'au pied des parois calcaires de Villefranche, sur la rive gauche de la Têt à environ 435 m d'altitude (MNT : 439 m, au dessous de la courbe de niveau 430 m sur la carte IGN) (cf. carte topographique 2.4 ci-dessous). Cette extension verticale de 2160 m sur une distance à vol d'oiseau de 19.7 km : 11% (respectivement de 2030 m sur 16.2 km : 12.6%) provoque une certaine « énergie du relief » (*Reliefenergie*), dont témoignent les vallées bien incisées des rivières de Cabrils (Garrotxes), de Nohèdes et d'Evol.

A partir du MNT (BD alti, IGN), avec une précision relativement modeste de 50 m, il est possible de calculer la surface tridimensionnelle, qui est à ce niveau de précision de 9.4 % plus importante que la surface cartographique sur le plan (9.5% pour le périmètre PNN). Il en résulte une surface tridimensionnelle du périmètre PT de 428 km² (+36,7 km²), respectivement de 236 km² (+22.5 km²) en ce qui concerne le périmètre du SIC (PNN). Le volume occupé par le Massif est d'environ 610 km³, au dessus du niveau de la mer.

Un relief hétérogène

Les paysages portent l'empreinte des formations géologiques et les traces de la géodynamique néogène et quaternaire. Les granitoïdes des plutons de Mont Louis et de Quérigut coïncident généralement avec des paysages aux reliefs plus émoussés que ceux du versant Nord et ceux au sud-est du Mont Coronat dominés par les roches carbonatées en bancs ou encore les versants schisteux raides et qui coïncident avec les cours inférieurs bien encaissés des rivières de Cabrils, d'Evol, de Nohèdes et de la Castellane. Entre Serdinya et Ria la Têt a créé une cluse épigénique dans les dolomies et calcaires dévoniens, bien visible sur la carte des pentes. Suite à la sédimentation continentale dans le bassin d'effondrement du Conflent venant surtout du massif du Canigou et de la Carança, la Têt a été, d'après Pierre Birot « *évidemment repoussée au nord du bassin pliocène, puis s'est enfoncée sur place* » (Birot, 1937 :56).

La faille de Mérens constitue une limite assez franche dans la partie orientale du Massif où elle divise la vallée de Nohèdes en une soulane schisteuse et un bac calcaire (cf. photo). L'escarpement rectiligne qui sépare le plateau du Capçir du Massif du Madres-Coronat est encore

plus nettement visible dans le paysage (photos ci-dessous), renforcé par un changement d'occupation de sol entre les prairies de fauche et la pinède qui se calque assez bien sur le changement de substrat et une accentuation de la pente. Enfin, les aplanissements néogènes dont il était question plus haut sont clairement visibles sur la carte des pentes (cf. carte 2.5 ; pentes $<5^\circ$, dans une moindre mesure $<10^\circ$), et la carte des courbures (cf. carte 2.6, surfaces assez planes) et se devinent également sur la carte des formes topographiques (cf. carte 2.7 ; versants supérieurs, vert clair).

On peut distinguer cinq vallons qui partent du groupe des sommets principaux⁸⁷ constitué par le(s) Madres, le Roc Nègre 2459 m à l'est, le Pic du Bernard Sauvage 2423 m au nord, et le Roc des Gourgs au sud-est, 2352 m. Ils dominent les vallées des Garrotxes au sud (drainé par la rivière de Cabrils), la vallée de l'Aiguette au nord et les vallées de la Castellane, de Nohèdes (où la confluence de la rivière de Nohèdes et d'Urbanya constituent la *rivière de Caillan* ou *el Callau*) et d'Evol vers l'est. Le réseau hydrographique, de forme imparfaitement radial présente un caractère asymétrique en raison de l'escarpement de faille à l'ouest du massif. Ce « *système de vallées rayonnantes* » (Biro, 1937 :18) constitue le fondement du découpage en sept principaux bassins versants, définis sur le site d'étude (cf. carte supplémentaire et la carte topographiques ci-dessous). En effet, le versant occidental du Massif (PT) avec de nombreux petits ravins constitue une partie du bassin versant de l'Aude auquel se joint plus en aval le bassin versant de l'Aiguette, tandis que le versant méridional fait partie du bassin versant de la Têt à laquelle se joignent les quatre autres vallées (Garrotxes, vallées d'Evol, de Nohèdes et de la Castellane). Séparant le bassin versant de l'Aude et celui de la Têt, la ligne de partage des eaux passe par le col de Quillane (1713 m) au sud-ouest, et longe ensuite les crêtes par le (el) Dormidor, le col de Torn (coll del Torn)⁸⁸, le Pic Bastard (Pica Bastard), le col de Creu, le col de Sansa, le Roc Couscoune (2132 m), le Madres, le Pic du Bernard Sauvage, le col de Jau jusqu'au Pic Dourmidou qui sépare le bassin versant de l'Aiguette du bassin versant de la Castellane.

Traces quaternaires

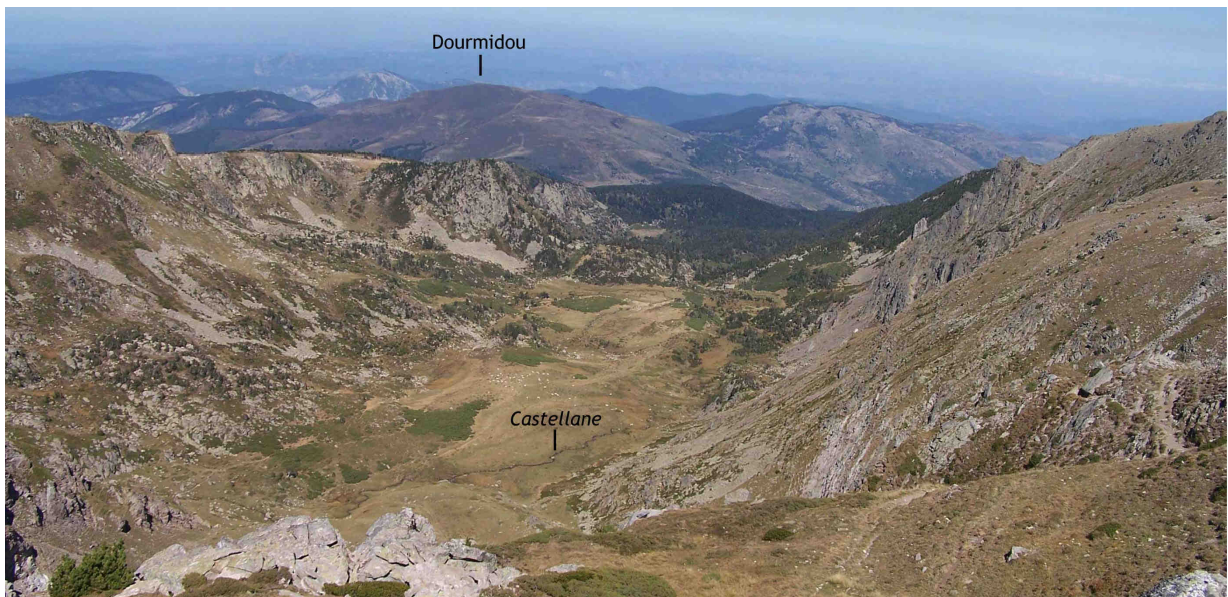
Les parties supérieures des cinq vallées rayonnantes du Madres-Coronat sont remodelées par les glaciations quaternaires. Des murailles de cirques entaillent les *plas* sommitaux et constituent en effet un contraste bien individualisé sur la carte des pentes. Les cirques sont encore bien visibles, notamment des vallées orientales de la Castellane, de Nohèdes et d'Evol. Dans les deux dernières, des lacs ont pu se conserver dans les parties surcreusées et forment aujourd'hui le gorg Estelat, le gorg Blau (Nohèdes) et le gorg Nègre (Evol). Dans la Coume de Ponteils, partie supérieure de la vallée de Cabrils (Garrotxes), l'étang de l'Ours marque un petit cirque en dessous du Col de Gavaches. Ce dernier, un peu plus petit que le gorg Blau a aujourd'hui tendance à s'assécher périodiquement. A la même altitude, à l'extrémité septentrionale de la Coume de Ponteils la tourbière du Clot Redon (2257 m), à 200 m en dessous du sommet du Madres semble témoigner des restes d'un cinquième lac aujourd'hui disparu.

⁸⁷ D'où vient probablement la dénomination populaire « les Madres » au pluriel

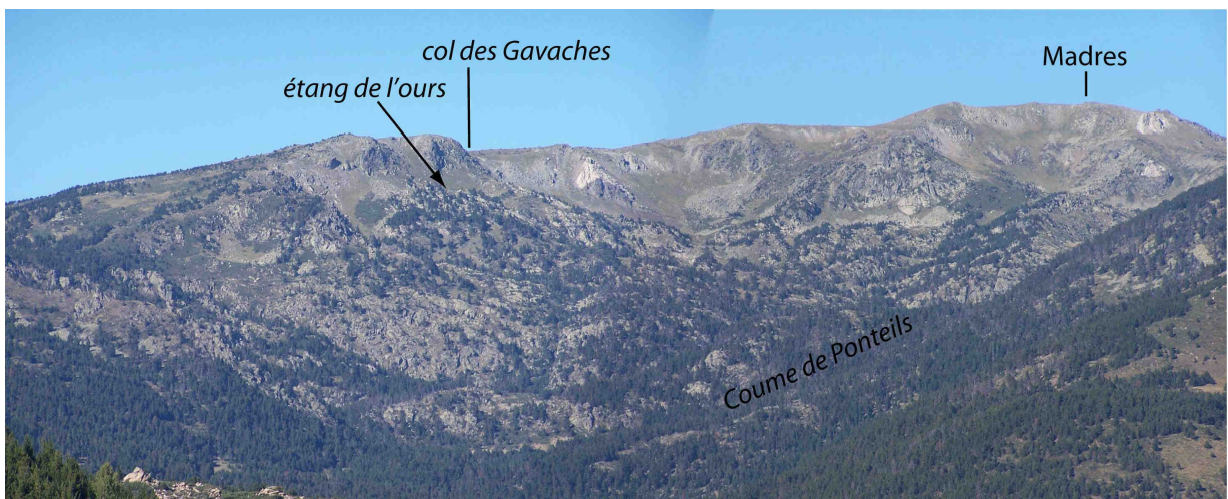
⁸⁸ N.B. Il existent deux cols dénommés « coll del Torn » au sein du massif de Madres-Coronat, un au nord d'Urbanya et un deuxième à l'ouest de Caudiès-de Conflent auquel est fait référence.

Verrous et ombilics aujourd'hui occupés par des tourbières ainsi que le matériel morainique omniprésent témoignent des langues glaciaires, descendues ces cinq vallées sur plusieurs kilomètres. Les limites inférieures des glaciers ont été indiquées pour la vallée de Nohèdes par Pierre Birot à 950 m (Birot, 1937), Fritz Nussbaum constate que la moraine frontale la plus basse dans la même vallée se situe à 1050 m, même si des gros blocs sont encore présents à 960 m d'altitude (Nussbaum, 1945), observation confirmée par Marc Calvet qui indique également le niveau de 1150 m d'altitude pour les moraines d'origine rissienne (Calvet, 1996) et à 1640 m pour les dépôts glaciaires d'origine würmienne. C'est dans la vallée de la Castellane d'orientation ENE que les glaciers descendaient au plus bas, jusqu'à 1012 m selon Calvet (Calvet, 1996), présentant une longueur de 8,5 km (Nussbaum, 1945). En moyenne l'extension maximale des fronts des glaciers du Madres a été évaluée par Calvet à 1350 m, d'une longueur d'au moins 5 km (Evol, selon F. Nussbaum). On peut noter des variations peu surprenantes entre les versants d'orientation S/ SE et N /NE (Evol : 1400 m ; Cabrils : 1525 m selon Nussbaum, respectivement 1450 m et 1550 m selon Calvet ; Aiguette : 1200 m selon F. Nussbaum, 1150 m selon M. Calvet). Marc Calvet indique pour le massif une limite des neiges permanentes pléistocène d'environ 1850-1900 m d'altitude sur les versants nord et de 2000 à 2050 m au sud (Calvet, 1996 :834). Enfin, il est remarquable que ce ne soit pas la vallée de l'Aiguette, exposé au flux dominants NW, au vent et à l'ombre des sommets qui ait produit les langues glaciaires les plus longues et les cirques les plus marqués. En effet, la neige déposée sous le vent a provoqué suralimentation des versants à l'est avec les formes les plus explicites menant au « cas d'école » du Madrès avec « *une ciselure de cirques exclusivement tournée à l'E et au SE* » (Calvet, 1996 :836). Les cirques sont peut évidents sur la carte topographique à isohypses équidistantes de 100 m, mais apparaissent sur la carte des pentes et s'identifient mieux encore sur la carte des courbures (de pente) ou ils apparaissent en forme de fer à cheval à l'opposé des crêtes rectilignes.

Photos 2.13, et 2.14 : les hautes vallées du Massif du Madres (1)

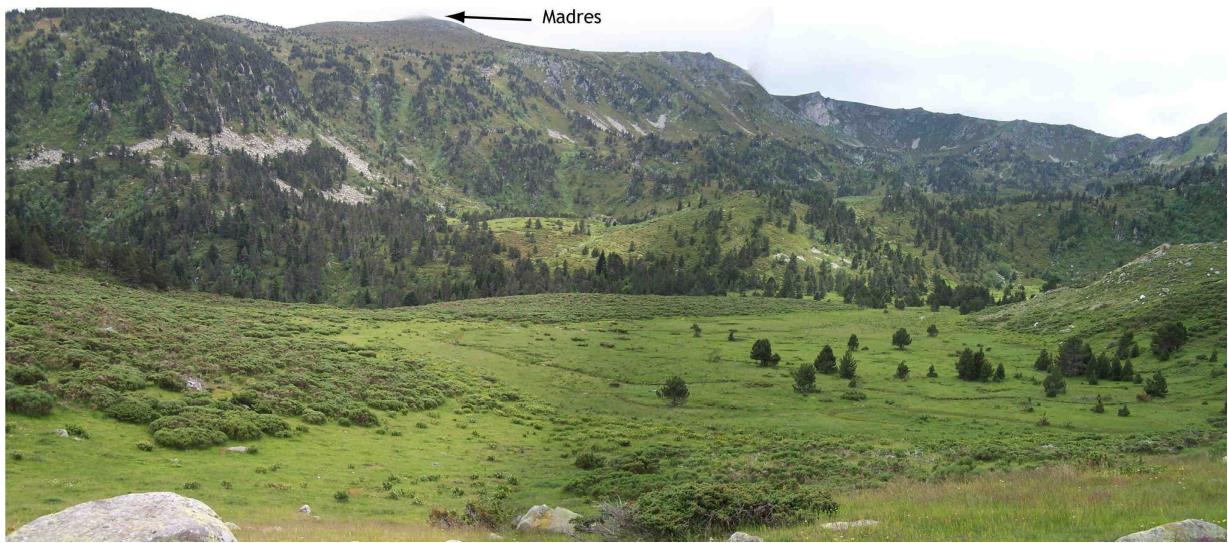


Cliché 2.13 (ci-dessus): A. Müller, août 2006, la vallée de la Castellane vu depuis le Roc Nègre vers nord-est

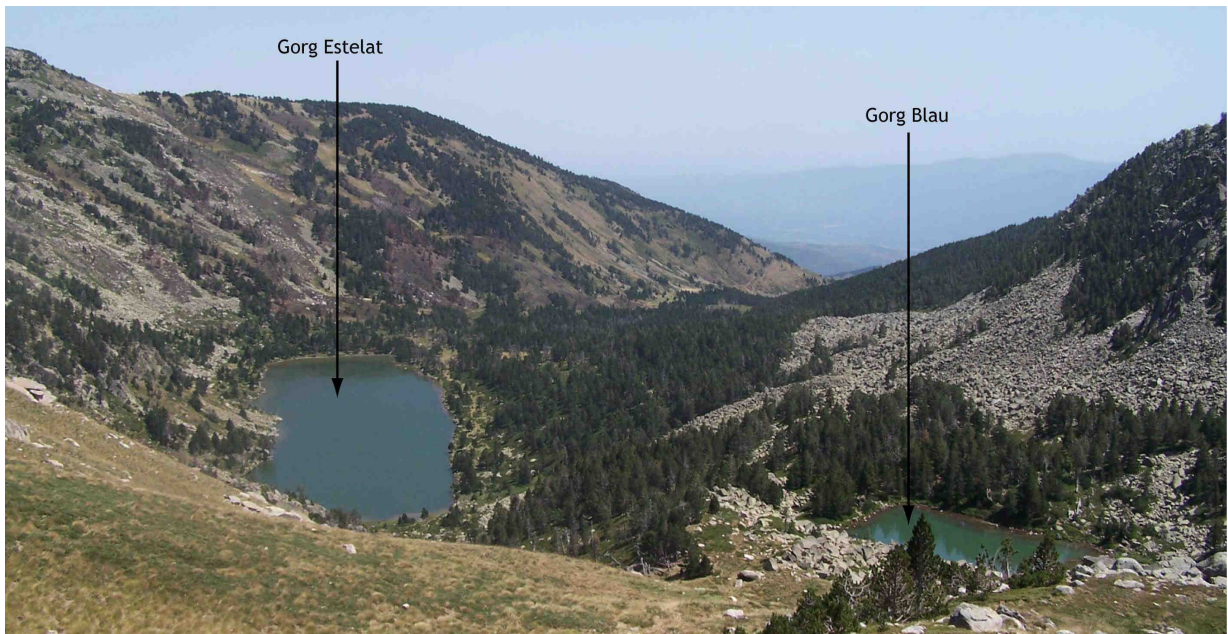


Cliché (ci-dessus): A. Müller, août 2006, vue vers le nord sur la Coume de Pontails, haute vallée de Cabrils (Garrotxes) dominé par le sommet du Madres. On note les septa (« lentilles ») carbonatés plus claires

Photos 2.15, et 2.16 : les hautes vallées du Massif du Madres (2)

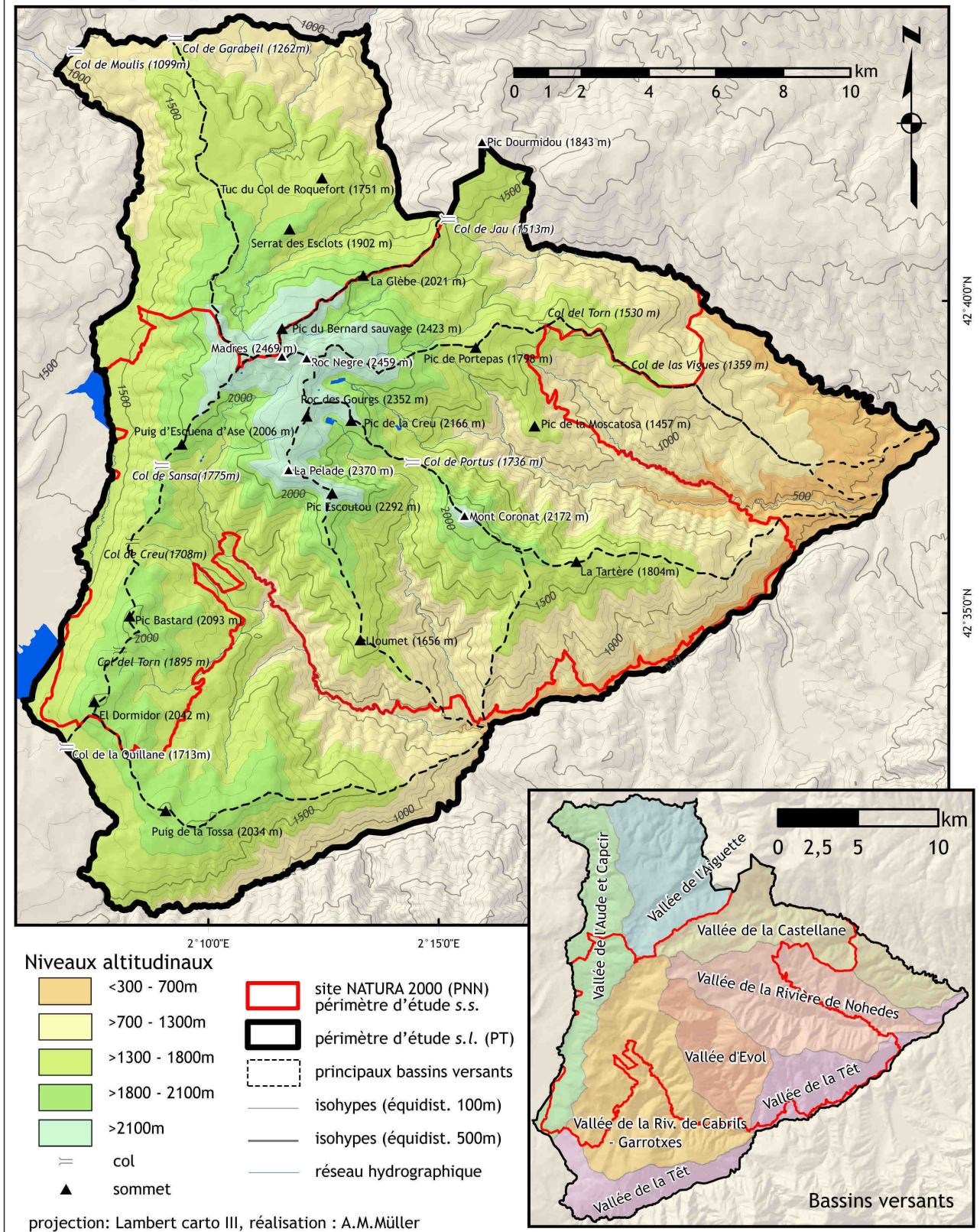


Cliché (ci-dessus): A. Müller, mai 2007, les pâturages du Madres audois, vue vers le sud, sur le versant nord du Madres et la haute vallée de l'Aiguette



Cliché (ci-dessus): A. Müller, août 2007, les lacs d'origine glaciaire de la vallée de Nohèdes, dans un paysage dominé par les granitoïdes ; vue vers l'est

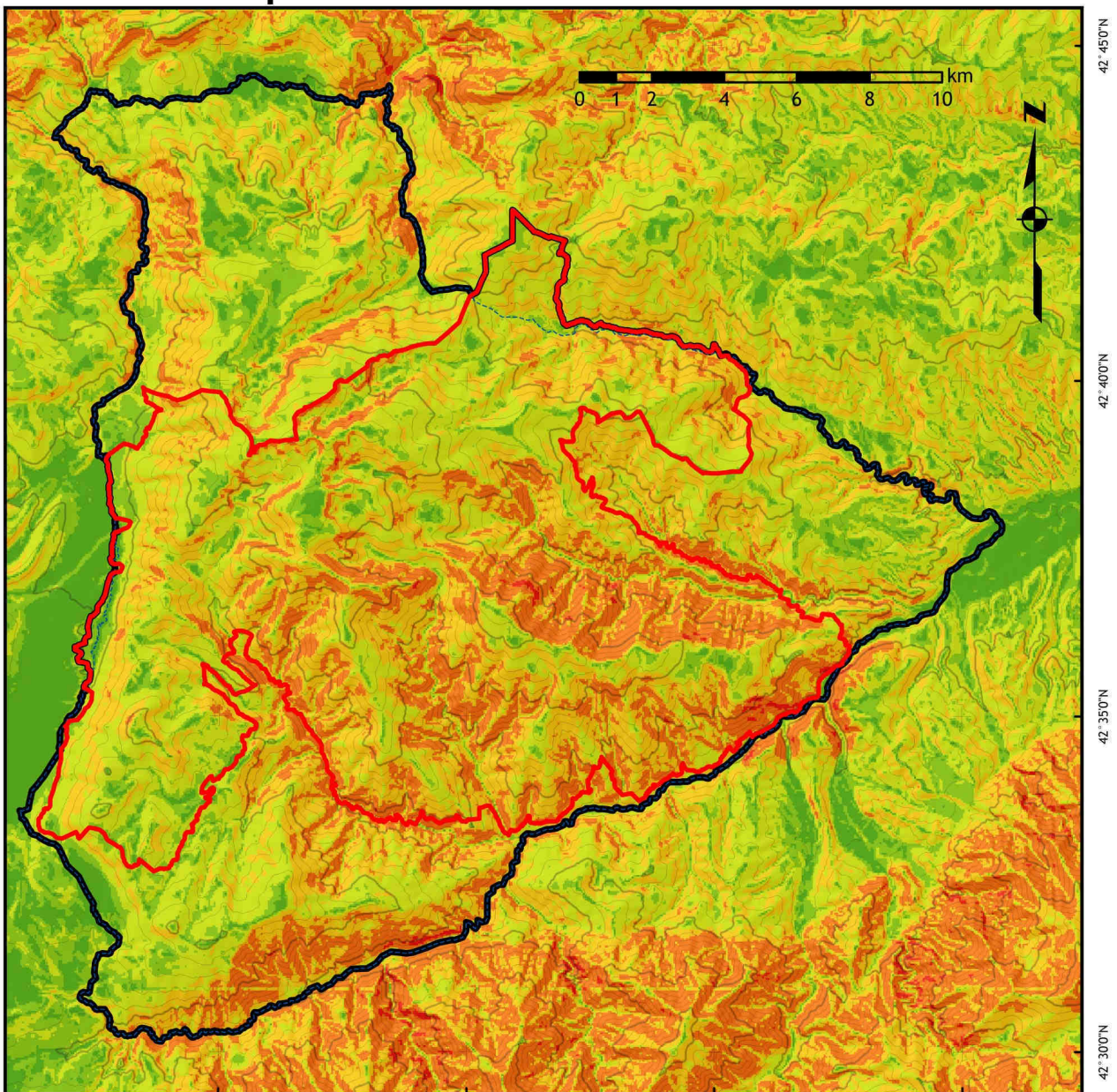
Topographie et niveaux altitudinaux



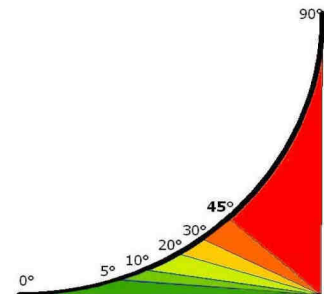
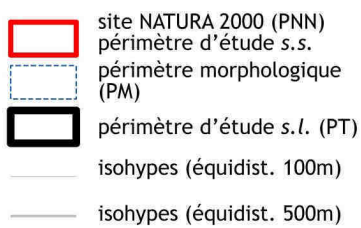
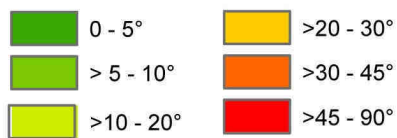
Carte 2.4 : Carte de la topographie et des principaux sommets du Massif de Madres-Coronat.

N.B. : Y figurent les cinq niveaux altitudinaux retenus pour l'échantillonnage. Sources utilisés : Modèle Numérique de Terrain et carte topographique IGN, couches mises à disposition par l'AGRNN (périmètre Natura2000), réalisation A. Müller Sources : MNT, réalisation A. M. Müller

Carte des pentes



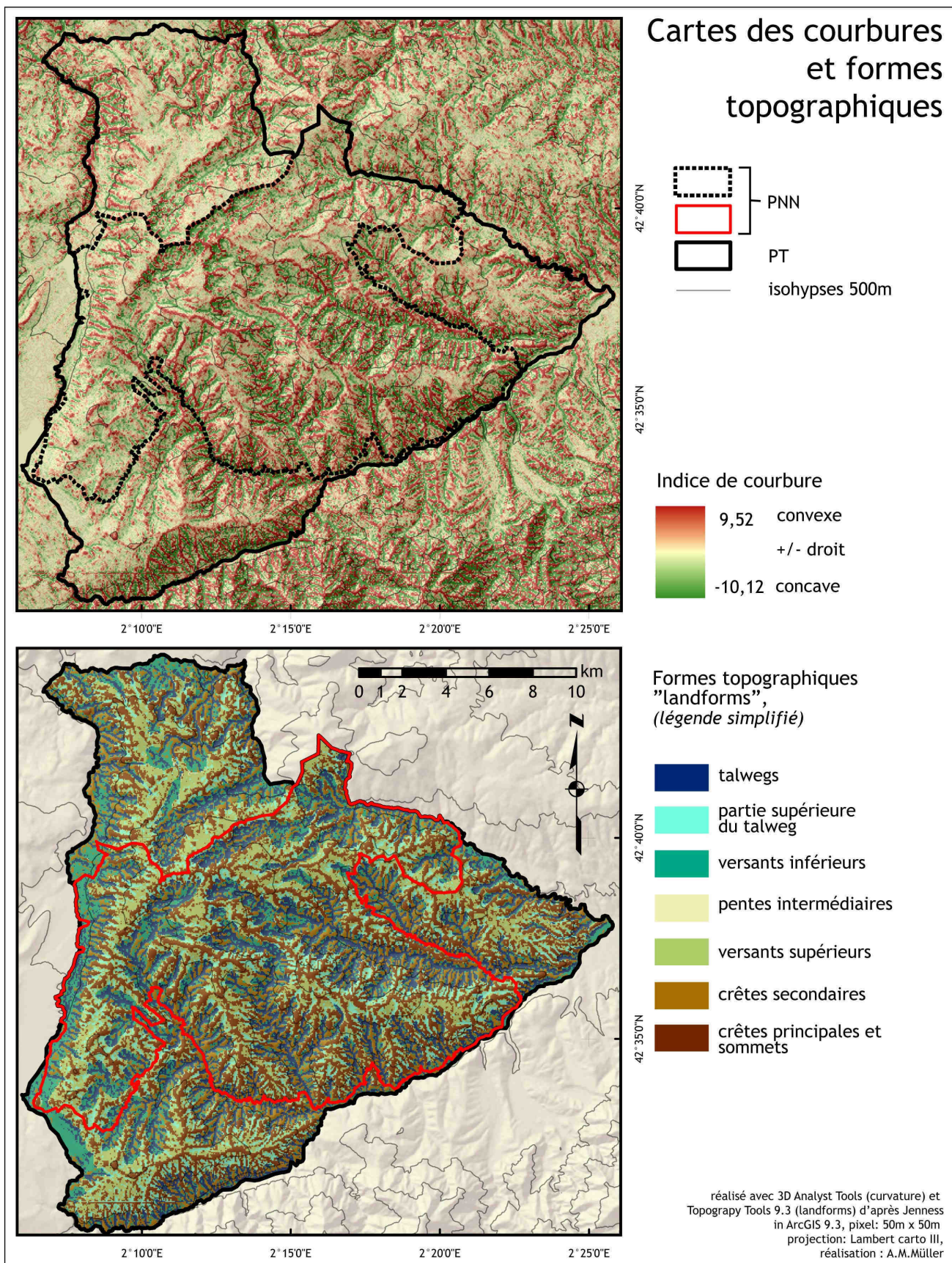
Pentes (6 classes)



projection: Lambert carto III, réalisation : A.M.Müller

Carte 2.5 : Carte des pentes du Madres-Coronat (6 classes)

Source : Modèle Numérique de Terrain IGN (50 m) et données AGRNN (périmètre Natura2000), réalisation A. Müller



Cartes 2.6 et 2.7 : Courbures topographiques et carte simplifiée des formes topographiques selon la classification de Jenness.

Source BDalti MNT (IGN) 50 m, extensions pour ArcGIS, réalisation A. M. Müller

2.3.1.4. Caractère des sols

Peu d'informations détaillées sont disponibles en ce qui concerne les sols du massif. La carte pédologique de la France au 1/100 000 couvre en 2001 seulement environ 15% du territoire métropolitain (King et Saby, 2001) et la seule carte éditée dans les Pyrénées, la feuille Argelès-sur-mer - Perpignan (feuilles L24 et L25) publié en 1971 occupe malheureusement que la partie maritime du département des Pyrénées Orientales (Servant et Servat, 1972; Tricart, 1972).

En revanche, le travail de la SAFER du Languedoc-Roussillon effectué par P. Simmoneau (Simmoneau, 1985) résume le caractère des sols des Pyrénées Orientales d'un point de vue agro-pédologique et livre quelques informations intéressantes sur le secteur. Dans la région agricole du Conflent désigné par cet auteur, c'est l'ensemble morphologique « *massif granitique de l'Agly orientale* » qui nous intéresse ici, car il englobe « *la vallée de la Casteillane* », « *le Massif de Conat* » incluant la vallée de Nohèdes et la vallée d'Urbanya, « *la vallée d'Evol* » et « *les Garrotxes* ». Dans tout le secteur et sur tous les substrats (granitiques, schisteux plus ou moins métamorphisés ou calcaires) Simmoneau constate des sols peu profonds et pierreux, sols squelettiques et lithosols. Les rares cultures encore présentes dans les années 1980, surtout dans la vallée de la Castellane, mais aussi près de Conat se situent sur sols alluviaux récents des fonds de vallées ou encore sur des sols colluviaux suffisamment profonds sur les parties basses ou replats de versant (exemple de Flassa, vallée de la Têt). Simmoneau mentionne en 1985 encore quelques sols arrosés par les dérivations et canaux (Conat, Evol). Sur les substrats d'origine glaciaires persistent des assez bonnes pâtures et prairies de ces secteurs élevés. Avant la première guerre mondiale, même les sols les plus maigres de la vallée d'Evol portaient des cultures de seigle, parfois d'orge jusqu'à une altitude de 1800 m et Simmoneau mentionne des terrasses de culture (*feixes*) sur les sols schisteux, sur des pentes avoisinants 50% au sud-ouest du village d'Evol et grim pant jusqu'à 1500 m, 1600 m, voire 1700 m dans les Garrotxes.

En effet les terrasses et canaux d'irrigation sont nombreux, notamment sur les soulanes et dans les vallées de Nohèdes, d'Evol, des Garrotxes et les soulanes du Coronat (cf. Alcaraz, 1999). Même si la plupart des terrasses de culture et de canaux d'irrigation sont aujourd'hui abandonnés et dans un état souvent assez dégradé ils témoignent du « monde plein » à son apogée au début du XIXème siècle.

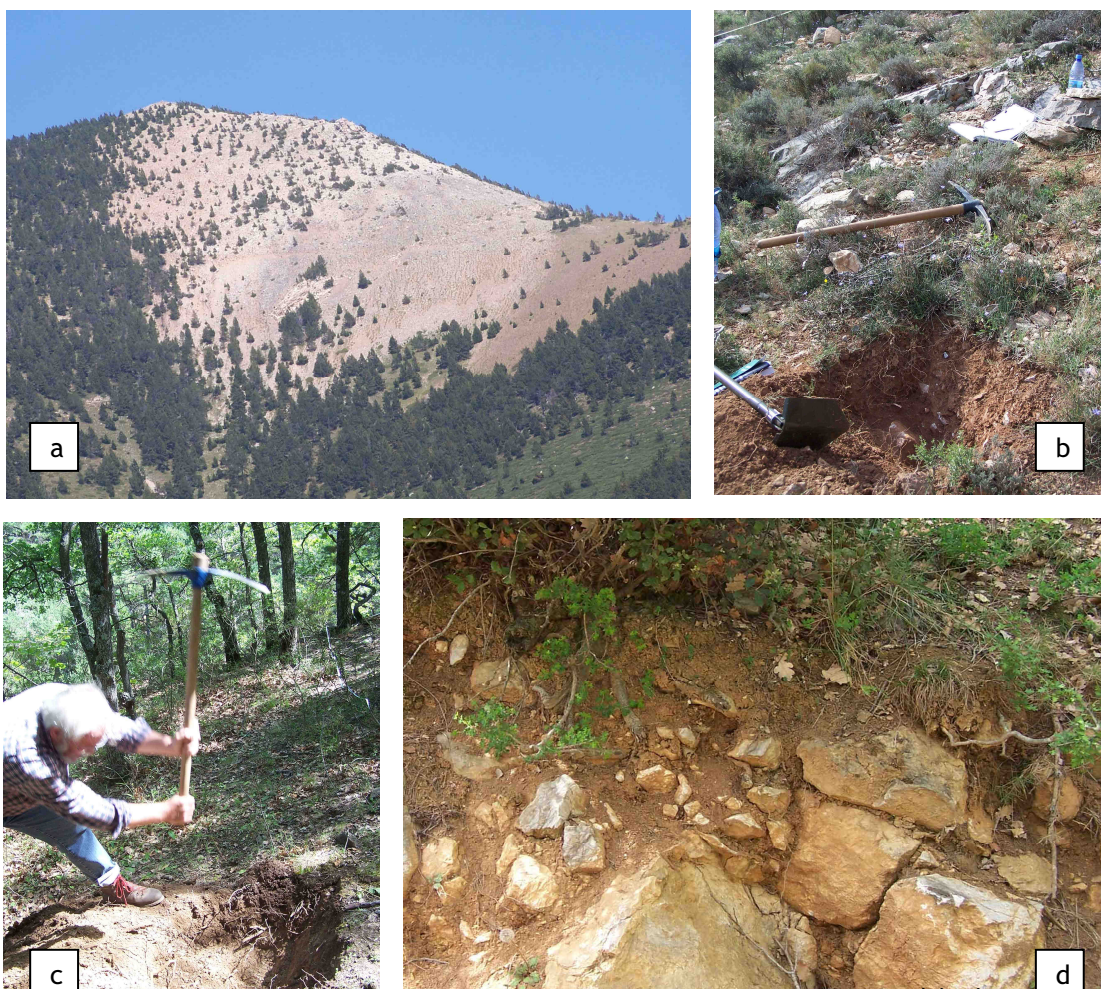
La carte de la végétation (édition 1070, feuille N°78 « Perpignan » (Gausson, 1972)) dispose d'un « carton pédologique » avec une légende intéressante qui tient compte du degré d'évolution sous influence du climat méditerranéen ou lessivage et du type de roche-mère (calcaire ou siliceuse). L'ensemble du périmètre d'étude (PT) est dominé par une hachure indiquant la présence dominante des sols superficiels appelés « *Lithosols* ». Tenant compte de la petite échelle originale de la carte (1 : 250 000), le zonage reste cependant assez grossier. Associés aux lithosols elle indique pour la plus grande partie du périmètre, plus précisément pour la vallée de l'Aude, la vallée de la Castellane et les secteurs sur schistes de la vallée de Nohèdes, d'Urbanya et la partie supérieure de la vallée de la Têt (environ entre Canaveilles et Fontpedrouse) des « *sols bruns acides* ». Pour les parties les plus élevées du massif, sur roches siliceuses, le carton signale des « *sols ocres podzoliques* » et c'est seulement dans les étages inférieurs de la vallée de la Têt qu'on observe pour les secteurs à roche siliceuse (de Canaveilles à Serdinya, environ) un sol brun eutrophe. Le

secteur à roche carbonatée du massif Pic de la Pelade jusqu'à Ria est dominé par des rendzines. Les sols rouges méditerranéens sont indiqués seulement en aval de Prades et ne concernent pas le secteur étudié, ce qui confirme nos propres observations.

Dans le cadre d'un essai de modélisation du déficit hydrique de la soulane de Garrotxes un rapport de DESS de 2003 (Ascencio, Escarnot *et al.*, 2003) se fonde sur l'étude de quelques fosses pédologiques effectuées sur la soulane des Garrotxes. Le rapport ne précise pas les types de sols constatés mais fournit toutefois quelques informations sur la granulométrie, la profondeur des sols et l'enracinement sur des substrats notamment schisteux. Généralement sableux à limono-sableux ces sols montrent une profondeur très variable en fonction de la position dans versant variant ici entre 5 cm et 90.

Enfin, sur une partie schisteuse du versant nord du Mont Coronat A. Baudière, G. Jalut et A. Turmel ont réalisé une étude plus fine des sols sur huit stations sous hêtraie, incluant des analyses granulométriques, le rapport C/N, la capacité d'échange en cations, le pH(H₂O) et le rapport S/T (saturation) (Baudière, Jalut *et al.*, 1986). Les valeurs indiquées pour ces paramètres constituent à notre connaissance l'essentiel des informations précises disponibles sur les sols du massif permettent une comparaison avec nos propres données, abordé dans la troisième partie.

Photos 2.17 a-d : des sols peu profonds



a) La soulane rocaillieuse du Puig Escoutou en voie de lente recolonisation par les pins déjà décrit par Desailly (Desailly, 1988) ; b et c : sols peu profonds et pierreux sur calcaire à Belloc et près de Nohèdes où pelle et bêche s'avèrent bien plus inutiles que la pioche c) bord de chemin près de Belloc. Clichés : Anja Müller

2.3.2. Régimes climatiques pluviothermiques

2.3.2.1. Données météorologiques et climatiques

Comme le laissent supposer la position du barycentre du massif (2° 14'36''E; 42° 38'30,5''N ou moyenne pour PT et PN : 2,25°E, 42,63N) et son altimétrie, ce dernier se trouve dans une position de carrefour où se rencontrent les influences atlantiques et méditerranéennes auxquelles se superposent les caractéristiques montagnardes. En complément aux informations sur le climat des Pyrénées Orientales savamment synthétisés en 1986 dans l'ouvrage de référence de Jean-Pierre Vigneau (Vigneau, 1986) on peut ajouter ici quelques détails sur les moyennes pluviothermiques des derniers 20 ans.

Les moyennes annuelles des précipitations et des températures pour quelques stations entourant le massif (*cf.* tab. 2.3 ci-dessous) reflètent assez bien les différences d'altitude, et de positions respectives sur les différentes façades du massif. Conformément à la proposition faite par Raymond Balseinte pour la Savoie (Balseinte, 1955) on retiendra pour cette zone de montagne une année climatologique débutant au 1^{er} novembre et se terminant le 31 octobre de l'année suivante.

Tab. 2.3 : Moyennes de températures et de précipitations pour sept stations entourant le Massif de Madres Coronat valables pour la période de référence novembre 1987 à octobre 2007

Source : Météo France. NB : Pour la position relative des stations se référer aux cartes climatiques suivantes...

	unité	période de référence	CODALET (66)	OLETTE (66)	NOHEDES (66)	MONT LOUIS (66)	MOSSET (66)	ROQUEFORT-SUR-SAULT (11)	RAILLEU (66)
altitude station			450 m	615 m	1000 m	1600 m	750 m	1030 m	1340 m
Moyenne annuelle des précipitations	mm	11/1987 - 10/2007	616	577	838	689	814	1016	737
Moyenne mensuelle des précipitations	mm	11/1987 - 10/2007	51	48	70	57	68	85	61
Moyenne mensuelle des températures moyennes journalières	°C	01/1985 - 12/2004	13,41	11,55	10,04	6,90			
Moyenne mensuelle des températures moyennes journalières	°C	11/1987 - 10/2007	13,51	11,64	10,10				

2.3.2.2. Températures

En fonction de la disponibilité des données pour la période de référence de novembre 1987 - octobre 2007 seulement trois stations entourant le massif disposent de mesures de températures moyennes sans interruptions. Il s'agit des stations de Nohèdes, Olette et Codalet, les deux dernières

étant situé à basse altitude dans la partie septentrionale et orientale, donc méditerranéenne du massif. Pour une quatrième station (Mont Louis, 1650 m d'altitude) on dispose d'une série allant de 1987 à 2004.⁸⁹ Elle sera ajoutée à titre informatif, afin de mettre en évidence le gradient thermique entre Codalet (450 m d'altitude) près de Prades, Olette (615 m) et Mont-Louis (1650 m), stations situées le long de la vallée de la Têt. En considérant les altitudes des stations, on peut noter une diminution moyenne tout à fait typique de 0,56 °C/100 m (températures moyennes mensuelles, pour la période 01/1985-12/2004).

La figure suivante (fig. 2.1 ci-dessous) retrace la courbe classique des températures moyennes au cours de l'année avec un maximum en août et un minimum en janvier pour les quatre stations. Elle montre également une amplitude thermique légèrement plus accentuée pour Mont Louis en étage montagnard que pour Codalet encore soumis à l'influence méditerranéenne. Une amplitude un peu plus accentuée peut être également constatée pour Olette qui est à une distance à la mer à peu près semblable à celle de la station de Nohèdes, mais qui se situe dans une vallée abritée par rapport à la vallée de Nohèdes. Cette dernière est davantage ouverte aux entrées marines et apparaît globalement mieux arrosée. On peut également supposer que les effets d'inversion hivernale sont peut être plus importants au fond de cette partie de la vallée de la Têt que dans la vallée plus étroite de Nohèdes, le village et la station se situant en position de soulane près de 100 m au-dessus du fond de vallée. La barrière orographique du Mont Coronat avec une crête orientée ouest-nord-ouest est-est-sud-est est également susceptible d'accroître les différences de température.

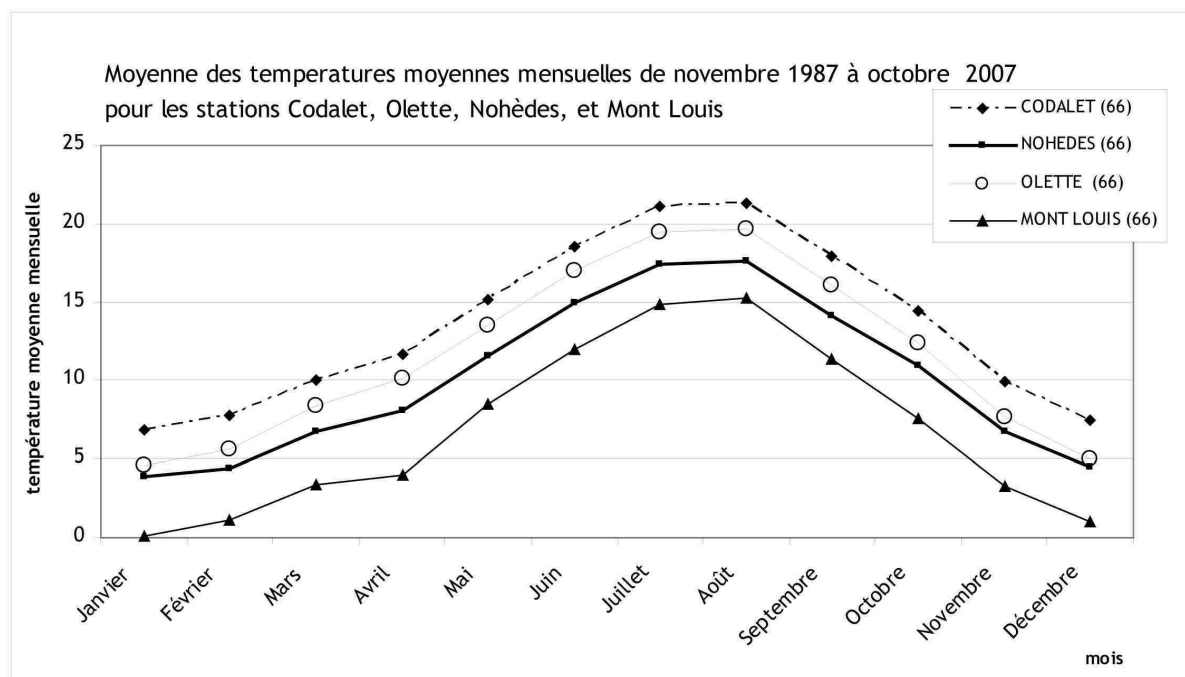


Fig. 2.1 : Températures moyennes mensuelles pour quatre stations des Pyrénées Orientales (Mont Louis, Olette, Nohèdes, Codalet près de Prades), période de référence 1987-2007

Source : Données Météo France, acquises par le laboratoire GEODE, réalisation Anja M. Müller

⁸⁹ Les données relatives aux températures moyennes à Mont Louis ne sont aujourd'hui plus disponibles dans la « climathèque » de METEOFrance. En effet, ils seront à considérer avec prudence en raison d'une tendance à la baisse des températures moyennes annuelles, qui diffère de la tendance à la hausse des températures constatées dans les trois autres stations. De façon purement spéculative, cela pourrait notamment expliquer pourquoi ces données ne sont aujourd'hui plus disponibles.

2.3.2.3. Pluviométrie

Moyennes mensuelles

Le régime des précipitations varie considérablement entre les versants atlantiques (Capcir et vallée de l'Aigrette : exemple de Roquefort-de-Sault) et méditerranéens (Vallée de la Têt : exemples d'Olette, de Codalet et dans une moindre mesure Mont Louis). Jean-Pierre Vigneau caractérisa la vallée de la Têt comme une « *diagonale sèche* », à l'abri autant des perturbations méditerranéennes grâce à la position du Massif du Canigou au sud-est, que des influences atlantiques dont les précipitations s'abattent d'avantage sur les versants exposés nord-ouest du Massif (Vigneau, 1986).

Ainsi les précipitations passent presque du simple au double d'un versant à l'autre : Pour la période de référence de novembre 1987 à octobre 2007, les précipitations annuelles dépassent à Roquefort-de-Sault (1030 m d'altitude) au nord du massif, 1015 mm par an, tandis qu'à Olette, au pied du versant sud (615 m d'altitude) la moyenne des précipitations pour la même période se restreint à 577 mm par an. A la station de Nohèdes (42° 37'36"N, 2° 16'36"E, altitude 1000 m), en position intermédiaire et à l'est du Pic de Madres, la moyenne annuelle pour la période de référence 1987-2007 est de 838 mm, ce qui est relativement important par rapport à la moyenne de cette station pour une période plus large de 50 ans de 1957 à 2007 (769 mm). Une exploitation des données climatiques des stations de Formiguères, Valcebollère et Mont Louis par Stéphanie Huc (Huc, 2010) met en évidence une légère tendance à l'augmentation des précipitations pour ces trois stations, ce qui confirme nos propres observations sur la station de Nohèdes.

L'ensemble des sept stations pour lesquelles on dispose d'une série de précipitations mensuelles cumulatives sur la période de novembre 1987 - octobre 2007 montrent généralement deux minima en juillet et février, et deux maxima en mai et décembre. Le maximum de printemps avril/mai est globalement plus accentuée, mais pour Mosset et Codalet à l'est du massif le maximum d'hiver est plus important (moyenne de respectivement 90,1 et 72,0 mm au mois de décembre). En ce qui concerne juillet, le mois aux précipitations moyennes les plus faibles, la station de Codalet reflète bien cette caractéristique méditerranéenne et recense seulement une moyenne de 29 mm de pluie pour les mois de juillet de la période de référence. A l'inverse, les stations de Mont Louis, Olette et Railleu dans la partie méridionale du massif connaissent un minimum plus important en février (40,2 mm, 33,2 mm et 37.5 mm au mois de février), qui s'oppose à un maximum de précipitations au mois de mai.

Variabilité interannuelle

Ces moyennes masquent la grande variabilité interannuelle des précipitations. A titre d'exemple l'écart-type de moyennes mensuelles de décembre pour la station de Nohèdes est de 84,1 mm et l'écart-type des précipitations annuelles se chiffre à 223 mm pour la période de référence. Entre l'année exceptionnellement pluvieuse 1992 (lire : nov.1991-oct. 1992) et l'année relativement sèche 1998 on note un écart de 863 mm à Nohèdes (respectivement 1394 mm et 532 mm), de 1033 mm à Mosset (respectivement 1540 mm et 507 mm) et de 1038 mm à Codalet (respectivement 1328 mm et 289 mm). Un écart-type relativement faible au moins de juillet (26.9 mm en moyenne pour les sept stations) contraste ainsi avec un écart-type important en hiver

(64.8 mm en moyenne pour les sept stations au mois de décembre) et entraîne un écart-type moyen annuel de 194 mm, toutes stations confondues. Cet écart-type moyen annuel qui reflète la variabilité interannuelle atteint 233 mm pour Mosset et Codalet à l'est du massif et reste relativement plus faible dans les stations moins arrosées avec une amplitude intraannuelle également moins importante, comme pour Olette et Mont Louis (écart-type de 143 mm et 132 mm respectivement) au sud du massif.

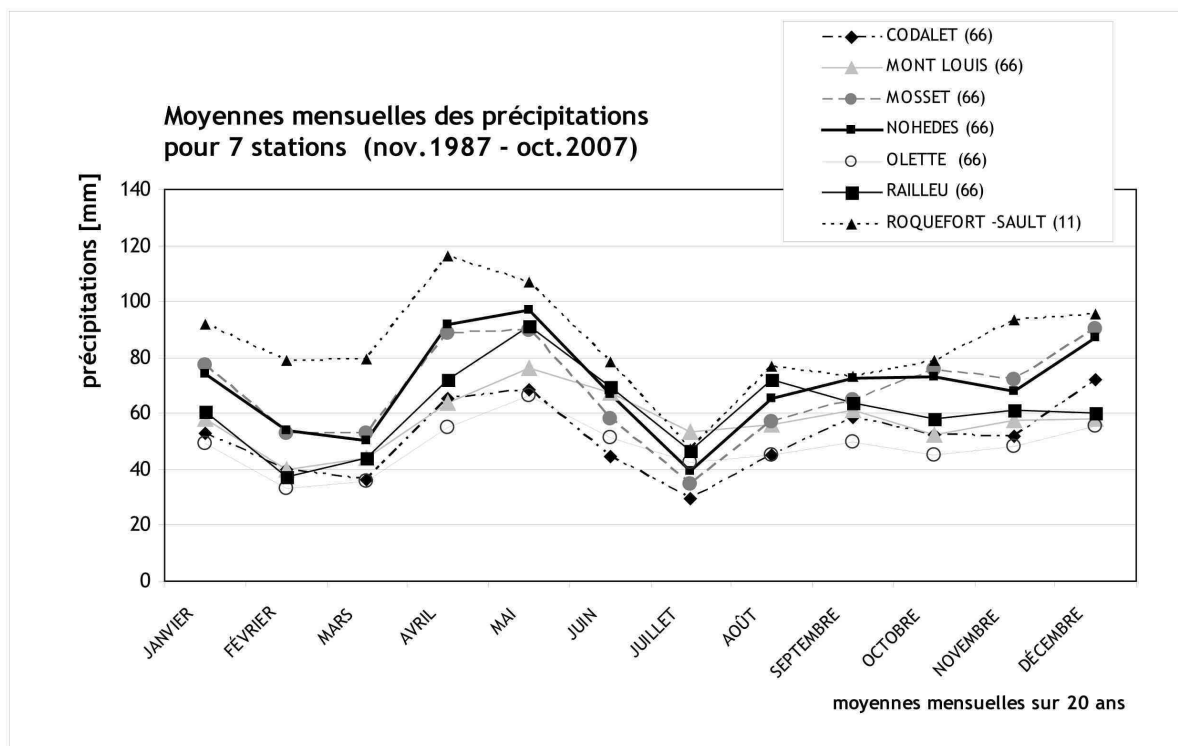


Fig.2.2 : Précipitations moyennes mensuelles de sept stations (période de référence 1987-2007) entourant le massif du Madres Coronat (Mont Louis, Olette, Nohèdes, Codalet près de Prades)

Source : Données Météo France, acquises par le laboratoire GEODE, réalisation Anja M. Müller

2.3.2.4. Le climat du massif de Madres-Coronat

Cette forte variabilité et irrégularité des précipitations engendrent en conséquence un stress hydrique pour le couvert végétal, notamment pour celui implanté sur les sols superficiels, perméables et exposés. A l'inverse l'intensité des précipitations pouvant dépasser 300 mm par mois (Mosset octobre 1992 :310,6 mm) peut provoquer une érosion importante des sols non protégés par le couvert végétal.

En raison de la relative faiblesse de la couverture des stations météorologiques en altitude et des contrastes entre versants, une modélisation des précipitations à partir d'interpolations n'est pas évidente pour cette zone de montagne. En effet, seulement la station de Nohèdes se situe au sein du site Natura 2000 (cf. cartes suivantes), les autres stations occupent des positions en bordure de ce dernier, ce qui rend difficile une caractérisation climatique précise du massif. L'absence de données météorologiques concernant les étages altitudinaux supérieurs provoque des incertitudes assez importantes quant à la pluviométrie de la partie centrale du massif. Malgré cela, le carton

climatique de la carte de la végétation (feuille Perpignan)(Gausсен, 1972) et la thèse de Jean-Pierre Vigneau (Vigneau, 1986)(cf. cartes ci-dessous) livrent une vision synthétique, encore que approximative des précipitations et températures sur le massif. La carte de Vigneau semble à cet égard plus prudente, en indiquant pour le sommet du massif des précipitations moyennes entre 1200 et 1500 mm (cf. carte ci-dessous), estimés par le carton climatique à 1500 -2000 mm. Seulement trois isothermes annuelles (5°C, 10°C, 12°C) concernent le périmètre du massif sur le carton de Gausсен et une seule (8°C) figure dans ce même périmètre sur la carte de Vigneau. L'isotherme de 8°C semble suivre *grosso modo* l'isohypses entre 1200 m et 1400 m, les isolignes sur le carton de la carte de végétation apparaissent plus approximatives mais retracent toutefois les grands ensembles du relief. On peut constater sur les deux cartes que les isohyètes redessinent également les crêtes et vallons avec une légère asymétrie entre les versants au vent et les versants d'exposition au soleil. Malgré les estimations différentes pour l'étage subalpin et alpin, notamment au-delà de 2000 m, les deux cartes sont dans l'ensemble relativement conformes et montrent qu'une assez grande partie du SIC Madres-Coronat reçoit plus de 1000 mm de précipitations par an.

Si on compare les cartes originales à l'échelle des Pyrénées Orientales, il apparaît que les altitudes plus élevées des massifs du Carlit et du Canigou Carança à l'ouest et au sud-est se caractérisent par une pluviométrie généralement plus importante que le Massif de Madres-Coronat (plus de 2000 mm selon Gausсен et plus de 1500 mm selon Vigneau). Contrairement à ses voisins, des ensembles orographiques plus vastes, le Madres-Coronat constitue une sorte d'îlot, car il se trouve entouré par des « plaines » et vallées plus basses aux températures plus clémentes. La partie orientale se caractérise ainsi nettement par une influence méditerranéenne relativement chaude et sèche qui se perpétue dans la diagonale sud-ouest - nord-est de la vallée de la Têt, tandis que la partie septentrionale et occidentale (Capcir) connaît une relative fraîcheur et des précipitations relativement plus importantes sur le versant audois.

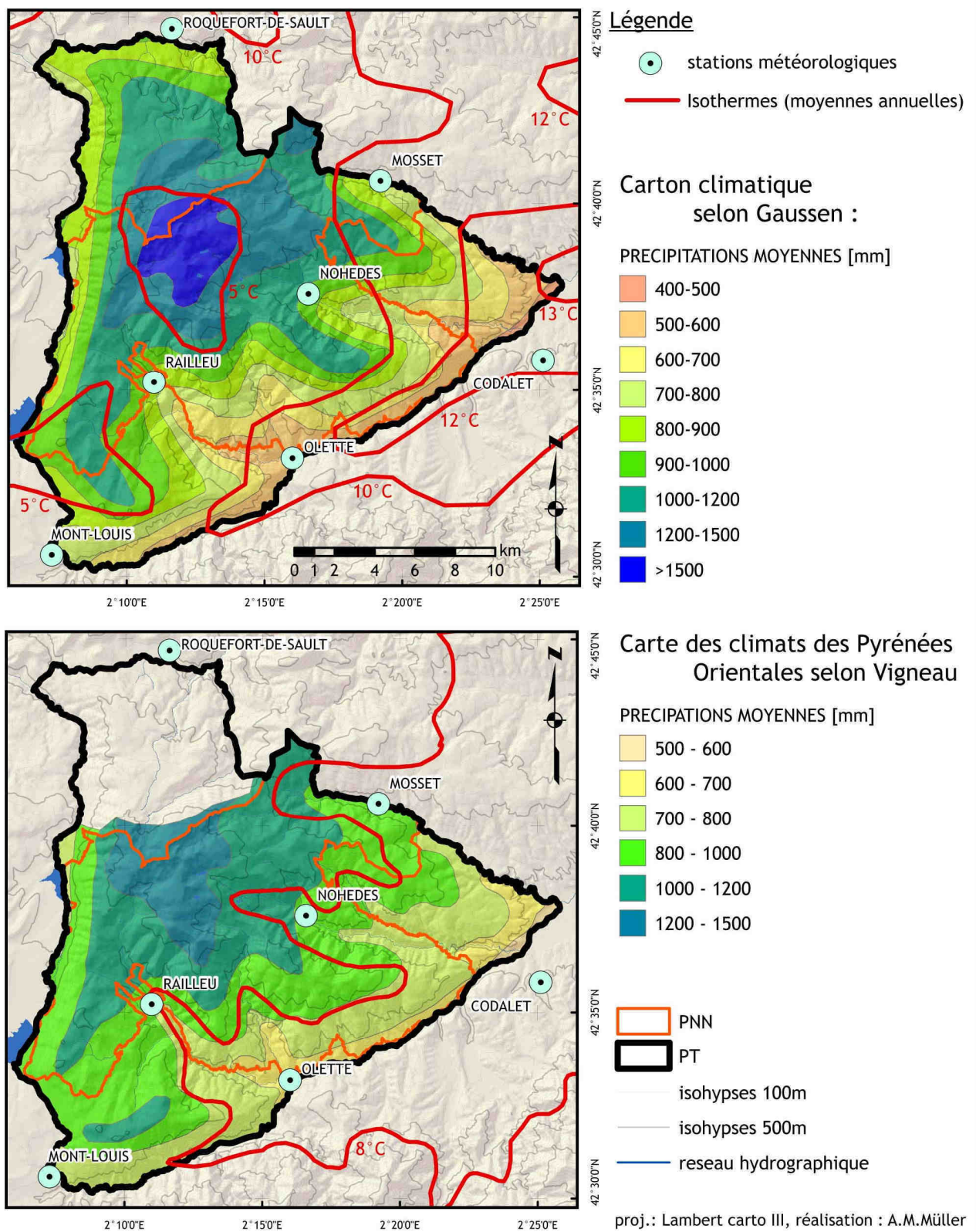
2.3.2.5. Période des relevés de terrain

Enfin, les années 2006 et 2007 pendant lesquelles les relevés de terrain ont été effectués, se caractérisent par des précipitations globalement en dessous de la moyenne (respectivement 610 et 576 mm en moyenne pour les 7 stations, face à une moyenne de 752 mm pour la période de référence). A Mont Louis l'année 2007 est même l'année la plus sèche de la période de référence avec seulement 419 mm de précipitations cumulées de novembre 2006 à octobre 2007.

Si on superpose la courbe des températures avec les précipitations pour les trois stations Codalet, Olette et Nohèdes (cf. fig. 2.3 ci-dessous) à la manière des diagrammes ombrothermiques (se fondant cependant sur des moyennes pluridécennales), on peut constater une relative sécheresse au mois d'avril et de mai 2006, mois qui se caractérisent habituellement par des précipitations printanières élevées. Les effets de cette faiblesse des pluies du printemps 2006 sur la croissance végétale ont été déplorés par les bergers et agriculteurs et jouent évidemment sur les relevés floristiques. On constate également une faiblesse des précipitations hivernales (décembre, janvier) pour le tournant 2006/2007 qui a pourtant un impact moins important pour la végétation. Ainsi le profil entre février 2006 et février 2007 se caractérise par une inversion par rapport à la situation normale, avec des précipitations plus importantes en été qu'au printemps et en hiver. En 2007 les précipitations du mois d'avril ne manquent pas. En revanche, la moyenne des

précipitations de juillet 2007 variant entre 5.4 et 27.8 mm de (moyenne de 15,9 mm) est faible pour un mois de juillet typique (se caractérisant par une moyenne de 41.9 mm pour l'ensemble des 7 stations) et même la plus faible depuis le mois de juillet 1988. La pluie qui nous chassait du terrain en mai nous fit retrouver une végétation déjà assoiffée au mois de juillet.

Cartes climatiques selon Gaussen (1970) et Vigneau (1986)



Cartes 2.8a et 2.8b: Extraits du carton climatique de la carte de la végétation et de la carte synthétique des climats des Pyrénées Orientales d'après VIGNEAU (1986)

Source : la carte de la végétation (feuille Perpignan, d'après H. GAUSSEN) 1972, Vigneau 1986, adaptation A. MÜLLER

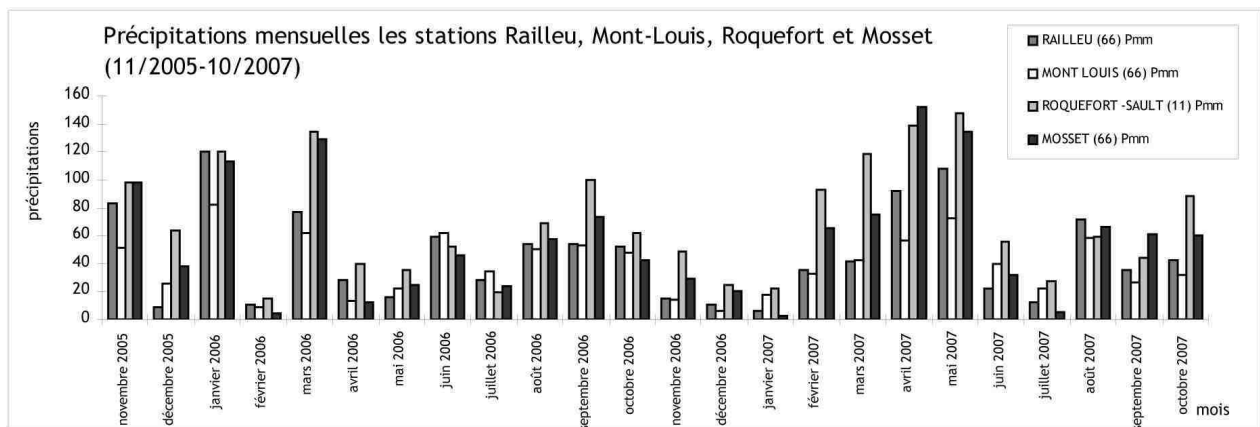
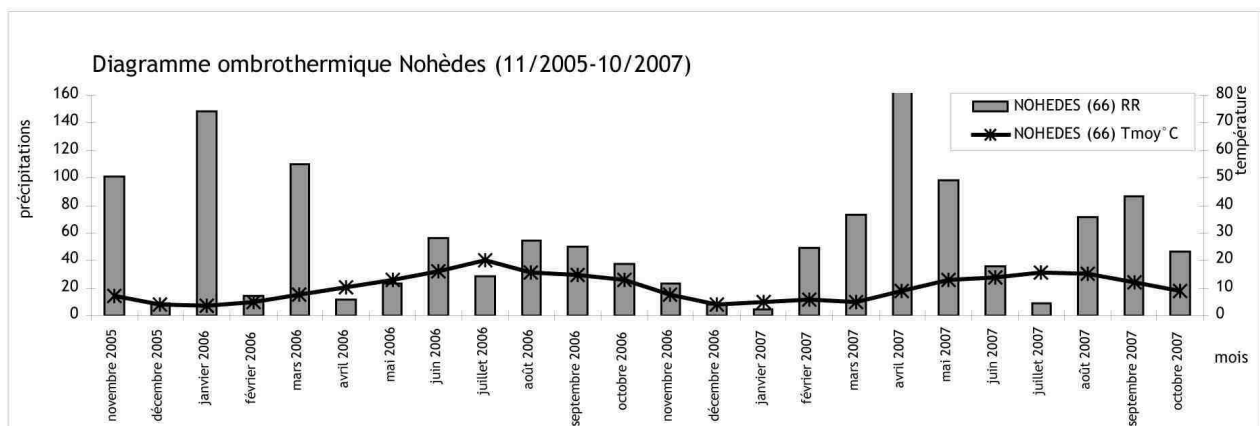
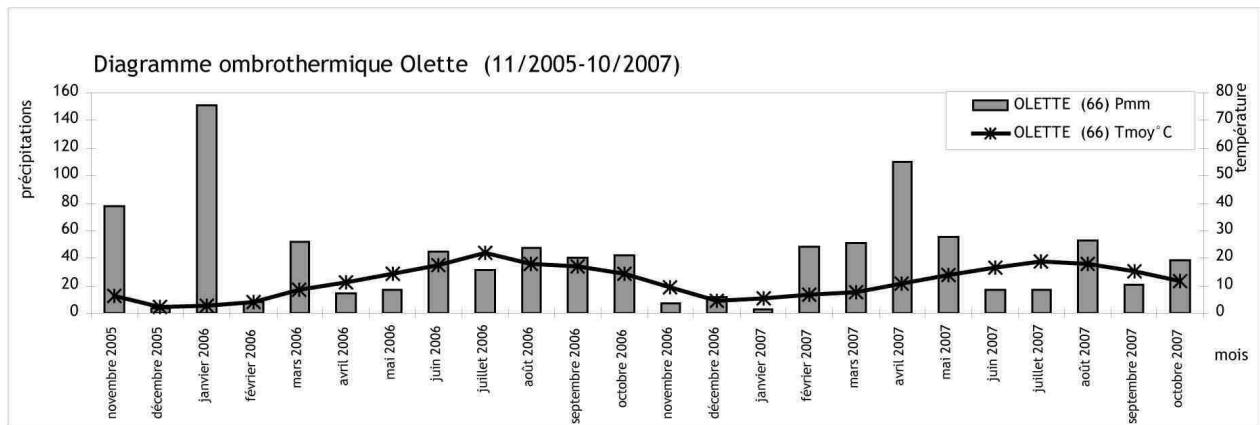
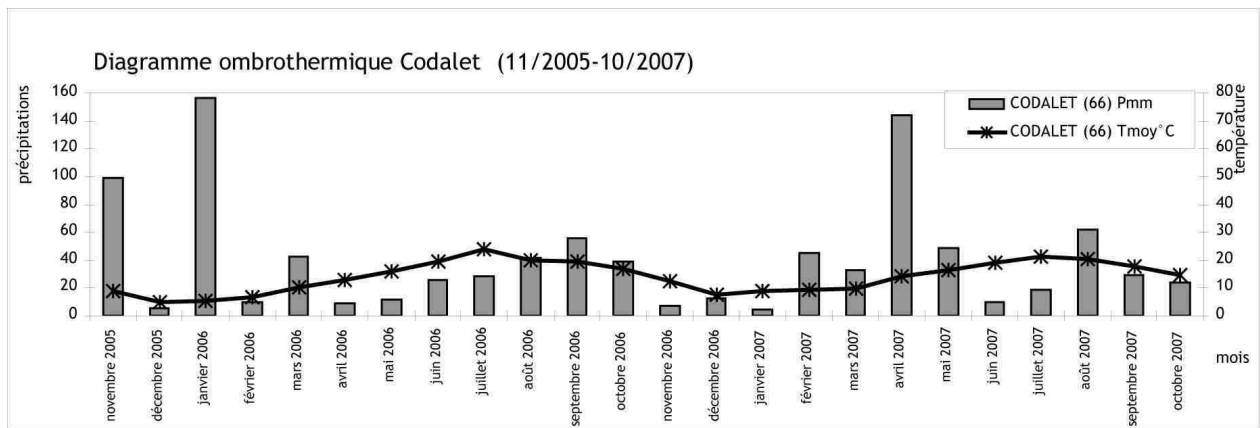


Fig. 2.3 : Caractéristiques mensuelles pluviothermiques de la période novembre 2005 à octobre 2007 pour les sept stations entourant le massif

Source : Données Météo France, réalisation Anja M. Müller

2.3.3. Flore, formations végétales et habitats naturels

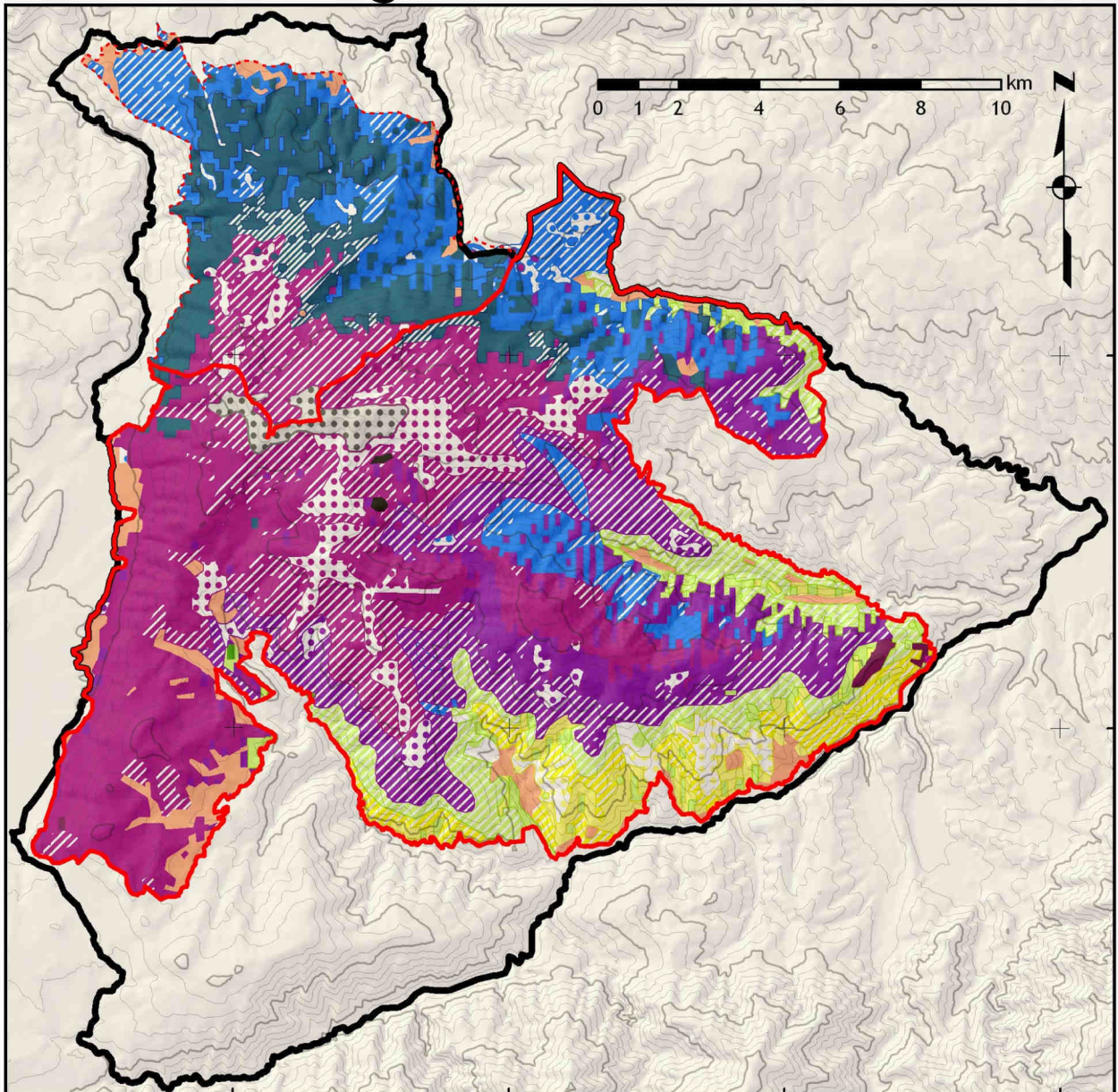
2.3.3.1. Carte de la végétation

La feuille N°78 (Perpignan) de la carte de la végétation de France dans sa dernière édition de 1970, publié en 1972 (Gausсен, 1972), donc déjà passablement ancienne, livre une bonne vue d'ensemble du couvert végétal. Elle permet une première interprétation de la répartition des grands ensembles de végétation et reflète également l'influence climatique. Se fondant sur le principe des « cartes de production végétale » établi par Henri Gausсен (Gausсен, 1930; Rey, 2009) la carte de la végétation s'appuie sur la notion de « série de végétation » avec une charte de couleurs particulière. Tenant compte de la dynamique végétale et associé au concept de végétation climacique (Gausсен, 1947) la carte fournit en outre des informations sur les conditions du milieu et laisse apparaître l'étagement de la végétation. L'avantage réside surtout dans le fait qu'il ne s'agit pas d'une cartographie de la végétation potentielle, mais d'une carte qui reflète l'état réel de la végétation lors de la période de réalisation et permet dans une certaine mesure d'apprécier les changements survenus depuis 1970 (Neff et Scheid, 2003; Gauquelin, Delpoux *et al.*, 2005).

Afin d'en tenir compte des multiples informations sur la couvert végétal et les milieux fournis par cette carte nous avons vectorisé en 2005 un extrait de la carte de la végétation dans les limites de l'ancien périmètre NATURA2000 (DOCOB de 2006), ce qui a permis de quantifier la surface couverte par les séries de végétation respectives. D'après ce document, les principales séries de végétation présentes sur le massif sont celle du pin à crochet (*Pinus uncinata*), du pin sylvestre (*Pinus sylvestris*), du sapin (*Abies alba*), du hêtre (*Fagus sylvatica*), du chêne pubescent (*Quercus humilis*, syn. *Q. pubescens* ou encore *Q. lanuginosa*), et du chêne vert (*Quercus ilex*) (cf. carte 2.9 ci-dessous). Conformément à la carte de la végétation on utilisera par la suite les noms vernaculaires des espèces citées ci-dessus.

On peut constater que la série du sapin se limite essentiellement au versant septentrional du Massif et occupe les versants frais d'exposition nord-ouest, nord et nord-est. Pour cette même raison le sapin est peu représenté dans le périmètre actuel du site Natura 2000 Madres-Coronat. En revanche, l'essence dominante au sein du SIC, le pin à crochet (21.3% en 1970; cf. fig. 2.4 ci-dessous), couvre l'essentiel de la partie occidentale et septentrionale du massif à l'étage subalpin et constitue la limite supérieure de la forêt. Sur les secteurs exposés sud et notamment sur les flancs calcaires du Mont Coronat il est relayé en aval par la série du pin sylvestre. C'est uniquement dans les versants frais d'exposition nord et dans les bas-fonds que le hêtre domine l'étage montagnard. Les séries subméditerranéennes du chêne vert et du chêne pubescent dominant ainsi les altitudes inférieures, le chêne pubescent occupant en général les altitudes entre la série du chêne vert et les étages montagnards. La limite théorique séparant la série du pin sylvestre et la série du chêne pubescent sur les versants exposés au sud, dominés par des landes, fluctue en fonction de l'exposition entre les isohypses de 1200 et 1400 m. On peut noter que le chêne vert apparaît sur les versants sud d'Evol et de Villefranche-de-Conflent encore jusqu'à environ 1400 m où il se trouve relayé en amont directement par la série du Pin sylvestre.

Carte de la végétation d'après GAUSSEN, 1970



2°10'0"E 2°15'0"E 2°20'0"E 2°25'0"E

42°35'0"N 42°40'0"N

Séries de végétation :

<ul style="list-style-type: none"> site NATURA 2000 (PNN) périmètre d'étude s.s. ancien périmètre du site NATURA 2000 (PNA) périmètre d'étude s.l. (PT) isohypes (équidist. 100m) isohypes (équidist. 500m) 	<ul style="list-style-type: none"> chêne vert <ul style="list-style-type: none"> CV CVI CVp chêne pubescent <ul style="list-style-type: none"> CP CPI CPp CS 	<ul style="list-style-type: none"> hêtre <ul style="list-style-type: none"> H HI Hp sapin <ul style="list-style-type: none"> S SI PA PN 	<ul style="list-style-type: none"> pin sylvestre <ul style="list-style-type: none"> PS PSI PSp pin à crochets <ul style="list-style-type: none"> PC PCI PCp 	<ul style="list-style-type: none"> alpin cultures lacs
---	--	---	---	--

CV= chêne vert, CP = chêne pubescent, CS= chêne sessile, H= hêtre, S = sapin, PA= pin d'Alep, PN= pin noir, PS= pin sylvestre, PC = pin à crochets;
l = lande, p = pelouse

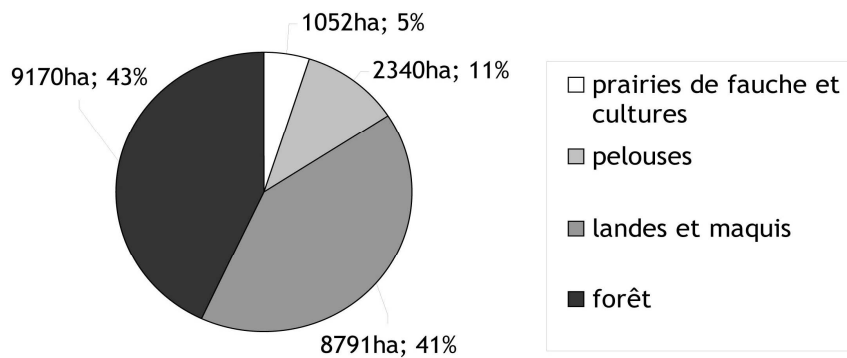
réalisation : A.M.Müller
projection: Lambert carto III

Carte 2.9 : Extrait de la carte de la végétation d'après Henri GAUSSEN (feuille de Perpignan), édition de 1972 - cartographie pour l'ancien périmètre NATURA 2000 (<année 2000)

Sources : carte de la végétation, AGRNN (périmètre Natura2000). Réalisation A. M. Müller

La cartographie des années 1970 indique que 52% de la surface de l'ancien périmètre du site NAUTRA 2000 (PNA) est couverte par des formations herbacées et notamment arbustives de type lande ou garrigue (cf. carte et figure 2.4 ci-dessous). Les garrigues au sens strict étant peu fréquentes et se limitant à l'extrémité sud-est du massif on peut remarquer que les surfaces classées en landes occupent une surface très importante notamment sur les versants méridionaux. Les landes de la série du pin à crochet, du pin sylvestre et du chêne pubescent occupent en 1970 à elles seules 34% de la surface de l'actuel périmètre NATURA 2000.

Les crêtes centrales et orientales sont dominées par le stade herbacé des séries de végétation correspondantes. La végétation de la partie sommitale du massif, qualifiée de « pelouse alpine » occupe les crêtes centrales du massif. Même si on peut supposer que les conditions climatiques et le facteur édaphique jouent un rôle limitant pour la végétation dans la partie centrale, l'utilisation pastorale de ces parties exposées et généralement peu pentues (cf. carte des pentes) doit être prise en compte pour expliquer l'amplitude des surfaces herbacées.



Surfaces couvertes par les séries de végétation selon la carte de la végétation SIC Massif de Madres-Coronat

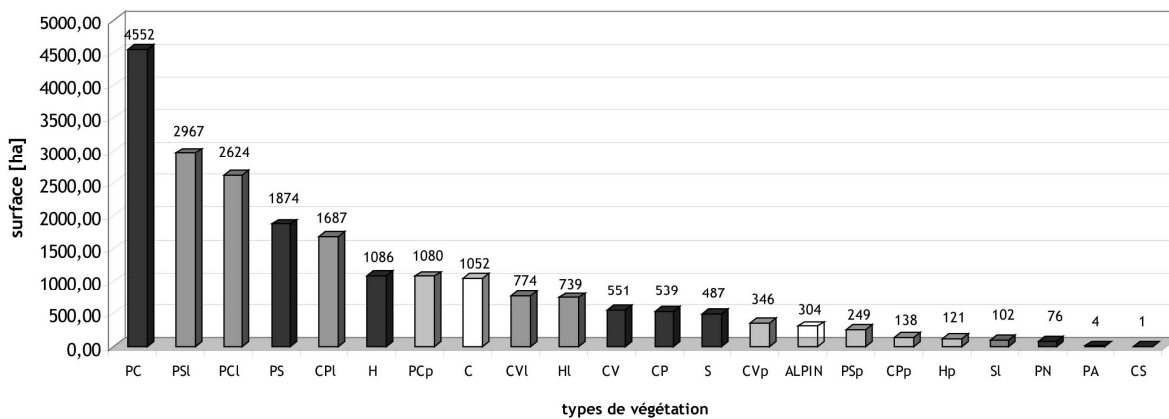


Fig.2.4a et 2.4b : surface occupé par les différentes séries de végétation sur le SIC « Massif de Madres-Coronat » (PNN), selon la carte de la végétation, feuille de Perpignan de 1970

Source : carte de la végétation de France, feuille de Perpignan, édition 1970.
 NB : gris foncé : stades forestiers, gris moyen : stades arbustifs, gris clair : stades herbacées, blanc : cultures.
 La végétation dite « alpine » a été englobée aux formations herbacées. Les abréviations utilisées dans l'histogramme sont les mêmes que pour l'extrait de la carte de la végétation :
 p= stade herbacée (pelouse) ; l= stade de végétation arbustive (landes et maquis) ; PC= série du pin à crochets ; PS= série du Pin sylvestre ; CP= Chêne pubescent ; H= hêtre ; C= cultures et labours ; CV= série du chêne vert ; S= sapin ; PN= pin noir ; PA= pin d'Alep (introduit) ; CS= chêne sessile

La symbologie associée à la végétation transformée et introduite n'a pas été reproduite sur cet extrait de la carte de la végétation. Seulement les classes des « cultures et labours » et des espèces forestières introduites ont été retenues. On peut noter dans l'extrémité orientale du site des reboisements de pins divers (pin laricio de Corse/ pin de Salzman et pin d'Alep selon la légende). Les cultures et labours se situent dans l'ensemble dans les fonds de vallées et occasionnellement sur les replats de versant des étages inférieurs, notamment à la transition entre les séries du chêne pubescent et du chêne vert. A cette dernière classe sont également associés les prés de fauche dominants la catégorie des cultures dans la partie occidentale sur des altitudes plus élevées.

C'est la notice des feuilles de la carte de la végétation couvrant les Pyrénées, réalisée par G. Dupias, qui fournit des informations complémentaires notables, notamment en ce qui concerne les cortèges floristiques.

2.3.3.2. Caractéristiques bioclimatiques et floristiques du Massif

Sans entrer dans le détail en ce qui concerne les caractéristiques phytosociologiques du Massif qui dépasseraient largement le cadre de cette étude, quelques grands traits de la flore et de sa répartition sur le Massif seront toutefois à mentionner.

Avant toute considération floristique il convient d'insister encore sur la position particulière qu'occupe le Massif, tout comme les Pyrénées dans leur ensemble « au carrefour de trois mondes » (Gausson, 1926), à cheval entre différents domaines bioclimatiques, et notamment sur sa proximité à la méditerranée. La rencontre entre influences atlantiques et méditerranéennes est accentuée par le facteur altitudinal (le propre du domaine montagnard). Le Massif de Madres-Coronat constitue en effet le premier véritable obstacle entre la plaine du Roussillon septentrionale et les hautes altitudes du Massif du Carlit et des Pyrénées Ariégeoises à caractère plus atlantique.

Étage bioclimatique

Ainsi la dénomination des étages bioclimatiques appliquées aux Alpes doit être ici complétée par la typologie de l'étagement méditerranéen discuté entre autres par Gausson, Ozenda, Quézel et Gruber (Gausson, 1938; Gruber, 1978; Quézel et Barbero, 1985; Ozenda, 1995; Quézel et Médail, 2004). Les caractéristiques et différences entre les délimitations proposées par ces auteurs peuvent être par exemples appréciés chez Quézel (Quézel et Médail, 2004) ou dans le tome méditerranéen de la flore forestière (Rameau, Mansion *et al.*, 2008). Généralement on distingue en France méridionale trois à quatre étages « méditerranéens » allant, si on suit la proposition de Gruber ou d'Ozenda (Gruber, 1980; Ozenda, 1995) de l'étage thermoméditerranéen côtier, en passant par l'étage mésoméditerranéen et l'étage supraméditerranéen jusqu'au à l'oroméditerranéen (= montagnard - méditerranéen selon Quézel ou monti-méditerranéen selon la proposition d'Ozenda en 1995). Pour les Pyrénées Orientales Ozenda, Gruber et Dupias considèrent seulement les trois étages inférieurs comme étant franchement méditerranéens, surmontés d'une mosaïque d'étages de type montagnard et de type (oro-) méditerranéen, sans oublier les étages sus-jacents de type clairement médio-européens (Ozenda, 1995). Les données phytosociologiques

exploitées par Gruber lui permettent d'affirmer que l'influence méditerranéenne atteint dans les Pyrénées méridionales même l'étage subalpin (Gruber, 1980).

La carte de la répartition des étages de végétation de Dupias (Dupias, 1985 :pp.186), tout en utilisant une nomenclature plus différenciée, laisse apparaître le contraste entre les différentes façades du Massif : La majeure partie du versant nord du Madres, incluant la partie audoise et ariégeoise et le bac du Mont Coronat, est attribuée à l'étage *montagnard médio-européen* caractéristique des ombrées des Pyrénées Catalanes. Cet étage est séparé par la vallée de l'Aude de l'étage *montagnard atlantique* caractérisant les ombrées du Donezan et le plateau de Sault sur la rive gauche. Les soulanes du Massif, incluant celle de Nohèdes et d'Urbanya et la partie basse du plateau du Capçir sont en revanche attribuées à l'étage *montagnard méditerranéo-continental* caractérisant en outre toute la façade méridionale des Pyrénées entre environ 1100 et 1800 m. Les étages supérieurs subalpins et alpins appartiennent dans l'ensemble des Pyrénées Orientales, en Ariège occidentale et en Andorre au faciès oriental pyrénéen constaté par Dupias.

Les étages de végétation inférieurs se limitent à l'est du massif et sont donc nettement méditerranéens : l'étage mésoméditerranéen dépasse à peine Prades pour atteindre Olette et les soulanes de Villefranche-de-Conflent avec la série du chêne vert euméditerranéen. L'étage supraméditerranéen du chêne vert, généralement situé entre 500 et 900 m, occupe les soulanes du Madres et du Mont Coronat et dépasse exceptionnellement 1400 m d'altitude sur la commune d'Olette, comme le remarque G. Dupias (Dupias, 1985 :96).

Conformément à ces observations, les interprétations d'Espeut (Espeut, 1984) indiquent comme limite supérieure de l'étage mésoméditerranéen des variations entre 600 m sur le versant nord (vallée de la Castellane) et 900 m pour le versant sud (vallée de la Têt). L'étage supraméditerranéen atteint environ 1300 m en soulane et ne dépasse pas 1000 m sur le versant Nord de la vallée de la Castellane. Cette différence diminue en ce qui concerne la limite entre l'étage montagnard (oroméditerranéen) et subalpin qui se situe à environ 1800 m en soulane et environ 1650 m à 1700 m sur les ombrées. Les parties sommitales du Madres au-delà de 2250-2300 m sont habituellement considérées comme appartenant à l'étage alpin. On trouve pourtant dans cet étage, par définition asylvatique, à quelques mètres du sommet, des individus décimétriques de Pin à crochets (cf. photo). Enfin, l'étagement de la végétation ne se limite pas au caractère bioclimatique de la répartition des végétaux, mais influence également les formes d'activités et les modes de vie (Ozenda, 1995), ce qui aura pour conséquence une influence anthropique hétéroclite sur les milieux naturels.

Comme le laissent apparaître la carte de végétation et les limites altitudinales variables des étages de végétation, l'exposition des façades et versants contribue grandement à la diversité floristique induite par l'étagement altitudinal auquel on peut ajouter dans quelques cas des différences amplifiées par le substrat. Quelques 2000 relevés phytosociologiques réalisés en une décennie par Michel Gruber dans la partie orientale des Pyrénées (Pyrénées Catalanes occidentales et Ariégeoises) (Gruber, 1978) fournissent des indications intéressantes quant aux associations végétales fréquemment rencontrées même si les données restent malheureusement cantonnées aux massifs au sud et à l'ouest du Madres-Coronat. En se fondant sur les travaux de Braun-Blanquet, Gruber et Dupias, quoique trop amples pour être discutés ici, quelques observations induites par la carte de la végétation se trouvent confirmées et nuancées.

D'après Gruber (Gruber, 1980), le sous-étage supérieur de l'étage mésoméditerranéen représenté dans les parties les plus basses du massif, est constitué essentiellement de deux séries, la série du chêne vert avec une sous-série normale (*Viburno-Quercetum ilicis*), indifférente au substrat et d'une sous-série acidiphile supérieure (*Asplenio-Quercetum ilicis*) qui se distingue de la série à chêne pubescent dans les stations à hygrométrie plus favorable. Dans les vallées, comme vraisemblablement à Nohèdes, on peut par ailleurs ajouter la série de la ripisylves à *Populus alba* (Gruber, 1980). L'étage supraméditerranéen est enfin caractérisé par la sous-série normale du chêne pubescent (*Buxo-Quercetion*) pouvant atteindre dans les Pyrénées 1300 m d'altitude selon l'exposition. Il reste à mentionner dans cet étage la sous-série à *Pinus nigra* ssp. *salzmannii* atteignant 800 m d'altitude qui a été constatée à proximité du massif (habitat 9530* de la directive habitats (Bensettiti, Rameau *et al.*, 2001b). L'étage montagnard s'échelonnant entre 900 à 1700 m est dominé floristiquement par les diverses séries du hêtre, du pin sylvestre et de la hêtraie-sapinière. Ces séries sont relayées en amont par l'étage subalpin dominé par les séries de pin à crochets et marquées par la disparition du hêtre. On distingue en général trois séries du pin à crochets en fonction de l'exposition et du substrat, avec *Rhododendro-Pinetum uncinatae* (Rivas-Martinez 1968) en ombrée et les séries basiphiles et acidiphiles à raisin d'ours, *Arctostaphylo-pinetum uncinatae* à plusieurs variantes en position de soulane. Enfin, l'étage alpin est représenté par des séries alpines silicoles et calcicoles qui couvrent de assez faibles surfaces en position sommitale.

2.3.3.3. Éléments floristiques

Il n'est pas possible de décrire dans son ensemble les taxons végétaux associés au massif du Madres, même si on reviendra sur quelques détails floristiques dans les chapitres consacrés aux relevés floristiques des trachéophytes⁹⁰. On se référera aux nombreux travaux traitant de la flore pyrénéenne et des associations végétales rencontrées dans la partie orientale de la chaîne comme par exemple ceux cités déjà ci-dessus (Gruber, 1978; Gruber, 1980; Dupias, 1985), le travail fondamental de Gaussen (Gaussen, 1926), les travaux de Baudière (Baudière, Serve *et al.*, 1979; Baudière, Jalut *et al.*, 1986; Baudière, 1989) de Gruber (Gruber, 1973; Gruber, 1974; Gruber, 1975a; Gruber, 1975b; Gruber, 1975c; Gruber, 1975d; Gruber, 1975e; Gruber, 1975f) et de Marcel (Marcel, 1982), d'autres sources rassemblées par Amigo et Baudière (Amigo, 1980; Cauwet-Marc et Baudière, 1988), mais aussi au guide pratique portant sur les milieux forestiers des Pyrénées Catalanes occidentales (françaises) par Hélène Chevallier (Chevallier, 2003).

On mentionnera toutefois quelques éléments caractéristiques. Parmi les éléments floristiques dominant les paysages du massif on se doit de citer le genêt purgatif (*Cytisus oromediterraneus* Rivas Martinez *et al.*) qui couvre des larges surfaces et constitue l'essentiel des landes montagnardes et subalpines, le pin à crochet (*Pinus uncinata* Ramond ex DC.) qui domine les espaces forestiers du fait de l'ampleur de l'étage subalpin et constitue la limite supérieure de la forêt, le gispet (*Festuca eskia* Ramond ex DC.) graminée pyrénéenne par excellence dominant les

⁹⁰ Trachéophytes : plantes vasculaires dont l'appareil conducteur est imprégnée de lignine (présence de xylème et phloème) : Cormophytes à l'exception des Bryophytes (mousses), c'est-à-dire Ptéridophytes (fougères) et Phanérogrames. Ces derniers rassemblent Prospermatophytes et Spermatophytes (Angiospermes et Gymnospermes).

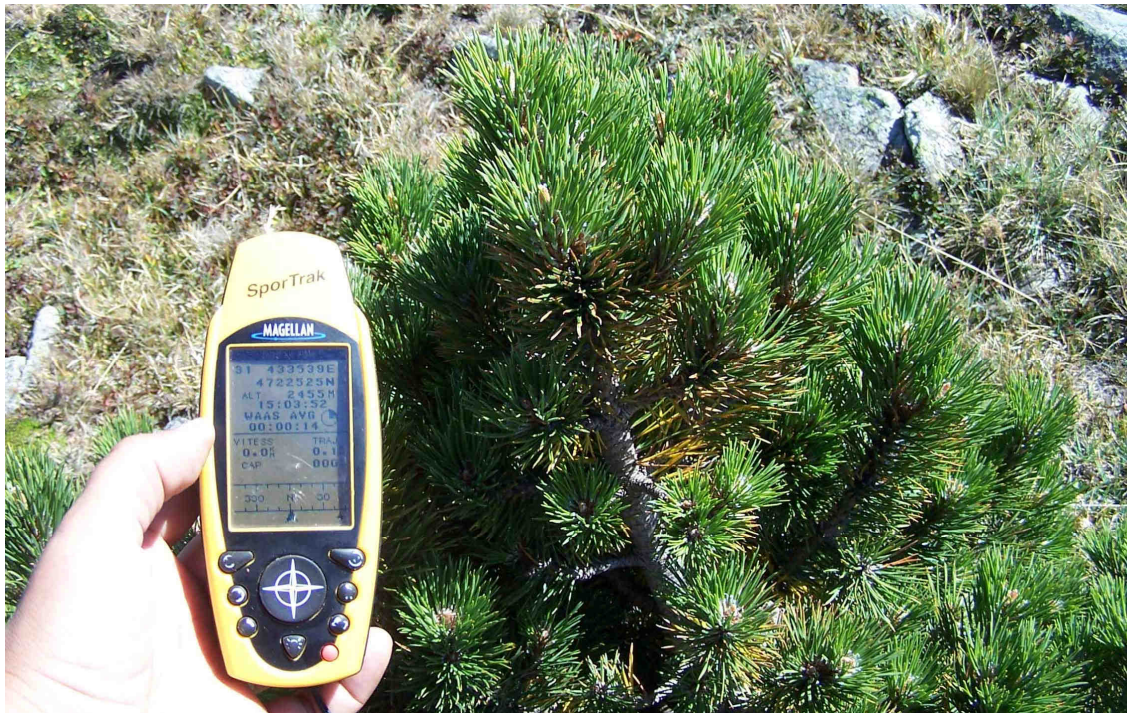
milieux ouverts subalpins et la Dryade (*Dryas octopetala* L.) qui colonise les milieux rocheux du même étage de façon à servir de point d'ancrage pour le pin à crochet (cf. Marcel, 1982).

Parmi les espèces végétales répertoriées dans l'annexe II de la directive habitats, deux se rencontrent dans le périmètre du massif : l'Asteraceae *Ligularia sibirica* (L.) Cass que l'on trouve dans la plaine du Capçir et la Brassicaceae *Hormathophylla pyrenaica* (Lapeyr.) Duddley et Cullen, endémique que l'on rencontre uniquement dans les milieux rocheux carbonatés du versant Nord du Mont Coronat (A.G.R.N.N., 2005b). Neuf autres espèces ont été considérées comme patrimoniales dans le périmètre de la réserve naturelle de Nohèdes, comme par exemple la Drosera à feuilles rondes inféodée aux zones humides (*Drosera rotundifolia* L.) et la Bugrane d'Aragon (*Ononis aragonensis* Asso) que nous avons pu observer en limite septentrionale de son aire, près du relevé N° 38 dans l'étage supraméditerranéen calcaire du Mont Coronat. A cette liste on pourra ajouter les espèces endémiques pyrénéennes comme *Achillea ptarmica* L. subsp. *pyrenaica* (Godron) Heimerl, *Eryngium bourgatii* Gouan, *Carduus carlinoides* Gouan, *Lonicera pyrenaica* L. et *Endressia pyrenaica* (Gay ex DC.) Gay et d'autres espèces emblématiques, caractéristiques, curieuses, rares, ou typiques (cf. exemples sur photo), qui font la diversité de la flore du Massif.

En effet, rien que pour la commune de Nohèdes à l'est du Madres, le plan de gestion de la réserve naturelle de Nohèdes (2006-2009) indique 1143 taxons de plantes vasculaires correspondants à « un quart de la flore française »⁹¹ (Mangeot, 2000; A.G.R.N.N., 2006). La flore recensée au sein du périmètre de la réserve naturelle de Nohèdes (1975 ha) est constituée de 823 taxons (dont certains seraient à confirmer), dont 25% d'orophytes (dont un quart endémique des Pyrénées), 12% d'éléments méditerranéens, s'ajoutant aux autres éléments essentiellement eurasiatiques (22%), européens (21%), holarctiques (6%), circumboréales (5%), cosmopolites (3%), arctico-alpins (2%) et atlantiques (1%).

⁹¹ Le MNHN recense environ 4900 espèces de plantes supérieures (Ptéridophytes et Angiospermes)

Photo. 2.18 : recolonisation après déprise, fluctuation climatique ou indice d'un global change ?
Un pin à crochets à quelques mètres du sommet du Madres (2455 m)



Cliché A. Müller, août 2006

Photos 2.19 (ci-dessous) : Flore endémique des Pyrénées



Dans le sens de la lecture : *Carlina carlinoides* (Sansa), *Lonicera pyrenaica* (Nohèdes), *Eryngium bourgatii* (Sansa), *Achillea ptarmica ssp. pyrenaica* (col de la Quillane), *Valeriana apula* (syn. *Valeriana globulaerifolia*) (Roc Mary, Réal) et *Lilium pyrenaicum* (cliché de C. Risso, dent d'Orlu, Ariège).
Clichés A. Müller sauf mention

Photos 2.20 (ci-dessous) : Éléments floristiques typiques et particulières



Ligne1 : espèces patrimoniales du PNR (d'après Hélène Chevallier) : *Drosera rotundifolia*, espèce patrimoniale bénéficiant d'une protection nationale (Cliché : C. Risso sur la commune d'Orgeix, Ariège); *Galium rotundifolium* (Mosset) et *Cicerbita plumieri*; Ligne2 : espèces (sub)méditerranéennes : *Leuzea conifera*, *Genista scorpius*, *Asarina procumbens* (Nohèdes ; orophyte pyrénéo-auvergnat caractérisant l'étage supraméditerranéen) ; Ligne 3 : espèces particulière de l'étage montagnard et subalpin : *Botrychium lunaria* (Réal), *Carlina acanthifolia* (Réal), *Euphorbia Lilium martagon* (Mosset), Ligne 4 : espèces dominantes de l'étage montagnard et subalpin : *Cytisus oromediterraneus*, *Festuca eskia* et *Dryas octopetala*, Clichés A. Müller sauf mention

2.3.3.4. Les habitats naturels cartographiés dans le cadre de la directive habitats

Enfin, pour caractériser le couvert végétal la cartographie des habitats naturels dans le cadre de la directive habitats actuellement encore en cours permet un aperçu sur les groupements végétaux. La description des habitats, plus précisément des habitats naturels pris en compte par l'annexe II de la directive habitats se retrouve détaillée dans le quatrième tome du DOCOB de 2005 (A.G.R.N.N., 2005a)⁹². La cartographie réalisée jusqu'en 2005 par l'AGRNN sur le territoire des Pyrénées orientales et de l'Ariège et par la Fédération Aude Claire pour la partie audoise n'a pas encore été complétée lors de la mise à disposition des données cartographiques par l'AGRNN en 2006, manque de financements suffisants avant l'élaboration du DOCOB en 2005. La cartographie réalisée à l'échelle du 1/25000 pour les habitats naturels à l'exception des zones humides (1/2000) se fonde essentiellement sur les cahiers d'habitats NATURA 2000 (Bensettiti, Rameau *et al.*, 2001a; Bensettiti, Rameau *et al.*, 2001b; Bensettiti, Gaudillat *et al.*, 2002a; Bensettiti, Gaudillat *et al.*, 2002b; Bensettiti, Gaudillat *et al.*, 2002c; Bensettiti, Herard-Logereau *et al.*, 2004; Bensettiti, Bouillet *et al.*, 2005), mais s'appuie également sur la typologie CORINE Biotopes (Bissardon et Guibal, 2003) et la typologie des forêts réalisée pour le secteur par Hélène Chevallier (Chevallier, 2003). En 2005, seulement 18 habitats⁹³ naturels de l'annexe II de la DHFF sur 36 présents sur le site (A.G.R.N.N., 2005b :29) ont été cartographiés avec une précision suffisante. La fiche descriptive du site en ligne⁹⁴ recense cependant seulement 23 habitats.

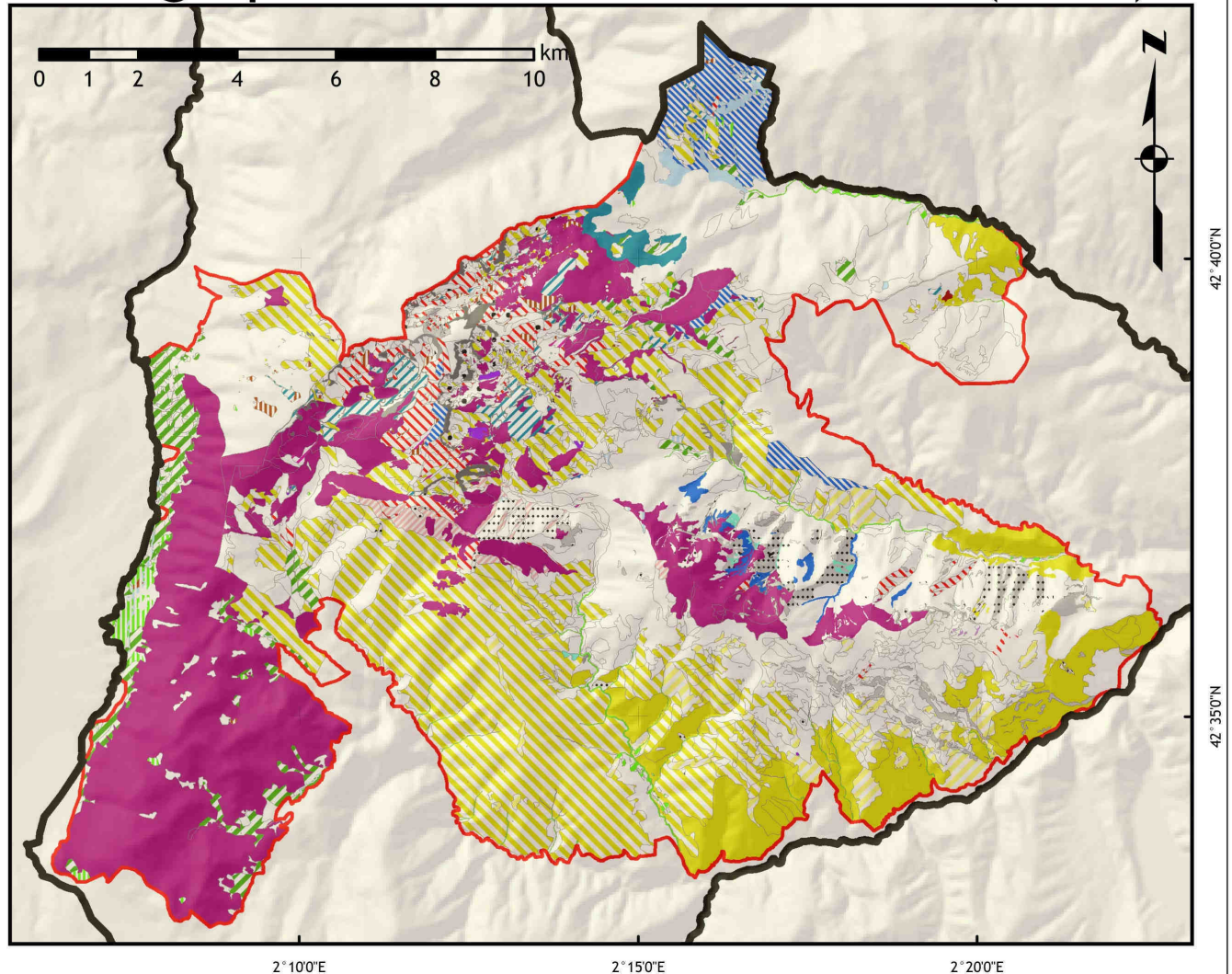
La carte présentée dans le DOCOB de 2005, reproduite ci-dessous ne montre que 30 des 36 habitats d'intérêt communautaires cartographiés avant 2005. De nombreux habitats cartographiés selon la nomenclature plus détaillée « Corine Biotopes », ne sont pas pris en compte par la directive et ne sont pas reproduits ici. Par ailleurs l'échelle de la carte ne permet pas d'identifier tous les habitats avec précision. A titre d'exemple, les 396 tourbières recensées dans l'ancien périmètre Natura2000 occupent en moyenne une surface de 0,64 ha (A.G.R.N.N., 2005b :30) et ne sont reconnaissables que sur une carte à plus grande échelle. Même si la reproduction de la carte des habitats se présente de façon incomplète et que des grandes zones sont cartographiées provisoirement et assez grossièrement (il s'agit des zones qui correspondent aux zones 'blanches' du carton accompagnant la carte des habitats), on peut constater que les habitats figurant dans l'annexe II de la DHFF occupent des parties importantes du massif. On discerne notamment les landes à genêt, les forêts de pin à crochet (*Pinus uncinata*), de chêne vert (*Quercus ilex*) et de hêtre (*Fagus sylvatica*), ainsi que pelouses à Nard, les landes sèches et subalpines ainsi que les prairies de fauches. Il apparaît également, que l'imbrication des milieux est importante sur les parties sommitales du Madres et sur les versants supérieurs du Mont Coronat. En revanche les milieux dominés par le pin sylvestre ou par le sapin n'ont pas encore été définitivement cartographiés en 2006.

⁹² Téléchargeable sur les sites de la DIREN /DREAL du Languedoc-Roussillon et sur le site du Parc Naturel des Pyrénées Catalanes : <http://www.languedoc-roussillon.ecologie.gouv.fr/loadPge.php?file=docob/FR9101473/FR9101473.file> et <http://sit.parc-pyrenees-catalanes.fr/fr/document-dobjectif>

⁹³ Sur la carte suivante figurent 16 de ces 18 habitats suffisamment bien cartographiés: Il s'agit des 16 habitats 3130, 3240, 6210, 6230, 6410, 6420, 6510, 6520, 7110, 7120, 7140, 7230, 9120, 9150, 9180, 91EO, 9340 et 9430 figurant sur la carte suivante, ainsi que des habitats 3240 et 6420 non renseignés. Les habitats 5130, 6220, 8230, 9410 n'ont pas encore été cartographiés en 2005. Les 14 autres habitats figurant sur la carte suivante n'ont pas été cartographiés de façon exhaustive et très précise.

⁹⁴ <http://natura2000.environnement.gouv.fr/sites/FR9101473.html>

Cartographie des habitats naturels (2005)

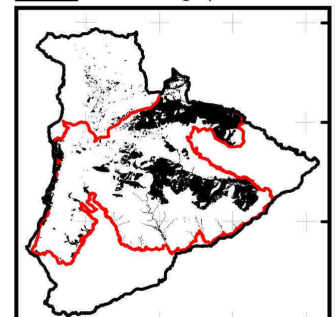


Cartographie provisoire des habitats naturels du SIC Madres-Coronat (état 2005), réalisé par l'AGRNN
Code "Natura 2000" (& Code CORINE Biotopes) et description :

3130 (22.11) Eaux oligotrophes pauvres en calcaire	7110* (51.1) Tourbières hautes actives
4030 (31.22) Landes sèches à genêt et callune	7120 (51.2) Tourbière haute dégradée
4060 (31.4) Landes subalpines et alpines	7140 (54.4) Tourbières de transition
4090 (31.7) Landes épineuses franco-ibériques	7220 (54.12) Sources pétrifiantes avec formation de travertin
5120 (31.841 / 31.842) Landes à genêts	7230 (54.2) Tourbières basses alcalines
6110* (34.11) Pelouses calcaires karstiques	8110 (61.1) Eboulis siliceux
6140 (36.314) Pelouses pyrénéennes denses à <i>Festuca eskia</i>	8130 (61.3) Eboulis ouest-méditerranéens thermophiles
6170 (36.4) Pelouses alpines calcaires	8210 (62.1) Végétation des falaises calcaires
6210* (34.33) Pelouses sèches semi-naturelles sur calcaire (*si riche en Orchidées)	8220 (62.2) Végétation des falaises siliceuses
6230* (35.1) Pelouses à Nard sur substrat siliceux	9120 (41.12) Hêtraies atlantiques acidiphiles
6410 (37.31) Prairies humides oligotrophes à Molinie	9150 (41.16) Hêtraies calcicoles
6430 (37.8) Mégaphorbiaies eutrophes	9180* (41.4) Forêts de ravins du Tilio-Acerion
6510 (38.2) Pelouses maigres (de fauche) de basse altitude	91E0* (44.3) Forêts alluviales résiduelles
6520 (38.3) Prairie de fauche de montagne	9260 (41.9) Forêts de châtaigniers
	9340 (45.3) Chênaies vertes
	9430* (42.2) Forêts de pin à crochets (* si sur calcaire)

* habitats prioritaires

zones cartographiées en 2005 :



(re-)mise en forme : A.M.Müller

Carte 2.10 : Carte des habitats naturels du Madres Coronat dans le cadre de la DHFF (2005)

Source : couches cartographiques mises à disposition par l'AGRNN (début 2006) mise en forme selon la légende utilisée par le DOCOB 2005, A. Müller

Il va de soit que cette carte inachevée à qualité hétérogène ne peut pas servir de fondement d'analyse de la configuration spatiale des milieux. Une fois la carte complète, elle offrira cependant la possibilité d'analyser la position des habitats naturels (localisation, configuration spatiale) en rapport avec des paramètres physiques et de les mettre en relation avec une description de la géodiversité.

2.3.3.5. Indice normalisé de végétation (NDVI)

Même si la carte des habitats, la carte de la végétation de 1970 et dans une moindre mesure, la carte d'occupation du sol CORINE de 2006 fournissent des informations utiles sur la végétation, la connaissance du couvert végétal actuel est relativement médiocre du fait d'une typologie trop simplifiée (carte des d'occupation du sol), de l'ancienneté des documents (carte de la végétation) et l'incomplétude (carte des habitats, état 2006).

L'indice de végétation appelé *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) est utilisé pour détecter la végétation active et peut se corréliser avec l'activité chlorophyllienne et avec la biomasse. Les bandes rouges (R ; 0,61 - 0,68 μm) et proche infrarouge (NIR ; 0,78 - 0,89 μm) de la scène SPOT4 permettent le calcul de l'indice NDVI ⁹⁵. Le résultat, la carte du NDVI du 22 juillet 2000 pour le périmètre d'étude (cf. carte 2.10 ci-dessous) met en évidence une quantité de biomasse plus importante sur les versants exposés au vent dominants et dans les fonds de vallées. La carte laisse supposer des profondeurs de sol plus importantes dans les reliefs concaves et un hydricité édaphique alors favorable à une végétation dense, ainsi qu'une relative sécheresse sur les sols exposés sud qui relèvent d'un indice important de NDVI seulement au niveau des talwegs de ravins et ruisseaux. En même temps le NDVI reflète clairement les différences d'utilisation du sol : on remarque des limites très nettes correspondant au parcellaire ou à des coupures dues à la voirie.

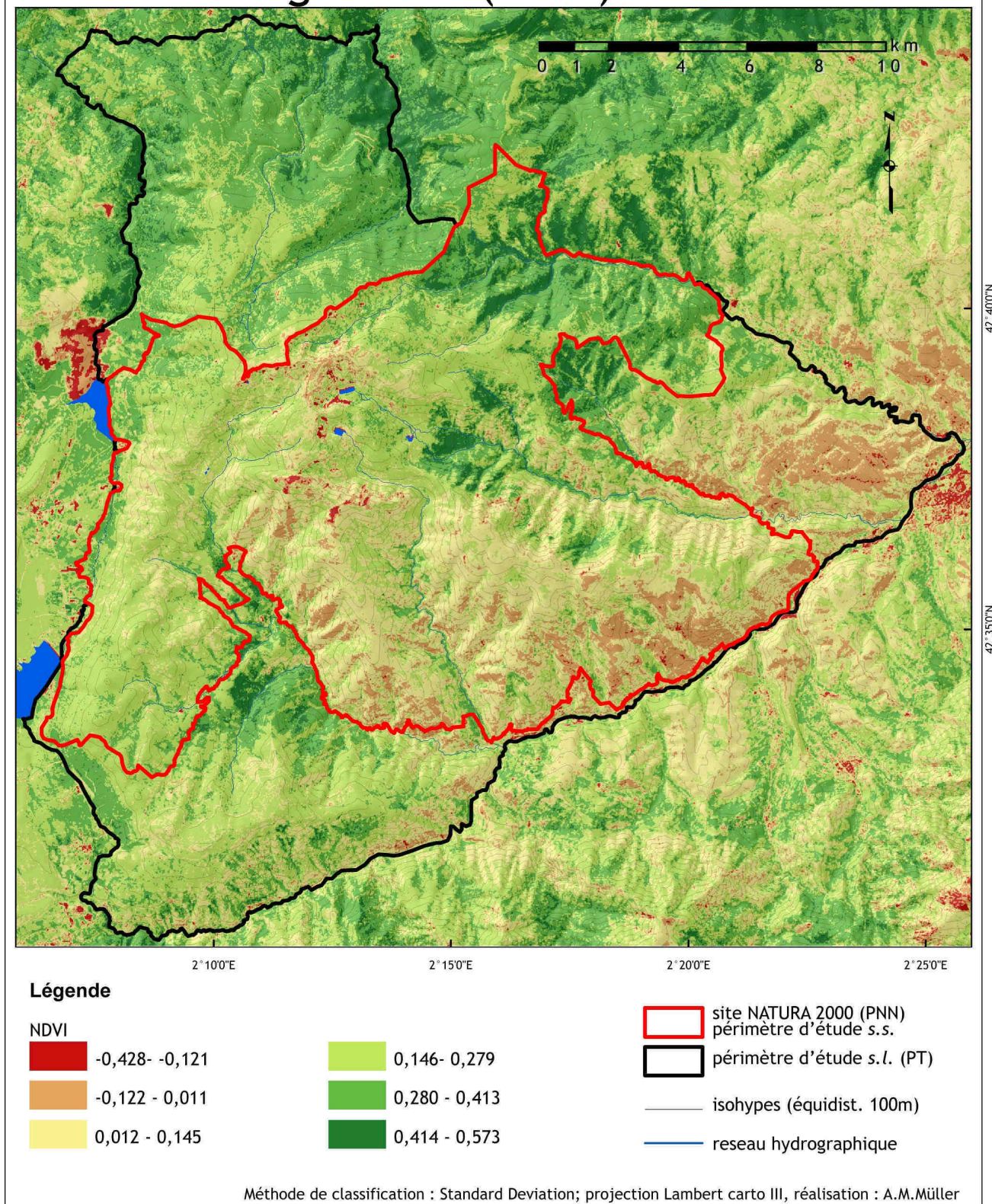
Concernant le site Natura2000 l'indice de végétation moyen est assez faible (0,180), plus faible que celui du périmètre d'étude PM (0,205). Comme on peut vérifier sur la carte suivante en la comparant avec les autres cartes fournies (carte de végétation, cartes d'échantillonnage par classification supervisée, carte des géons,...) même un indice de végétation assez faible entre 0,12 et 0,11 correspond habituellement encore à un couvert végétal de type landes ou maquis relativement denses. On trouve dans la classe 0,012 à 0,145 des forêts de Pin sylvestre et Pin à crochets, voire des forêts de chêne vert, c'est à dire des forêts à feuillage sempervirent qui génèrent un NDVI relativement faible.

Ce document se prête bien pour une analyse diachronique ou saisonnière de la végétation mais ne peut servir de base pour un échantillonnage de relevés puisqu'il ne met pas en évidence des différences parfois très importantes entre formations végétales (par exemple landes et forêts de Pin à crochets avec des NDVI sensiblement proches.)

A titre informatif la carte met cependant en évidence le contraste très significatif entre les versants, entre les positions sur les versants, et entre les différentes formations végétales à feuillage respectivement caduque ou sempervirent.

⁹⁵ NDVI= (NIR-R)/(NIR+R)

Indice de végétation (NDVI) - 6 classes



Carte 2.11 : Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) élaborée à partir d'un scène SPOT4.

Source : image SpotScene du 22/07/2000 (SPOT4), MNT BD Alti, réalisation A. Müller

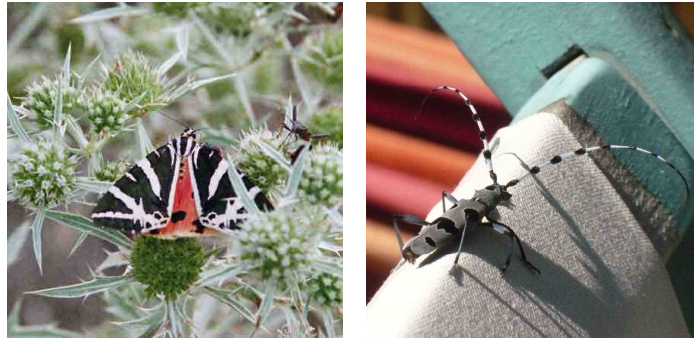
2.3.3.6. La faune du Massif

Afin de compléter l'aperçu sur le monde vivant, quelques lignes sur la faune caractéristique et emblématique parcourant le massif s'imposent même si celle-ci est de façon plus compétente abordés par des travaux spécialisés existants sur le massif (voir entre autres (Espeut, 1984; A.G.R.N.N., 1998; Blanc, 2002; A.G.R.N.N., 2005a; A.G.R.N.N., 2006; Blanc, 2008).

D'après le DOCOB de 2005 (A.G.R.N.N., 2005b) on peut observer sur le massif 149 espèces d'oiseaux, dont 31 sont recensées dans l'annexe I de la directive oiseaux parmi lesquels on compte les oiseaux les plus emblématiques comme l'Aigle royal, le Faucon pèlerin, le Grand Tétras, la Perdrix grise et le Gypaète barbu. Outre l'avifaune on trouve parmi les espèces animales observées sur le massif trois insectes et quatre mammifères signalés dans l'annexe II de la directive habitats (DHFF) : en ce qui concerne les insectes, il s'agit de l'Écaille chinée (lépidoptère), assez commune et de la Rosalie des Alpes (coléoptère), plus rarement observée (cf. photos); concernant les mammifères on rencontre le Desman des Pyrénées (*Galemys pyrenaicus*) et trois espèces de chiroptères (chauve-souris : Petit et Grand Rhinolophe et Petit Murin). Parmi les espèces animales potentiellement présentes sur le site, référées dans cette même annexe mais pas directement observées par les spécialistes on peut compter le loup, l'ours brun, la loutre, deux espèces de chiroptères (Vespertillon de Capaccini, Rhinolope euryale), deux espèces de poissons (le barbeau méridional et le Cabot) et trois insectes (l'Isabelle, la Lucane et le Grand capricorne). Toutes ces espèces figurant dans les annexes DHFF sont protégées au niveau national. Face à la richesse spécifique réellement observée sur le Massif - 2282 espèces animales dont 1569 espèces d'insectes ont été recensées jusqu'en 1999 sur la seule commune de Nohèdes (d'après Letscher et Cayatte in Blanc (d'après Letscher et Cayatta 1999 in Blanc, 2008) - cette liste peut paraître assez incomplète. D'autres espèces non recensées par ces annexes méritent d'être mentionnées de par leur intérêt patrimonial, comme, parmi les mammifères, le chat sauvage, la genette, l'hermine ou le putois. A titre d'exemple, la liste des espèces patrimoniales de la réserve Naturelle de Nohèdes, un peu plus ample, se fonde ainsi sur les listes d'espèces « à statut » (protection ou état menacé à l'échelle locale, nationale et internationale), tenant compte des espèces patrimoniales recensés pour les ZNIEFF et prises en compte à l'échelle du Parc Naturel des Pyrénées Catalanes (A.G.R.N.N., 2006).

Quant à la faune ordinaire, la description des milieux ne doit pas omettre les animaux domestiques dont les traces et la présence marquent les paysages. Lors des relevés de terrain nous avons pu rencontrer des équidés, des troupeaux de bovins, de caprins ou d'ovins (ces derniers fréquemment accompagnés de patous) dans presque tous les secteurs du massif (cf. photos). Enfin, lors des relevés (en silence) il est presque aussi fréquent de rencontrer du « gibier », ces mammifères essentiellement herbivores dont on trouve si souvent les traces et avec lesquels on peut avoir quelques rencontres fortuites, pour ne citer que les isards (à 800 m d'altitude dans Coume de Maillargoune), cerfs (au Pic Bastard par exemple), mouflons (au lieu dit de Roquefourcade par exemple) ou sangliers (plus souvent entendus que vus).

Photos 2.21 (a et b) : insectes protégées par la directive habitats, présents sur le massif



l'Écaille chinée (*Euplagia quadripunctaria*) près du Pont del Mari et la Rosalie des Alpes
Clichés A. Müller ; N.B. : le spécimen de Rosalie a été pris en photo sur la commune d'Ignaux (Ariège) en 2009

Photos 2.22 (a et b) : des insectes patrimoniaux



Le Grand Mars changeant (*Apatura iris*) près d'un ravin sur la piste forestière de Mosset, et l'Ascalaphe soufré (*Libelloides coccajus*, Denis et Schiffermüller, 1775) dans un pré à proximité de Betllans. Clichés : A. Müller

Photos 2.23 (a et b) : la faune herbivore et domestique



De haut en bas dans le sens de la lecture : Chèvres entre le col de Marsa et le Pont del Mari, chevaux au lieu-dit de la Roquefourcade (Réal), bovins dans la pinède au dessus de Réal, ovins sur le sommet du Roc Nègre bien surveillés par un Patou, mouflons à la Roquefourcade. Clichés : Anja Müller

2.4. Occupation du sol, évolution des paysages et démographie

2.4.1. L'état actuel de l'occupation du sol

Les cartes ci-dessus montrent que forêts, landes et pâtures dominent le massif, tandis que les cultures occupent aujourd'hui une place peu importante. Si on étudie une carte d'occupation du sol, ne se limitant pas à la couverture végétale, on constate également une faible urbanisation sur le site Natura2000. Effectivement, les zones urbanisées ont été souvent volontairement exclues du zonage Natura 2000, comme on peut le constater notamment en ce qui concerne les communes de Réal, Matemale, Sansa, Caudiès-de-Conflent, Oreilla, Jujols et Conat où la limite du périmètre « contourne » les villages (cf. carte occupation du sol CORINE). En effet seulement Nohèdes et les hameaux Evol, Betllans et Odeillo se situent au sein du périmètre Natura 2000.

La classification européenne de la couverture du sol, CORINE LandCover livre une typologie standardisée pour l'étude de l'occupation du sol avec trois niveaux de précision (niveau 1 : 5 classes, niveau 2 : 15 classes, niveau 3 : 44 classes). Les données brutes sont disponibles par commune et permettent de quantifier la faible urbanisation pour l'ensemble des surfaces des communes concernées par le SIC⁹⁶, dont environ 45% de la surface se situe en dehors du périmètre Natura 2000. Le premier niveau de classification (5 classes) permet de constater que 92,33% de la surface des 18 communes est occupée par la forêt et des milieux semi-naturels (classe °3), tandis qu'on ne recense que 0,68% de territoires artificialisés (tissu urbain discontinu et équipements sportifs), 6,34% de territoires agricoles et 0,66% de surfaces en eau (plans d'eau exclusivement).

Les données cartographiques pour l'année 2006 mises à disposition par l'IFEN permettent de quantifier plus exactement l'occupation des sols pour le périmètre d'étude *s.l.* et le site Natura 2000 (cf. tableau ci-dessous). On peut constater que la forêt de conifères domine la classification fine (troisième niveau, classe n°312) avec 37.49% de la surface du SIC, soit 7990 ha des 10701 ha (50.2 %) classés en forêt. Ils se situent essentiellement sur les crêtes en dessous de 2100 m et sur les versants d'orientation ouest ou nord. Il s'ensuit les « milieux à végétation arbustive et / ou herbacé » (classe °32) (44,8%), dont la classe « pelouses et pâturages naturels » (classe °321) occupe 28% du site Natura 2000 essentiellement en altitude au-delà de 2100 m et sur les versants d'exposition sud. D'après l'interprétation CORINE, seulement 2,26 % de la surface est occupée par des landes et broussailles et 11,51% (classe °322) par une « forêt et végétation arbustive en mutation » (classe °324). Or dans la pratique ces trois dernières classes peuvent se recouper ou se confondre.

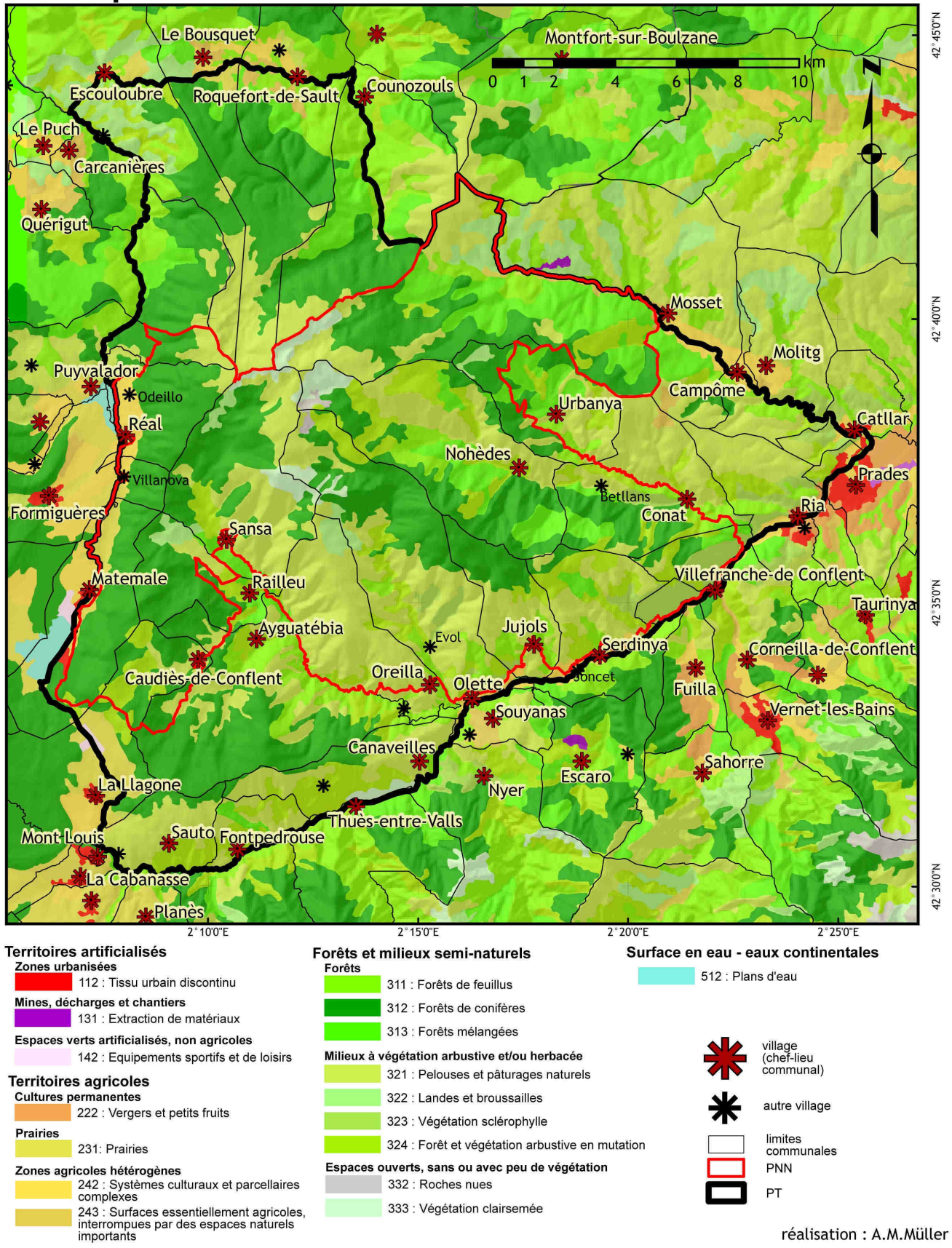
⁹⁶ Il s'agit de la surface de 38780 ha des 18 communes des Pyrénées Orientales, à savoir : Ayguatebia-Talau, Caudiès-de-Conflent, Conat, Formiguères, Fuilla, Jujols, Matemale, Mosset, Nohèdes, Olette, Oreilla, Puyvalador, Railleu, Real, Sansa, Serdinya, Urbanya, et Villefranche de Conflent

Tab. 2.4 : classes d'occupation du sol selon CORINE LandCover et surfaces occupées sur le site Natura 2000 (PNN) et le terrain d'étude *sensu lato* (PT)

CODE Corine LandCover (CLC)				Surface occupée PNN		Surface occupée PT	
Code niveau 3		niveau 2	niveau 1	[ha]	[%]	[ha]	[%]
112	Tissu urbain discontinu	Zones urbanisées	Territoires artificialisés	6	0,03	112	0,3
131	Extraction de matériaux	Mines, décharges et chantiers		0,5	0,002	0,5	0,001
142	Équipements sportifs et de loisirs	Espaces verts artificialisés, non agricoles		0	0	23	0,06
222	Vergers et petits fruits	Cultures permanentes	Territoires agricoles	0	0	49	0,13
231	Prairies	Prairies		210	0,99	581	1,5
242	Systèmes culturaux et parcellaires complexes	Zones agricoles hétérogènes		251	1,18	567	1,4
243	Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants			62	0,29	243	0,6
311	Forêts de feuillus	Forêts	Forêts et milieux semi-naturels	848	3,98	2981	7,6
312	Forêts de conifères			7990	37,49	7371	18,8
313	Forêts mélangées	1863		8,74	3324	8,5	
321	Pelouses et pâturages naturels	Milieux à végétation arbustive et/ou herbacée		5975	28,04	17310	44,0
322	Landes et broussailles			481	2,26	830	2,1
323	Végétation sclérophylle			635	2,98	944	2,4
324	Forêt et végétation arbustive en mutation			2452	11,51	4348	11,1
332	Roches nues	Espaces ouverts, sans ou avec peu de végétation		53	0,25	54	0,14
333	Végétation clairsemée			477	2,24	558	1,4
512	Plans d'eau	Eaux continentales	Surfaces en eau	7	0,03	9	0,02

Source : Cartographie réalisée à partir des données départementales de CORINE LandCover (IFEN)

Occupation du sol (CORINE Landcover) et communes



Carte 2.12 : Carte des communes et de l'occupation du sol selon CORINE LandCover 2006,

Sources: CORINE Landcover, GEOFLA IGN, INSEE, Réalisation A. M. Müller

2.4.2. Démographie des communes du Madres-Coronat

Les données démographiques et socio-économiques communales, disponibles par l'INSEE permettent de caractériser grossièrement la structure et l'évolution de la population locale. Cela permet de se faire une image encore floue des dynamiques récentes de « pression » anthropique sur le milieu.

2.4.2.1. Évolution démographique

Illustré par les deux figures suivantes, les 23 communes concernées par l'ancien périmètre Natura2000 (Département des Pyrénées Orientales, Ariège et Aude⁹⁷) connaissent en 100 ans (entre 1881 et 1982) une chute démographique de 73,1 % (source : INSEE 2006) c'est-à-dire une réduction de la population de plus de 10000 personnes à moins de 3000. Le pourcentage est à peine plus faible (69,7%) si on ne considère que les 18 communes riveraines du nouveau périmètre Natura2000 (PNN) se limitant aux Pyrénées Orientales où ont été recensés 2732 habitants en 2006.

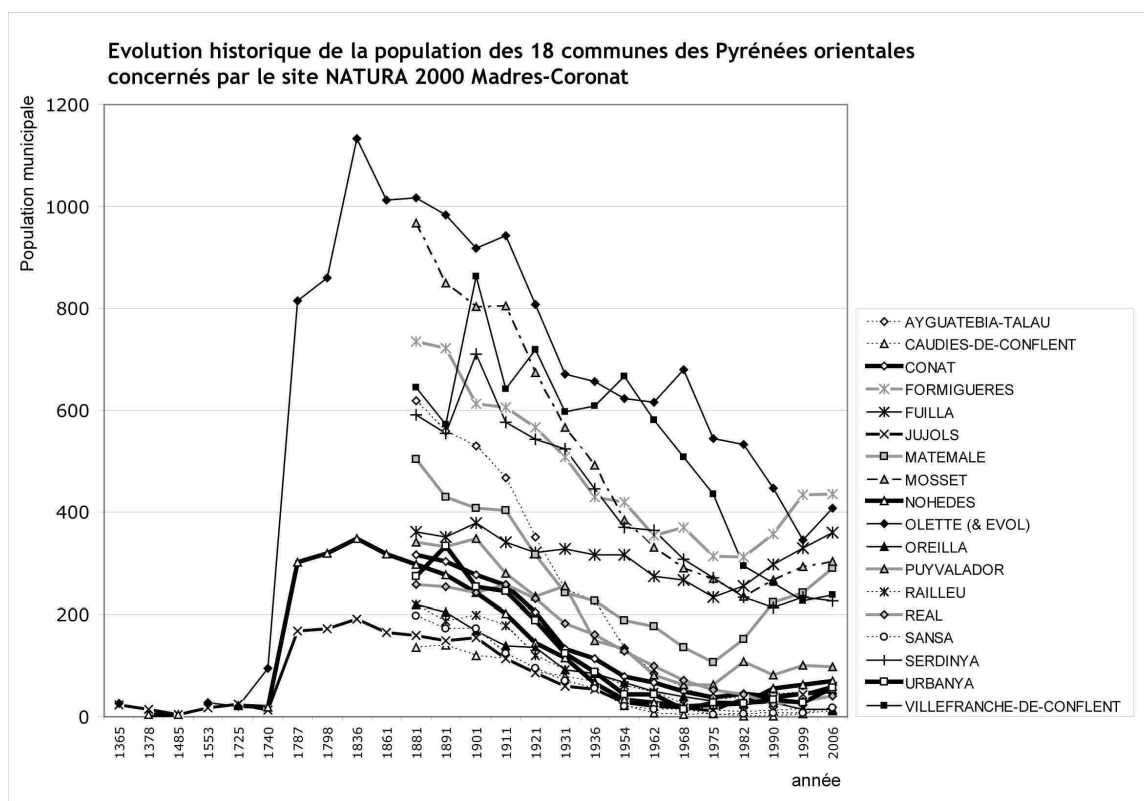


Fig. 2.5 : Comparaison de l'évolution historique de la population de 18 communes touchées par le site NATURA2000 Madres-Coronat (Pyrénées Orientales)

Sources : Bécot (1985) pour les données d'Olette, Nohèdes et Jujols -1861 ; INSEE (2009).
 Note aidant à la lecture : lignes grises : communes du Capcir, lignes noires épaisses : communes de la vallée de Nohèdes, lignes noires plus fines : communes donnant sur la vallée de la Têt, lignes pointillées : communes des Garrotxes

⁹⁷ Il s'agit des communes suivantes : Mosset, Conat, Urbanya, Nohèdes, Villefranche de Conflent, Fuilla, Serdinya, Jujols, Olette, Oreilla, Sansa, Ayguatebia-Talau, Railleu, Caudiès-de-Conflent, Matemale, Formiguères, Real et Puyvalador en Conflent et Capcir ainsi que de Quérigut en Ariège et le Bousquet, COUNOZOULS, ESCOULOUBRE et ROQUEFORT-DE-SAULT sur le versant Nord du massif dans le département de l'Aude. Le nouveau périmètre du site Natura 2000 exclu ainsi les 5 communes des départements Aude et Ariège.

Le premier constat est donc un exode rural post-industriel marqué, qui a progressivement vidé les villages montagnards de leurs habitants. Les recensements de population qui ont lieu environ tous les 9 ans depuis 1881 enregistrent les plus fortes chutes de la population locale notamment entre les deux guerres et après la deuxième guerre mondiale (fig. 2.6). Entre 1921 et 1931 elle se manifeste par une diminution de 16,1% (soit 936 personnes) concernant la population des 18 communes du SIC Madres-Coronat, taux toujours important entre 1954 et 1962 (12,8%) et entre 1968 et 1975 (15,6%). Le ralentissement de cette chute, voire son inversion n'a pas eu lieu de la même manière dans toutes les communes ; ainsi l'exode a été particulièrement forte dans les vallées plus difficilement accessibles comme les communes des Garrotxes (vallée du Cabrils) avec - 91,7% entre 1881 et 1975, de la vallée de Nohèdes (-90,7% entre 1881 et 1968) dans le Pyrénées Orientales comme celle du Madres audois (Vallée de l'Aiguette) (-85,8% entre 1881 et 1999) concerné par l'ancienne extension du périmètre site NATURA2000 et par le périmètre morphologique. Les communes riveraines du Capcir et du Haut-Conflent de la vallée de la Têt, souffrent également d'une baisse démographique importante, quoique moins accentuée, atteignant en 2006 une réduction de la population de 64.9% par rapport à 1881 dans la vallée de la Têt (en retenant Villefranche, Serdinya, Olette et Sauto). Elle est de 73.3% en Capcir pour la période de 1881 à 1975, donc avant la construction des remontées mécaniques.

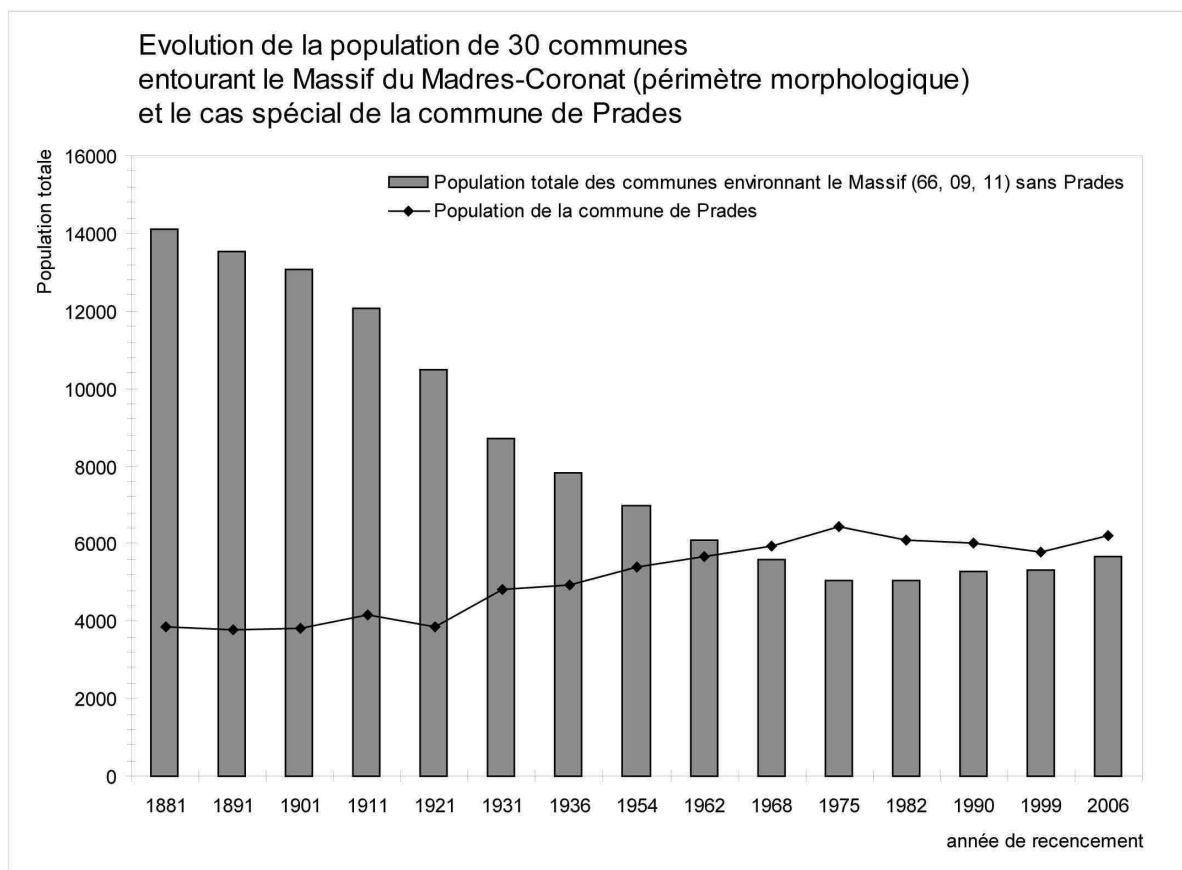


Fig. 2.6 : Évolution de la population de 31 communes riveraines du Massif du Madres Coronat (départements Aude, Ariège et Pyrénées Orientales), celle de Prades mise à part (ligne)

Source : INSEE, recensement de la population 2006 (mise en ligne 2009)

Si on considère l'ensemble des 31 communes⁹⁸ dont une partie du territoire se situe au sein du massif de Madres-Coronat au sens large (périmètre d'étude s.l., PT), comptant 17954 habitants en 1881 et 11897 en 2006, on peut remarquer qu'aujourd'hui plus de la moitié des personnes (52.3 %, 6221 habitants) vivent dans la commune de Prades (cf. graphique 2.6). Cette dernière se distingue aussi nettement des autres communes, parce qu'elle a connu un taux globalement positif de migration depuis 1891, aux dépens des communes environnantes. Avec Catllar et Ria-Sirach, se situant en périphérie immédiate de Prades ce sont par ailleurs les seules communes (parmi cet échantillon de 31 communes environnantes) où le minimum de la population municipale a été atteint avant 1968 (en 1936 et 1962 respectivement). Pour la majorité des autres communes (10 communes) et notamment concernant les plus petites d'entre elles le minimum a été atteint en 1975. Pourtant, dans certaines communes de la vallée de la Têt et du versant nord le minimum ne sera atteint que dans les années 80 et 90, à Villefranche, Olette, Oreilla, Quérigut (09), Counozouls (11) et Roquefort (11) il a fallu attendre 1999. Enfin, d'après le dernier recensement de la population en 2006 une inversion de la tendance semble se confirmer, même si 10 communes sur 31 présentent encore un taux légèrement négatif ou une stagnation depuis 1999. Dans la période 1968 à 2006 les taux de migration sont globalement faiblement positifs, notamment pour les communes du Capcir (à l'exception de Réal), ainsi que pour celles de la vallée de Nohèdes, de la vallée de la Castellane et une partie des villages des Garrotxes (Sansa, Caudiès). Les communes de la vallée de la Têt semblent cependant encore subir un certain « effet de drainage »⁹⁹.

L'évolution de la population du Conflent, Capcir et Madres audois ne s'est pas inscrite dans la tendance générale qu'on observe à l'échelle départementale et nationale, qu'elle démontre au contraire un comportement typique de périphérie (marge). Dans le département des Pyrénées Orientales la population a presque doublé depuis 1881 (de 208 855 à 392 803 en 1999), correspondant à la tendance de l'accroissement de la population française depuis 1881 (149%) pour la même période, globalement plus accentuée dans les régions du sud de la France. Ainsi les 2732 personnes recensées en 2006 dans les 18 communes des Pyrénées Orientales touchées par le site NATURA 2000 ne constituaient plus que 0,67% de la population totale des Pyrénées Orientales contre 3,76% en 1881 et 0.71% en 1982, quand a été atteint le minimum de population pour ces 18 communes (2374 personnes). Toutefois on ne pourra directement corréler le nombre d'habitants avec l'empreinte sur les milieux. La démographie n'est pas en corrélation directe avec l'abandon des terres : c'est en premier lieu les plus pauvres et les « sans terres » qui quitteront les villages, ceci fut illustré par exemple par Métailié et Paegelow (Métailié et Paegelow, 2003) pour le département voisin ariégeois.

Avant d'étudier les secteurs d'activité de la population locale il est aussi intéressant de s'interroger sur la structure démographique. On pourrait croire que cet espace qu'on pourra qualifier d'arrière-pays de la plaine de Rousillon fortement peuplé attire notamment les retraités.

⁹⁸ S'ajoutent là Campôme, Canaveilles, Catllar, Fontpedrouse, la Llagonne, Prades, Ria-Sirach et Sauto. Les surfaces des communes de Souyanas et Thuès-entre-Valls qui se situent rive gauche de la Têt et donc dans le périmètre d'étude ont été négligées puisque 'ils s'agit seulement de quelques hectares qui ne dépassant pas 2% respectivement 1,2% de la surface communale.

A ces 33 communes dont au moins une partie de la surface fait partie du périmètre d'étude s'ajoutent 11 communes dont les limites communales longent (« touchent ») le périmètre du massif. Ils s'agit des communes La Cabanasse, Codalet, Corneilla-de-Conflent, Escaro, Moliyg-les-Bains, Mont-Louis, Nyer, Planès, ainsi que Montfort-sur-Boulzane dans l'Aude et le Puch et Carcanières en Ariège.

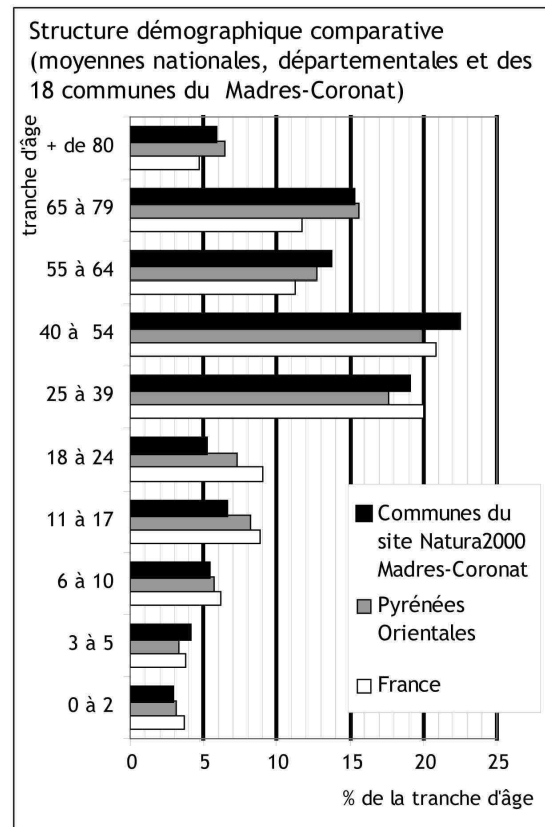
⁹⁹ On peut supposer que les nuisances liées au trafic croissant sur l'ancienne RN113 traversant ces villages ne doivent pas aider au repeuplement.

Pourtant, par rapport aux moyennes départementales et nationales cet à priori reste à nuancer. En 2006 la structure démographique des 18 communes s'inscrit toujours dans la tendance du département des Pyrénées Orientales, connu pour accueillir un grand nombre de personnes âgées par rapport à la moyenne nationale (cf. fig. 2.7), même si cette tendance semble moins accentuée que dans les communes de la plaine du Roussillon. Les tranches d'âge moyennes (25 à 64 ans) sont cependant bien représentées, surtout par rapport à la faiblesse relative de tranches d'âges jeunes (de 11 à 24) plus fortement mobilisés. Cela nous intéresse dans la mesure où les habitants susceptibles d'influencer activement ou passivement l'état actuel de la mosaïque paysagère par des pratiques agricoles ou autres occupent probablement surtout les tranches d'âge jeunes et moyennes (entre 15 et 64 ans), amplement représentées en ce qui concerne les individus âgés de plus de 25 ans.

Fig. 2.7 (ci-contre) : Comparaison de la structure démographique par tranches d'âges (communes du site NATURA2000, moyennes départementale et nationale)

Source : Recensement de la population 2009 (valable pour l'année 2006), INSEE

L'évolution démographique accompagne une modification des pratiques qui modifie alors les influences directes sur les milieux. La transformation des pratiques agricoles s'illustre également par quelques chiffres sur les secteurs d'activité de la population locale.



2.4.3. Aspects socio-économiques

Si on souhaite évaluer l'impact que peuvent avoir les 2732 habitants permanents sur le paysage, il ne faut pas oublier l'impact de non-résidents et résidents occasionnels. Bien évidemment on pense d'abord aux acteurs de la gestion des territoires qui résident hors des 18 communes recensées. Aussi les habitants temporaires et les touristes peuvent avoir une influence directe ou indirecte (via la gestion des territoires) sur les milieux.

Pour compléter ce regard très sommaire sur le territoire via les chiffres de l'INSEE, on peut par exemple consulter les chiffres sur les logements disponibles dans les 18 communes du périmètre NATURA 2000. Il apparaît qu'ils sont plus nombreux que les habitants (au nombre de 4127) et constituent le plus souvent des résidences secondaires ou occasionnelles. En 2006 les résidences secondaires représentaient 61,8 % des logements disponibles contre 40,7% en 1968. Les logements

secondaires sont plus nombreux que les logements principaux et leur part a augmenté dans tous les villages à l'exception de Nohèdes et d'Urbanya.

La démographie contraste ainsi fortement avec la situation des logements car depuis 1968 le chiffre des logements a presque doublé (de 2072 à 4127), et les logements vacants ont baissés de 14,6 % en 1975 à 6,1 % en 2006. Comme on pourrait s'attendre, le taux de logements secondaires est le plus important en Capcir (77,4%) ou se trouvent des stations d'hiver (Les Angles, Formiguères, Puyvalador) et reste toujours très fort dans les Garrotxes (75,8%). Le taux de logements secondaires descend en dessous de 50% seulement dans les communes de la vallée de la Têt (32,8%) et à Nohèdes (42,4%).

Des données harmonisées pour les trois principaux secteurs d'activité (Agriculture, industrie, tertiaire) au niveau communal existent pour la période de 1968 à 1999. La population active ayant un emploi constituait en 1999 36% soit 904 personnes de la population des 18 communes, un taux se situant au-dessus des moyennes pour le département (32%). Contrairement à l'ensemble des 31 communes touchant au massif du Madres -Coronat et à l'ensemble du département, c'est un taux qui est en hausse depuis 1975. En 1999 on pouvait recenser dans les 18 communes du périmètre NATURA 2000 encore 80 actifs ayant un emploi dans le secteur agricole, soit 1,0% des actifs dans ce secteur au niveau départemental. Cela représente une baisse de 73% depuis 1968 où l'on constatait 292 actifs dans le secteur agricole sur l'ensemble des 18 communes, ce qui représentait alors 31% de la population active, contre 9% de la population active dans le secteur agricole en 1999. Comme ailleurs, la baisse des activités dans les secteurs agricoles et industriels a été absorbée par une évolution positive du secteur tertiaire occupant aujourd'hui 82% des actifs. En 2006 on recense parmi la population de ces 18 communes, âgés de 15 à 64 ans encore 76 agriculteurs exploitants dont 4 seulement travaillent sur d'autres communes que leur commune de résidence.

Le caractère pastoral de l'agriculture locale est évident. En raison du secret statistique la consultation du recensement agricole disponible pour 1988 et 2000 (INSEE, AGRESTE) ne permet pas toujours d'obtenir la taille du cheptel pour les 18 communes en question. En revanche, il apparaît que la majeure partie des 82 sièges d'exploitations agricoles¹⁰⁰ recensées en l'an 2000 sont des exploitations en fourragères (80%) et/ou surface toujours en herbe (78%), tandis que 18 exploitations seulement sont des sièges de fermage. Seulement un tiers des exploitations disposent de terres labourables et seulement 7% intègrent la céréaliculture. Très caractéristique, le nombre d'exploitations et d'exploitants, ainsi que d'exploitants en plein temps a diminué (respectivement de -45%, -43% et -28%) entre 1989 et 2000, tandis que la surface agricole utile des sièges toujours en herbe, en fermage et celui du cheptel bovin a augmenté dans la même période (respectivement de +40%, +28% et +35%). Il est apparemment de même pour le cheptel bovin qui a augmenté de 66% en ce qui concerne les données publiquement accessibles, c'est-à-dire 1138 bovins dont 702 vaches associés aux exploitations des 18 communes concernées par le site Natura2000. Il faut nuancer ce dernier chiffre quant à son impact sur les milieux, car une partie seulement de ce cheptel participe à la transhumance estivale, en revanche on retrouve des vaches transhumantes issues de communes plus lointaines sur les estives du Madres-Coronat (communications personnelles de propriétaires et du vacher de la Coume de Pontails). L'empreinte de l'élevage sur les milieux est peut être encore

¹⁰⁰ « Exploitation agricole siège » terme utilisé dans les statistiques de l'INSEE reposant sur la déclaration de l'agriculteur quant au siège social de l'exploitation.

plus importante par l'influence des ovins. Il faut ajouter la présence de caprins et d'équidés sur le Massif.

2.4.4. Disparités spatiales et évolution du paysage

2.4.4.1. L'anthropisation des milieux

Une description des milieux dits naturels reste une description de milieux plus ou moins fortement anthropisés. «*Cet espace que se propose de décrire le géographe est un espace peuplé.*» (Péguy, 2001 :125). L'anthropisation des milieux a évolué au cours du temps et a connu des nuances d'une vallée à l'autre, d'un versant à l'autre. Il ne s'agit ni de discours déterministes, ni possibilistes, « [...] *le fait que nulle part les conditions physiques ne déterminent les traits d'une société ne signifie pas que ces conditions n'ont aucun rôle* » (Dauphiné, 2003 : 15). L'interaction entre hommes et milieux laisse apparaître des structures typiques et des exceptions. Les stratégies de l'utilisation du sol en milieu montagnard tiennent ainsi compte de certaines contraintes topographiques, climatiques, édaphiques et des possibilités offertes par les replats, les vallées, l'hydrographie pour la mise en culture. Il est également indéniable que la diversité actuelle des milieux est en grande partie dû à l'exploitation plurimillénaire des milieux par l'homme créant des discontinuités par les défrichements, modifiant les propriétés des sols en accentuant érosion ou accumulation des terres (terrasses, irrigation, pastoralisme parfois excessif, brûlages, ...), érigeant murettes, *cortals* et *orris*, et créant ainsi un patchwork de parcelles d'histoires différentes où chaque acteur a contribué à la mosaïque actuelle des milieux. Cette influence anthropique, parfois plus ou parfois moins évidente à l'œil, dont la qualité se laisse interpréter par une recherche dans les archives et l'occupation du sol actuelle est pourtant difficile à quantifier sur le long terme. La quantification la plus évidente passe en général encore par l'analyse du résultat de cette influence : la mosaïque des milieux, l'occupation du sol ou la présence de terrasses.

2.4.4.2. Caractéristiques spatiales de l'utilisation des sols

En ce qui concerne la répartition spatiale des principaux types d'occupation du sol sur le Massif du Madres-Coronat, chaque vallée et chaque versant présente des caractéristiques propres, tout en reflétant encore des utilisations et les pratiques typiques associés au système agro-sylvo-pastoral étagé pyrénéen. De nos jours, l'occupation du sol témoigne d'une vocation essentiellement sylvo-pastorale du massif au détriment des cultures sur terrasses aujourd'hui abandonnées.

Les parties sommitales du Madres servent d'estive, ce qui peut se reconnaître sur le terrain par une limite supérieure de la forêt assez basse : la forêt dense laisse la place à partir de 1900 m-2000 m à une forêt plus ouverte, voire des pâtures peu ou pas boisés, à partir de 2250 m on ne retrouve généralement plus que des zones faiblement arborées, même si on peut constater encore la présence de pins de taille métrique sur le pla sommital du Madres. L'utilisation pastorale se reconnaît également aux nombreux replats de versants dominés par les herbacées, qui se trouvent plus souvent être des reposoirs avec leur flore caractéristique. Les pentes plus raides, sur les versants supérieurs exposés nord ou nord-ouest sont plus souvent boisées que les versants exposés

sud et sud-est. On observe ainsi des lambeaux de forêt relativement dense jusqu'à 2240 m sur le versant nord, versant raide, à éboulis au dessous du gorg Nègre (lac d'Evol) ou à 2280 m sur le bac du Puig d'Escoutou. On peut constater, ce qui apparaît comme une particularité locale, que le sommet du Mont Coronat (2172 m) est entièrement boisé¹⁰¹.

Les terrasses de cultures, aujourd'hui pour la plupart enfrichées, sont fréquentes notamment dans la partie inférieure des versants, à proximité des villages et sur les soulanes. Sur ces dernières les terrasses étaient associées le plus souvent aux canaux d'irrigation, plurikilométriques qui dérivent les eaux des rivières principales. La plus grande partie de ces aménagements hydrauliques date du XIXe siècle (Alcaraz, 1999), période qui coïncide avec la densité de population la plus importante. Cette répartition des terrasses sur les soulanes ne constitue cependant en aucun cas une règle bien stricte, car on en trouve également de très nombreuses terrasses sur l'ombrée de Ayguatébia, très peuplée à l'époque, et on peut retrouver des traces des anciens champs cultivés jusqu'à 1850 m sur la soulane de Jujols (Alcaraz, 1999), donc à une distance assez importante du village, associés à l'estive.

Cela illustre que ces structures ne sont pas figées, les pratiques et le contexte de la mise en valeur des ressources naturelles ont changés au cours du temps. Les terrasses à proximité des villages s'enfrichent, les pâturages se boisent, des tires¹⁰² forestières s'ajoutent et le retour de la pratique des brûlages peine à contrer la tendance à l'enfrichement. En rapport avec le changement des pratiques traduites partiellement par les données démographiques et socio-économiques, les analyses diachroniques montrent sans surprendre que les paysages se sont transformés assez rapidement.

2.4.4.3. L'évolution des paysages

Pour étudier la dimension temporelle, la mise en place de diversité des milieux dans le passé, il est nécessaire de se fier aux données spatiales plus anciennes. Or, puisqu'on ne dispose pas de relevés exhaustifs anciens, le seul recours est souvent l'interprétation d'anciennes cartes et cadastres, d'images aériennes (à partir des années 1940) et d'images satellites (années 1970). Une mesure de la diversité morphologique se limite dans ce cas -grosso modo- à la diversité latérale de l'occupation du sol¹⁰³. Aussi, la qualité hétérogène des données (exemple des canaux Landsat modifiés entre les différentes générations de satellites, catégories d'occupation du sol cadastrales) oblige souvent à se restreindre aux classes les plus simples (forêts, landes, etc.).

Deux analyses diachroniques de ce type, avec des typologies un peu différentes, ont été effectuées dans le secteur Madres-Coronat à partir de photos aériennes. Il s'agit de l'interprétation cartographique diachronique de Nuria Roura i Pascual, poursuivis par Inga Ertel sur six communes dans la partie sud-est du massif (Nohèdes, Olette, Jujols, Serdinya, Oreilla et Sansa) réalisée sur quatre missions de photos aériennes de 1953 à 2000 (Roura i Pascual, 2001; Roura i Pascual, 2002; Ertel, 2003; Roura-Pascual, Pons *et al.*, 2005), dont les trajectoires d'évolution ont été analysées ensuite par Vincent Parage (Parage, 2005), et des analyses diachroniques accompagnées de

¹⁰¹ La présence d'une forêt domaniale en position sommitale sur le bac de Nohèdes issu de la « forêt impériale » (cadastre de 1811) a contribué sans doute à la préservation de cette forêt

¹⁰² « piste de tirage » : voie d'accès pour tracteurs forestiers, difficilement carrossable

¹⁰³ La typologie du CEFE (Roura i Pascual, 2001; Ertel, 2003) prenant en compte la densité des strates de végétation des ligneaux, hauts, ligneux bas et herbacées permet une version, certes limitée mais tout de même tridimensionnelle.

modélisations de l'occupation du sol réalisées par Martin Paegelow et collaborateurs sur le secteur des Garrotxes (Métailié et Paegelow, 2003; Paegelow et Camacho-Olmedo, 2003; Paegelow, Villa *et al.*, 2004; Paegelow et Camacho-Olmedo, 2005).

Le dynamisme de la fermeture des milieux, mesuré par l'analyse comparative des photos aériennes met en évidence l'enfrichement progressif du paysage par les landes et une reconquête forestière dominée par *Pinus uncinata*, *Pinus sylvestris*, *Fagus sylvatica* et *Quercus ilex*. Dans le secteur d'étude "Mont Coronat occidental", étudié en 2003/2004 (Müller, 2004) la couverture forestière qui occupait d'après Roura i Pascual en 1953 48 % de la superficie, recouvre en 2000 déjà 73 % du secteur (Roura i Pascual, 2001). Pour l'ensemble du territoire des six communes étudiées par Inga Ertel et Nuria Roura i Pascual (12150 ha), la forêt a progressé de 61,5% en 47 ans (de 25,7% à 41,5%), pendant que la surface herbacée a diminué de 73,8% (de 33,9 à 8,9%)(Ertel, 2003). Sur le secteur du Mont Coronat on peut par ailleurs observer une densification du couvert forestier (Roura-Pascual, Pons *et al.*, 2005), qui témoigne en effet de la succession végétale des versants déboisés par la société des mines de la Têt dès 1918 et jusqu'en 1950 pour alimenter le haut fourneau de Ria (Salvador, 1995).

Les effets de l'évolution démographique et d'une charge pastorale fluctuante demeurent bien visibles. L'abandon des pratiques agro-pastorales traditionnelles depuis les années 1950 s'est traduit, malgré une légère reprise du pastoralisme, par une expansion de la forêt et un embroussaillage important des pâtures et des terrasses de culture abandonnées, notamment par des landes à *Cytisus oromediterraneus*. Les rares terres encore labourées se limitent à quelques ares à proximité des villages (observations personnelles), alors que les documents anciens (cadastre, photos aériennes) témoignent de surfaces cultivées pour une agriculture de subsistance assez importantes. Concernant les surfaces des communes de Jujols, Nohèdes et Olette étudiées en 2004 (5788 ha) (Müller, 2004), 15.8% étaient en 1811 / 1825 (cadastre napoléonien) constitués de terres labourables et seulement 16.9% de bois (si on exclut la forêt impériale sur le territoire de Nohèdes de 1395 ha). Les terres arables atteignaient même 25.8% de la surface de la commune de Jujols. Pour les Garrotxes, les valeurs issues du cadastre napoléonien sont comparables : en 1926 on note toujours 24,07% de terres agricoles, réduites à 3,32% sur les photos aériennes de 1942 et 0,1% en 2000 (Métailié et Paegelow, 2003).

Cette évolution rapide a évidemment un impact considérable sur la composition des espèces et la configuration des habitats. Les études diachroniques démontrent ainsi une fermeture rapide du paysage qui s'accompagne d'une homogénéisation de la mosaïque d'occupation des sols dans les parties inférieures du massif, tandis que les secteurs sommitaux restent relativement stables (Ertel, 2003). Seule la gestion des pâturages, notamment par des brûlages dirigés ainsi que l'exploitations forestière et les incendies de forêts ont par endroit inversé la tendance par une réouverture volontaire des milieux.

2.4.5. Les structures et outils de la gestion du patrimoine naturel

2.4.5.1. Diversité des espaces naturels et périmètres de protection : des espaces « superposés » et « emboîtés »

Le caractère relativement marginal de ce massif sans implantations touristiques notables, à la démographie assez faible et aux paysages qui s'enrichissent là où il ne sont pas forestiers a été assez tôt considérée comme un espace de « retrait » pour la nature comme le montrent les nombreux types d'espaces naturels implantés sur le massif. Ces espaces sont des « *objets politiques* » (Depraz 2008) avec une dimension sociale souvent oubliée face à leur fonction environnementale primordiale qui consiste aussi à contribuer au développement local.

On n'y reviendra pas sur la présence des sites Natura 2000, plus précisément des ZPS et SIC issus des directives « oiseaux » et « habitats » qui se superposent ici (cf. chap. 2.1). Sur le massif se superposent en effet d'autres structures de gestion de l'environnement et zones d'inventaires, notamment trois réserves naturelles et les ZNIEFF de type 1 et 2. Enfin le site d'intérêt communautaire fait également partie du Parc Naturel des Pyrénées Catalanes (cf. carte ci-dessous). Parmi les zones associées au patrimoine naturel et culturel on peut encore citer un site classé de 17 ha à l'extrémité sud-est du massif. Il est dénommé « terrains avoisinant le Fort Libéria » sur les communes de Fuilla et de Villefranche.

2.4.5.2. Les ZICO,

Comme les ZNIEFF, les zones d'importance pour la conservation des oiseaux (ZICO) font partie des observatoires du patrimoine naturel, cependant ils ont été initiés déjà par la directive oiseaux. Le ZICO de 19370 ha occupant la Massif du Madres-Coronat, versant audois inclus, préfigurait en effet le site pilote NATURA 2000, même s'il est de plus faible taille que la ZPS désigné par la suite. En tant qu'unité administrative la ZICO est pourtant toujours maintenue par la DREAL, en parallèle du ZPS (ne figure pas sur la carte ci-dessous).

2.4.5.3. Les ZNIEFF,

Les zones naturelles d'intérêt écologique, faunistiques et floristiques (ZNIEFF) désignent des secteurs de grand intérêt biologique (ZNIEFF de type 1) ou des grands ensembles naturels riches et peu modifiés, offrant des potentialités biologiques importantes. Mise en place en 1990 ces observatoires du patrimoine naturel sont initiés par le ministère de l'environnement (MEDD), validés par le Muséum National d'Histoire Naturelle et constituent un élément majeur pour la politique de protection de la nature puisqu'ils s'agit de sources d'informations orientant le choix des acteurs (Prieur, 2001). Les projets d'aménagement intervenants sur les milieux et paysages doivent ainsi prendre en compte la présence des ZNIEFF.

Depuis la réactualisation des ZNIEFF entamée en 1996 c'est désormais l'ensemble du périmètre étudié qui se trouve classé en zone ZNIEFF 2 (cf. carte), les ZNIEFF de type 1 ont été également considérablement élargies et couvrent désormais une large partie du SIC.

2.4.5.4. Le Parc naturel Régional des Pyrénées Catalanes

Le Parc Naturel régional des Pyrénées catalanes coïncide sur une vaste partie de son contour avec les limites départementales des Pyrénées Orientales. Excluant les Corbières et les massifs frontaliers au sud et à l'est du Canigou le périmètre du parc englobe comme l'indique son nom une bonne partie des Pyrénées Catalanes françaises.

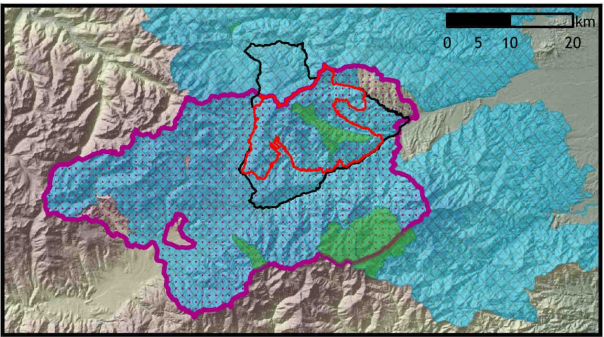
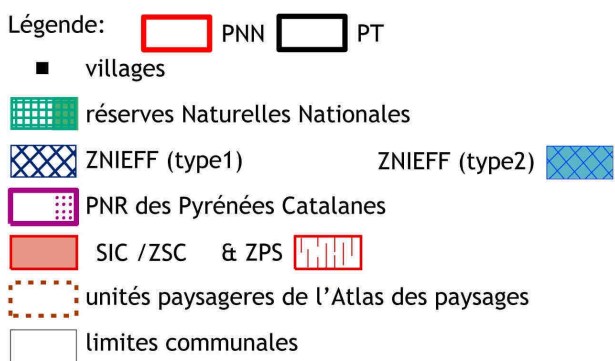
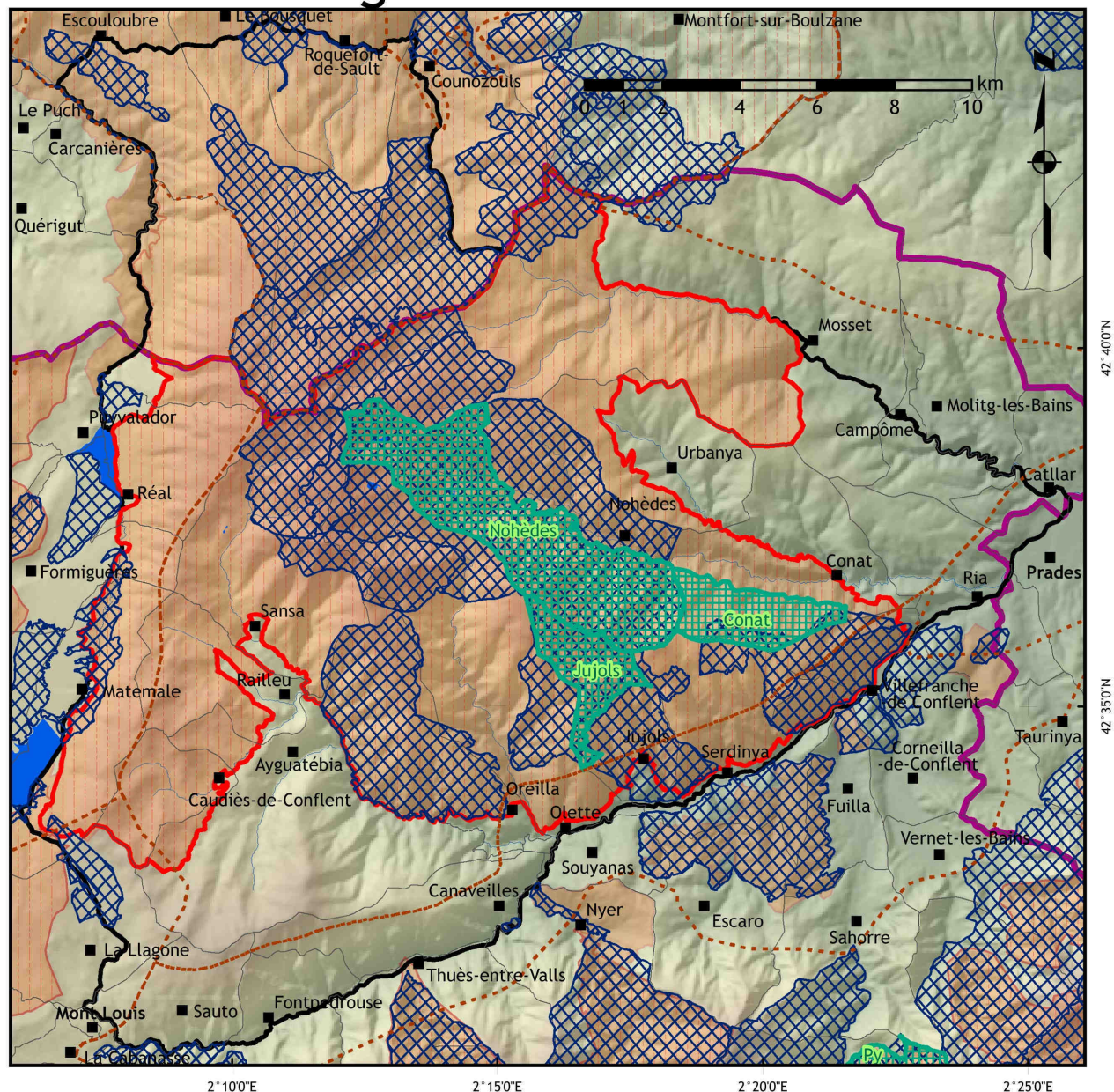
Fondé en 2004, le projet du Parc Naturel Régional des Pyrénées catalanes est en fait issu de plus de 20 ans de réflexion après une première proposition lancée par l'association naturaliste Charles Flahault en 1975 (COLLECTIF, 2003). Avec une double vocation, les Parc Naturels régionaux permettent généralement à un ensemble de communes et de cantons de se regrouper pour définir un projet global de développement économique et social, fondé sur la préservation et la mise en valeur des richesses patrimoniales naturelles et culturelles (Agence Paysages 1996 :9) (Agence Paysages, 1996). Ils favorisent l'accueil touristique ainsi que l'information et l'éducation du public et constituent ainsi un cadre privilégié pour une bonne gestion des paysages et du patrimoine tout en tenant compte d'une protection des espèces et milieux patrimoniaux. L'objectif premier d'un parc naturel se résume ainsi au développement local d'un espace rural qui est jugé « fragile » du fait d'enjeux divers et contradictoires comme la pression foncière, la déprise agricole et le déclin démographique menaçant les caractéristiques naturelles, patrimoniales et paysagères de cet espace (Depraz 2008). Les objectifs sont fixés dans la charte des PNR, qui se présente comme un programme précisant les « *principes fondamentaux de protection des structures paysagères pour le territoire du parc* » (Agence Paysages 1996)(Agence Paysages, 1996). Concrètement la charte du PNR des Pyrénées Catalanes est susceptible d'influencer par les initiatives proposées sur la diversité paysagère et des milieux de son périmètre.

2.4.5.5. Les Réserves Naturelles :

Les trois réserves naturelles de Conat, de Jujols et de Nohèdes créées en 1986, se situant sur les trois communes du même nom, forment, côte à côte la partie sommitale et le flanc nord et sud du Mont Coronat. La Fédération des Réserves naturelles Catalanes (FRNC), association créée en 1991, a permis une gestion et animation commune des neuf réserves présents sur le territoire du département des Pyrénées Orientales par une mise en commun des bases de données et des actions collectives.

Par rapport au PNR des Pyrénées catalanes et les sites Natura2000, les réserves naturelles se présentent en quelque sorte comme « *objets de nature à dominante écologique* » (Depraz 2008) où la dimension scientifique est plus forte, surtout par rapport à la dimension socio-économique davantage mise en avant par le réseau Natura 2000 et le PNR. Les plans de gestion des réserves naturelles se présentent ainsi comme des inventaires et programmes de protection de la diversité biologique sans tenir explicitement compte de la dimension paysagère de la diversité. Toutefois, cette dernière se reflète dans la notion d'habitat naturel utilisé et reprise de la directive habitats.

Carte du zonage environnemental



projection: Lambert carto III, réalisation : A.M.Müller

Carte 2.13 : Des espaces naturels et zonages environnementaux qui se chevauchent

Sources : DREAL Languedoc-Roussillon, GEOFLA ; ASTER GDEM ; Cartographie A. Müller

Conclusion de la deuxième partie

La géodiversité *in situ* ne peut être comprise qu'en introduisant le terrain d'étude avec ces spécificités, ses conditions actuelles et son histoire. Cette deuxième partie se présente comme une monographie : De façon classique elle présente différents aspects, surtout physiogéographiques d'un terrain d'étude qui n'a d'identité que morphologique (périmètre PT) ou administratif (périmètre PNN), mais se présente de façon diversifiée en ce qui concerne ces roches, ses formes, ses climats, ses formations végétales, ses paysages ou encore l'évolution des tendances socio-économiques. Il s'agit ainsi d'une première description, très disciplinaire de la diversité du massif, description qui réunit un certain nombre d'éléments aptes éventuellement à caractériser la diversité paysagère dans un sens très large.

Ce terrain d'étude, le Massif du Madres-Coronat se présente comme un interfluve dominé par le sommet du Madres, culminant à 2469 m, à cheval entre trois départements, les Pyrénées Orientales, l'Ariège et l'Aude. Depuis 2006, le *Site d'Importance Communautaire* « Massif de Madres-Coronat » (FR9101473) se réduit aux parties les plus élevées sur le territoire du département des Pyrénées Orientales. Cela impose deux échelles d'analyse, une première à l'échelle du massif dans son périmètre morphologique tracé par les talwegs et cols, un deuxième à l'échelle du site Natura 2000.

Partagé entre le Capcir à l'ouest et le Conflent à l'est ce massif se caractérise par des aspects méditerranéens d'ordre floristique, morphologique et climatique qui s'estompent progressivement avec l'altitude et l'exposition aux flux atmosphériques atlantiques. Dans le cadre morphotectonique des Pyrénées Orientales ce bloc à l'aspect bombé d'un dôme, légèrement basculé au sud-est et cerné par des failles et des bassins d'effondrement est bien individualisé. Des pentes accentuées, remodelées au pléistocène contrastent avec des aplanissements néogènes dans les parties supérieures du massif et contribuent à la diversité paysagère. La végétation et l'occupation du sol reflètent les caractères physiques et climatiques, mais aussi les pratiques millénaires ayant eu lieu sur le massif : terrasses de cultures et prairies en bas de versant, soulans déboisés, pâturés et aujourd'hui souvent recolonisés par les landes, puis ombrées occupées à l'étage montagnard par le hêtre et même par le sapin sur le versant audois. Enfin, les parties subalpines sont largement dominées par le pin à crochet, et surmontées de pelouses et landes pseudoalpines sur les plus sommitaux qui constituent les estives.

Les données démographiques et socio-économiques soulignent les changements qui sont aujourd'hui visibles dans le paysage, mais ce dernier qui réagit avec un certain retard aux modifications de pratiques. La mosaïque des milieux actuelle se révèle dans la carte peu précise d'occupation des sols de Corine LandCover (European Environment Agency, 2010) et de façon plus détaillée dans la carte des habitats (A.G.R.N.N., 2005a) et la cartographie des structures végétales réalisée par Roura i Pascual et Ertel, non reproduite ici (Roura i Pascual, 2001; Ertel, 2003; Roura-Pascual, Pons *et al.*, 2005) qui ne couvrent cependant pas l'ensemble du périmètre d'étude. On peut malgré cela noter que la répartition spatiale des formations herbacées, landes, et forêts n'est pas aléatoire et une comparaison de différentes cartes proposées dans ce chapitre permet d'identifier une utilisation du sol différencié en fonction de l'altitude, de l'exposition, de la pente, du type de substrat associé à sa position dans le versant.

Ceci amène à considérer l'occupation du sol et des paramètres physiques comme critères de sélection pour un échantillonnage des relevés de terrain pour une étude de la géodiversité, présentée dans le chapitre suivant.

3 - TROISIEME PARTIE : Du terrain à la carte - méthodes et techniques

3.1. Relever la diversité

3.1.1. Phase initiale et préparation des relevés de terrain

3.1.1.1. Aperçu général sur la méthodologie appliquée

Quelques principes concernant le « study design »

Il convient d'insister sur la « conception de la collecte des données », plus communément qualifiée de *study design*. En premier lieu la méthode de collecte et de traitement des données dépend de la problématique de recherche. Les questions principales et l'hypothèse fondamentale explicitées dans la première partie se trouvent ainsi traduites en termes opérationnels et statistiques.

- En termes opérationnels il s'agit d'une présentation des outils de mesure (de la pioche au pH mètre en passant par les yeux et les chartes d'estimation), des types de relevés (biovolumiques, mésologiques, pédologiques, floristiques) mais aussi des méthodes d'analyses cartographiques (analyses spatiales, *landscape metrics* appliqués) et des outils de traitement informatiques (protocole d'exécution cartographique et de télédétection, logiciels et bases de données utilisés)
- En termes statistiques il sera nécessaire de présenter la population - cible, le type d'échantillonnage, les variables et mesures mais aussi les types d'analyses statistiques, hypothèses zéros et mises en gardes quant à l'interprétation des données.

La géographie se présente plus souvent comme une science descriptive et rares sont les recherches expérimentales dans le domaine des études quantitatives des phénomènes spatiaux dans le champ des études des milieux et paysages. Il se fonde le plus souvent sur l'observation *in situ* ou par la télédétection. Le recueil de données sur le terrain engendre souvent des jeux de données importants dus à la complexité des paysages biophysiques comme le soulignent aussi Jongman, Ter Braak et Van Tongeren pour le domaine de l'écologie du paysage (Jongman, Ter Braak *et al.*, 1995 :2). Effectivement la partie quantitative de la présente étude se base en grande partie sur des données recueillies sur le terrain, même si une partie de l'analyse se fonde sur l'interprétation de photos aériennes et d'images satellites.

Étapes de l'analyse

La logique du cheminement de recherche reste très classique :

- Mise en place d'une problématique à partir des enseignements issus d'une recherche préalable effectuée en 2004 : Dégagement des questions initiales et sous-jacentes, émission d'hypothèses, examen de faisabilité pour la vérification des hypothèses, détermination des objectifs, mise en place des étapes de recherche

- Recueil d'informations, de sources bibliographiques et de données spatialisées ou non
- Cartographie initiale, échantillonnage, prise en main des outils de télédétection et d'analyse spatiale
- Préparation protocole de terrain, fiches de relevés et des questions logistiques et financières
- Relevés de terrain
- Analyses de sol, déterminations supplémentaires floristiques,
- Informatisation des données et vérifications
- Cartographie des unités paysagères
- Traitement et analyses statistiques des données et interprétation
- Rédaction, cartographie de synthèse et iconographie

Dans la pratique certaines de ces étapes se chevauchent ou se superposent. Elles ont été réalisées en fonction du temps laissé par la préparation de communications, des tâches d'enseignement et des formations doctorales.

Schéma organisationnel de la méthode mise en œuvre et étapes d'analyse

Une représentation schématique (cf. fig. 3.1 page suivante) expose de façon fortement simplifiée, la problématique (l'étude des relations qui peuvent exister entre une géodiversité morphologique la diversité végétale et la diversité pédologique) et le cheminement pour étudier ces relations. Elle permet de visualiser la complémentarité de la cartographie et des relevés de terrain pour mettre en évidence les différents aspects e la diversité des milieux. La dialectique « diversité paysagère - géodiversité » telle qu'elle apparaît dans la première partie théorique de ce travail mène à la définition d'une géodiversité, mise en relation avec la diversité du vivant et la diversité des sols. Les types de relevés sur le terrain (RM, RS, RE, RB, RG) sont adaptés à la mise en évidence de ces « diversités » sur le terrain, la cartographie sert à l'échantillonnage des relevés et à la mise en évidence de la géodiversité latérale à travers la cartographie des géons. Les indices paysagers statistiques (*landscape metrics*), permettent d'exploiter statistiquement les cartes, en particulier la carte des géons, et, éléments du traitement des données d'établir les traits caractéristiques des relations sol - végétation et leur expression dans la géodiversité entendue comme diversité morphologique des milieux.

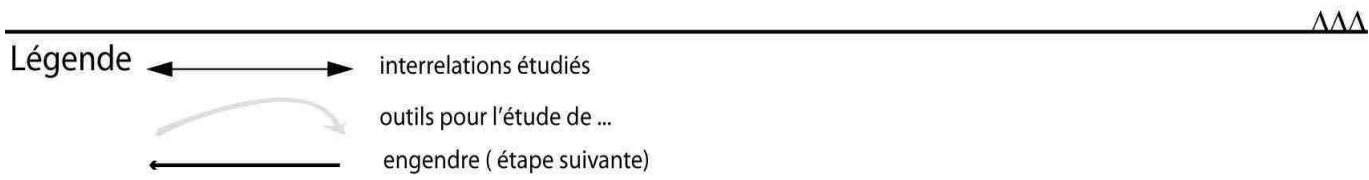
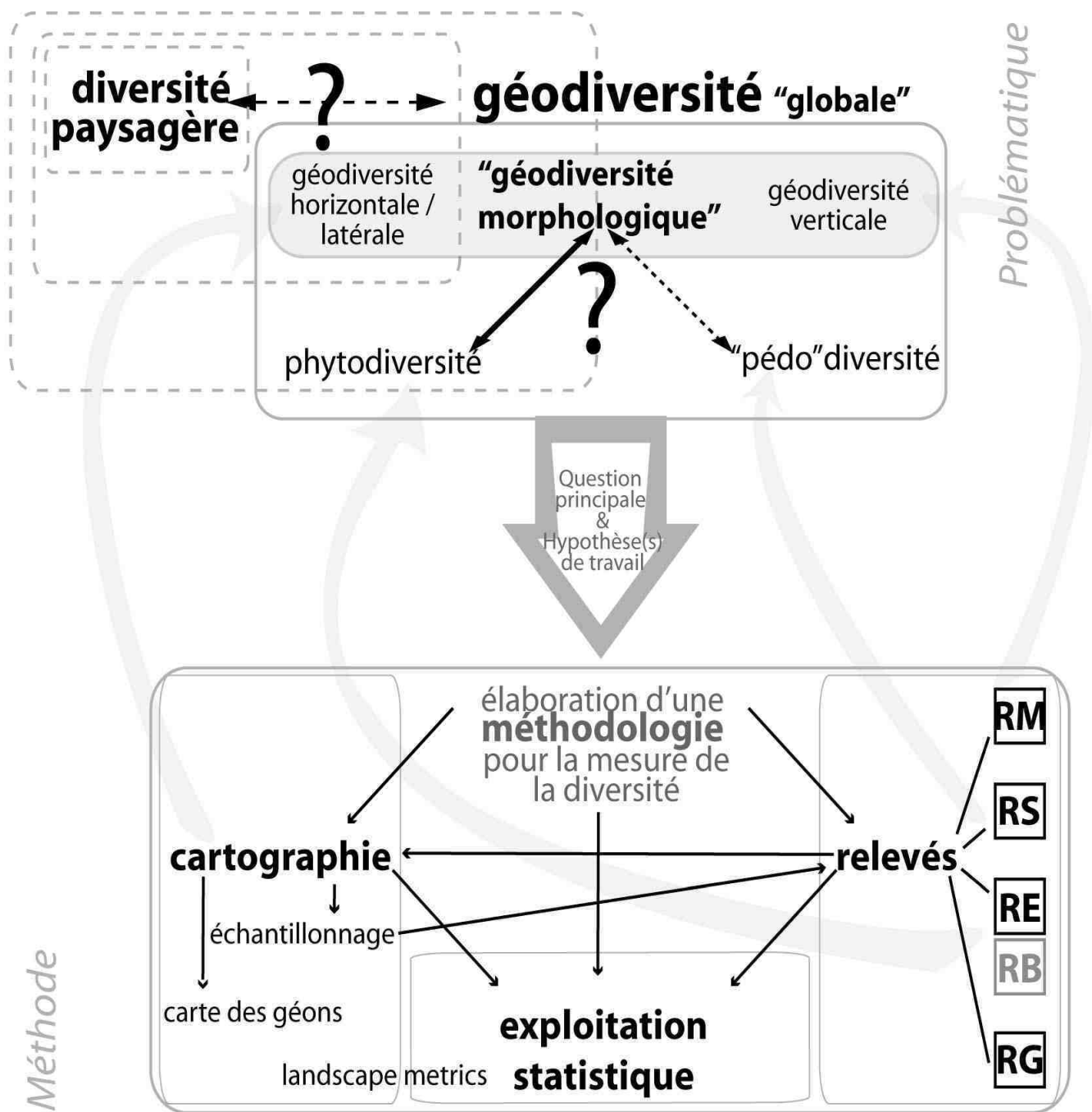


Fig. 3.1 : schéma d'organisation de la recherche

RM= relevé mésologique, RS= relevé du sol (relevé pédologique), RE= relevé des espèces végétales, RB= relevé des biovolumes, RG= relevé général des indices anthropiques, biologiques et physique. Conception : A. Müller

3.1.1.2. Mise en œuvre chronologique et logistique

Calendrier de terrain

La réalisation des relevés de terrain a été planifiée pour la période de végétation de l'année 2006. En raison d'une inscription en doctorat accordée en mars 2005, l'aboutissement des formalités de la co-tutelle en été 2005 et le temps nécessaire pour la mise en place de la méthodologie de travail, d'échantillonnage, de cartographie initiale, une mission sur le terrain en 2005 n'a pas été envisageable. La période des relevés a été ainsi fixée pour 2006 et les plus grand nombre de relevés a été ainsi effectués en été 2006. Des intempéries et une saison végétative tardive en raison d'une relative sécheresse en printemps 2006, ainsi que d'autres contraintes ont impliqué quelques relevés supplémentaires. Ainsi, quelques vérifications et un petit nombre de relevés nécessaires tenant compte du nouveau périmètre d'étude dans le système des quotas se sont ajoutés durant l'été 2007. Les relevés ont été par la suite informatisés, triés, vérifiés à partir de fin 2007.

Tâches, temps nécessaire et nombre de relevés

Pour estimer le nombre de relevés réalisables il était indispensable d'évaluer d'entrée le temps nécessaire pour effectuer un relevé. En décomposant les différentes actions associés à un relevé de terrain, et en se basant sur les expériences acquises en 2003 et 2004, chaque étape donnait un intervalle d'estimation du temps nécessaire, tenant compte de la variation entre les relevés effectués dans les milieux très simples (champ d'éboulis) ou très complexes (forêt supraméditerranéenne fortement stratifiée). Sans compter l'accès depuis les lieux de résidence (Nohèdes, hébergement temporaire à Puyvalador), ni les pauses (casse-croûte), le temps nécessaire pour un relevé était estimé à une durée moyenne d'environ cinq à six heures (cf. tab. 3.1 ci-dessous). En ajoutant le temps d'accès, estimé d'une durée allant de 20 minutes (cas rares) à deux heures pour un aller simple, il s'avérait qu'il était peu probable d'effectuer plus d'un relevé par jour, ce qui s'est confirmé par la suite.

Avec le rythme d'un relevé par jour dans la période de végétation principale allant d'environ mi-mai à fin août, trois mois et demie, donc environ 105 jours on ne pouvait espérer d'atteindre plus de cents relevés. De ce nombre de jours il faut décompter les jours aux conditions météorologiques défavorables pour un relevé entier, estimés à environ 30% (pluie, météo orageuse, temps instable ...) à partir du temps rencontré lors des relevés en mai 2004 ainsi que quelques jours de repos. Les jours à la météo défavorable n'étaient pas perdus pour autant, car ils ont pu servir à la détermination de certaines espèces, à la cartographie ou encore à la consultation des bibliothèques sur place. Lors de la mise en place de la méthodologie il était ainsi envisageable d'effectuer environ 60 relevés de terrain complets. Ce chiffre constitua le nombre « d'échantillons » de milieux possible et détermina la « résolution » de l'étude, c'est-à-dire qu'il donnait un ordre de grandeur au détail de la typologie utilisée pour différencier les milieux.

Tab. 3.1 : Temps moyen nécessaire pour un relevé de terrain

Action associée au relevé	Temps nécessaire (estimation)
Détermination du lieu exact du relevé (sélection, vérification, modification)	0 - 40 min
Déroulage du mètre (80 m) pour une parcelle de 400 m ² , selon accessibilité	4 - 15 min
recueil des premières impressions	5 - 20 min
Prendre les données initiales	15 - 40 min
Pente et expo et dendrométrie	2 - 20 min
Relevés floristiques	40 - 180 min
Relevé des volumes mésologiques (selon nombre de strates et CNL)	40 - 100 min
Relevé des phytovolumes	20 - 60 min
Établissement de la fosse pédologique (vitesse de creusement en fonction du sol)	25 - 100 min
Analyses et prise d'échantillons de sol (pH, CaCO ₃)	ca. 20 min
Dernières vérifications, photos et pliage du matériel	10 - 20 min
Durée net du relevé (sans accès) :	3 - 10 heures

(Estimations A. Müller à partir d'expériences déjà acquises, sans compter le temps nécessaire à l'accès)

Premiers relevés tests

Le « faisceau de méthodes » (« *Methodenbündel* »), c'est-à-dire la méthodologie utilisée a été développé à partir de la méthode de terrain appliquée au moment d'une étude réalisée en 2004 dans le cadre d'un Master de recherche / DEA (cf. MÜLLER, 2004, non publié)(Müller, 2004) et fondé sur des expériences acquises en maîtrise de géographie sur un site dans les Albères à l'extrémité orientale des Pyrénées (Müller, 2003). Pour développer une problématique de recherche sur l'étude de terrain du Madres-Coronat et pour tester une partie de la méthode nous avons retenu en 2004 quatre toposéquences tracées sur un périmètre réduit à 40,5 km², se situant sur la partie occidentale du Mont Coronat (sur les communes Jujols, Olette et Nohèdes), cartographié sous l'appellation « secteur Mont Coronat occidental ».

Il s'agissait de vérifier la performance de la méthode et de retenir les résultats les plus intéressants en appliquant un référentiel de corps naturels localisés adapté au terrain d'étude avec les expériences acquises en 2002/2003 et en relevant la flore selon la méthode de Josias Braun–Blanquet. Cette approche a été élargie dans la méthodologie appliquée en 2006, autant en ce qui concerne l'échantillonnage que les méthodes de terrain appliquées.

Ces premières toposéquences sur le site d'étude, ont été réparties selon trois expositions (sud-sud-ouest, est, et nord-ouest), le substrat (schistes, calcaires, substrat morainique); la couverture végétale (forêt de conifères, forêt de feuillus, forêt de feuillus sempervirentes, landes, fourrés, végétation des rochers...) et l'occupation des sols (pâtures, forêt privée ou communale,

réserve naturelle,...). Pour éviter des « oublis » des données à relever sur le terrain et pour faciliter la manipulation et informatisation des données, une fiche de relevé a été conçue (annexes du mémoire de DEA). Le relevé se limitait alors essentiellement aux relevés mésologiques tout en tenant compte de quelques paramètres supplémentaires, notamment de la pente, de l'exposition, du type de sol et des espèces dominantes. Ni le relevé floristique, ni le relevé pédologique ont été pratiqués de façon exhaustive.

Adaptation de la méthodologie de terrain

Après une première phase de « problématisation et travail bibliographique », la préparation des relevés de terrain à réaliser dans le cadre de la recherche doctorale impliquait quelques changements concernant la méthode des relevés par rapport à celle appliquée pour le travail de recherche dans le cadre du Master recherche « environnement et paysage ». La méthodologie a été élargie pour les études de terrain 2006 en fonction des problématiques dégagées dans le cadre de la co-tutelle de thèse, impliquant notamment la mise en relation entre géodiversité et phytodiversité et la prise en compte d'éléments de diversité pédologique. Des variables complémentaires se sont ajoutées au protocole de description initiale de 2004.

L'appréciation des données générales sur les parcelles a été systématisée et augmentée par un certain nombre d'informations supplémentaires comme par exemple les traces de pastoralisme, de gestion forestière visibles ou des éléments de géomorphologie. Ces éléments pris en tant que variables explicatives permettront d'aller plus loin dans l'interprétation des analyses multifactorielles. En outre la mission de terrain de 2006 (complémentée par quelques relevés en 2007) met un accent supplémentaire sur les relevés botaniques (phytosociologiques et relevés biovolumiques) pour permettre une mise en relation entre structures mésologique (verticale) et phytodiversité. Pour les relevés floristiques exhaustives et une estimation plus précise des volumes il a été enfin envisagé de procéder à des relevés sur des placettes bien délimitées. Finalement, des relevés pédologiques ont été ajoutés pour permettre une mise en relation des relevés morphologiques avec la pédologie classique et d'étudier la relation « sol - végétation » par une approche classique complémentaire au relevé mésologique. Par ailleurs, les indices pédologiques comme la texture et le pH du sol ou les indices forestiers tels le nombre, le diamètre des arbres permettaient d'ajouter une dimension géoécologique et appliquée aux relevés de terrain sinon peu accessibles aux « hommes de terrain ».

Les données relevées en 2004 (renommées relevés R1 à R18) ont été partiellement réutilisables en ce qui concerne les relevés mésologiques, mais n'étaient pas suffisamment exhaustives en ce qui concerne relevés floristiques et pédologiques. Elles ont été donc écartées d'un grand nombre de traitements statistiques ciblant la mise en relation entre relevés mésologiques, pédologiques et floristiques. La mise en place de la nouvelle méthodologie a fait l'objet des préparatifs de l'étude de terrain en 2005/2006.

Composantes et éléments du milieu relevés

Pour exploiter les informations complémentaires et permettre une comparaison méthodologique des approches classiques permettant une mise en évidence de la diversité des sols

et de la diversité floristique, et d'effectuer des relevés mésologiques pour analyser la morphologie des milieux, un grand nombre d'informations doit être recueilli sur le terrain. Il s'agissait de relever toutes les éléments permettant de relier trois approches au milieu : la structure verticale du milieu, la structure et composition de la végétation et le caractère des sols. Afin de faciliter le relevé de ces paramètres, un certain nombre de fiches de relevés ont été conçues et seront présentées plus loin.

Le milieu est pris en compte par sa morphologie et composition structurale, plus précisément celle des espèces végétales sur place (RF), celle du modelé, transformé par la gestion de l'homme et parfois la présence des troupeaux, et influencé par le (bio)climat. Cependant la morphologie du milieu est surtout prise en compte par le relevé dit mésologique (RM), prenant en compte l'enchevêtrement des éléments floristiques, organo-minéraux, et minéraux ainsi que les traces anthropiques ou zoogènes, définissant ainsi les enceintes reconnaissables dans le milieu. La répartition spatiale d'espèces végétales par une méthode permettant la comparaison directe des enceintes (strates de végétation), donc la prise en compte de la structure verticale des espèces est prise en compte par les biovolumes (RB). Enfin, abordée déjà par le relevé mésologique, une approche classique de caractérisation des sols (RS) constituait le cadre pour le prélèvement des échantillons de sol et pour une comparaison méthodologique avec les relevés mésologiques (RM).

Cela amena à :

- définir des strates « fixes » (prédéfinies) pour la végétation et des ou géohorizons déterminées en fonction des caractéristiques de terrain pour le relevé mésologique
- déterminer les espèces retrouvées sur place
- estimer le pourcentage occupé par chaque espèce au sein d'une strate de végétation prédéfinie
- déterminer des corps naturels, depuis les formations superficielles jusqu'à la cime des arbres, par estimation de leur volume au sein des hoplexols (géohorizons déterminés sur place)
- caractériser les sols et prélever des échantillons de terre

Un certain nombre de variables « explicatives » ont été systématiquement recensées, à l'aide d'un « relevé général ».

- Pente et exposition, dynamique géomorphologique et formes topographiques
- Affleurements et types de roches constatés (si objet)
- Anthropisation locale (utilisation, « traces », artifices ...)
- Recouvrement des trois principales strates de végétation (Ligneux haut et bas, herbacées)
- Des indices liés à la pratique des brûlages ou aux incendies
- Des indices de faune sauvage et domestiques (indices de pastoralisme)
- Hauteur et diamètre des arbres dans la parcelle et gestion forestière (si objet)

3.1.1.3. Outils de terrain

Matériel de terrain

Le relevé de ces paramètres nécessitait seulement du petit matériel, portable et peu onéreux. Quelques outils et instruments s'avèrent cependant indispensables pour les relevés de terrain et faisaient l'objet d'une liste afin d'éviter les oublis.

- Mètre de 100 m (rouleau) pour la délimitation visible de la parcelle

- Mètre de 2 m pour une estimation verticale exacte et des photos de la fosse pédologique permettant une comparaison visuelle ultérieure
- Boussole pour déterminer l'exposition de la pente (+ orientation), servant aussi à l'orientation sans GPS
- Clinomètre pour la mesure de la pente et la hauteur des arbres
- Appareil photo (numérique) et piles de rechange
- GPS (si disponible) avec piles de rechange
- Carte(s) IGN au 25 000ème de la zone (accès, orientation, sécurité)
- Pioche nécessaire pour creuser des fosses sur les sols de montagne, idéalement avec un revers large permettant d'alterner piochage et extraction (dite pioche du cantonnier)
- Truelle pour le nettoyage du profil pédologique et le prélèvement des échantillons de sol
- Acide chlorhydrique à 10%
- « pH -mètre » avec liquide indicateur selon HELLIGE et support
- feuilles/fiches de relevés en quantité suffisante (« *Aufnahmebögen* ») sur une planchette à pince (écritoire) rigide (*clipboard*)
- lexique des matériaux avec codes pour une notification rapide
- fiches annexes aux relevés (FA-T, FA-S, FA-....)
- Charte d'estimation visuelle (intégrée dans le clipboard pour une accessibilité permanente)
- flore « portative » (notamment flore de Saule, flore de Fournier ou flore de Bonnier)
- Papier journal ou papier fin (type annuaire) ou un grand nombre d'enveloppes dans un classeur fermé pour les échantillons de végétaux (en cas de non identification)
- Sachets en plastique (type sacs de congélation) pour les échantillons de terre (et autres matériaux prélevés) avec système de fermeture (fil de fer, ...) et marqueur
- Crayons (Stylos), gomme, taille-crayon ...
- Eau et serviettes en papier pour le nettoyage des outils (pH-mètre...)

Quelques éléments supplémentaires également utiles pour les relevés de terrain étaient amenés si le temps d'accès ou la difficulté d'accès le permettaient.

- Bêche ou pelle pliable
- Dendromètre (facilitant l'estimation de la hauteur des arbres)
- Photos aériennes du secteur (copie ou impression agrandi de préférence)
- liste des espèces courantes (abréviations)

Biométrie

Pour avoir utilisé à chaque relevé autant le rouleau métrique (100 m) que le mètre en bois de 2 m de hauteur, il est important de revenir ici sur l'importance d'une bonne connaissance des mesures et repères métriques du corps de l'auteur des relevés. Il est alors utile, au moment où l'on s'approche d'une plante, clipboard en main, de ne pas forcément avoir besoin de dérouler ou déplier un mètre pour évaluer chaque hauteur ou extension. Pour retrouver aisément des repères à 0.05, 0.10, 0.30, 0.5, 1 et 2 m il suffit d'utiliser mains, pieds, la taille du corps et la longueur des pas (*cf.* tab 3.2). Une précision millimétrique est d'utilité seulement pour la surface du sol (horizons organiques parfois millimétriques) et la typologie des corps naturels localisés (par exemple pour différencier entre grains de sable grossiers et graviers fins).

Tab. 3.2 : mesures biométriques utilisées lors des relevés

Main	Largeur de l'ongle de l'annulaire gauche	1 cm
	Largeur de l'ongle du pouce droit	1,5 cm
	Longueur du pouce depuis la limite entre phalange proximale et métacarpienne (articulation) (main gauche ou droite)	6 cm
	Longueur du doigt majeur depuis la limite entre phalange proximale et métacarpien (main gauche ou droite)	10 cm
	Distance poignet- pointe du majeur (main gauche ou droite)	19,5 cm
	Distance « pointe du pouce - pointe du petit doigt », les doigts écartés au maximum, (main droite ou gauche)	21 cm
Pied	Longueur du pied (avec chaussures de randonnée habituelles)	28 cm
debout	Hauteur plante des pieds (avec chaussures) - hauteur ménisque	50 cm
	Hauteur « pied - nombril » (avec chaussures)	100 cm
	Hauteur des yeux (de la bouche)	1,58 m (1,50 m)
	Pointe des doigts extérieurs les bras écartés	1,65 m
	Distance pieds -haut de la paume (bras tendu vers le haut)	2 m
en marchant	Longueur du pas à vitesse de marche lente	0,75 cm (15 pas 10 m...)

Source : mesures corporelles de l'auteur

Photo 3.1 (ci-dessous) : « petit matériel » suffisant pour les relevés (tenant dans un sac à dos)



N.B. ne figurent pas : appareil photo, pelle pliable, pioche, casse-croûte; Cliché A.M. Müller 2006

3.1.2. L'échantillonnage des relevés

3.1.2.1. Définition de la population cible : les milieux du Madres-Coronat

Les milieux du Madres-Coronat, l'objet de l'échantillonnage étaient définis comme étant la population cible. La population cible englobe la population observée et la population non observée en raison du coût, temps, accessibilité. L'ampleur du terrain, 390 km², 111 km de contour suggérait de se restreindre à seulement une partie du massif. En accord avec l'objectif initial, l'application de la géodiversité dans la gestion des espaces naturels, il a été envisagé de se restreindre au site Natura 2000 Madres-Coronat.

Population observée

Pour l'échantillonnage des relevés, la base de sondage considérée est la surface complète du terrain étudié. Si on restreint les relevés de terrain à la surface du SIC Massif de Madres-Coronat avec une surface de 21412,62 ha, on peut théoriquement envisager 535315 relevés de 400 m² de surface si on les dispose l'un à côté de l'autre. Il faudra préciser que les 21412 ha correspondent à la surface projetée sur un plan cartographique. En réalité il s'agit d'une surface tridimensionnelle plus importante d'au moins 9.4% (voir plus haut), augmentant le nombre de relevés possibles à plus de 590000. Ce nombre de relevés théoriques s'élève presque au double si on tient compte de l'ensemble du périmètre étudié (PT : 1069300 relevés de 400 m²). Au moment de l'échantillonnage, le site Natura 2000 comprenait encore les parties audoises et ariégeoises et occupait alors une surface de 266 km² projeté sur la plan, ce qui impliquait en réalité une surface d'au moins 290 km² si on considère cette surface de façon tridimensionnelle. La réduction du site NATURA 2000 Madres-Coronat au département des Pyrénées Orientales après attribution de la partie septentrionale au site NATURA 2000 « Haute vallée de l'Aude et bassin de l'Aiguette » (FR 9101470) n'a ainsi pas été vue d'un mauvais œil.

La population cible concerne alors les 390000000 m² de milieux contrastés du Madres-Coronat, mais après limitation sur le site NATURA 2000 Madres-Coronat, réduction de celui-ci à sa surface actuelle de 214 km², la population observée se limite presque à la moitié de la surface. Par ailleurs, il fallait tenir compte de la couverture par les orthophotos, nécessaire pour l'échantillonnage, qui montrait des lacunes sur certains secteurs, notamment à l'extrémité orientale du massif (environ 300 ha non couverts par les orthophotos). Elle se limitait par ailleurs au périmètre de l'ancien site Natura 2000, autre raison pour laquelle une limitation de la population cible au SIC a été nécessaire.

Nombre d'échantillons

Pour déterminer le nombre de relevés indispensables, il fallait ensuite s'interroger sur les caractéristiques de la population des « milieux ». En fonction de la « résolution » choisie le nombre de milieux de types différents varie. A une échelle très fine, le nombre de milieux semble tendre vers l'infini, mais se situe en tous les cas hors de la portée d'une quantification précise. Cela sous-

entend qu'il était nécessaire de mener une réflexion sur le degré de précision des données acquises/ à acquérir. Le niveau de résolution est en premier lieu fonction de la faisabilité des relevés. On peut regretter que cette résolution soit assez faible si on estime le nombre de relevés faisables à moins de 100 relevés (*cf.* plus haut : temps nécessaire). Ce nombre très réduit devait alors refléter la diversité des milieux de façon suffisamment représentative, et ne pouvait pas prétendre à une étude exhaustive de la diversité dans un temps restreint.

L'ambition de mettre en relation les données de terrain et la cartographie (géodiversité latérale) impliquait par ailleurs de ne pas se borner aux extrêmes et aux raretés, mais de se limiter aux milieux les plus typiques, représentatifs et par ailleurs reconnaissables par la photo-interprétation. Cela exclura malheureusement le plus grand nombre de types de zones humides de faible extension.

L'échantillonnage s'effectua alors à partir d'une base d'échantillonnage qui se réfère dans notre cas à la surface du SIC couverte par les orthophotos (20967 ha). La méthode d'échantillonnage détermina comment le petit nombre de relevés allait se répartir sur le site d'étude.

3.1.2.2. Méthodes d'échantillonnage

Regard porté sur les méthodes d'échantillonnage statistique

L'échantillonnage (*Samplingstrategie*), c'est-à-dire la sélection des parcelles où seront effectués les relevés de terrain est nécessaire pour assurer la représentativité des relevés par rapport à l'ensemble des milieux représentés dans la zone d'étude et peut se faire de diverses façons. Afin d'éviter des résultats dominés par des autocorrelations spatiales les relevés doivent être répartis sur l'ensemble du terrain d'étude. Plusieurs méthodes d'échantillonnage permettent de distribuer les relevés de façon aléatoire, systématique ou encore de façon subjective. Témoignant de deux approches différentes (*cf.* Glavac, 1996; Traxler, 1997), l'une numérique, l'autre partant du principe que le choix des placette ne peut se faire que sur place. Ces différentes méthodes d'échantillonnage ont été évaluées par rapport à leur pertinence à mettre en évidence des milieux représentatifs. Lors de la mise en place du protocole de relevés, les trois méthodes de distribution des relevés ont été appliquées par SIG sur une série de cartes thématiques.

L'échantillonnage aléatoire et systématique avait été dans un premier temps favorisé par rapport à l'échantillonnage dit subjectif, puisqu'il permet de transposer de façon statistiquement valide les résultats des échantillons sur l'ensemble de la population cible.

Échantillonnage aléatoire

Une mesure de la géodiversité pourrait suggérer l'utilisation d'une méthode d'échantillonnage « statistiquement significative », c'est-à-dire la méthode d'échantillonnage aléatoire obéissant au principe probabiliste (*random sampling*). A condition de pouvoir effectuer un très grand nombre de relevés, l'échantillonnage aléatoire est sans doute la méthode la plus fiable pour caractériser de façon inductive la diversité selon les exigences de la statistique. Cependant, la représentativité du grand nombre de milieux de types différents du Madres-Coronat nécessiterait un nombre bien trop important de relevés pour permettre de caractériser avec une certaine assurance

les milieux à surface restreinte (exemple des parois rocheuses, notamment en projection sur le plan), pour ne pas risquer de surreprésenter certains milieux très fréquents (forêt de pins à crochets sur roche cristalline, par exemple). Or, le protocole de relevés de terrain étant ample, seulement un relativement faible nombre de relevés était réalisable et excluait alors l'échantillonnage aléatoire au sens strict. Il faut ajouter qu'il est assez fastidieux de retrouver sur le terrain les points d'échantillonnage aléatoires. Toutefois, à titre d'essai, des coordonnées géographiques aléatoires (au nombre de 400) ont été générées et transposées sur un fond cartographique, afin d'évaluer leur pertinence (carte et résultat *cf.* plus loin). Une façon de réduire le nombre d'échantillons nécessaire peut passer par une stratification préalable (voir plus bas).

Échantillonnage systématique

L'échantillonnage systématique (*systematic sampling*) prévoit une répartition homogène, systématique des relevés sur l'ensemble du site étudié à partir d'un maillage le plus souvent orthogonal ou hexagonal. C'est une façon de réduire le nombre d'échantillons par rapport à l'échantillonnage aléatoire et les effets d'agrégation des échantillons (*clumping*). Par ailleurs cette méthode facilite la spatialisation de caractères par modélisation (par exemple : température, direction du vent, présence d'une espèce à petite échelle). Elle ne se prête cependant pas très bien à la caractérisation des milieux fortement variés dans un environnement où les caractéristiques changent de façon importante sur des courtes distances (topographie !), à moins d'adopter là encore une très grande échelle. En fonction de la résolution du maillage (500, 250, 100, 50 m) les milieux de faible extension sont oubliés, ou le nombre de relevés devient trop important. L'échantillonnage se prête davantage aux zones d'études relativement homogènes, voire monotones et constitue dans ce cas un très bon moyen d'interpolation.

Échantillonnage subjectif

Même si l'échantillonnage aléatoire et systématique séduit par sa fiabilité /signifiante statistique, l'échantillonnage pour des relevés écologiques ou floristiques sur des terrains d'études d'une certaine ampleur s'effectue dans la pratique le plus souvent après une première stratification subjective du terrain d'étude (Traxler, 1997 :53).

Un échantillonnage dit subjectif est un échantillonnage « sur place », il permet de choisir le lieu précis du relevé en fonction de l'homogénéité et « représentativité » du milieu *in situ*. Dans les approches classiques phytosociologiques cette démarche est la règle (Glavac, 1996) et permet d'exclure les écotones qui brouillent une caractérisation des milieux à moins qu'on effectue une caractérisation des milieux à très grande échelle.

Enfin, puisque la géodiversité tient compte d'un très grand nombre de caractéristiques, incluant la stratification du milieu, l'homogénéité de ces caractéristiques ne peut que se caractériser sur place. L'avantage des méthodes aléatoires et systématiques réside cependant dans la possibilité de généraliser sans *a priori* influencer le résultat par le choix subjectif des placettes, elle reste une méthode attractive. Effectivement la grande diversité des caractéristiques à prendre en compte pour une étude de la géodiversité suggère d'effectuer une « stratification » préalable, c'est-à-dire une zonage, permettant de quantifier d'avance, même de façon approximative la part

respective des différents milieux attendus et d'adapter le choix de sites en fonction de quelques critères supposés explicatifs pour la diversité des milieux.

La figure suivante illustre l'avantage d'un échantillonnage subjectif parmi les méthodes non stratifiées (première ligne). Le choix subjectif des placettes permet de tenir compte de tous les milieux à la résolution voulu de centrer les relevés au sein d'une unité homogène afin d'éviter les relevés peu représentatifs, en zones de bordure, de placer les échantillons selon des gradients écologiques ou encore de sélectionner volontairement des échantillons très éloignés au sein d'une même unité.

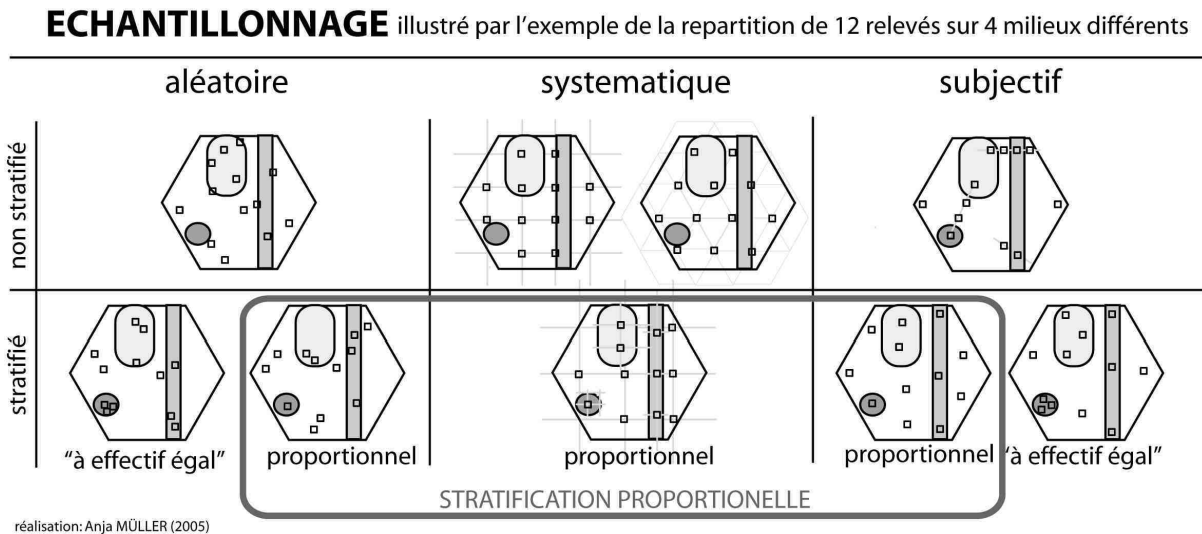


Fig. 3.2 : méthodes d'échantillonnage stratifiés et non stratifiée : probabilistes (aléatoires), systématiques et subjectifs

Source : d'après Glavac1996 et Traxler 1997, inspirés par Wildi 1986, modifications A.M. Müller

Méthodes d'échantillonnage stratifiées

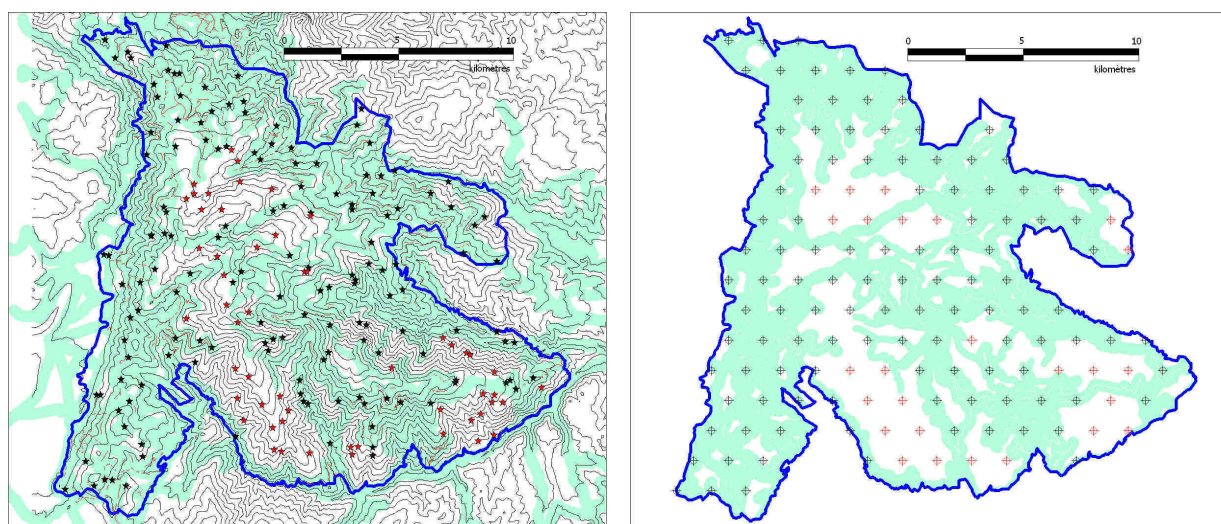
La stratification, aussi appelée segmentation est le plus souvent un compromis entre un échantillonnage probabiliste au sein du *stratum* et un échantillonnage subjectif des *strates* retenues (Traxler, 1997). Si l'inconvénient principal de l'échantillonnage aléatoire réside dans le fait que la végétation n'est justement pas répartie au hasard et que certains milieux ne seront très probablement pas saisis au tirage aléatoire, une stratification du terrain d'étude peut permettre de répartir les relevés de façon aléatoire dans un même type de milieu. Cela permettrait au moins d'effectuer des tests statistiques sur les données d'un même type de milieu. De même il est possible de « stratifier » le terrain d'étude avant d'effectuer un échantillonnage systématique. Cela permet d'adapter le maillage à la taille ou à la fréquence des différents types stratifiés et permet alors de saisir également des milieux de taille plus restreinte.

Enfin, une stratification de l'échantillonnage subjectif permet d'organiser et, en quelque sorte, de rationaliser l'échantillonnage, de rendre le jeu d'échantillons plus représentatif par rapport à la population observée.

Cette pondération (*Gewichtung*) peut se faire selon la surface (*nach Flächenanteilen*), auquel cas elle est considérée comme proportionnelle, sinon à effectif égal (*gleichberechtigt*), si on attribue le même nombre d'échantillons à chaque type stratifié. Enfin il est également possible de stratifier de façon subjective, selon d'autres critères, par exemple en accordant plus de relevés à un type d'habitat prioritaire.

Un critère pragmatique en faveur d'un échantillonnage subjectif ou stratifié : l'accessibilité

Comme le laissent apercevoir les deux petites cartes ci-dessous, réalisés en 2005 (ancien périmètre Natura2000), le critère d'accessibilité, joue en faveur d'un échantillonnage subjectif ou au moins stratifié. En effet, les milieux du Madres-Coronat ne sont pas accessibles de manière égale. Ainsi nous avons décidé d'effectuer une présélection théorique des sites potentiellement plus accessibles depuis les chemins d'accès incluant les moindres sentiers pédestres, tout en réduisant l'impact des zones fortement modifiées par la présence de la voirie. Plus précisément cela visait à éviter des relevés se situant à proximité immédiate d'une route, d'une piste ou d'un sentier.



Cartes 3.1a (gauche) : échantillonnage aléatoire (ici : 203 points), non stratifié

Cartes 3.1b (droite) : échantillonnage systématique, non stratifié, selon une maille hexagonale avec une distance de 1500 m entre les points (145 points)

Note : coordonnées aléatoires générées à partir de MS Excel, réseau générés avec ArcGIS, à partir d'un point aléatoire, le réseau clair du fond indique une zone tampon (« *buffer* ») (>25 m, < 500 m) autour des voies d'accès incluant notamment sentiers et sentiers non balisés, tires forestières, pistes et routes. Les points de relevés noirs se situent au sein de ces zones davantage accessibles.

Sources utilisées : Modèle Numérique de Terrain et périmètre Natura2000 (AGRNN), réalisation A. Müller

Cependant une présélection par rapport à la distance aux villages ou aux points d'accès par véhicule a été volontairement exclue afin de ne pas falsifier les résultats en vue d'une anthropisation progressive ou régressive, la distance des habitations coïncidant par ailleurs souvent avec les relief / l'altitude. Ainsi ni le *temps d'accès* depuis les zones habitées, ni la pente ou l'altitude n'ont été retenus pour le critère d'accessibilité.

D'un côté l'étude des sols doit se faire sur terrain non remanié par la construction des routes, non perturbé par le tassement des piétons. En respectant une distance minimale de la voie d'accès on peut également réduire les effets de lisière, la prise en compte d'éléments floraux rudérales non caractéristiques du milieu, ou la modification du milieu par les passants, le bétail en transhumance etc. La distance minimale a été adaptée au type d'accès. La proximité d'un petit sentier étant jugé moins perturbant, du moins sur une distance plus petite qu'une route départementale. La construction des routes de montagne peut avoir un impact important sur la structure du sol en aval, ainsi une distance (sur la carte) de 50 m à été considérée comme minimale, tandis que l'impact sur la stratification du milieu d'un sentier ne se ressent souvent déjà plus à une dizaine de mètre de distance.

D'un autre côté les relevés effectués en 2002, 2003 (maîtrise) et 2004 l'ont démontré : franchir une lande à genêt dense avec un sac à dos lourd de matériel, une pioche et une pelle sur plusieurs centaines de mètres est pénible et fait perdre du temps nécessaire aux relevés, sans pour autant garantir une meilleur représentativité de l'échantillon. D'autres milieux sont très pénétrables, dans ce cas la distance maximale au chemin compte peu et peut être facilement augmentée. Sans qu'il s'agisse là d'un critère d'échantillonnage obligatoire nous avons établi à partir de ces considérations une carte d'accessibilité potentielle (buffer-map) permettant d'estimer la surface facilement accessible mais suffisamment éloignée de la voirie. Afin de rendre cette tâche pas trop compliquée, étant par ailleurs effectuée avant la stratification des milieux nous avons retenus une distance maximale de 250 m puisque les milieux peu pénétrables priment. En réalité 250 m de distance sur la carte peuvent représenter en terrain pentu, inaccessible et accidenté une distance bien plus importante. Pour la carte d'accessibilité nous avons retenus les distances suivantes :

Tab. 3.3 : Distances minimales et maximales des chemins d'accès retenus pour l'échantillonnage

Source : A. Müller (travail de terrain 2004)

Type de voirie	Distance minimale	Distance maximale (optionnelle)
Routes départementales / nationales	50 m	250 m
Chemins et pistes carrossables	25 m	250 m
Tires et chemins en terre, rarement carrossables	20 m	250 m
Sentier	10 m	250 m

On peut déduire de la cartographie résultante que le respect des distances minimales réduit le terrain potentiellement de 2580 ha soit 12,1% concernant le nouveau périmètre NATURA2000 (21 264 ha) se réduisant au département des Pyrénées Orientales. Ce chiffre est comparable avec celui correspondant à l'ancien périmètre NATURA 2000 incluant les parties audoises et ariégeoises : 3265 ha soit 12,3% du terrain se situaient à proximité trop faible de chemins d'accès. Malgré une relative faiblesse des accès carrossables, le fait de tenir compte des sentiers pédestres permet d'accéder tout de même à 65,1 %, soit 16433 ha ou pas loin de deux tiers du terrain d'étude se

situant à moins de 250 m de distance d'un accès piéton ou carrossable. En conséquence 22,7 % de la surface du terrain se situent au-delà des tampons de 250 m, il s'agit là notamment des parties sommitales ainsi que les forêts des versants raides qui sont relativement bien pénétrables. Si on se limiterait strictement à un périmètre proche des routes et pistes carrossables, pourtant pas toujours accessibles au public, seulement 37% du site Natura2000 aurait été accessible à moins de 250 m de distance sur la carte. La marche est indispensable afin de préserver la représentativité des échantillons.

Il aurait été possible d'effectuer un échantillonnage aléatoire stratifié en tenant compte seulement d'une zone « accessible ». Or, il se pose alors la question comment stratifier la zone d'étude, si on ne connaît pas encore le nombre exact des milieux qu'on cherche à caractériser.

3.1.2.3. Stratification par quotas appliquée au site du Massif du Madres et Mont Coronat

Réflexions sur la « stratification » du terrain : le « pré-zonage »

La décision quant à la méthode d'échantillonnage a été prise après avoir testé plusieurs options. Un échantillonnage probabiliste non stratifié étant exclu puisqu'il nécessite un trop grand nombre de relevés, la stratification méritait alors une attention particulière.

La stratification suppose qu'on connaît les principales caractéristiques de la base de sondage, c'est-à-dire qu'on connaît le type et la répartition des milieux. Or, cela ne peut pas être le cas, puisqu'on veut justement explorer ces milieux. Ni la carte des habitats (A.G.R.N.N., 2005a), ni la carte des structures végétales (Roura i Pascual, 2001; Ertel, 2003), (qui ne couvrent par ailleurs pas l'ensemble des zones étudiées) ne conviennent pour une caractérisation / stratification des milieux, puisqu'elles tiennent essentiellement compte, soit de la seule composition floristique, soit de la stratification très simplifiée des milieux sans préciser le type de végétation, tout en négligeant dans les deux cas les facteurs physiques. Une cartographie préalable sans connaissance détaillée du terrain était hors de question, surtout si cette carte devait se fonder sur l'expérience acquise lors des relevés. Enfin, une carte d'occupation du sol ne correspond pas aux milieux (cf. confusion faite par Corine LandCover) et se trouve alors également exclu comme seul fondement d'une stratification.

Cela implique que la « stratification » doit se faire à partir de plusieurs éléments, puisque les milieux en eux-mêmes ne sont pas connus. Les critères de sélection des cartes utilisées comme base d'une stratification se fondent sur les facteurs influençant la diversité des milieux. Ce sont des critères biologiques, anthropiques et physiques (abiotiques). Malgré une corrélation très probable de ces facteurs il n'était pas question d'en retenir qu'un seul, en supposant que les autres facteurs seraient automatiquement pris en compte (ou directement corrélés). On est obligé de se fonder sur des critères dont la répartition est connue, donc sur des cartes préexistantes ou faciles à générer sans relevés de terrain. Il s'agissait ainsi de tenir compte à la fois de la répartition du couvert végétal, de l'occupation du sol, ainsi que des divers facteurs physiques, climatiques, édaphiques, lithologiques et topographiques. En conséquence, plusieurs cartes thématiques servaient de base pour une stratification, qu'on doit dans ce cas plutôt appeler un « pré-zonage ». Ces cartes ont été pour la plupart générées à partir du MNT de 50 m et de l'Image satellite SPOT (20 m), à l'exception

de la carte géologique conçus à partir de plusieurs cartes géologiques d'échelle différentes préexistantes et vectorisées. Elles seront appelés « cartes d'échantillonnage ». Une seule carte de stratification issue du recoupement de ces cartes thématiques était guère envisageable, car aboutissant à un maillage trop détaillé avec une multitude de facettes de taille très restreinte. Si une telle stratification, trop détaillé n'était pas envisageable et que la variabilité des effectifs de la population mère était inconnue, cela excluait un échantillonnage probabiliste. L'échantillonnage systématique et aléatoire étant ainsi éliminé, il était question de conserver tout de même une forme de stratification, le pré-zonage, pour la sélection - hélas - subjective des relevés.

Échantillonnage selon un système de quotas

Une possibilité de tenir compte de l'hétérogénéité des milieux lors de l'échantillonnage était d'appliquer le procédé des quotas (angl. *quota sampling*, allm. *Quotenstichprobe*), fréquemment utilisé dans les techniques de sondage (Groupe CHADULE, 1997 :65). Il s'agit donc d'un échantillonnage subjectif. La partition de la population observée en sous-populations se fait alors par les *variables de contrôle* retenues et spatialisées par les cartes d'échantillonnage. Ces variables de contrôle sont supposées être corrélables avec (c'est-à-dire explicatifs pour) la répartition des milieux. Par ailleurs cette technique tient compte de fait qu'il existe et qu'il doit exister plusieurs variables de contrôle qui ne correspondent pas directement à la variable à observer (les milieux). En même temps elle repose sur l'hypothèse, difficilement vérifiable, donc sur la supposition, que la répartition des milieux serait influencée par ces variables. Le type et le nombre de variables retenues influence en conséquence le résultat de l'échantillonnage

A partir d'une répartition des relevés à la fois pragmatique (accessibilité) et exhaustive (essai de tenir compte de tous les milieux) l'échantillonnage par quotas se fait progressivement. On procède à des relevés jusqu'à ce que le quota fixé pour la variable de contrôle soit atteint. Dans la pratique cela implique qu'on tient compte de toutes les modalités des variables de contrôle à hauteur des proportions que ces modalités atteignent. En effet, plus le nombre de quotas, donc de variables de contrôle, augmente, plus les choses se compliquent et on ne pourra atteindre que difficilement le quota exact de chaque variable de contrôle.

Ce procédé fournit soi-disant des échantillons assez fidèles, même si on ne peut pas connaître précisément le degré de fidélité à la population mère (Groupe CHADULE, 1997). C'est là le désavantage principal des échantillonnages non probabilistes, car ils ne permettent pas le calcul des marges d'erreurs des paramètres comme la moyenne ou la fréquence et la sélection subjective des échantillons sur place peut entraîner un biais. Puisque les relevés de terrain sont à but exploratoire et non explicatif, cette technique non probabiliste suffira pour notre propos. Cependant, on s'éloigne ainsi définitivement d'une méthode inductive, qui rendrait possible une généralisation statistique à partir des relevés de terrain. En outre, si on ne connaît pas l'effectif de la population mère (le nombre de milieux du Madres-Coronat) il est impossible de calculer le nombre de relevés (taille minimale de l'échantillon) nécessaires, supposant par ailleurs l'utilisation d'une méthode probabiliste.

Malgré ces désavantages cette méthode permet, de façon relativement économique, de se faire de façon exploratoire une idée de la diversité des milieux, pour lesquelles une diversité « moyenne » n'aurait de toute façon que peu de sens. La stratification par quotas permet

d'augmenter le nombre d'échantillons de façon voulue à condition de respecter les proportions des quotas. Par ailleurs, il s'avère que cette méthode semble être la seule possibilité de tenir compte de grand nombre de milieux présumés « typiques » en très peu de relevés si on ne dispose par d'une carte de stratification unique, c'est-à-dire d'une connaissance précise et préalable de la population des milieux du Madres-Coronat.

Même si un échantillonnage non probabiliste n'est pas directement reproductible, les cartes servant au pré-zonage du massif, ainsi que les critères de sélection retenus pour le travail sur le terrain seront exposés ci-dessous et permettent d'effectuer d'autres relevés selon les mêmes critères de sélection.

3.1.2.4. Cartographie pour l'échantillonnage

Les cartes thématiques servant à « dégrossir » la diversité des milieux et à « stratifier » la zone d'étude se fondent idéalement sur des aspects physiques, biotiques et anthropiques. Une analyse de l'occupation du sol, tenant principalement compte de caractéristiques spectrométriques du couvert végétal permet de tenir compte de ces deux derniers, à la fois la répartition des végétaux et l'utilisation du sol. En revanche, les caractères physiques peuvent s'apprécier de diverses façons et plusieurs critères semblaient potentiellement prometteurs pour être en corrélation avec la diversité des milieux.

Critères topographiques et géomorphologiques issus de l'analyse du modèle numérique de terrain.

La carte du NDVI semble suggérer, au moins partiellement une corrélation entre le NDVI et la position dans la pente (on pensera aux ravins plus fortement boisés) et suggérait alors une possible relation entre profondeur des sols et la pente. Une carte des segments aurait été également un très bon critère de stratification, mais la cartographie manuelle des segments étant assez longue ce critère a été exclu en ce qui concerne l'échantillonnage.

Ensuite, la carte de la végétation, de l'occupation des sols et la carte du NDVI suggèrent également une répartition suivant l'exposition, à la fois sur les pentes mais également sur les diverses façades du Massif (façade septentrionale boisée, façade méridionale dominée par des landes). Enfin, la carte de la végétation suggère des formations végétales selon un gradient altitudinal qu'on pourra qualifier, comme celui de l'exposition, aussi de gradient climatique.

Parmi les critères « topographiques » ou « géomorphologiques » retenus pour l'échantillonnage figurent ainsi la pente, l'exposition et l'altitude. Le traitement du modèle numérique de terrain sous MapInfo et ArcGIS a permis de mettre en évidence les cartes d'exposition, de pente et d'altitude (cf. cartes 2.4 et 2.5 présentées plus haut et carte 3.3, plus loin).

Le critère de l'altitude a fait l'objet d'hésitations, puisqu'il devait refléter l'exposition aux influences climatique (baisse de température, hausse de l'insolation et des précipitations avec l'altitude croissante), qui est un critère parfaitement continu et qui se prête alors assez mal à une stratification par « seuils » en quelques classes.

Bassins versants et niveaux altitudinaux

Finalement le critère de l'altitude a été tout de même retenu en raison d'une répartition inégale des tranches altitudinales sur le terrain et servait ainsi à répartir les relevés de façon proportionnelle à la représentation des altitudes. L'histogramme des altitudes (cf. figure ci-dessous) permet de reconnaître, que les divers niveaux altitudinaux ne sont pas uniformément repartis et que les altitudes prédominantes se situent à l'étage montagnard au détriment des altitudes subalpines et alpines et de l'étage mésoméditerranéen. (cf. aussi tab 3.4 ; ci-dessous).

La courbe évoquée par l'histogramme montre par ailleurs quelques « marches », qu'on peut, malgré les erreurs dues à une généralisation des niveaux altitudinaux, interpréter comme l'expression des divers niveaux d'aplanissements mentionnés plus haut (1000-1200 m, 1400 m...). Il apparaît aussi, que les différences des niveaux altitudinaux entre le périmètre d'étude *s.l.* (PT) et le périmètre Natura 2000 (PNN), excluant le versant audois et ariégeois et une bonne partie des versants inférieurs méridionaux et orientaux, sont plus importantes dans les étages inférieurs et moyens. C'est-à-dire, le périmètre PNN sur-représente les étages montagnards au détriment des étages supraméditerranéens et mésoméditerranéens et la tranche altitudinale la plus amplement représentée se situe, entre 1700 à 1800 m, un peu plus haut que la tranche la plus importante du périmètre PT (1600 à 1700 m).

Puisque 21 classes altitudinales par tranches de 100 m étaient de nombre trop important il était plus intéressant de retenir un petit nombre de classes en les regroupant judicieusement par leurs caractéristiques bioclimatiques semblables.

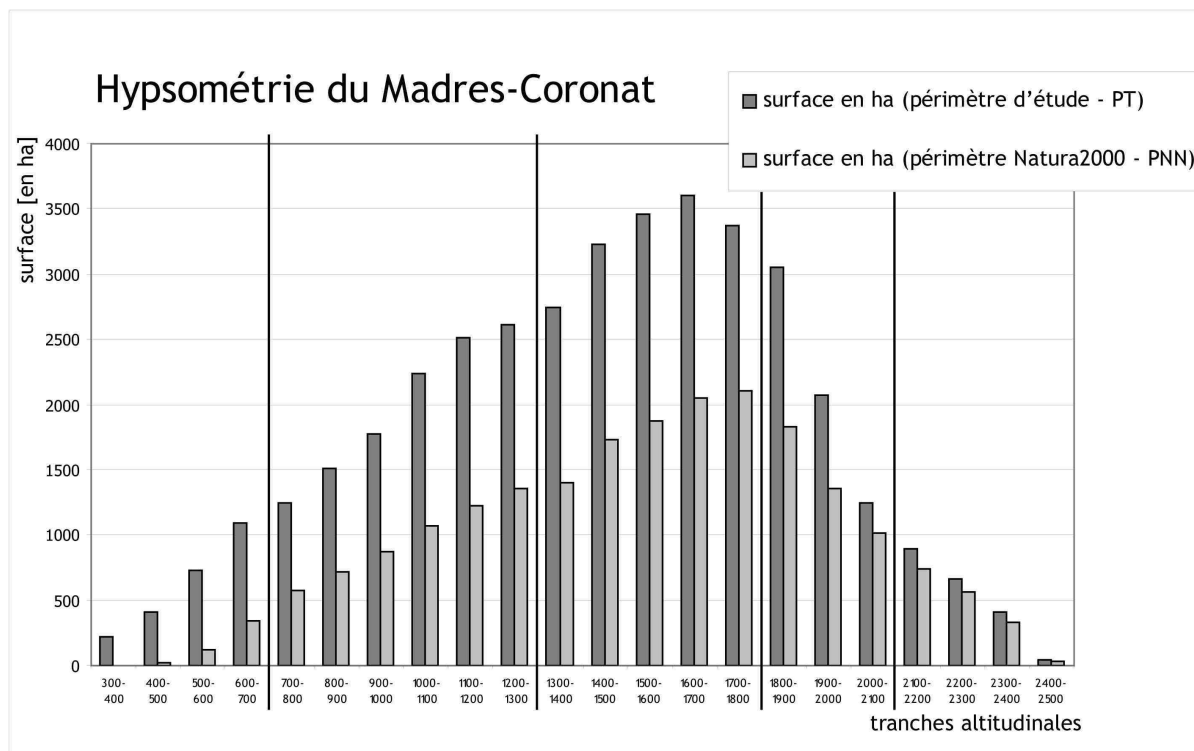


Fig. 3.3 : Histogramme dessinant la courbe hypsométrique du Massif de Madres-Coronat : Comparaison des surfaces occupées par des tranches altitudinales de 100 m pour les périmètres PT et PNN

Générée à partir du MNT BDalti (50 m), réalisation A.M Müller

Le découpage en cinq tranches, présenté plus haut (cf. carte topographique) a été retenu pour répartir les relevés de façon proportionnelle dans les différents étages bioclimatiques. En s'inspirant des moyennes des étages bioclimatiques déduites notamment des travaux de Gausson, Ozenda et Rameau Dupias et Gruber les cinq niveaux altitudinaux représentés sur la carte suivante caractérisent les limites moyennes des étages mésoméditerranéen, collinéen /supraméditerranéen (Ozenda) (subméditerranéen selon Gausson), oroméditerranéen / montagnard, et subalpin. Ils occupent des surfaces assez variées et c'est les niveaux altitudinaux correspondant à l'étage montagnard (oroméditerranéen) qui dominent largement le périmètre Natura 2000 (cf. tab 3.4 ci-dessous). Il va de soit que les cinq tranches ne présentent pas directement des étages bioclimatiques. Ces derniers n'ont pas de limite nette et ne se cantonnent pas aux isohypses mais dépendent fortement des variations climatiques locales, notamment des effets de façades, d'exposition et d'abri.

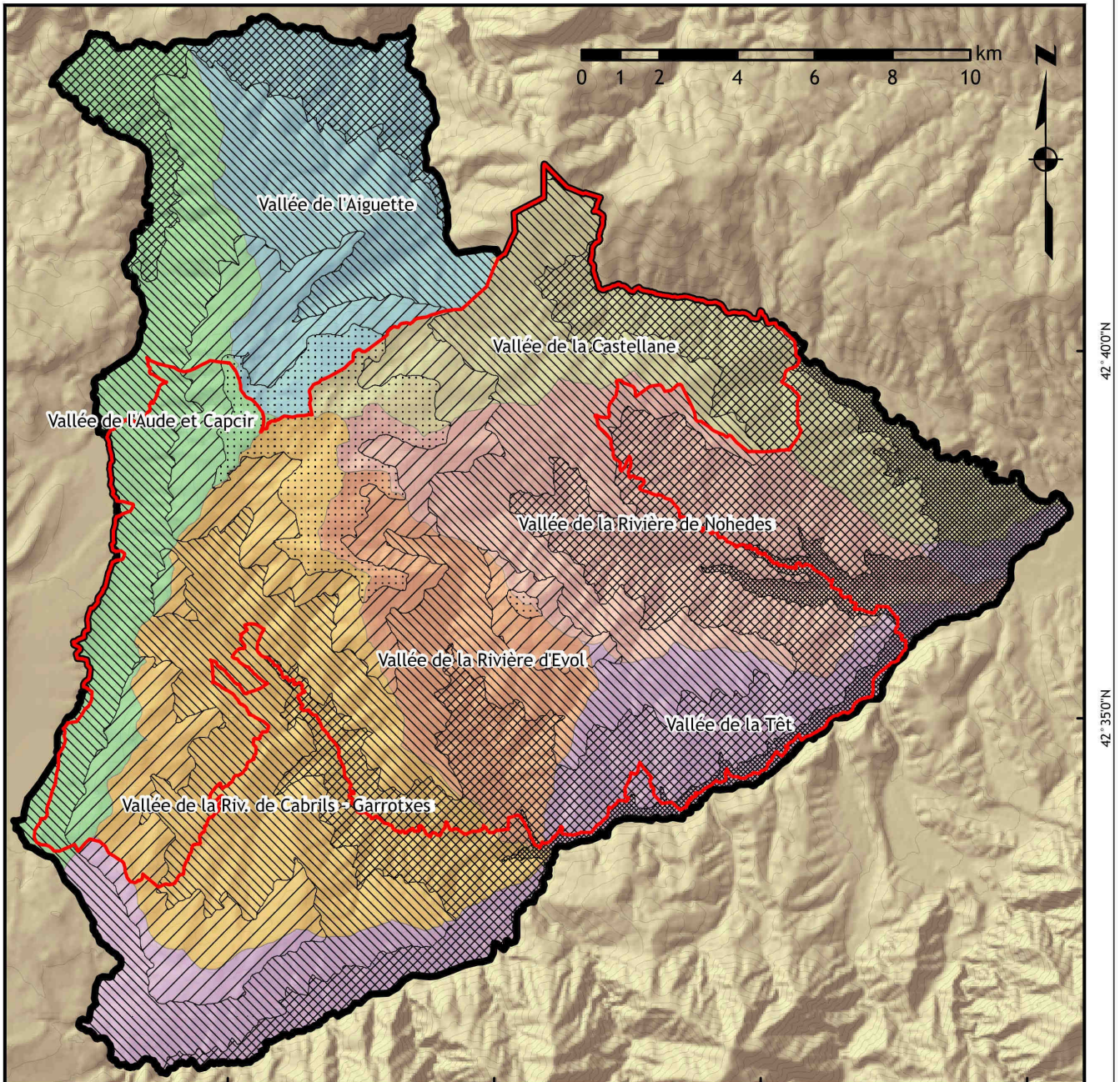
Puisqu'ils s'agit d'un critère pour une répartition justifiée des relevés sur le terrain, la carte des cinq niveaux altitudinaux a été croisée avec la carte des sept bassins versants, afin de permettre une distribution plus ou moins régulière des relevés dans tous les bassins versants et donc sur les différentes « façades climatiques » du massif et dans tous les étages de végétation.

Initialement il a été prévu de faire des relevés dans l'ensemble de 7 bassins versants identifiés. Depuis la réduction du périmètre NATURA 2000 au département des Pyrénées Orientales, la vallée de l'Aiguette ne faisait plus partie des bassins versants échantillonnés.

Trois des sept bassins versants, la vallée des rivières d'Evol, de Cabrils (Garrotxes) et de Callau (Nohèdes), sont intégralement représentés dans le périmètre d'étude (PT) du massif. En ce qui concerne les bassins versants de la Têt et de l'Aude il s'agit bien évidemment d'une petite partie de leur bassin versant respectif. La partie supérieure des bassins versants de l'Aiguette et de la Castellane, qui prennent leur sources dans les parties sommitales du Madres, tout comme les rivières, sont assez bien représentés mais seront ensuite tronqués par les limites de l'étude *s.l.*. En revanche le périmètre du SIC Natura 2000 (PNN) tronque les parties inférieures de ces trois bassins versants.

Sept bassins versants croisés avec cinq niveaux altitudinaux donnaient en théorie 35 sections « niveau altitudinal de bassin versant ». En réalité, certains bassins versants ne s'étendent pas, au sein du périmètre PT, sur tous les cinq niveaux altitudinaux, réduisant le nombre à 33 sections dont trois avec une surface inférieure à 30 ha (parmi les sections ayant une surface moyenne de 1189 ha et une médiane de 837 ha). En se restreignant au site Natura 2000, la partie inférieure du bassin versant de Cabrils et celui de l'Aiguette ne sont plus prises en compte. Ainsi ils restent 26 sections dont encore trois avec une surface inférieure à 30 ha (<0.14% de la surface du PNN). Les relevés devraient alors se disperser idéalement dans les 23 sections qui restent et qui couvraient environ 54% du périmètre PT. Un code a été attribué à chacune des 23 sections (cf. tableau ci-dessous), avec une surface moyenne de 924 ha (médiane 781 ha, minimum 174 ha, maximum 2256 ha pour GAR3). Les sections constituent par ailleurs des unités spatiales pouvant servir à une analyse ultérieure de la diversité spatiale latérale par secteur, alternative à l'analyse par mailles hexagonales proposée plus loin. Le résultat du recoupement de la carte des niveaux altitudinaux avec la carte des bassins versants se présente ci-dessous.

Bassins versants & niveaux altitudinaux








42° 40'0"N
42° 35'0"N

2° 10'0"E






2° 20'0"E

2° 25'0"E


Tranches altitudinales :

-  300 - 700m
-  >700 - 1300m
-  >1300 - 1800m
-  >1800 - 2100m
-  >2100 - 2400m

Bassins versants :

-  1 Vallée de la Castellane
-  2 Vallée de la Rivière de Nohedes
-  3 Vallée de la Têt
-  4 Vallée de la Rivière d'Evol
-  5 Vallée de la Riv. de Cabrils - Garrotxes
-  6 Vallée de l'Aude et Capcir
-  7 Vallée de l'Aiguette

 site NATURA 2000 (PNN) périmètre d'étude s.s.

 périmètre d'étude s.l. (PT)

 isohypes (équidist. 100m)

projection: Lambert carto III, réalisation : A.M.Müller

Carte 3.2 : Carte d'échantillonnage des sept bassins versants et cinq niveaux altitudinaux

Sources utilisés : cartes topographiques IGN, MNT BDalti (IGN), réalisation A.M. Müller

Tab. 3.4 : Les sections issues des tranches altitudinales de bassin versant et leur surface respective dans les périmètres d'étude

nom du bassin versant	niveau altitudinal	code section	Surface PT %	Surface PNN%	Surface BV/PN %
Vallée de la Castellane	300-700	CAS1	2,0	0,0	17,3
	700-1300	CAS2	5,0	5,9	
	1300-1800	CAS3	4,2	7,6	
	1800-2100	CAS4	1,1	2,0	
	2100-2400	CAS5	0,9	1,7	
Vallée de la Rivière de Nohèdes (Callau)	300-700	NOH1	1,7	1,0	21,7
	700-1300	NOH2	8,1	8,3	
	1300-1800	NOH3	5,3	8,6	
	1800-2100	NOH4	1,4	2,7	
	2100-2400	NOH5	0,6	1,1	
Vallée de la Rivière d'Evol	300-700	EVO1	0,0	0,0	15,4
	700-1300	EVO2	2,3	4,0	
	1300-1800	EVO3	3,5	6,4	
	1800-2100	EVO4	2,0	3,7	
	2100-2400	EVO5	0,8	1,4	
Vallée de la Rivière de Cabrils - Garrotxes	300-700	GAR 1	0,1	hors PNN	
	700-1300	GAR2	3,8	2,4	23,3
	1300-1800	GAR3	10,4	10,6	
	1800-2100	GAR4	5,7	7,6	
	2100-2400	GAR5	1,5	2,7	
Vallée de la Têt	300-700	TET1	2,4	1,2	11,2
	700-1300	TET2	6,0	6,8	
	1300-1800	TET3	5,2	3,1	
	1800-2100	TET4	1,4	0,1	
Vallée de l'Aude et Capcir	700-1300	CAP2	2,1	hors PNN	
	1300-1800	CAP3	7,4	6,6	11,1
	1800-2100	CAP4	2,7	3,7	
	2100-2400	CAP5	0,5	0,8	
Vallée de l'Aigüette	300-700	AIG1	0,0	hors PNN	
	700-1300	AIG2	3,1		
	1300-1800	AIG3	6,0		
	1800-2100	AIG4	2,0		
	2100-2400	AIG5	0,9		

Source : cartographie des bassins versants et tranches altitudinales, A.M. Müller

Tab. 3.5 : répartition spatiale de cinq niveaux altitudinaux.

Niveau altitudinal	surface PT (%)	surface PNN (%)	sections représentées (> 0,5% de la surface)
300-700 m	6,26	2,3	NOH1, TET1
>700-1300 m	30,39	27,3	CAS2, GAR2, NOH2, EVO2, TET2
>1300-1800 m	41,92	43,0	CAS3, GAR3, NOH3, EVO3, TET3, CAP3
>1800-2100 m	16,29	19,7	CAS4, GAR4, NOH4, EVO4, CAP4
>2100-2400 m	5,13	7,8	CAS5, GAR5, NOH5, EVO5, CAP5

Source : cartographie des bassins versants et tranches altitudinales, A.M. Müller

Exposition des versants

Pour réduire le nombre de facteurs de l'échantillonnage, les neuf classes d'exposition (huit expositions et les surfaces horizontales) ont été regroupées en quatre classes. La neuvième classe (surfaces horizontales) a pu être négligé car elle concernait, en raison de la résolution de 50 m du MNT uniquement les surfaces lacustres, non relevées. Le regroupement s'est fait selon une logique « fraîcheur vs. chaleur », c'est-à-dire l'exposition « nord » a été regroupée avec l'exposition « nord-ouest », l'exposition « sud » avec l'exposition plus favorable « sud-est » et ainsi de suite.

La lecture du tableau et de la figure ci-dessous permet de constater l'asymétrie du massif en ce qui concerne les façades d'exposition. Avec le point le plus élevé (sommets du Madres) excentré vers l'ouest, les expositions d'est, sud-est et nord-est sont en conséquence les plus fréquentes pour le périmètre du massif (PT), tandis que le découpage du SIC, centré sur les Pyrénées orientales provoque une asymétrie encore plus importante entre les expositions sud-est surreprésentées par rapport aux expositions d'orientation nord-ouest.

Tab. 3.6 : Surface occupée par les versants selon les principales expositions du Massif du Madres-Coronat

exposition (8 classes et code)	orientation [°]	Surface PT [%]	Surface PNN [%]	exposition principale (4 classes)	orientation [°]	Surface PNN [%]
nord-ouest (8)	>292.5° - 337.5°	13,0	10,2	« nord » (1)	>292.5° - 22.5°	17,9
nord (1)	>337.5° - 22.5°	14,8	13,7			
nord-est (2)	>22.5° - 67.5°	14,5	15,7	« est » (2)	>22.5° - 112.5°	29,3
est (3)	>67.5° - 112.5°	15,0	16,2			
sud-est (4)	>112.5° - 157.5°	12,9	14,4	« sud » (3)	>112.5° - 202.5°	30,6
sud (5)	>157.5° - 202.5°	10,4	11,8			
sud-ouest (6)	>202.5° - 247.5°	9,5	10,4	« ouest » (4)	>202.5° - 292.5°	22,2
ouest (7)	>247.5° - 292.5°	10,0	7,7			

Source : cartographie des expositions, générée à partir du MNT BDalti, réalisation A.M. Müller

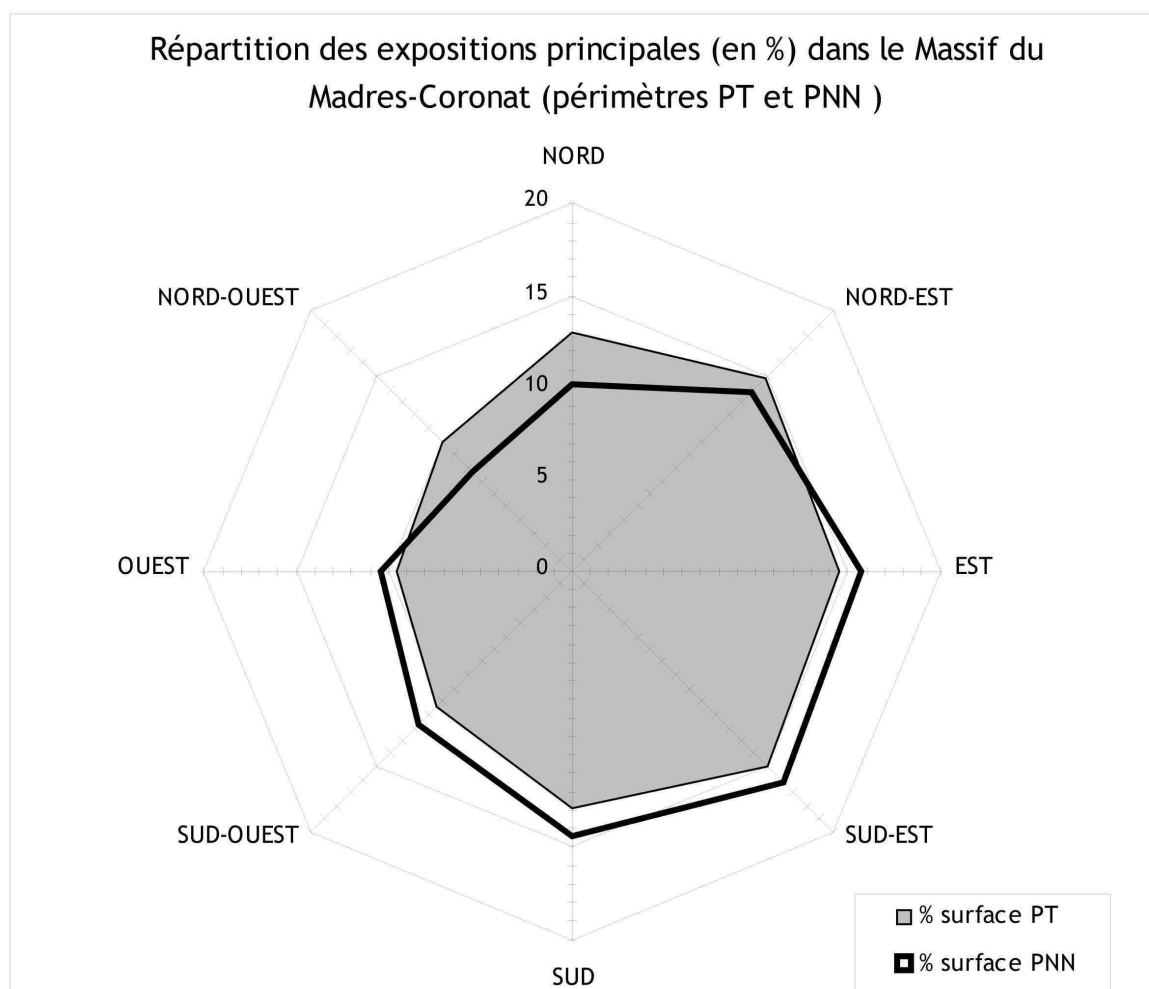
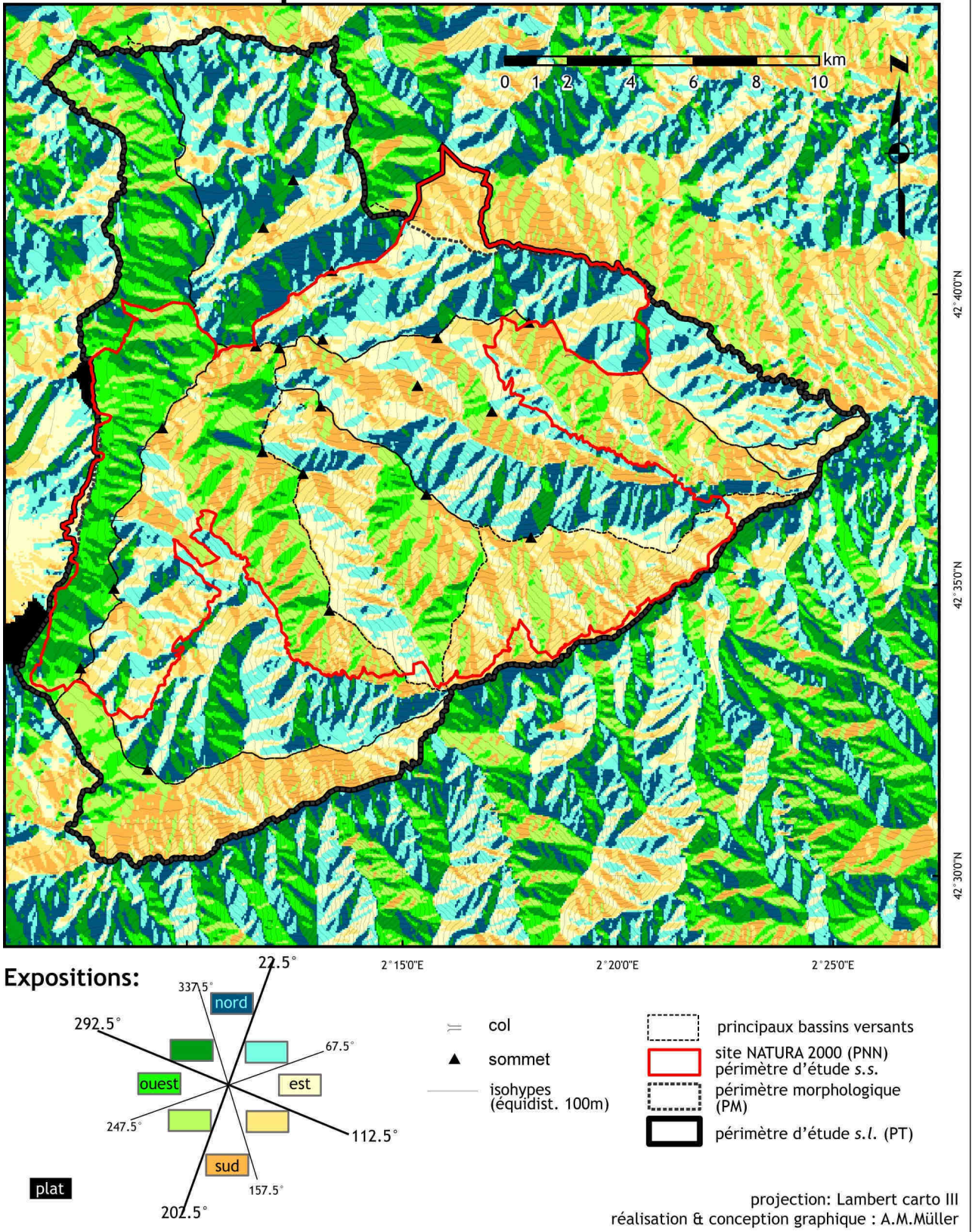


Fig. 3.4 : schéma de la répartition des principales expositions pour les deux périmètres d'étude

Source : cartographie des expositions, générée à partir du MNT BDalti, réalisation A.M. Müller

Carte des expositions



Carte 3.3 : Carte des principales expositions du Madres-Coronat, regroupées par 8 classes (N, NE, E, SE, S, SO, O, NO)

Source : Modèle Numérique de Terrain (50 m) et AGRNN (périmètre Natura2000), réalisation A. Müller

Les pentes

Dans les milieux de montagne le critère pente joue un rôle important autant pour caractériser la diversité pédologique, étant donné que la profondeur et le stade de développement du sol sont alors plus ou moins fortement influencés par les facteurs gravitationnels, comme pour la répartition de l'utilisation de ces sols, les pentes trop raides étant généralement mises en valeurs plus tardivement ou délaissées en premier. La présence ou absence de milieux fortement anthropisés s'organisent entre autres en fonction de la qualité des sols à cultiver.

La carte des pentes, sera donc utilisée également pour l'échantillonnage. Au lieu de procéder à une classification adaptée au jeu des données (par exemple par des méthodes d'écart-type...) une classification manuelle a été favorisée afin d'être facilement transposable à d'autres terrains d'étude. Dans un premier temps une classification à six classes a été favorisée, se prêtant aisément à un regroupement ultérieur en deux ou trois classes. La délimitation des six classes oppose les pentes raides dépassant 45° pentes aux pentes moins raides inférieures à 45°. En raison de la surface très faible concernée par cette première classe elle n'a pas été subdivisée. Le prochain seuil se situe à 30 : On peut considérer que le départ spontané des avalanches se fait au-delà de 29° et que ce seuil ait ainsi une signification concernant l'érosion. En considérant l'ensemble des pentes entre supérieures à 0° et inférieures à 30°, il s'avère dans une logique d'utilisation agricole, qu'un terrassement ne s'avère pas nécessaire jusqu'à environ 5° et se trouve très espacé jusqu'à environ 10°. Parmi la classe des pentes moyennes entre 10° et 30°, qui occupent plus de deux tiers de la surface, un dernier seuil a été placé à 20°. Il sépare les pentes modérées (entre 10 et 20°), plus favorables, des pentes accentuées (supérieures à 20° et inférieures à 30°), où les terrasses de culture ne sont toutefois pas rares.

Tab. 3.7 : classement des pentes

Classement des pentes à six classes	Inclinaison	Surface PT [%]	Surface PNN [%]	Code pente 6 cl.	Classement des pentes à trois classes	Inclinaison	Surface PNN [%]	Code pente 3 cl
Pente très faible	0° - 5°	3,6	2,3	1	Pentes faibles à très faibles	0° - 10°	9,6	1
Pente faible	>5° - 10°	10,3	7,3	2				
Pente modérée	>10° - 20°	34,5	31,9	3	Pentes modérées à accentuées	10° - 30°	69,1	2
Pente accentuée	>20° - 30°	34,5	37,1	4				
Pente forte	>30° - 45°	17,0	21,0	5	Pentes fortes à très fortes	30° - 90°	21,3	3
Pente très forte	>45° - 90°	0,2	0,3	6				

Source : A. M. Müller

Classifications préalables d'images satellites et choix des unités de stratification

Enfin le dernier critère retenu a été celui du couvert végétal. La cartographie des habitats, incomplète (du moins à la date limite de l'échantillonnage en 2006) s'avère par sa légende trop détaillée comme difficilement utilisable pour une stratification du terrain d'étude. Des classifications rapides par images satellitaires étaient préférables à une cartographie exhaustive des photos aériennes pour plusieurs raisons : une cartographie manuelle sur photos aériennes nécessite la connaissance préalable du terrain, du moins une vérification est nécessaire. Or, le temps pour réaliser une cartographie complète dépassait le temps disponible pour l'échantillonnage. En outre la cartographie manuelle préalable risquait d'influencer le choix des relevés et ainsi le résultat final du traitement des données et la classification finale retenus pour la cartographie.

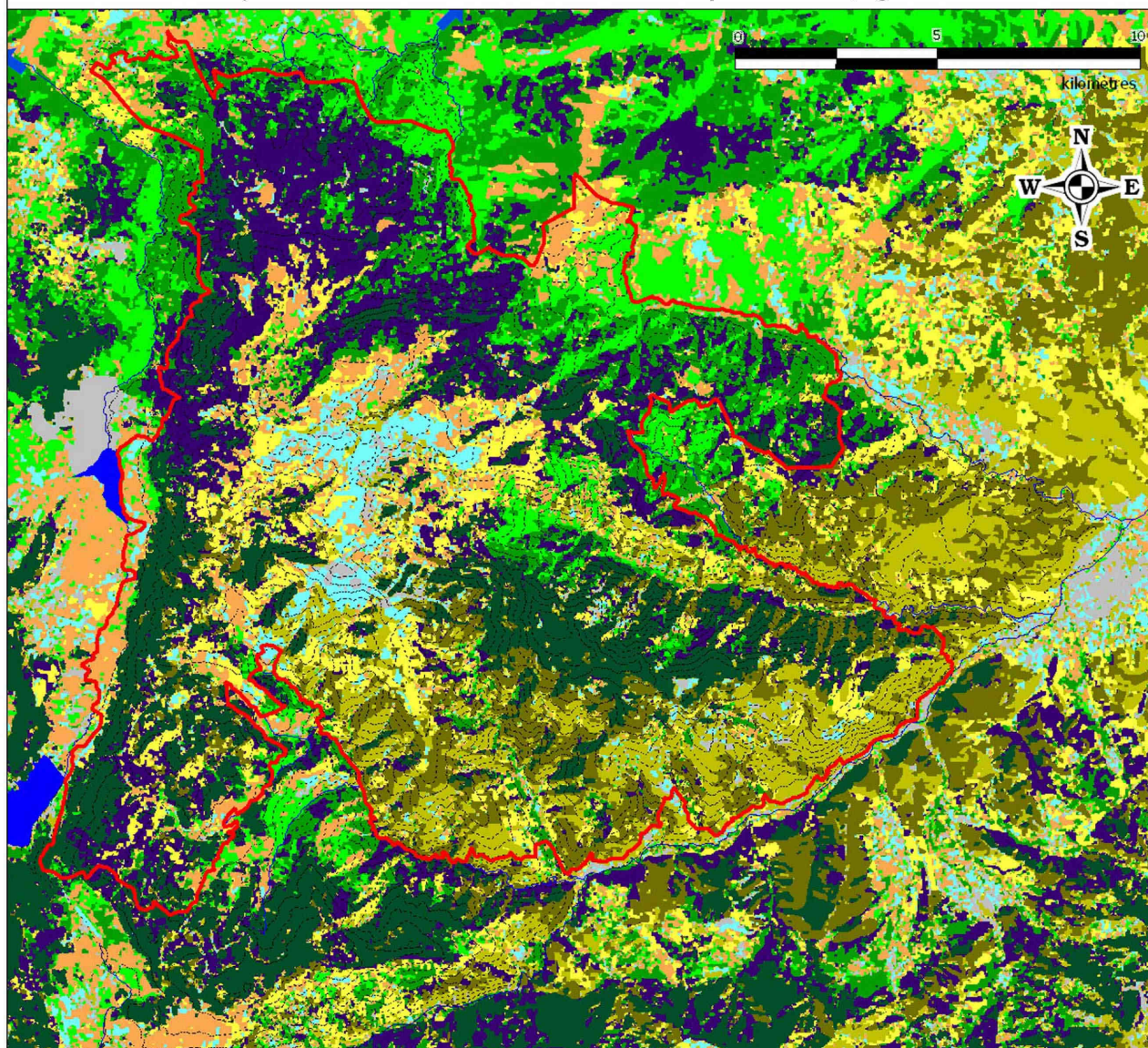
Une classification des images satellites suffisait largement pour caractériser les principales formations végétales. Une image SPOT disponible pour l'année 2000, même année que la mission des photos aériennes utilisées favorisait ce choix. Il s'agit d'une scène Spot 4 (N° KJ045264) avec un niveau de prétraitement géométrique 2A, c'est-à-dire avec un niveau de précision de la localisation meilleure à 350 m pour une altitude de référence de 1229 m et une taille des pixels correspondant à 20 m au sol pour l'ensemble des quatre bandes spectrales.

En premier lieu une classification non supervisée a permis de dégager les grandes structures de répartition pour les relevés réalisées en 2006. L'interprétation de l'image classifiée a été faite grâce aux nombreuses heures déjà passées sur le terrain en 2004 et 2005 et à l'aide des orthophotos, afin de vérifier le type de végétation (forêt/ prairie / lande etc.) et de préparer une analyse supervisée. Afin de dégager les grands ensembles et tendances de répartition, nous avons effectué une généralisation (Majority Filter) du résultat de l'analyse typologique de type « Maximum likelihood » non supervisée (carte 3.4 ci-dessous). Toutefois, une classification non supervisée soulevait le problème des classes à types de végétation multiples aux regroupements parfois surprenants. L'analyse non supervisée regroupe des éléments assez disparates, comme on peut en observer par exemple dans la classe N°10, constitué de nuages, bâtis et éboulis. Cette première exploration grossière donnait les résultats les plus probants en retenant huit classes, matérialisées dans la carte suivante. La carte offre un bon aperçu du contraste régnant entre les différentes façades du massif, notamment entre versant septentrional et méridional d'un côté et les effets d'exposition et de la position dans le versant d'un autre côté. On peut alors remarquer une répartition des classes associées aux forêts sur les versants d'ombre ou exposés ouest et une tendance des classes à landes et à maquis sur les flancs méridionaux et orientaux du massif. Aussi, les classes représentées indiquant la présence de landes, maquis et forêts sclérophylles sur les versants exposés au sud de basse et moyenne altitude et ouverts à l'influence méditerranéenne.

Les observations faites sur le terrain lors des prospections en 2005 et 2006, ainsi que sur la zone étudiée en 2004, permettaient de procéder ensuite à une classification supervisée. Parmi plusieurs regroupements et « sites test » possibles, une classification selon 22 classes donnait les meilleurs résultats en ce qui concerne l'exactitude d'attribution des pixels par rapport à la réalité sur le terrain. Afin d'obtenir une carte suffisamment exacte pour permettre l'échantillonnage des relevés en fonction du type de milieu aucune généralisation de l'image raster (par exemple regroupement de pixels par *majority filter* etc.) n'a été effectuée afin d'évaluer les différentes unités d'occupation du sol végétale. Les 22 classes pouvaient être regroupées ultérieurement pour l'échantillonnage en six ou sept classes.

Analyse non supervisée d'image satellite

Maximum likelihood classification avec interprétation, généralisée



Interprétation (avec pourcentage de la surface du site N2000, ancien périmètre PNA):















 Pinèdes peu denses, landes hautes ou boisées, Yeuseraies, clairières enrichées (10,2%)*	 sol nu, zones rocailleuses (éboulis, vires rocheuses et falaises) à végétation peu dense, zones urbanisées et nuages (1.1%)	 topographie (isohypses 100m)
 Forêts de feuillus (bas-fonds, soulanes) près mésophiles, prairies boisées, fougeraies (6.1%)	 près de fauche, champs, prairies, pelouses (4,7%)	 périmètre PM
 Forêts de feuillus denses, forêts mixtes (10.4%)	 pâtures, prairies, généralement peu enrichées et callunaies (9%)	 réseau hydrographique incl. lacs
 Forêts de conifères, plus ou moins denses (18.2%)	 landes hautes, rhoderaies, landes à genêts ou à cistes, friches, forêts de feuillus claires, lisières, (10,8%)	 ancien périmètre Natura2000 (SIC) - DOCOB 2005
 Forêts mixtes (hêtraies-sapinières etc.) forêts peu denses et de la zone de combat (20.1%)	 landes plus ou moins denses, fructiciées, pâturages enrichés, maquis (9,5%)	

image satellite: Spot4 (SpotVIEW), 22 juillet 2000, Analyse typologique avec ArcGIS9.x, canaux 3-2-1

type Maximum likelihood + généralisation par "Majority Filter (Eight; Half)",

réalisation : A.M.Müller (2006)

Carte 3.4 : Classification non supervisée (cluster analysis Maximum likelihood) de l'image SPOT 4 avec généralisation ultérieure et interprétations des 10 classes générées

Source : image SpotScene du 22/07/2000 (SPOT4), MNT BDalti, réalisation A. Müller, 2006

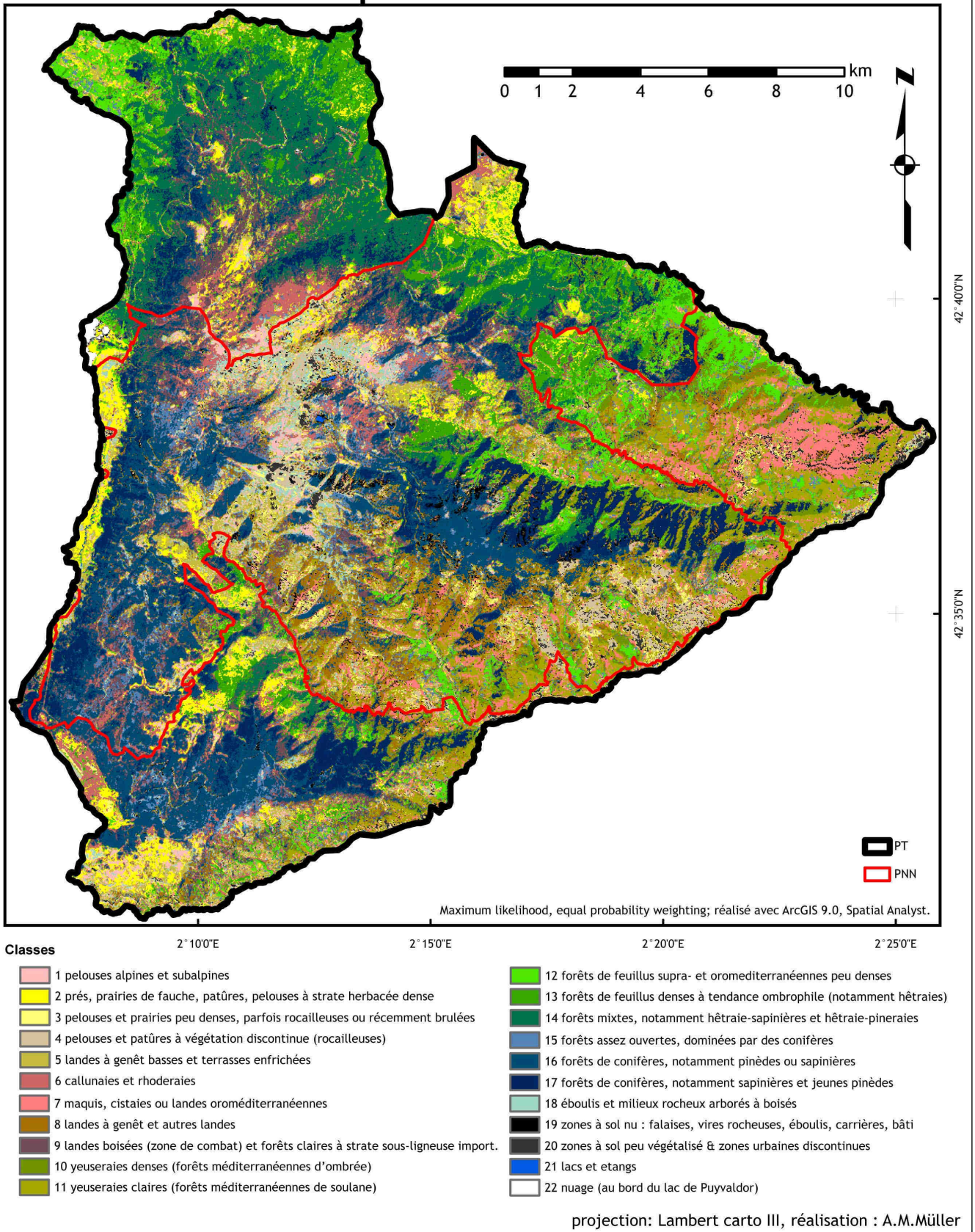
La dénomination de ces 22 classes n'est pas fondamentalement différente de celle utilisée par CORINE Land Cover (17 classes, cf. chap. 2.4), mais la classification utilisée permet un aperçu plus détaillé des différents types de landes ou de forêts, en particulier en ceux qui concerne la distinction plus fine des forêts de feuilles (feuillus méditerranéens et montagnards), prairies, et des landes et des maquis (maquis ou landes de haute montagne). La carte qui résultant de cette classification supervisée (carte 3.5 ci-dessous) présente, malgré la reproduction en format A4 une résolution nettement plus fine que les cartes CORINE Land Cover et de la classification non supervisée (ci-dessus) et se prêtait ainsi à une quantification plus exacte de la mosaïque des milieux.

Ce premier aperçu valable sur la diversité des milieux présente une mosaïque pas tout à fait aléatoire. On peut remarquer une fois de plus les effets d'exposition typiques aux classifications d'images satellitales. Ils sont particulièrement flagrants sur le versant Nord du Mont Coronat, mais aussi en ce qui concerne la répartition des landes et maquis sur les soulans des étages de végétation inférieures. Ce dernier exemple illustre que, bien évidemment les effets de l'angle et de la durée d'insolation se manifestent dans la répartition des milieux sur le terrain, et nous avons alors renoncé à la correction numérique des effets d'exposition.

On peut distinguer rapidement des zones plus homogènes, le plus souvent forestières (couleurs bleues et vertes) et des zones très hétérogènes où se mêlent landes, prairies et milieux rocheux (notamment partie sommitale et soulans). Les différentes forêts de conifères occupent alors 30,1% de la surface du SIC, surface plus faible que celle évaluée par Corine LandCover (37.5%), et suivie de près par la surface occupée par différents types de landes et friches occupant 29.7% du site selon la classification supervisée. La typologie Corine LandCover semble en revanche associer la plus grande partie des landes à genêt aux pelouses et pâturages en mélangeant les classes « landes et broussailles » (classe 322 : 2.3%), « pelouses et pâturages naturels » (classe 321 : 28% du PNN), « prairies » (classe 231 : 1%), et « forêts et végétation arbustive en mutation » (classe 324 : 11.5%), en réalité difficiles à différencier. La typologie CORINE ne permet donc pas de bien différencier les types de végétation à dominante arbustive de celles à dominante herbacée. La végétation herbacée a été évaluée tout de même à 11,2 % par la classification supervisée. Aussi, les zones à sols nus et à dominante rocheuse ressortent mieux de la classification supervisée et occupent alors 5.6% du périmètre Natura 2000 (PNN) (évalués à seulement 2,5% par CLC) et apparaissent mieux sur la carte, notamment en ce qui concerne les versants raides du Mont Coronat.

Ainsi se révèle l'utilité pour l'échantillonnage de la carte produite, présentée ci-dessous. Toutefois la taille des pixels de 20x20 m ne permet pas une résolution suffisante pour interpréter exactement les milieux sur le terrain. Sur 77 relevés recoupés à posteriori avec l'image classifiée, cinq relevés correspondaient à des classes aberrantes, et 44 relevés ne correspondaient pas à la classe affichée malgré le pixel correctement attribué, c'est-à-dire représentatif pour l'environnement immédiat (14 pixels, ont été bien classés mais étaient de résolution trop grossière pour tenir compte d'un milieu de faible étendu, 27 relevés se situaient à proximité immédiate d'un milieu représenté par le pixel correspondant).

Classification supervisée



Carte 3.5 : Classification supervisée (Maximum likelihood) de l'image SPOT 4 selon 22 classes de sites test

Source : image SPOT du 22/07/2000, réalisation A. Müller 2006

Tab. 3.8 : surface occupée par les différentes classes d'occupation du sol selon la classification supervisé et relevés effectués et retenus, site Natura 2000

Description des classes (20/22)*	Surface PNN (%)	Classes regroupées (6)	Relevés effectués	Relevés retenus*
1 pelouses alpines et subalpines	2,8%	Milieux à dominante herbacée	16	2
2 prés, prairies de fauche, pâtures, pelouses, zones humides	3,7%			6
3 pelouses et prairies maigres, parfois brûlées récemment	2,4%			3
4 pelouses et pâtures rocailleuses à végétation discontinue	2,3%			3
5 landes basses ou terrasses et pâtures un peu enrichies	6,1%	Landes, friches et maquis	15	6
6 callunaies et rhoderaies	4,8%			2
7 maquis, cistaies ou landes supraméditerranéennes	3,5%			2
8 landes à genêt ou autre landes	6,5%			2
9 landes boisées et forêts claires à strate sous-ligneuse importante	8,9%			4
10 yeuseraie dense	3,3%	Forêt méditerranéenne et forêt de feuillues claires	11	3
11 yeuseraie claire (soulanes)	7,3%			3
12 forêts de feuillus méso- et supraméditerranéennes	4,8%			5
13 forêts de feuillues montagnardes	3,5%	Forêt dense dominée par des feuillus	6	4
14 forêts mixtes	4,3%			5
15 forêts assez ouvertes, dominées de conifères	6,4%	Forêt de conifères	19	4
16 pinède ou sapinière	15,1%			10
17 pinède ou sapinière dense	8,6%			5
18 éboulis et milieux rocheux arborés à boisés	3,0%	Milieux à végétation discontinue et sol nu dominant	5	2
19 sol nu : parois rocheuses, vires rocheuses, éboulis, bâti ou carrières	1,7%			2
20 sol peu végétalisé, rocailleux	0,9%			1

Source : cartographie cf. carte de la classification supervisée ci-dessus, réalisation A.M. Müller 2006/2007. *Les relevés complets retenus concernent uniquement les 72 relevés mésologiques retenus pour l'analyse ; N.B. les classes n°21 (eaux continentales) et n°22 (nuages) occupent moins de 0,05% de la surface du périmètre Natura 2000 et n'ont pas fait partie de l'échantillonnage.

3.1.2.5. Résultat de l'échantillonnage

Si on recoupe l'ensemble de ces cartes « d'échantillonnage », c'est-à-dire, la carte des pentes, la cartes des expositions, la carte de l'occupation des sols (image classifiée), la carte des

niveaux altitudinaux des bassins versants et la carte géologique, on obtient un maillage accentué créant une multitude de polygones. Il est évident que ce n'est pas cette carte au maillage atomisé qui peut servir de « stratification » pour guider l'échantillonnage d'un nombre relativement restreint de relevés.

Comme on peut constater dans le dernier tableau (*cf.* tab 3.8 classes d'occupation du sol issues de la classification d'image satellite et nombre de relevés effectués), le nombre de relevés effectués ne correspond pas exactement au pourcentage des surfaces occupées par une classe issue de la télédétection. Une certaine pondération a permis de tenir davantage compte des classes peu représentées (milieux à végétation discontinu et herbacée) au détriment des classes les plus fréquentes, (forêt de pins à crochet). Ainsi chaque classe des cartes d'échantillonnage a pu être représentée par au moins un relevé, ce qui ne serait pas le cas si on applique le petit nombre de relevés (<100) de façon strictement proportionnelle.

L'échantillonnage selon des quotas abordés ci-dessus reste un échantillonnage subjectif, mais qui s'oriente en fonction de caractéristiques de la population cible. Ainsi les pourcentages indiqués pour chaque classe des différentes cartes thématiques constituent un ordre de grandeur à respecter lors des prospections et relevés sur le terrain. C'est une façon d'organiser le choix subjectif des échantillons.

Sept types d'occupation du sols, trois classes de pentes, quatre classes d'exposition, quatre classes de formations géologiques et les six bassins versants croisés avec les cinq niveaux altitudinaux qui donnent 23 secteurs à couvrir, si possible tout en tenant compte de l'accessibilité du terrain constituaient déjà une base de sondage assez restrictive et laissaient en même temps la possibilité de suivre son « instinct » sur le terrain. C'est uniquement vers la fin de la mission, que les classes non encore occupées limitaient le choix.

L'échantillonnage par quotas limite dans une certaine mesure la portée des traitements statistiques, mais cette limitation, de ne pas pouvoir, à partir d'un petit nombre de relevés explorer l'ensemble des milieux du Madres-Coronat sera « contournée » en couplant les relevés de terrain à une cartographie des milieux. Même si cette dernière se situe à une autre échelle d'observation, plus petite, elle a le pouvoir d'élargir la signification des relevés à l'espace considéré, sous condition d'accepter que ces relevés reflètent un certain pourcentage de la diversité réelle des milieux et qu'une cartographie suffisamment généralisée (lire : grossière) permette à chaque type de milieu d'être suffisamment bien représenté par les relevés. Pour cette même raison, la cartographie des milieux devrait s'adapter aux relevés des milieux, c'est-à-dire, le choix du niveau de précision s'est fait à partir des données disponibles. Afin de permettre une analyse spatiale à différents niveaux de précision, la clé d'interprétation des géons, la légende, connaît plusieurs niveaux hiérarchiques de précision, et cette précision pouvant être réduite jusqu'à être conforme avec la portée des relevés de terrain.

3.1.3. Mise en place de la placette de relevé, aperçu général et description du milieu

3.1.3.1. Mise en place d'un relevé

La notion d'aire minimale

Au lieu de faire des relevés intuitifs dans un périmètre s'offrant à la vue avec une délimitation relativement subjective, nous avons opté pour des relevés effectués sur des parcelles ou placettes bien délimitées en marquant de manière visible leur étendue afin de pouvoir estimer plus aisément les pourcentages de recouvrement.

Différentes options se proposent pour la délimitation d'une surface prédéterminé : parcelles rondes à partir d'un point central, sinon carrées ou rectangulaires. Pour une délimitation rapide, la parcelle carré nous a semblé la plus judicieuse - marquer un cercle n'étant pas forcément évident surtout en terrain accidenté et / ou arboré. Si l'extension ou les caractéristiques morphologiques du milieu ne permettaient pas la délimitation d'un carré, nous avons opté pour des rectangles. Disposant d'un mètre plastifié de 100 m de long celui-ci suffisait à la délimitation des carrés de 400 m² avec 80 m de contour (20 mx20 m), ce qui correspond par ailleurs à peu près à un pixel de l'image satellite SPOT. Pour assurer des angles droits nécessaire pour la délimitation exacte de la surface, la placette a été mise en place avec une boussole afin de déterminer des angles de 90°. Par ailleurs nous avons choisi de placer la parcelle avec les cotés en direction nord-sud/est-ouest au lieu de l'orienter dans le sens de la pente. Ce choix témoigne essentiellement d'une préférence personnelle de brouiller le cas échéant des effets « de rigole », c'est à dire de réduire l'effet des concavités du profil horizontal de la pente qui peut avoir un effet assez considérable sur la végétation.

D'autres techniques envisageables, mais non retenues auraient été de procéder par une spirale progressive ou par des cercles concentriques de description : ils permettent d'élargir successivement la surface étudié jusqu'à ne plus recevoir de nouveaux éléments appartenant à ce même type de milieu. Bien utile à une description de la flore cette technique est moins pratique à l'égard des estimations de surfaces et volumes, qui demande de toute manière la prise en compte d'une surface suffisamment importante. En outre la mise en place progressive peut être considérée comme une perte de temps.

La taille de la parcelle a été surtout dépendante de la formation végétale dans laquelle le relevé a eu lieu. Afin d'éviter une détermination assez fastidieuse de l'aire minimale nécessaire pour les relevés floristiques il était commode, par économie du temps si précieux, d'envisager des parcelles de taille prédéterminée en fonction du type de milieu. Des tableaux de correspondances d'aires minimales selon le type de formation végétale en zone tempérée sont proposés par la littérature (Dierschke, 1994; Barsch, Billwitz *et al.*, 2000 :266). Le tableau suivant (tab. 3.9) recense des surfaces minimales de relevés en fonction des types de végétation, adaptés au terrain d'étude.

Tab. 3.9 : Aires minimales prédéfinies et retenues pour les placettes de relevés en fonction des formations végétales

Source : d'après DIERSCHKE (1994) et Barsch et al. (2000 :266), modifié

Type de végétation	Tailles de la parcelle de relevé proposées par la littérature	Extension des parcelles retenue pour le travail de terrain (A. Müller)
mousses, lichens	0.01 - 2 m ²	Non relevé
végétation des sources	1-10 m ²	4 m ²
Végétation des rochers	0.5-5 m ²	4 m ²
tourbières	1-10 m ²	16 m ²
pâtures intensives	10 m ²	16 m ²
prés, pâtures permanentes	5-25 m ²	25 m ²
Landes	5-25 m ²	25 m ²
Pelouses sèches, calcaires ou non	10-50 m ²	64 m ²
Friches	25-100 m ²	100 m ²
Flore d'éboulis	100 m ²	100 m ²
strates herbacées de la forêt	100 m ²	400 m ²
forêts tempérées	100-500 m ²	400 m ²
strate arborée de la forêt	100-1000 m ²	400 m ²

. Afin de minimiser le risque de passer « à côté » d'une espèce, nous avons retenu les extensions maximales à condition qu'elles aient pour racine un chiffre entier (exemple : 1:1 m²; 2 :4 m², 3 : 9 m²,4 :16 m², 5 :25 m² etc.) pour délimiter facilement de parcelles carrés. L'extension proportionnelle des relevés est illustrée par la figure suivante (fig. 3.5).

Précautions et choix concernant la délimitation de la parcelle,

Avant d'installer des limites précises de la parcelle sur laquelle aura lieu le relevé il est nécessaire de s'assurer que les conditions du milieu soient « homogènes », c'est-à-dire qu'il s'agit d'un seule type de formation végétale (ou d'un complexe répétitif en cas de microassociations) caractérisant habituellement un stade de développement de la succession végétale naturelle ou anthropisé. La placette doit être située sur une surface ayant des conditions comparables à son environnement en ce qui concerne le type et la profondeur du sol. C'est-à-dire qu'un relevé doit se situer sur un même type de segment du paysage (même type de relief ou facette topographique) où le modelé et la surface du sol présente les caractéristiques typiques comparables avec l'environnement de la placette appartenant au même type de milieu. La stratification du milieu ou la structure verticale et horizontale doit être homogène à l'échelle de la parcelle pour permettre une appréhension de la morphologie. Cela peut être difficile dans les sous-bois très hétérogènes et les forêts gérées par bosquets (cf. relevé N°65, abandonnée) avec une morphologie verticale et

horizontale très variées et des grandes clairières pouvant atteindre facilement la taille d'une placette.

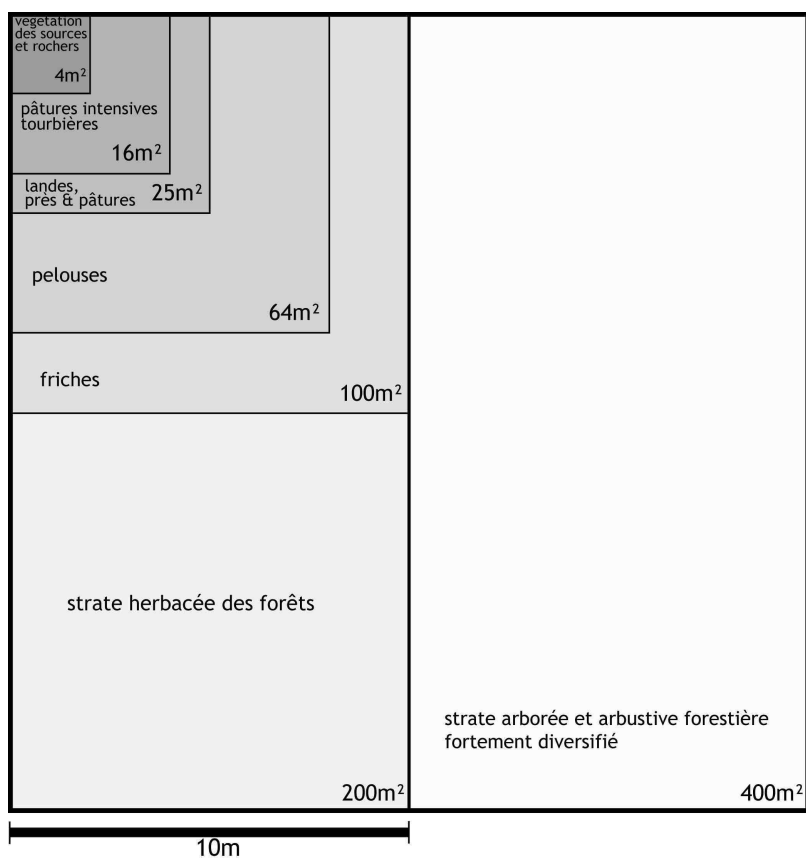


Fig.3.5 : Aires minimales adaptées à la formation végétale et faciles à mettre en place

Conception : Anja Müller

Des difficultés particulières ressortent dans des milieux à surface (mésomodelé) irrégulière, comme notamment les zones à terrasses. Les terrasses de cultures, quoique le plus souvent abandonnées et enrichies soient fréquentes dans les versants en dessous de 1500 m environ. En milieu à pentes accentuées, leur taille est souvent inférieure à la taille minimale de la parcelle ce qui implique un choix quant à la délimitation de la parcelle par rapport au découpage des terrasses. Par ailleurs, le micromilieu des murettes à pierre sèche contribue à la diversité interne des milieux de façon non négligeable.

Phase initiale et terminale du relevé,

A la fin d'un relevé il convient de remettre la parcelle dans l'état initial. Ceci signifie de refermer la fosse pédologique creusée en remettant la terre extraite dans la fosse dans le bon ordre, les horizons organo-minérales « A » et les mottes de surface se trouvant généralement sur un tas distinct. Aussi il ne faut pas oublier les outils qui obligerait de retourner sur le terrain d'étude, notamment bêche, pioche, mètre, boussole, clinomètre, GPS ou truelle s'oublie facilement, sans négliger le fait que le petit matériel (stylos, loupe, gomme, ...) se perd facilement et mérite d'être attaché par des ficelles.

Les descripteurs et descriptions seront présentés dans l'ordre mis en œuvre sur le terrain. Après ma mise en place de la parcelle et une première description globale, a été relevé le cortège floristique avant de passer à l'inventaire des corps naturels localisés par géohorizons (hoplexols) et recueil des biovolumes par strates de végétation prédéterminées. Enfin, la description du sol et la description des corps naturels du métaplexion inférieur et infraplexion ont eu lieu en dernier.

3.1.3.2. Les fiches de relevés utilisées sur le terrain

Pour mettre en évidence de manière systématique la diversité des formes, des espèces végétales et des matériaux pédologiques sur le terrain, des fiches de relevés s'avèrent utiles pour n'omettre aucune variable parmi ce grand nombre de données recueillies lors d'un relevé. Les fiches de relevés utilisées en 2006 et 2007, se trouvent dans les annexes et seront brièvement exposées ici.

Au cinq types de relevés prévus (RG, RF, RM, RB et RS) ont été adaptées cinq fiches de relevés :

- La fiche « relevé général » (FG)
- La fiche « relevé floristique » (FE) pour le relevé des espèces végétales (estimation de l'abondance-dominance par 9 niveaux l'échelle de Braun-Blanquet modifiée par Barkmann et Wilmanns)
- La fiche « relevé mésologique » (FM) pour l'analyse transdisciplinaire du milieu
- La fiche « relevé biovolumique » (FB) pour un relevé rapide des biovolumes
- La Fiche « relevé du sol » (FS) pour une description pédologique des horizons

FG- la fiche des informations générales

La fiche de relevé FG constitue la première des fiches en raison du caractère générale des observations notées (cf. fiche « FG, annexes). Les renseignements d'ordre général comprennent la localisation (lieux dits, lu sur la carte topographique 1/25000), coordonnées de position (GPS, carte) et la situation météorologique actuelle. Outre ces informations générales sont prises en compte des données relatives à la situation bioclimatique et géomorphologique, suivies par des observations en rapport au statut foncier (issues de la carte topographique et des informations de la BDD Terrain) et des périmètres de protection (ZNIEFF, RN, ZICO, réserves de chasse, ...).

Il s'ensuit une description succincte du couvert végétal, en mentionnant les espèces dominantes et l'occupation du sol (principale) si elle est perceptible (ex. forêt, friche, prairie de fauche, lande subalpine, pâture, pâture enfrichée etc.), et les traces anthropiques diverses, si elles sont visibles (notamment présence d'artifices diverses à proximité : *orris/cortals*, routes/pistes, canaux d'irrigation, sentiers de randonnée, déchets, ...). Plus précisément les variables suivantes sont prises en compte (cf. fiche « FG, annexes) :

- altitude (précision selon source : GPS, carte topographique)
- exposition du versant (déterminée à la boussole), exposition de la vallée, de la crête ou du vallon
- pente (en degré et en %)
- type de forme topographique (exemple : talweg, replat de versant, sommet, versant intermédiaire/inférieur, escarpement etc.)
- segment (ou macro-modélé pour lequel on se réfère à la fiche FA-S (fiche annexe segments) (cf. annexes FA-S), si nécessaire suivi d'une description ou d'un croquis

- dynamique (érosive, transitive, accumulative)
- méso-modélé de surface (clé selon FA-MO GODRON et al, cf. annexes)
- présence ou non d'aménagements en terrasses, leur état et leurs dimensions
- présence d'affleurements rocheux, ou de blocs en surface, type de roche constatée
- réaction de la roche au HCL (solution à 10%)
- hydrisme du milieu
- état de surface (végétalisée ou non) du versant au-dessus de la parcelle, le cas échéant
- utilisation des sols
- statut foncier, périmètres et zonages, nom de la commune,
- présence d'artifices
- pourcentage de recouvrement des différentes strates de végétation
- série de végétation et habitat naturel, si cartographiée
- espèces principales (dominantes) présentes et descriptif rapide
- présence de friches, cultures, fauchage régulier, irrigation ou débroussaillage
- présence de faune sauvage ou traces
- présence de traces d'incendies ou de brûlages
- utilisation pastorale, nom de l'estive, présence de clôtures à proximité
- piétinement, dégradation / embroussaillage et espèces broutées
- présence de forêt, si oui, diamètre, hauteur et densité des arbres
- présence de clairières, chablis, parasites...
- traces de gestion forestière récente (tires, martelages, coupes, élagage...)
- emplacement pour d'autres observations

FE- la fiche de relevé floristique

Afin de faciliter un relevé rapide, les espèces les plus communes et le plus probables selon les estimations de l'auteur (fondé sur les relevés de 2004 et la littérature, par exemple chez Dupias 1985) on été recensés sur trois à quatre feuilles afin de permettre à la fois un recensement rapide et une première codification des espèces, généralement par six lettres, dont trois pour le genre et trois pour le dénominateur d'espèce, en majuscule s'il s'agissait d'une espèce arborescente. Par exemple le « code espèce » pour *Quercus ilex* a été noté « QUE I », pour *Aristolochia pistolochia* « ari pis ».

Pour chaque espèce recensée sur cet imprimé trois colonnes permettent d'attribuer une code d'abondance-dominance selon Braun-Blanquet modifié selon Wilmanns, une code pour la sociabilité et enfin un code pour attribuer un code unique appelé « code échantillon », valable seulement pour ce relevé, si on souhaite prélever un échantillon ou même seulement une photo pour les espèces rares, éventuellement protégées qu'on souhaite laisser sur place. (Par exemple : cinquième échantillon du relevé 34 : R34-5)

A la fin de la liste un grand nombre de lignes vides permettent de recenser les espèces déterminées (ou non) qui ne figurent pas sur la liste, et de leur attribuer également un code « espèce » à 4-6 lettres, ainsi qu'un code « échantillon » unique pour ce relevé. Ces codes seront réutilisés ultérieurement pour les relevés de biovolumes et lors de l'informatisation des données.

FM- la fiche de relevé des hoplexols et corps naturels localisés

Elle se présente de façon très simple sous forme de trois colonnes permettant de noter les hoplexols et leurs extensions verticales, un pourcentage et la dénomination du corps naturels localisé (ou son code). Les estimations des volumes par hoplexol se font à l'aide d'une charte

visuelle d'estimation des pourcentages, les hauteurs des hoplexols et des arbres se déterminent à l'aide d'un mètre et d'un clinomètre.

L'attribution du Code CNL se fait à partir du lexique des matériaux auquel est associé une liste des codes à trois ou quatre lettres utilisés comme abréviations pour les orthotypes, variantes majeures et intergrades.

La liste réserve un emplacement pour mentionner des particularités ou pour permettre d'attribuer l'hoplexol d'emblée à un type de géon.

FB - la fiche de relevé des biovolumes

Afin de compléter les relevés mésologiques (RM) et rendre comparable la stratification de la végétation tenant compte de sa composition floristique, des relevés biovolumétriques estiment le recouvrement, plus précisément la volume de chaque taxon distingué en reprenant les codes attribués sur la fiche FE ou le code, les inconnus (à déterminer) inclus.

Comme la fiche FM, elle se présente sous forme de trois colonnes principales permettant de recenser la strate (prédéterminée et donc déjà imprimée sur la feuille), le pourcentage de volume occupé par l'espèce et bien évidemment l'espèce, le plus souvent abrégée sous forme du code espèce déterminé sur la feuille FE.

FS- la fiche de relevé pour la description des sols

Une fiche plus complexe accompagne le relevé pédologique. Une description fidèle à la "Bodenkundliche Kartieranleitung"; quoique brève sera faite à l'aide de FS. Outre un recensement de la profondeur du sol, du type de litière et de l'état hydrique, elle permet de recenser les horizons organiques et organo-minéraux par lignes et de leur attribuer, par colonnes :

- une qualification d'horizon (selon les nomenclatures allemandes et françaises, par exemple Ah, Cv, ...)
- une couleur (selon Munsell, si déterminé sur le terrain)
- les limites supérieures et inférieures (en cm)
- une texture terrain (cf. fiche FA-B, annexes)
- le pH « terrain » évalué avec un pH-mètre à liquide d'indication modèle « Hellige »
- une colonne pour insérer le numéro de l'échantillon prélevé
- un pourcentage pour les éléments grossiers au-delà de 2 cm de diamètre
- La réaction au HCl
- Une qualification pour le type de transition avec l'horizon inférieur (abrupt, peu visibles etc.)
- La réserve utile (si évaluée sur le terrain)
- La structure du sol
- La présence du revêtement argileux
- La présence de taches ou variations de couleur
- Les concrétions éventuellement visibles
- Le degré d'enracinement
- La présence d'indices d'hydromorphie
- La présence d'une activité faunistique particulière

FA - les fiches de relevé annexes

Comme mentionné plus haut, plusieurs documents supplémentaires, regroupés sous l'appellation « fiches de relevé annexes » ont été établis et servaient sur le terrain comme clés de références ou tableaux d'interprétation. Plus précisément il s'agit des documents suivants :

- **FA-S** *Fiche Annexe "Segments"* : rappelle les différents types de segments de paysages ou « facettes topographiques », notamment les critères de délimitation entre différentes variantes majeures des supra-, acro-, méta-, cata-, ecta- et infraèdres. (cf. annexes)
- **FA-M** *Fiche Annexe "Modelé"*, associée à la fiche annexe « segments » elle rappelle les qualificatifs et critères descriptifs des principaux types de mésomodélés (cf. annexes)
- **FA-T** *Fiche Annexe "Tangente"*, tableau avec les principales valeurs pour la détermination des hauteurs d'arbres à partir d'un angle et d'une distance. (cf. annexes)
- **FA-R** *Fiche Annexe "Recouvrement"*, peut-être la plus importante des fiches à toujours avoir sous les yeux : c'est la charte d'estimation permettant une estimation du recouvrement en % (cf. annexes)
- **FA-P** *Fiches Annexes "Plantes"*, tableau évolutif des principales plantes retrouvées sur le terrain et rappel de leurs principales caractéristiques de détermination. En raison de sa taille (plus de 20 pages) et son caractère évolutif elle ne sera pas reproduite dans les annexes du présent travail
- **FA-C** *Fiche Annexe "Corps naturels"*. Le « lexique des corps naturels localisés (CNL) » ou « lexique des matériaux » d'après les travaux de Richard et Filleron, adapté au terrain d'étude. Malgré sa taille (plus de 50 pages) il sera reproduit dans les annexes afin de rendre transparent la méthode utilisée. (cf. annexes)
- **FA-P** : *Fiche Annexe pédologique*. Un tableau de travail mettant en évidence les correspondances approximatives entre les typologies des principaux types de sols et d'horizons des classifications pédologiques allemandes et françaises. La version améliorée sera présentée dans le chapitre relatif aux sols.
- **FA-B** *Fiche Annexe "Bodenart" (texture du sol)*. Reproduction d'un tableau issu de la BKA (manuel de terrain pour la caractérisation des sols, en allemand) pour la détermination d'une « texture terrain », c'est-à-dire une version précise de l'évaluation de la texture du sol à l'aide des doigts, adaptée au triangle de textures allemandes (cf. annexes ; triangle de textures cf. chap. 2.3.2)

3.1.3.3. Aperçu général de la parcelle

Arrivé dans un type de milieu envisagé pour le relevé, il s'agit de déterminer en premier lieu l'endroit précis du relevé, par son caractère représentatif.

En faisant le tour du secteur, l'observation de caractéristiques typiques de stratification de la végétation, de la surface du sol et du modelé permet de choisir un secteur. Par choix personnel, et à condition que la surface représentative soit suffisamment grande nous avons fait intervenir élément probabiliste, c'est-à-dire, en lançant un objet, dos tourné, pour déterminer le premier point, habituellement le point nord-ouest de la placette.

Ensuite la placette de forme la plus souvent carrée est déterminée à l'aide de la boussole et orienté dans les directions cardinales, si la taille du milieu le permet. Afin de délimiter visuellement la parcelle le mètre de 100 m est déroulé, les angles sont fixés avec des objets sur place ou apportés (pierres, branches, sac à dos...).

A partir de la mise en place de la parcelle, le protocole prévu par les fiches de relevés est exécuté et implique alors dans un premier temps la description générale du milieu, la prise de connaissance de la flore, la description des volumes par corps naturels localisés et des espèces végétales selon les deux méthodes précisées ci-dessous ainsi que le creusement d'une fosse pédologique suivie de la description du sol.

Une ou plusieurs photos prises de l'extérieur du relevé (horizontal), ainsi que des photos plus détaillées permettent de reconstituer le relevé en cas de vérifications nécessaires. Des photos

seront également prises de la fosse pédologique et des espèces floristiques non déterminées ou douteuses, notamment si elles sont rares.

Description du relief et éléments de géomorphologie

La description de la courbure du relief et consécutivement des segments (ou facettes topographiques) et la présence ou absence d'une couverture végétale plus ou moins dense (4 niveaux) permettent d'évaluer la dynamique géomorphologique du milieu : autonome, érosive, transitive ou accumulative. Des traces d'érosion ou d'accumulation sont signalées, ainsi que leur origine (hydrique, nivale, zoogènes, anthropique, éolienne).

Pour relever la pente sur une parcelle couverte de terrasse on peut procéder de plusieurs façons. Si on se situe sur une parcelle caractérisée par la présence de terrasses, ont été relevé la pente moyenne de la terrasse, mais aussi la pente théorique entre le rebord d'une terrasse dans la partie supérieure de la parcelle à un rebord de terrasse situé dans la partie aval de la parcelle dans le sens global de la pente. Par ailleurs ont été relevées le cas échéant la longueur (perpendiculaire à la pente), la larguer (sens de la pente) et la hauteur moyenne des terrasses présentes sur la parcelle étudiée. Si aucune terrasse de culture n'est constatée sur la parcelle même, la présence de terrasses à proximité immédiate (<200 m) sera toutefois signalée.

Les roches affleurantes seront si possible déterminées sur place, au moins attribuées à une famille de roche, sinon une prise d'échantillons s'impose. L'effervescence en réaction avec de l'acide chlorhydrique était à vérifier sur toute roche non cristalline à texture assez fine. Le recouvrement (surface occupée) par les affleurement est notifié en pourcentage, tout comme la présence de blocs, éboulis ou pierriers en surface.

L'hydrisme repose sur une estimation en sept classes allant du qualitatif « très sec » au « gorgé / eau en surface » en s'orientant à la végétation, à l'exposition et les type de sol.

Questions d'occupation et utilisation du sol et statut foncier

Des cartes thématiques imprimées et les cartes topographiques permettaient d'évaluer le statut foncier de la placette relevée. La communication plus aisée avec les mairies et services forestiers favorisait indirectement les relevés sur les propriétés domaniales et communales aux dépens des propriétés privées, même s'il ne s'agissait pas d'un critère d'échantillonnage retenu. Selon le fond cartographique transmis par l'AGRNN, 20,4% de la surface du nouveau SIC Madres-Coronat (soit 4341 ha) n'étaient pas renseigné quant à leur statut foncier et des recherches cadastrales et contacts préalables concernant ces parcelles et les 38.6% de terres privées étaient difficilement envisageable pour des relevés dont le lieu précis se détermine essentiellement « in situ ». Bien évidemment les relevés étaient exclus sur les terrains privés reconnaissables par des clôtures ou autres délimitations non pastorales.

L'occupation du sol a été qualifiée par une typologie très simple (cf. fiche FG, annexes) distinguant forêts, landes, prairies, pelouses, friches, ripisylves, zones humides, vergers, cultures etc. On distingue les pelouses, formations herbeuses rases, généralement à caractère xérophile ou montagnard à alpin (Da Lage et Metailié, 2000) des prairies et prés de fauche qui peuvent atteindre une extension verticale plus importante. En présence d'arbres de plus de 7 mètres de hauteur on

distingue conformément à l'ancienne définition de l'IFN (voir par exemple Da Lage et Metailié, 2000; Société Forestière de Franche-Comté, 2006), appliqué également à la cartographie des géons, entre un état arboré (<10% de recouvrement de la surface par des arbres) et un état boisé (>10% de recouvrement par des arbres). Généralement, landes ou pelouse ou friches sont considérées comme boisées jusqu'à 25% de recouvrement par des arbres de 7 m. Entre 25 et 50% de recouvrement par des arbres de plus de 7 m nous avons considérée la formation végétale comme une formation forestière ouverte ou claire, se rapprochant des formations ligneuses clairsemées de ligneux hauts (>2 m) selon le Relevé Méthodique de la Végétation et du Milieu élaboré par le CEFE (Godron, Daget *et al.*, 1983). Au-delà de 75% de recouvrement il s'agit de forêts denses ou de formations ligneuses denses si une part importante des ligneux hauts (>2 m) est inférieure à 7 m. Les milieux assez fortement à très fortement anthropisés (Godron, Daget *et al.*, 1983) de type labours, jardins ou cultures sarclées n'ont pas fait l'objet de relevés en raison de leur faible extension sur le terrain d'étude.

Observations quant à la végétation

Un court descriptif du type de végétation, incluant les essences dominantes et le recouvrement des principales strates de végétation (ligneux hauts >2 m, ligneux bas <2 m, herbacées et sols nus) avec une précision à 5% près permet d'avoir une vue d'ensemble sans avoir recours à la liste détaillé d'espèces et des relevés de biovolumes. Les indications des cartes thématiques (carte de la végétation de Gaussen, carte des habitats naturels si zone cartographiée) ont été reportées sur la fiche de relevé.

Traces de la faune sauvage, des troupeaux et du feu

La rubrique « Faune » permet de noter des observations de faune sauvage et de traces ou indices (rejets, déjections, restes alimentaires, cornes...) laissés par celle-ci s'ils ont été identifiés. Généralement on s'est limité aux traces de mammifères, en se fondant par manque de connaissances zoologiques détaillées sur un guide illustré (Bang et Dahlström, 2006). Les espèces broutées et excréments animaux ont été notés. Un éventuel piétinement a été relevé en retenant cinq niveaux (zéro, quelques traces, faible, moyen, fort) allant de pair avec une qualification de la régularité du pacage (régulier, diffus, non interprétable) et le type de bétail déduit des traces de pas et des excréments. Une éventuelle dégradation des pâtures par enrichissement (5 niveaux) ou érosion sera retenue et la présence et distance de clôtures et de chiens de troupeaux signalés. Une gestion des pâturages par le feu, des brûlages récents reconnaissables en tant que tel, sinon des traces de feu (charbon, troncs brûlés...) sont relevés.

Observations concernant les arbres en milieu forestier ou arboré.

L'expérience pratiquée a montré qu'il est généralement préférable de mesurer d'abord les diamètres des arbres avant d'évaluer leur hauteur. Ceci permet, tout en faisant un tour de la parcelle de se rendre compte des espèces présentes.

Le relevé de végétation permet de qualifier la ou les essence(s) dominante(s), soit en nombre, soit par leur dimensions (diamètre et hauteur). D'autres essences accompagnatrices, souvent de dimension inférieure (par exemple le Sorbier des oiseleurs, *Sorbus acuparia* en hêtraie-sapinaire) s'y ajoutent. En milieu forestier les deux essences dominantes ont été relevées ainsi que leurs diamètres et hauteurs.

Les diamètres ont été pris à une hauteur de 1,30 m conformément aux pratiques des forestiers (Société Forestière de Franche-Comté, 2006). Le diamètre des arbres situés en pente a été évalué en se situant en amont de l'arbre. Les diamètres sont relevés par classes de 5 cm, un diamètre de 25 cm peut ainsi concerner des arbres avec un diamètre allant de 22,5 à 27,5 cm.

Pour la mesure des hauteurs d'arbre plusieurs méthodes se proposaient. En absence d'un dendromètre (fourni avec la boussole utilisée), les clinomètres sont utiles. Ces techniques demandent de s'éloigner d'une distance précise de l'arbre (longueur des pas...) en restant sur la même hauteur (altitude) que le pied de l'arbre (pas toujours évident dans une forêt dense en pente : repérer une marque à hauteur des yeux et vérifier avec le clinomètre...) afin d'évaluer la hauteur (extension verticale) de cet arbre. En utilisant la fonction trigonométrique pour un triangle rectangle, la détermination de l'angle α (avec le clinomètre) et du côté adjacent (distance à l'arbre) permet de déterminer le côté opposé (hauteur de l'arbre) (tangente d' α = côté opposé divisé par le côté adjacent), à condition que l'observateur se situe sur à même altitude (isohypse) que le pied de l'arbre. Bien évidemment il faut tenir compte de la hauteur des yeux dans le calcul en l'ajoutant. Pour éviter l'apport d'une calculatrice sur le terrain nous avons préparé un tableau avec la tangente α pour les distances les plus courantes (cf. Fiche « tangente », FA-T, voir annexes)

Tout arbre en dessous de 2,1 m peut être mesuré à l'aide du mètre en bois (2 m), à partir de 3,5 m une mesure avec le dendromètre sera conseillé. Pour s'assurer de la bonne hauteur altitudinale au point de prise de mesure (à hauteur égale avec le pied de l'arbre) il convient de retenir ou marquer un point de l'arbre à la hauteur des yeux (quand on se situe à côté de l'arbre pour mesurer son diamètre) et rechercher ce même point avec le clinomètre (angle 0°) une fois que la distance choisie (habituellement 15, 20 ou maximum 25 m, sinon trop d'arbres couvrent la vue et on perd du temps) est atteint.

Dans le cas d'une parcelle avec de très nombreux arbres il suffira de déterminer de cette manière, pour des raisons de gestion du temps, seulement quelques arbres représentatifs (20-30%) de tailles variées. A partir de ces mesures et en tenant compte du relief de la parcelle, la hauteur des autres arbres de la placette peut être estimée. Une précision de l'ordre du mètre suffira dans une forêt de taille ordinaire (taille des arbres adultes compris entre 15 et 25 mètres).

En cas d'oubli du clinomètre et de la fiche FA-T, il est possible d'appliquer le théorème de Thalès en tenant deux branches de la même longueur et disposée en angle droit à la hauteur des yeux ($\Rightarrow \alpha = 45^\circ$), de s'éloigner de l'arbre jusqu'à ce que la pointe supérieure de la branche verticale coïncide avec la partie supérieure de la cime et de mesurer ensuite la distance jusqu'à l'arbre. Ainsi l'angle de 45° entre les yeux et la cime et la distance au pied de l'arbre permettent le calcul de la hauteur : il suffit alors de déterminer la distance à l'arbre et d'y ajouter la hauteur des yeux de l'observateur pour obtenir la hauteur de l'arbre. C'est un méthode qui s'apparente à la technique de la « croix du bûcheron » légèrement différente.

Pas forcément évident à lire dans le paysage, le type de gestion forestière émane surtout des plans de gestion. Toutefois, quelques indices peuvent être recensés sur place : une exploitation récente se traduit par la présence de rémanents, troncs coupés récents, et parfois des traces d'engins forestiers. Une exploitation à venir se traduit par le marquage visible sur les arbres martelés.

3.1.4. Les relevés mésologiques

3.1.4.1. Description générale de l'approche mésologique

Description mésologique

Les relevés attribués à l'analyse intégrée du milieu ont été appelés « mésologiques » conformément à l'adjectif « mésologique » attribué aux composantes des milieux naturels (Filleron, 1995 :27). Elle consiste en une description des composantes du milieu par l'entrée des corps naturels localisés (CNL), objets concrets qui peuvent être délimités et dénombrés, et des enceintes naturelles (hoplexol, hoplexion, holoplexion), ce qui permet une caractérisation de la structure des milieux par la distribution verticale des volumes des CNL sur une surface donnée. Les volumes décrits peuvent ensuite être attribués aux enveloppes paysagiques cartographiées (essentiellement géons et segments du paysage).

La méthode adoptée pour la description des milieux reprend des éléments de la méthodologie décrite notamment par Jean-François Richard et Jean-Charles Filleron (Richard, Kahn *et al.*, 1977; Richard, 1989a; Richard, 1989b; Filleron, 1995 : et comm. pers.). Dans le cadre de cette étude nous n'avons pas appliqué l'ensemble des possibilités de l'analyse intégrée des milieux et paysages. A titre d'exemple, le diagnostic typologique des composantes du milieu ne sera pas complété par des syntaxes typologiques, c'est-à-dire par des combinatoires qualitatifs ou quantitatifs (cf. Richard, 1989b :pp.10), même si c'est un intérêt majeur du vocabulaire développé dans le cadre de *l'analyse intégrée des milieux naturels et paysages tropicaux*. Pour cette raison il convient de bien expliciter la démarche adoptée. Nous nous sommes limités essentiellement aux grandes échelles, c'est à dire à la description des milieux par les volumes de CNL exploités en vue de classifier les relevés de terrain pour décrire la diversité et permettre une mise en relation de la dimension verticale avec la dimension surfacique des géons en passant des corps naturels localisés aux géons (cf. fig. ci-dessous)

Du corps naturel localisé au paysage

Conformément à l'emboîtement des échelles d'approche annoncé (cf. chap 1.4.), l'appréciation des milieux et paysages-objet se fait en partant de ses constituants visibles élémentaires, les corps naturels localisés (CNL) en les regroupant en enceintes de plus en plus vastes jusqu'à parvenir à caractériser les paysages par les objets qui les composent. La morphologie du paysage est ainsi reconstituée en partant de la perception d'objets sur le terrain en les couplant ensuite aux objets identifiés sur les photos aériennes.

L'assemblage des objets n'est pas aléatoire, la présence de chaque type d'objet dans ces milieux peut s'interpréter et a une signification écologique. L'absence d'arbres adultes dans les éboulis ou la présence conjointe de genêts de troncs d'arbres morts brûlés ne peuvent pas seulement être quantifiés mais demandent à être interprétés par la suite. Afin d'élucider les caractéristiques principales des milieux, une interprétation statistique multivariée des données sera de rigueur. Elle permettra de regrouper des relevés semblables et à *contrario* séparer ceux qui se différencient le plus.

Chaque relevé étant localisé sur les photos aériennes, il est possible d'attribuer chaque relevé à une unité spatiale cartographiée. Un ensemble de relevés semblables peut alors être associé à un type de géon, unité paysagique élémentaire.

La démarche de la composante à l'ensemble, du détail d'un relevé aux généralisations concernant le terrain d'étude se fait ainsi par différentes étapes. Comme le souligne Jean-François Richard, les emboîtements d'échelle prévus par la méthode d'analyse du paysage n'ont qu'une valeur indicative, elle « *n'impose évidemment pas que l'on doive toujours, systématiquement, envisager l'étude de tous ces niveaux d'organisation paysagique* » (Richard, 1989b :12). Ainsi, le temps imparti pour le nombre de relevés réalisables dans les milieux fortement diversifiés d'un massif de taille non négligeable veut, qu'une cartographie des séquences et segments de paysage ne puissent pas se faire par une interprétation des géons issus à de relevés réalisés. Les relevés nécessaires pour une séquence complète et suffisamment représentative risquaient de compromettre l'objectif de relever des milieux les plus variés possibles. L'étude des milieux à grande échelle constitue ainsi le niveau privilégié de l'analyse. La figure suivante illustre le principe de l'emboîtement des observations effectuées à différentes échelles.

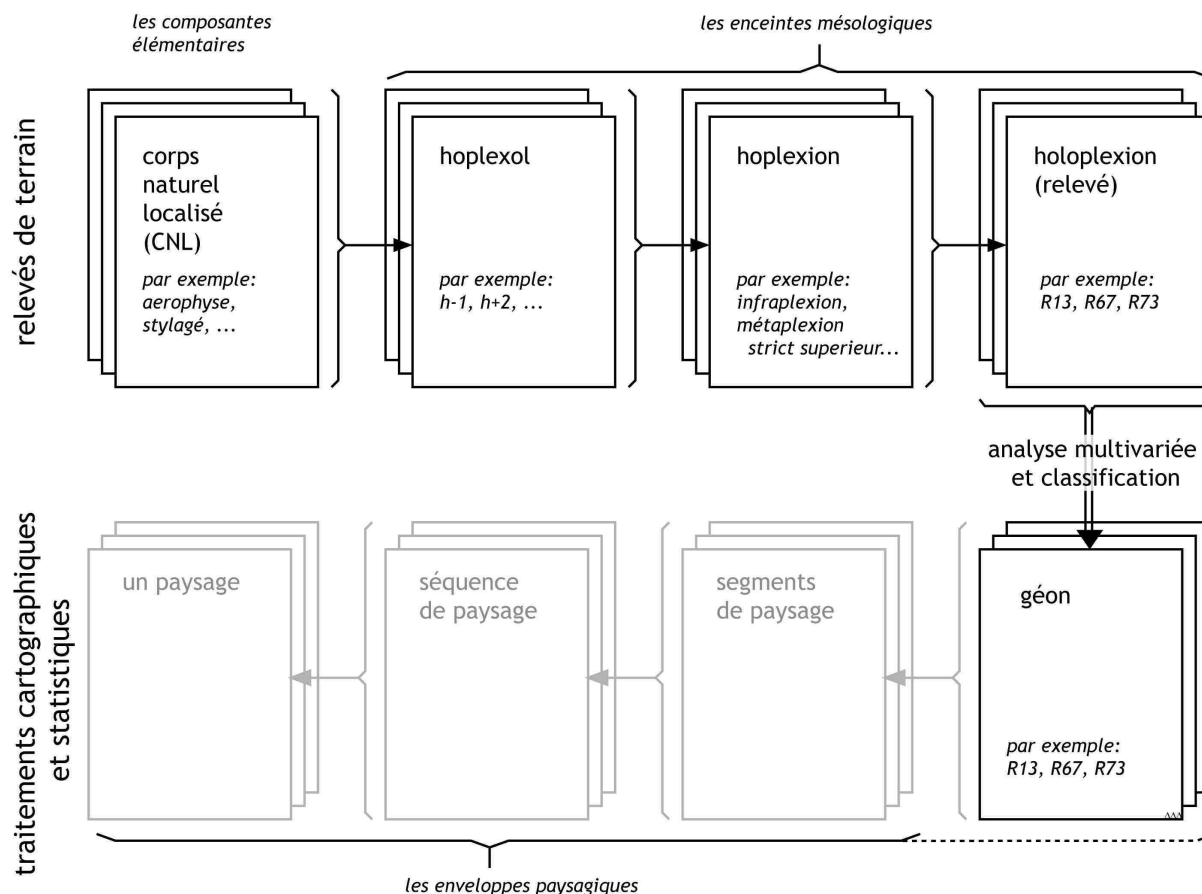


Fig 3.6. Emboîtement hiérarchique des composantes mésologiques et paysagiques

Source : partiellement inspiré de Jean Morschel (Morschel, 2006 : fig.3.4, p.59), réalisation A. Müller
 N.B. : Le géon occupe une place privilégiée à cheval entre l'analyse mésologique et paysagique. Les enveloppes paysagiques de couleur grise (segments et séquences de paysage, paysage) ne font pas partie de l'analyse empirique du présent travail.

3.1.4.2. Les composantes du milieu

Description des corps naturels localisés et hoplexols

Les corps naturels localisés (CNL), plus familièrement appelés « matériaux », sont pris en compte en s'appuyant sur le **lexique des corps naturels localisés appliqué au Madres-Coronat**, joint au présent travail (cf. annexes). Ce lexique rassemble les identifiants et caractéristiques des différents objets matériels et sert ainsi de clé d'interprétation. Les CNL réellement relevés sur le terrain font l'objet d'une liste (cf. tab 3.10 ci-dessous) avec une caractérisation et « traduction » succincte.

Ces objets bien individualisés, localisables et quantifiables dans l'espace sont décrits dans une coupe verticale « sol-surface-végétation » et quantifiés en volumes en utilisant une surface de référence (holoplexion). Idéalement cette coupe s'étend de la cime des arbres jusqu'à la roche-mère altérée mise en évidence par une fosse pédologique d'une profondeur maximale d'un mètre à condition de ne pas rencontrer plus de 65% (pourcentage volumique : vol%) d'éléments rocheux grossiers >2 cm lors de l'extraction. La description des matériaux se fait par volumes relatifs (pourcentage des CNL respectifs occupant un hoplexol), en progressant hoplexol par hoplexol.

Sur le terrain, la répartition des composantes du milieu peut dans un premier temps s'aborder par un découpage simplifié : on peut distinguer en premier lieu « l'épaisseur » (les limites supérieures et inférieures) de la strate herbacée et celle des arbres, d'arbrisseaux et d'arbustes s'ils sont présents. Ces enceintes représentent les deux hoplexions supérieures : le métaplexion supérieur et le supraplexion. La surface du sol avec l'accumulation caractéristique de matières organiques et minérales (organumites et épilites) caractérise le métaplexion strict supérieur. Les hoplexions inférieures sont caractérisés lors de la constitution d'une fosse pédologique, indispensable sauf en cas de présence d'une dalle rocheuse massive. Les horizons organo-minérales constituent le métaplexion inférieur. Sédiments, altérites et formations superficielles constituent les matériaux caractérisant l'infroplexion. Par la suite sont prises en compte, au sein de ces hoplexions les enceintes élémentaires appelés hoplexols, qui s'individualisent nettement par un changement dans la composition des volumes des corps naturels localisés.

On estime l'importance (extension verticale menant au volume) des hoplexols à l'aide des outils de mesures présentés plus haut (généralement à l'aide d'un mètre et accessoirement d'une dendromètre ou clinomètre s'il s'agit des hoplexols du supraplexion) avant de transcrire l'épaisseur des hoplexols sur la fiche de relevé. D'hoplexol en hoplexol, une estimation du volume de chaque composante au sein de l'hoplexol est effectuée à l'aide des chartes d'estimation et du lexique des composantes naturelles.

Les chartes d'estimation (cf. annexes) servent de repère pour les estimations de recouvrement de chaque composante au sein de chaque hoplexol. Le volume occupé par chaque composante est estimé en déterminant une moyenne de recouvrement sur la hauteur de l'hoplexol considéré. La délimitation des hoplexols, strates subhorizontales, pose donc comme condition que la répartition des volumes des matériaux identifiés soit à peu près constante entre la limite supérieure et inférieure de l'hoplexol et sur l'ensemble de la parcelle étudiée. Si ce n'est pas le cas, il convient d'estimer la moyenne du recouvrement, ou, dans le cas d'un changement significatif des volumes, d'introduire un nouveau hoplexol. La délimitation d'un nouveau hoplexol s'impose ainsi dès qu'on note l'intervention (significative) d'un nouveau CNL, ou un changement significatif de la répartition des volumes. Cette délimitation reste relativement subjective, mais quelques règles de conduites appliquées et de surcroît l'application de la méthode par un même auteur rendent comparable les différents relevés. Une comparaison directe entre les hoplexols de relevés (holoplexions) différents n'est évidemment pas possible, d'où l'intérêt porté aux hoplexions.

D'un côté pratique, il a été jugé utile que le relevé mésologique précède le relevé biovolumétrique en raison de la stratification adoptée *in situ* et pour empêcher ainsi une reprise inconsciente de la stratification fixe utilisé pour les relevés de biovolumes. En même temps le relevé mésologique est précédé par le relevé de végétation, car un premier « tour » dans la parcelle pour la détermination des espèces permet en même temps de caractériser les différents matériaux (CNL) notamment végétaux ainsi que leurs hauteurs respectives et donc les volumes.

Le volume occupé par chaque CNL au sein d'un hoplexol est noté en pourcentage et doit être représentatif pour l'ensemble de la parcelle étudiée. Pour les relevés effectués nous avons retenu une précision maximale de 0,1%. Le calcul du volume peut se faire ultérieurement (lors de l'informatisation des relevés) à partir de l'épaisseur de l'hoplexol, qui est multiplié par le pourcentage occupé par les CNL (100% par hoplexol). A titre d'exemple, le volume occupé par les matériaux dans un holoplexion sur une parcelle de 400 m² et d'extension verticale de 10 m (par

exemple 9 m au-dessus et 1 m en-dessous de la surface du sol) occupe 4000 m^3 ou 4 milliards de cm^3 . Ce rappel est utile si on souhaite relever la présence d'éléments peu fréquents de faible taille. Toujours en guise d'exemple, le feuillage sempervirent d'un buisson sur une parcelle de 400 m^2 et dans un hoplexol allant de 1 m à 2 m au dessus de la surface du sol doit occuper dans cet hoplexol un volume d'au moins 400000 cm^3 , soit recouvrir une surface d'au moins $40 \times 100 \text{ cm}$ à 1,5 m de hauteur. Comme pour les relevés de phytovolumes ce volume occupé correspond au volume délimité par le contour du feuillage et non par le volume réellement occupé par la matière végétale dont l'estimation est bien plus délicate. Pour permettre une comparaison entre les relevés, la surface de référence pour le calcul du volume correspond cependant à un mètre carré, indépendamment de la taille des parcelles. Le volume d'un hoplexol (100%), d'un mètre d'épaisseur (hauteur) sur 1 m^2 de base correspond ainsi à 1 m^3 ou $1\,000\,000 \text{ cm}^3$.

En milieu forestier la surface du sol, plus précisément la « surface zéro » qualifié d'épipause peut ne pas être perçue au premier coup d'œil. Il s'agit en effet de la surface constituée par les horizons pédologiques organo-minéraux, si ceux-ci sont présents, caractérisés habituellement par le début de l'enracinement des plantes, en dessous de la couche de feuilles et aiguilles mortes plus ou moins décomposées. En cas d'absence d'une litière ou d'un couvert végétal continu il s'agit de la limite entre le sol et les éléments minéraux ou végétaux disposés à la surface. C'est à dire il faut balayer (à la main) les couches superficielles des organumites (horizons "O" ou litière) et épilites (éléments minéraux disposés à la surface du sol) jusqu'à la présence de matériaux plus résistants constitués par les dermilites (croûtes de battance), le grumorhize (chevelu racinaire) ou l'humichron (matières organo-minérales des horizons A) pour découvrir l'épipause.

La diagnose typologique

La typologie de l'analyse intégrée des milieux distingue une diagnose primaire, une diagnose secondaire et une diagnose complémentaire auquel on peut ajouter une diagnose opératoire (Richard, Kahn *et al.*, 1977; Richard, 1985; Richard, 1989b; Richard, 1989a; Filleron, 1995).

Dans le cadre du relevé mésologique nous nous limitons essentiellement à la diagnose primaire qui consiste à identifier des orthotypes et des variantes majeures de CNL immédiatement reconnaissables par leur morphologie.

A titre d'exemple, l'orthotype *stylagé* identifie le tronc d'un macro- ou mésophanérophyte (arbre), la variante majeure *coniphysse* désigne un type de feuillage d'arbre (orthotype), plus précisément celui des conifères qui se présente sous forme d'aiguilles ou écailles. Dans le cadre de cette étude, une centaine d'orthotypes et variantes majeures suffisent à la description des composantes de tous les milieux décrits sur le terrain d'étude. Il existe dans de nombreux cas des formes intermédiaires entre deux orthotypes (ou matériaux primaires), qui sont appelées intergrades et témoignent d'un lien génétique entre deux orthotypes. Par exemple, l'intergrade *luvibrunichron*, se présente comme un matériau pédologique meuble de couleur brune montrant des légères caractéristiques de lessivage, il occupe alors un stade intermédiaire entre le brunichron se développant vers un luvichron. Pour les traitements statistiques, orthotypes, variantes majeures et intergrades ont été traités de façon similaire. Pour cette raison on peut parler d'une diagnose opératoire, « générique » (Filleron, 1995 :31).

La diagnose secondaire, décrivant des types d'organisations internes n'a pas été retenues pour cette étude. Associés à la syntaxe typologique des combinatoires, les modes d'association - juxtaposition (matrice, phase, stigme) n'ont pas été prises en compte pour la même raison, une opérationnalité réduite dans le cadre des analyses statistiques prévues, d'où un intérêt relativement faible de les recenser pour notre propos.

Des informations complémentaires (diagnose complémentaire), comme la couleur ou la granulométrie des matériaux pédologiques ou la composition floristique seront traitées dans les analyses sectorielles (relevés RF, RP et RG).

Lexique des corps naturels: clé de détermination des matériaux

La clé de détermination des corps naturels localisés, développée et utilisée dans le cadre de cette étude se fonde essentiellement sur les travaux de Jean-François Richard et Jean-Charles Filleron (Richard, Kahn *et al.*, 1977; Richard, 1985; Richard, 1989a; Richard, 1989b; Filleron, 1995), qui ont mis au point cette méthode pour l'analyse des milieux et paysages de la Côte d'Ivoire. Le lexique des « matériaux » figurant dans les annexes propose un élargissement de la typologie élaborée par ces auteurs. Il a été notamment modifié en ce qui concerne les sols, puisque que le vocabulaire adopté par Jean-François Richard et Jean-Charles Filleron se réfère aux milieux tropicaux avec des types de sols assez différents de ce qu'on peut trouver dans les montagnes d'Europe occidentale et méridionale. Puisque ce lexique se veut opératoire pour le plus grand nombre des milieux terrestres d'Europe occidentale, un certain nombre d'ajouts ont eu lieu par rapport aux publications précédentes. Déjà abordé par Jean-François Richard, Faiza Khebour-Allouche et Jean Morschel ainsi que par Denis Rambaud et Florent Waechter (Rambaud et Waechter, 2001; Richard, Khebour-Allouche *et al.*, 2005b; Morschel, 2006; Khebour-Allouche, 2007), des adaptations aux milieux méditerranéens et tempérés ont été reprises, élargies, explicitées et parfois modifiées. En raison de sa relative ampleur, le lexique des matériaux figure alors dans les annexes.

Plusieurs lexiques opérationnels se sont succédés depuis l'élaboration d'une première version en 2002 utilisée sur un site d'étude dans les Albères. Ainsi le lexique utilisé en 2004 (Müller, 2004) est encore fortement incomplet et c'est notamment à partir de 2005 que la version valide pour le terrain a été mise en place. Afin de compléter le lexique pour les sols européens des variantes majeures et des dénominations ont été adaptées après communication avec Jean-François Richard en 2008 et 2009. A titre d'exemple, le malacolite qu'on a cru inventer, a trouvé son équivalent dans le tanolite adopté par Jean Morschel et Faiza Khebour-Allouche (Morschel, 2006; Khebour-Allouche, 2007) (*cf.* introduction au lexique, annexes). Il s'agit d'une ébauche pour essayer de rendre possible une description des milieux naturels d'Europe occidentale tempérée, mais il ne s'agit en aucun cas d'une version définitive ou complète. Selon les cas (régions côtières par exemple) le lexique nécessitera éventuellement des ajustements ou élargissements. De manière générale le lexique peut être élargi par autrui en conservant les principes de la méthode établie par les travaux fondateurs (Richard, Kahn *et al.*, 1977; Beaudou, De Blic *et al.*, 1978; Richard, 1989a; Richard, 1989b; Filleron, 1995).

La dernière version du lexique des matériaux développé pour l'étude des milieux du Madres-Coronat tient ainsi compte de 84 orthotypes (ou matériaux primaires) rassemblés en 25 grands

ensembles, qui se déclinent encore en en 223 variantes majeures et 125 intergrades. Il rassemble des travaux antérieurs tout en proposant un élargissement du référentiel par 164 nouveaux matériaux (38%), dont 15 orthotypes et 81 variantes majeures, identifiés ou définis par l'auteur, trouvant dans 8 cas des matériaux équivalents dans la note sur les composantes du milieu proposé par Richard et collaborateurs (Richard, Khebour-Allouche *et al.*, 2005b). Cinq des quinze nouveaux orthotypes se réfèrent à des matériaux primaires regroupés sous l'appellation des pédochrons, c'est-à-dire des matériaux pédologiques meubles et structurés en s'appuyant sur des caractéristiques du référentiel pédologique (Baize et Girard, 1995; Baize, 2009)¹⁰⁴, pour faciliter son application à ceux qui sont familiarisés avec la classification française des sols.

Chacun des 25 grands ensembles, auxquels nous avons donnée dans sept cas un nouveau nom se réfère à une définition simple qui est ensuite approfondie par les caractères signalétiques et par les caractéristiques de reconnaissance des orthotypes, variantes majeures et intergrades. Le tableau des CNL présenté ci-dessous (*cf.* tab. 3.10) recense ces 25 grands ensembles et les principaux matériaux observés sur le terrain (orthotypes, variantes majeures et intergrades) et fait également apparaître une description très simplifiée et les codes utilisés lors des traitements statistiques. Lors de l'informatisation et de l'analyse finale certains de ces 103 matériaux relevés ont été regroupés en ensembles plus cohérents (c'est à dire sous un même orthotype) afin de réduire l'impact des CNL d'occurrence rare et d'identifier des ensembles cohérents.

¹⁰⁴ En s'appuyant sur le référentiel pédologique de 1995, puisque les modifications et « créations » apportés au lexique des matériaux ont été pour la plupart effectués avant 2008, donc avant la parution du référentiel pédologique de 2008, publié en 2009.

Tab. 3.10 : Corps naturels localisé recensés sur le terrain avec description succincte et codification utilisé lors du traitement de données

Code CNL (TAM)	CODE DONNEES (CNL relevés)	GRAND ENSEMBLE	ORTHOTYPE - MATERIAU PR.	VARIANTE MAJEURE	VARIANTE SECONDAIRE	INTERGRADE	DESCRIPTION
AH		aerophyse & hydrophyse					volume d'air et d'eau libre
AER	1	AÉROPHYSE					volume d'air libre
HDR	2	HYDROPHYSE					volume occupé par l'eau libre
PL		pléiophytion*					ensemble des végétaux lianescents
PLE	28	PLÉIOPHYSE					feuillage des lianes ligneuses et vivaces étayées et redressées
PLS	29	PLÉIOPHYSE SPINESCENT*					feuillage spinescent des lianes ligneuses et vivaces
KOPL	30	KORTO-PLÉIOPHYSE					feuillage des lianes peu lignifiées ou herbacées, partie aériennes non persistantes à la mauvaise saison
OPH	26	OPHIAGÉ					troncs et tiges des lianes ligneuses
OPA	27	OPHIAGÉ ANTHROPIQUE					troncs et tiges des lianes cultivées (vigne...)
PYS		PARAPHYSE*					parasite vivant sur d'autres végétaux, parasitant les parties aériennes ou ne contenant pas de chlorophylle
PP		phyllophytton*					formes de croissance et de réitération des ligneux; expansions ligneuses et feuilles
CON	7	CONIPHYSE					aiguilles et petites branches des conifères adultes
SEM	8	SEMPERPHYSE					feuillage des arbres sempervirents adultes
CAD	9	CADUPHYSE					feuillage des arbres caduques, adultes
XY		xylagon*					formes de croissance secondaire des ligneux, ensemble des expansions ligneuses
DEN	3	DENDRIGÉ					ramifications (branches) maîtresses apparentes à la base des feuillages
NCDE	4	NÉCRO-DENDRIGÉ					ensemble de branches maîtresses mortes en place
STY	5	STYLAGÉ					ensemble des troncs ligneux, droits ou redressés
NCST	6	NÉCRO-STYLAGÉ					ensemble de troncs morts en place
NN		néoligniphytton*					formes de germination et régénération des ligneux
PNP		PÉNÉPHYTION					tiges peu ramifiées des jeunes arbres, allongée verticalement
PNC	10	PÉNÉPHYTION CONIFÈRE					tige et feuillage des jeunes arbres conifères
PNS	11	PÉNÉPHYTION SEMPERVIRENT					tige et feuillage des jeunes arbres sempervirents
PND	12	PÉNÉPHYTION CADUCIFOLIÉ					tige et feuillage des jeunes arbres caducifoliés
NCPN	13	NÉCRO-PÉNÉPHYTION					pénéphytion mort sur pied
NOP		NÉOPHYTION					tige de taille centimétrique, premier stade de développement; de la même année ou de la précédente
NOD	15	NÉOPHYTION CADUCIFOLIÉ					plantule d'arbre caduque
NOC	14	NÉOPHYTION CONIFÈRE					plantule d'arbre conifère
NOS	16	NÉOPHYTION SEMPERVIRENT					plantule d'arbre sempervirent
NP		nanophytton					ensemble de tiges, rameaux et feuillages des buissons, arbustes et des arbrisseaux
NAC	17	NANOPHYSE CONIFÈRE*					feuillage en aiguilles sempervirentes des arbrisseaux gymnospermes
NAD	18	NANOPHYSE CADUCIFOLIÉ					feuillage caduc
NAG	19	NANOPHYSE GENISCENTE					rameaux chlorophylliens, feuilles rares; aspect des genêts
NAS	20	NANOPHYSE SPINESCENTE					feuillage et / ou rameaux feuillus constitués partiellement ou en totalité d'épines
NAL	21	NANOPHYSE LAURIFOLIÉ					feuillage sempervirent (laurophyllé) des arbrisseaux, arbustes et buissons
KONA	22	KORTO-NANOPHYSE					feuillage buissonnant à tiges peu lignifiées des arbrisseaux (Thym etc.) les parties aériennes persistantes
MPH	23	MÉSOPHYSE*					feuillage du nanophytton dépassant deux mètres à l'âge adulte (arbustes...)
CLG	24	CAULIGÉ					tiges principales du nanophytton, structures de maintien et de conduction ne portant plus de feuilles
NCCA	25	NÉCRO-CAULIGÉ*					tiges principales mortes sur pied
PT		pteridophytton*					ensemble des cryptogames vasculaires
PTE	31	PTÉRIDOPHYTION*					ensemble des fougères
EQU	32	ÉQUISETOPHYTION*					ensemble des prêles
KP		kortophytton					ensemble des végétaux herbacés non lignifiés (sauf ptéridophytton & phorophytton)
KOR	33	KORTODE					végétaux herbacés à l'exclusion des gramens (magnoliophyta non lignifiés), tiges peu ou pas lignifiées
KOC	34	KORTODE CRASSULESCENT					tiges ou feuilles charnues, souvent cireuses, succulentes, ou contenant un suc laiteux
NAKO	36	NANO-KORTODE					végétation herbacée pérenne, apparition de tiges / souches lignifiées persistantes (suffrutescence)
NCKO	35	NÉCRO-KORTODE					matériau kortodé desséché sur pied
GRA	37	GRAMEN					végétaux herbacés graminoides à feuilles effilées, filiformes (poacées, cypéracées, joncacées, typhacées...)
NCGR	38	NÉCRO-GRAMEN					matériau gramené desséché sur pied
AN		anthropolite* (rudéfact ²³)					matériau artificiel, inerte produit par l'homme
PH		phorophytton					ensemble de végétaux non vasculaires, le plus souvent étalés à la surface du sol
BRY	39	BRYOPHYTION					ensemble des mousses sur des supports minéraux ou végétaux
MYC	41	MYCOPHYTION					ensemble des champignons et myceliums
PHC	40	PHYCOPHYTION					lichens et algues (support minéral ou végétal)

Code CNL (TAM)	CODE DONNEES (CNL relevés)	GRAND ENSEMBLE	ORTHOType - MATERIAU PR.	VARIANTE MAJEURE	VARIANTE SECONDAIRE	INTERGRADE	DESCRIPTION
OR		organumite					ensemble des accumulations de matières organiques à la surface du sol
NEC			NÉCROPHYTION				ensemble de branches et de feuilles mortes, pas encore décomposés
NEA	42		NÉCROPHYTION ACIFOLIÉ				litière d'aiguilles de conifères en disposition stratifiée
NEF	43		NÉCROPHYTION FOLIACÉ				litière de feuilles mortes, stratifiées
NEL	45		NÉCROPHYTION LIGNEUX				litière de brindilles, branches, rameaux et troncs morts à la surface du sol
NEG	44		NÉCROPHYTION GRAMENÉ				litières essentiellement composée de feuilles et tiges de plantes graminoides en disposition enchevêtrée
NES	46		NÉCROPHYTION SPOROÏDE*				composante de la litière constitué de fruits, semences (cônes, glands,...)
NCT	48		NÉCRUMITE				matière organique fractionnée, décomposée et homogénéisée, éléments originels plus reconnaissables
NCNT	47		NÉCRO-NÉCRUMITE				débris végétaux tassés, stratifiés, déchiquetés, en voie de décomposition; quelques débris reconnaissables
TPH	49		TÉPHRALITE				endres végétales et fins débris de charbons de bois
TPXX			PALÉO-TÉPHRALITE*				téphralite (morceaux de charbon et / ou cendres) enfoui
HIT	50		HISTITE				matériau organique caractéristique de la tourbe (« pseudo-humus ») formé sous conditions d'anaérobiose
ZO		zoolite					matériau organique (ou organo-minéral) d'origine animale
ZOO			ZOOLITE				agrégats organo-minérales ou accumulations (organo-)minérales, peu ou pas modifié par l'organisme animal
MIZ	51		MICROZOOLITE*				micro-agrégats organiques / organo-minérales < 5mm issu des activités de la microfaune (boulettes fécales)
MSZ	52		MÉSOZOOLITE*				rejets / matériel de construction animales, ensemble ou agrégats >5mm, <5cm, (turricules de ver de terre)
MAZ	54		MACROZOOLITE*				accumulations peu modifiées par l'activité animale, des animaux fouisseurs (taupes ...) entre 5 -50cm
MEZ	56		MÉGAZOOLITE *				accumulations peu modifiées par l'activité animale, >50cm, (fourmilères, termitières...)
CPR			COPRUMITE*				déjections animales considérablement modifiées (digérées) par l' organisme (essentiellement vertébrés)
MSC	53		MÉSOCOPRUMITE				déjections animales aux agrégats entre 0,5 et 5 cm (ovins, caprins, fientes...)
MAC	55		MACROCOPRUMITE				déjections animales aux agrégats >5cm - 50cm (grands mammifères: bovins, chevaux, sangliers, ..)
EP		épilite					ensemble des accumulations minérales superficielles
PEE	57		PETAÉPILITE				gros blocs et rochers (ératiques, colluvions et alluvions) dépassant 50 cm de longueur/hauteur
MEE	58		MÉGAÉPILITE				cailloux (2-25cm)
MAE	59		MACROÉPILITE				gravillons et graviers(2 - 20mm)
EPAN	60		ANTHROPO-ÉPILITE*				accumulation d'origine anthropique de cailloux et/ou blocs (murettes à pierre sèche, pierriers)
DM		dermilite					matériau minéral ou organo-minéral dense situé à la surface du sol
RZ		rhizophytion					ensemble de systèmes racinaires et des complexes organo-minéraux associés
RZP	61		RHIZOPHYSE				racines grêles, fines, très ramifiées
RZG	62		RHIZAGÉ				axes racinaires ligneux et épais, grosses racines de pénétration
GRZ	63		GRUMORHIZE				matériau associant au chevelu racinaire des agrégats organominéraux résistants
HC		humichron					matériau organo-minéral
HMT	64		HUMITE				couleur foncé, teneur forte en matière organique, macrostructuration biologique, structure grumuleuse
HMP	65		HUMITE PSAMMITIQUE*				texture sableuse à sables grossiers, fréquent sur les substrats leucocrates ou gréseux
HMC	66		HUMITE CARBONATÉ*				présence de carbonates de calcaire ou de dolomies, biomacrostructuré, structure grumuleuse, polyédrique
HMH	67		HUMITE HÉMI-ORGANIQUE*				teneur importante en matière organique (>8%, mais <30% pondéral, sinon organumite)
HMBC	68		BRUNI-HUMITE*				intergrade entre un brunichron et un humite; présent notamment dans les sols jeunes
MNT	70		MINÉRUMITE				matériau organo-minéral hétérogène; faible activité biologique, phases minérales et organiques dissociées
MLT	69		MÉLANUMITE				très forte teneur en matière organique (<30%);structure fondue, uniforme (pseudo-tourbes ou anmoor)
PC		pédochron* (ou structichron s.l.)					matériau meuble, homogène et structuré
BCN	71		BRUNICHRON				matériau pédologique meuble, structuré à couleurs bruns
BCP	73		BRUNICHRON PSAMMITIQUE				texture sablo-argileuse ou sableuse, sur substrat leucocrate, gréseux ou dérivés (entaféron)
BCC	72		BRUNICHRON CARBONATÉ*				brunichron marqué par la présence de carbonates de calcaire ou de magnésium ou un pH élevé
BCD	74		BRUNICHRON DYSCROPHE				couleur peu vive, ocre clair, structure polyédrique subanguleuse à microgrumuleuse (sols bruns acides)
BCAR	79		ARÉNO-BRUNICHRON*				teneur importante de sables issus l'altération des granitoïdes, structure peu nette, début de brunification
BCAT	78		ALTÉ-BRUNICHRON*				intergrade avec l'altérite marqué par un début de brunification; teneur importante en minéraux
BCEF	77		ENTA-BRUNICHRON*				brunichron issu colluvionnement de matériaux brunichromes, en bas de versant
BCHM	76		HUMO-BRUNICHRON*				forte teneur de matière organique
KT		kérite (ou calite)					matériau induré, riche en carbonate de calcium
SR		stérite					matériau induré, riche en sesquioxides de fer ou d'alumine
LUT		luérites					matériaux minéraux du métaplexion inférieur ayant subi une mobilisation récente
EFN			ENTAFÉRON				éléments minéraux fins (< 2mm) ayant subi un transport (néogène/ quaternaire), granulométrie hétérogène
EFA	95		ENTAFÉRON ALLUVIAL				transport alluvial (fluviatil) ; en position de bas-fond ou plaine
EFC	96		ENTAFÉRON COLLUVIAL				transport colluvial; en vrac, texture hétérogène

Code CNL (TAM)	CODE DONNEES (CNL relevés)	GRAND ENSEMBLE	ORTHO-TYPE - MATERIAU PR.	VARIANTE MAJEURE	VARIANTE SECONDAIRE	INTERGRADE	DESCRIPTION
EFG	97					ENTAFÉRON MORAINIQUE	matériel morainique (transport glaciaire)
EFAT	88					ALTÉ-ENTAFÉRON*	matériaux fins (<2mm) issus de l'altération d'un substrat, remaniements et/ ou des déplacements locales
EFBC	87					BRUNI-ENTAFÉRON	matériau de pente, pédogenèse débutante ou limitée, couleur encore assez claire ou début de brunification
PSM						PSAMMITON	matériau meuble particulaire à texture sableuse bien classée, ayant subi un transport
GVN						GRAVELON	ensemble d'éléments grossiers (>2mm) minéraux, issu de l'altération des roches / ayant subi un transport
PEG	92					PETAGRAVELON	bloc ératiques et rochers > 50 cm (>25cm pour le gigagravelons comprises)
MEG	93					MÉGAGRAVELON	pierres et cailloux (2 - 25 cm)
MAG	94					MACROGRAVELON	gravillons et graviers(2 - 20mm)
GNAN	89					ANTHROPO-GRAVELON*	gravelon ayant subi une accumulation d'origine anthropique
GNAR	90					ARÉNO-GRAVELON*	gravelon issu d'un arénite ayant subi un remaniement (colluvionnement): mésogravelon
GNRE	91					RÉGO-GRAVELON	fragments de régolite et roches altérées ayant subi un migration latérale (colluviale) / remaniement
LUTN	98					TANO-LUÉRITE*	sédiments récents encore très friable caractérisés par un début de cimentation
OB						oxydon (ou blastolite)	matériaux discontinus (« taches ») ou concrétions indifférenciées
RT						réducton et rétichron (réduchron*)	matériaux associés aux formes d'oxydo-réduction phréatique
RTC	82					RÉTICHRON	matériau +/- hydromorphe à couleurs hétérogènes (engorgement temporaire /saisonnier)
RTP	83					RÉTICHRON PSAMMITIQUE	texture sablo-argileuse à sableuse, taches colorées vives
RDN						RÉDUCTON	matériau hydromorphe homogène, couleur uniforme bleuâtre à verdâtre ou gris
RDP	85					RÉDUCTON PSAMMITIQUE	matériau riche en sables grossiers à couleur grisâtre lié à l'engorgement (quasi-permanent)
RDRT	84					RÉTI-RÉDUCTON	marbrures ocre / ocre rouges, interruption de l'engorgement et réoxydation temporaire du réducton
AT						altérite	matériau d'altération, reproduisant traits structuraux de la roche mère
ATR	101					ALTÉRITE (orthique)*	matériau meuble issu de la désagrégation / altération du régolite (atténuation des structures de la roche)
ARE	102					ARÉNITE	arène issue de l'altération des roches leucocrates et détritiques (granite, grès) ; texture sableuse
ATRE	100					RÉGO-ALTÉRITE	cohérence forte à très forte, présence de minéraux non altérés ou se dévinent des « fantômes » du régolite
ATGN	99					GRAVÉ-ALTÉRITE*	fragments de roches difficilement altérables, surtout quartzieuses, résidus de l'altération physico-chimique
ARRE	102					RÉGO-ARÉNITE	cohérence plus forte que l'arénite; avec de nombreux minéraux altérables non altérés (« fantômes »)
TN						tanolite (malacolite)	roches tendres ou peu résistants peu ou pas altérées, uniformes ou stratifiées
RE						régolite	ensemble de roches dures et altérables peu ou non altérées, massives ou fissurées
REG						REGOLITE	roche peu ou pas altérée, éléments de roches dure
REL	110					RÉGOLITE LEUCOCRATE	roches cristallines de couleur claire à grain moyen à grossier (le plus souvent roches plutoniques « acides »)
RES	109					RÉGOLITE SCHISTEUX	roches schisteuses et métamorphites
REC	108					RÉGOLITE CARBONATÉ	ensemble des roches carbonatées (calcaire, dolomies, ...).
HYP						HYPSORÉGOLITE	régolite en affleurement, dépassant la surface du sol
HYC	105					HYPSORÉGOLITE CARBONATÉ*	roches carbonatées affleurantes dépassant la surface du sol (calcaire, dolomies, marnes résistantes)
HYL	107					HYPSORÉGOLITE LEUCOCRATE*	roches granitoïdes affleurantes en dalles, tors ou blocs
HYS	106					HYPSORÉGOLITE SCHISTEUX*	affleurements des roches schisteuses, micaschisteuses au-dessus de la surface du sol

Sources : Richard, 1989 ; Filleron, 1995, Richard et al., 2005, Rambaud et Waechter 2002 avec modifications par A. Müller. Les matériaux pourvus d'un astérisque (*) sont nouveaux. Seulement les matériaux pourvus d'un chiffre ont été relevés, les autres figurent à titre complet. Pour les descriptions complètes se référer au lexique des corps naturels localisés dans les annexes.

3.1.4.3. Des corps naturels au géon en passant par l'hoplexol et l'holoplexion - la vision verticale du milieu

Selon la nature du terrain sur lequel on effectue les relevés l'abstraction de la stratification verticale par découpage en hoplexols nécessite des précisions quant à la méthode de description. Dans le cas classique le découpage en hoplexols se fait de façon horizontale, parallèle à la surface du sol. Quelques cas particuliers fréquemment rencontrés sur les parcelles en pente, terrassés ou au méso-modèle hétérogène peuvent cependant provoquer des difficultés. L'abstraction mathématique faite en indiquant des valeurs métriques pour un hoplexol (extension verticale de l'hoplexol à une telle distance de l'épipause) cache le fait que les hoplexols ne sont en réalité pas nécessairement strictement parallèles à la surface réelle du sol ou par rapport à une surface plane hypothétique. Pour illustrer ce propos, et les difficultés potentielles rencontrées lors de la description de certains milieux et notamment concernant les hoplexols proche de la surface du sol quelques cas particuliers seront donc abordés par des exemples et des croquis :

A titre d'exemple, on observe dans les zones temporairement humides la présence de mottes végétalisées. La surface du sol se présente alors de façon ondulée et hétérogène, les espèces herbacées peuplant les mottes de terres se différencient généralement des espèces se trouvant entre les mottes. En ce qui concerne le choix entre une épipause ondulée se répétant sur toutes les limites d'hoplexols sus-jacentes (fig 3.7 a) ou une délimitation imaginaire « plane » tenant compte de la hauteur des mottes, la première est à préférer en raison d'une délimitation plus évidente du métaplexion strict regroupant dans les hoplexols les éléments des litières (généralement $h+1$), ou encore les racines grêles (généralement $h-1$). Dans le cas d'une présence d'eau libre en surface (zones humides), la surface de la nappe d'eau a été considérée comme l'épipause (surface « zéro »). Dans les zones humides en pente, on peut observer un « étagement » des surfaces d'eau qui nécessitent une adaptation de la délimitation de hoplexols : celle-ci ne se fait alors pas parallèlement à la pente (cf. fig. 3.7 b) mais suit des marches étagées.

Un cas fréquemment rencontré était celui des terrasses de culture. Afin de tenir compte des murettes de soutènement et notamment de la hauteur de celles-ci, on peut effectuer des « sauts » dans la stratification par hoplexols : La surface du sol (épipause) deux terrasses superposées se trouvent ainsi délimitées par le même hoplexol, les hoplexols sus-jacentes tiennent compte de la hauteur de la murette (fig. 3.7 f).

Il faut également trancher la question sur la délimitation des hauteurs en général, plus précisément, si ces dernières sont prises toujours perpendiculairement à la pente ou de façon strictement verticale. Dans le cas des champs d'éboulis cette question apparaît de façon la plus évidente et s'apparente à la méthode adoptée pour les terrasses de culture : La hauteur des gros blocs a été alors généralement relevée du côté aval et de façon verticale, et non perpendiculaire à la pente (fig 3.7 d). Dans le cas des affleurements rocheux et filons de roche dépassant la surface du sol, il va de soit que l'épipause ne se calque pas sur la surface de la roche affleurante mais sur la surface du sol entourant l'affleurement pour tenir compte de la hauteur moyenne de l'affleurement.

La quantification des volumes par enceintes subhorizontales pose davantage de problèmes en milieu d'étendue essentiellement verticale illustré par l'exemple des corniches calcaires. Le cas

des parois rocheuses est ainsi un peu différent : on ne tient pas compte de la hauteur de la paroi. Les interstices végétalisés ne sont pas difficiles à quantifier mais c'est les limites verticales de l'holoplexion et plus précisément du régolite affleurant qui nécessitent d'être fixées par convention de façon à ne pas constituer des objets trop exceptionnels lors du traitement des données. Comparable à la limite par convention de la catapause (limite inférieure du milieu) fixée pour les relevés sur le massif du Madres -Coronat à 1 m de profondeur, les abrupts rocheux, à condition de dépasser une étendue verticale de 10 m est fixé à 10 m. Se pose encore la question de l'extension verticale de l'holoplexion et de l'attitude à adopter pour décrire le rapport aérophyse / régolite (air/ roche affleurante). Plusieurs possibilités s'offraient. Par convenance encore, elle sera déterminée en fonction de la pente de l'abrupt : La partie de la roche au-dessus de l'épipause (hypsorégolite), c'est à dire au-delà de la surface du sol, définie par la litière dans les interstices sera considérée comme occupant 50% du volume considéré à sa limite inférieure. L'hypsorégolite diminue progressivement sur les prochains 10 m en fonction de la pente et du modelé de surface de l'abrupt pour atteindre une valeur proche de zéro à l'acropause.

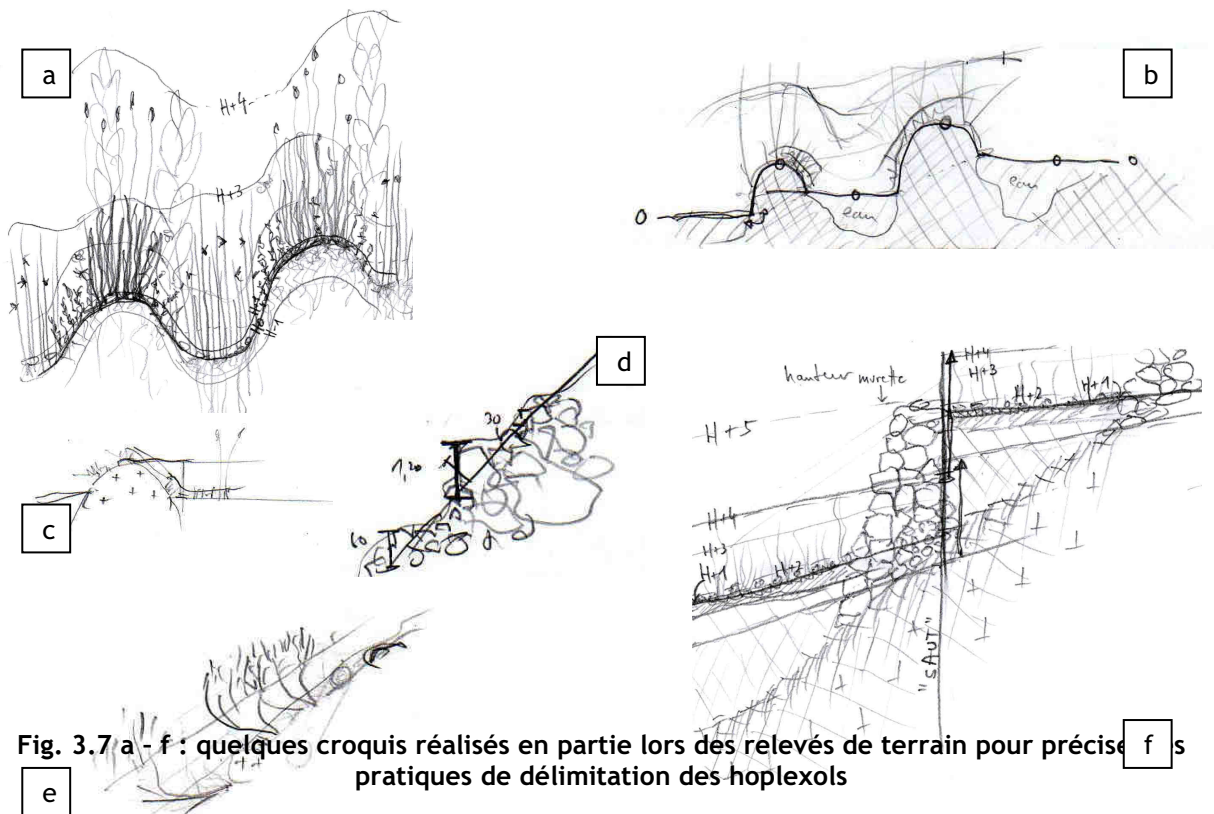


Fig. 3.7 a - f : quelques croquis réalisés en partie lors des relevés de terrain pour préciser les pratiques de délimitation des hoplexols

De façon générale les limites d'hoplexols ne sont donc pas toujours exactement parallèles à la surface mais s'adaptent à la stratification réelle du milieu. En conséquence l'estimation des volumes issus de la délimitation des hauteurs d'hoplexols se fonde sur des moyennes évaluées pour ces limites d'hoplexols, non nécessairement parallèles à la surface du sol. Si la hauteur d'un type de nanophyton varie d'un bout de la parcelle à l'autre, malgré les précautions prises quant à l'homogénéité du milieu sélectionné pour le relevé, on doit estimer une hauteur moyenne de cette limite pour l'ensemble de la parcelle (fig. 3.7 e). On peut évidemment imaginer d'autres façons de

procéder, à condition de les indiquer. D'autres protocoles de description seront probablement nécessaires pour d'autres types de milieux non décrits dans le cadre de ce travail de recherche : zones à lapiaz, milieux très fortement anthropisés, cultures et milieux côtiers, lacustres ou rivulaires, etc.

De l'hoplexol à l'hoplexion

Un premier regroupement des hoplexols en sous-ensembles peut se faire par *hoplexions*. Les hoplexions, « *niveau majeur de l'analyse de données* » ont un « *intérêt pratique* » (Filleron, 1995:56), puisqu'ils permettent de décomposer cet ensemble vertical qu'est l'holoplexion en ensembles dominés par les végétaux ligneux, les herbacées, les matériaux organo-minéraux ou encore minéraux. On distingue généralement six hoplexions primaires (cf. chap. 1.4) , qui se différencient par la nature des corps naturels qui leurs sont associés (cf. tab. 3.11 ci-dessous). Chaque hoplexion est ainsi caractérisé par des matériaux typiques. Ainsi le *supraplexion* (l'hoplexion supérieur « S ») se caractérise par la présence du feuillage et des principales branches des arbres adultes et le *métaplexion supérieure* (« U ») est caractérisé par le feuillage des arbustes. Le *métaplexion strict* (« T ») se caractérise par la présence de litière ou autres matériaux caractéristiques de la surface du sol. Le métaplexion strict peut être subdivisé par l'épipause en *métaplexion strict supérieur* et *métaplexion strict inférieur*. Le premier caractérise les matériaux humifères de litière, les épandages de matière minérale fine et les végétaux en cours de germination et se différencie du *métaplexion strict inférieur* sous-jacent, caractérisé par les matériaux organo-minéraux de surface comme la croûte de battance et le chevelu racinaire associé aux matériaux organiques déjà fortement décomposés. Nous n'avons généralement pas différencié les deux hoplexions de la surface du sol (le métaplexion strict) et nous ferons usage conformément à la pratique adopté par Richard et collaborateurs ((Richard, Khebour-Allouche *et al.*, 2005a; Morschel, 2006; Khebour-Allouche, 2007) réduisant les six hoplexols primaires au nombre de cinq. En tant qu'hoplexion sous-jacent, le *métaplexion inférieur* (« F ») est dominé par les horizons organo-minéraux et minéraux du « solum » des pédologues, c'est-à-dire par des matériaux qui se caractérisent par une structuration pédologique. Les horizons minéraux sans structuration pédologique notable, les altérites et formations superficielles surmontant la roche constituent enfin l'essentiel : l'*infraplexion* (« I »). Il est possible de regrouper les six *hoplexions primaires*, deux par deux, en trois *hoplexions supérieures* : le *métasupraplexion*, le *métaplexion strict* et le *métainfraplexion* pour rendre compte de la partition classique sol - surface du sol - végétation.

De l'holoplexion au géon

La description verticale du milieu par les composantes et enceintes permet d'associer le relevé à un type de géon, qui correspond à « *un même type de milieu naturel* » (Filleron, 1995 :455), c'est à dire à une association verticale typique des composantes du milieu. L'holoplexion, ensemble des hoplexols d'un relevé correspond ainsi à un type de géon. C'est un ensemble d'holoplexions semblables et significativement différents d'un autre ensemble d'holoplexions qui peut permettre d'individualiser et d'identifier ce géon. La définition du contenu d'un géon passe alors par l'exploitation statistique des holoplexions.

Il convient de rappeler qu'une même parcelle évolue dans le temps. L'holoplexion décrit le jour J peut être très différent de celui décrit au même endroit quelques jours, mois ou années plus tard. Il suffit de l'apparition d'un troupeaux ou d'un brûlage pour changer significativement la structure et composition verticale de ce milieu. Le milieu décrit évoluant au cours des saisons et au cours des années peut être alors associé à différentes unités spatiales en fonction de son état. Si les changements se limitent au métaplexion, ces discontinuités spatiales latérales issues d'un changement temporel d'holoplexions correspondent à des géotopes, unités spatiales secondaires internes au géon (Richard, 1989b; Khebour-Allouche, 2007 :439).

Or, l'évolution à moyen et long terme, au rythme des défrichements, des cultures et de la succession végétale mène à l'expression de géons différents. Par exemple, deux terrasses de culture initialement semblables, dont une s'enrichit et l'autre est continuellement utilisée seront attribuées quelques années ou décennies plus tard à des géons distincts. Le géon, se situe ainsi « *au centre d'emboîtements qui s'effectuent aussi bien dans le temps que dans l'espace* » (Richard, 1989b :12).

Puisqu'une analyse temporelle de la géodiversité et donc des géons ne fait pas partie des objectifs de cette recherche, il a été convenu d'effectuer les relevés de végétation au cours d'une saison précise de l'année, fixée en raison des relevés floristiques et de la présence du feuillage en été. Elle correspond à la période supposée être la période d'extension maximale de la végétation. Or, le nombre et l'ampleur des relevés impliquaient d'étaler la période des relevés du début jusqu'à la fin de l'été. Pour cette même raison une progression des étages inférieurs de végétation aux étages supérieurs a été nécessaire. Or, les étages supérieurs sont occupés par le troupeaux dès le début de l'été (exemple de la transhumance des ovins à Nohèdes le 16 juin 2006), tandis qu'on se trouvait encore à faire des relevés dans les étages intermédiaires ce qui fausse parfois cette condition de « l'extension maximale de la végétation ». La gestion des pâturages par les brûlages dirigés et la gestion forestière contribuent également à des modifications sensibles du paysage, et notamment de la stratification du milieu pouvant amener à une discordance entre les observations faites sur le terrain et le géon cartographié. Trois cas (relevés N° 58, 65 et 71) en témoignent.

Pour identifier des géons à partir des relevés effectués, il est ainsi d'une grande utilité d'analyser les données au niveau des hoplexols, et de contrôler les résultats par rapport au métaplexion supérieur ou au métaplexion strict dont l'aspect et le contenu peuvent varier fortement au grès des saisons.

En rapport avec cela et en guise de conclusion sur les relevés mésologiques et le rapport entre relevés et cartographie des géons, il est utile de rappeler que l'interprétation des photos aériennes, se fait par une vue d'en haut. La vision perpendiculaire de la surface de la terre ne permet pas de reconnaître la nature des hoplexions inférieurs, le supraplexion peut même cacher entièrement le métaplexion supérieur. Les hoplexols supérieurs sont donc fortement déterminants dans la cartographie des géons et il est peut être parfois difficile de délimiter deux géons qui se distinguent notamment par les caractéristiques des hoplexions inférieurs.

Tab. 3.11 : corps naturels localisés permettant la reconnaissance et délimitation des six hoplexions

hoplexions			descriptif		CNL typiquement présents
S	S	SUPRAPLEXION	« strate arborée et arbustive »	Essentiellement arbres et arbrisseaux, pas d'herbacées (sauf épiphytes et lianes)	<u>Caractéristiques</u> : stylagé, dendrigé, aérophyse, mésophyse* <u>Présence occasionnelle</u> : pléiophyse, ophiagé, nanophytion*
U	MS	METAPLEXION SUPERIEUR	« strate herbacée »	matériaux essentiellement végétaux, herbacées	<u>Caractéristiques</u> : kortode, gramen, <u>Présence</u> : nanophytion*, pétaépilites, ophiagé, nécrophytion ligneux, cauligé*
T	MSS	METAPLEXION STRICT SUPERIEUR	« surface du sol » : litière	transition bio/lithosphère, épaisseurs faibles, litière (horizon L), épandages minéraux +/- fins	<u>Caractéristiques</u> : nécrophytion, nécrumite, épilite, phorophytion, zoolite, téphralite
	MSI	METAPLEXION STRICT INFÉRIEUR	« surface du sol » : composantes humifères et organo-minérales	composantes essentiellement humifères (horizons L et O ^o), chevelu racinaire et croûtes de battance	<u>Caractéristiques</u> : dermilite, grumorzize <u>Présence</u> : rhizophyse*
F	MI	METAPLEXION INFÉRIEUR	« sol »	sol proprement dit (horizons A et B (S) ^o)	<u>Caractéristiques</u> : humite, minérumite*, mélanumite, rhizagé*, brunichron (pédochron)*, histite* <u>Présence</u> : gravelon*, réducton*, rhizophyse*
I	I	INFRAPLEXION	« formations superficielles»	essentiellement minéraux, correspond aux horizons pédologiques B-C, C, (S-C, D et R) ^o	<u>Caractéristiques</u> : altérite, régolite, arénite, entaféron* <u>Présence</u> : réducton, régo-gravelon*,

Source : Filleron 1995, pp. 59 et adaptations A. Müller

* indications qui peuvent différer par rapport à la source indiquée (nouveaux orthotypes, définitions modifiées...)

o horizons correspondants au référentiel pédologique voir chapitre « sol » ci-dessous

ANALYSE INTEGREE DES MILIEUX

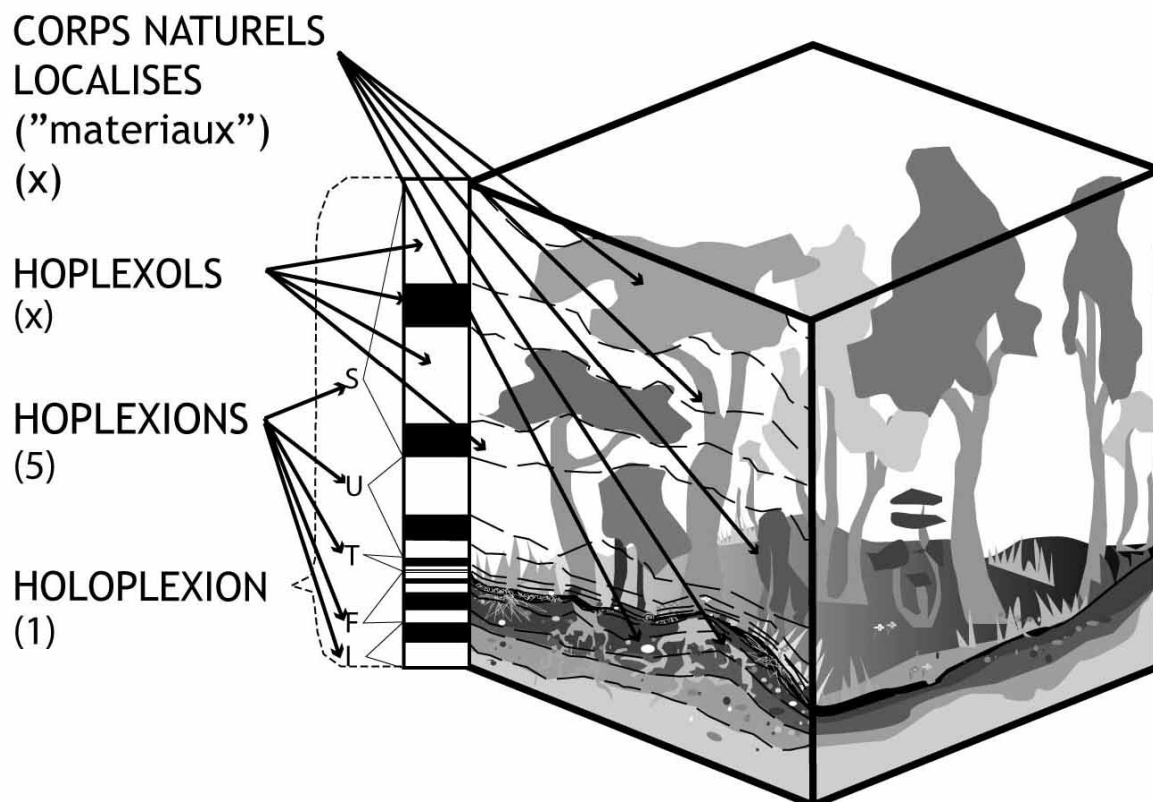


Fig. 3.7: Approche mésologique de l'analyse intégrée des milieux

A. Müller, 2006. N.B. :Les chiffres entre parenthèses indiquent le nombre de composantes ou enceintes relevés, « X » remplace un nombre indéterminé

3.1.5. La diversité des espèces végétales

3.1.5.1. Les relevés floristiques

Avertissement quant aux relevés floristiques

Les relevés de la flore, effectués par deux méthodes complémentaires, ont permis une prise en compte immédiate de toutes les espèces trachéophytes (plantes vasculaires) et de leur répartition dans l'espace de la placette. Ils permettent la comparaison entre la structure du milieu et la phytodiversité offerte par ce même milieu.

Parmi les différents éléments relevés il s'avère que celui de la flore est le plus délicat, demandant le plus grand nombre de connaissances préalables, sinon la partie la plus importante du temps si des espèces sont à déterminer sur place. En outre c'est en raison des relevés de la flore que le moment du relevé est difficile à choisir : C'est l'élément qui ne peut pas attendre le prochain orage. En tenant compte du stade phénologique de floraison d'un nombre maximal d'espèces, les relevés de terrain ont été effectués pendant la période d'expansion maximale de la végétation de l'étage sub-méditerranéen à l'étage alpin, afin d'assurer la représentativité des données phytovolumiques. En revanche cela ne correspond pas toujours et pas forcément pour toutes les espèces d'un même relevé à la période de floraison nécessaire pour la détermination des espèces.

Ainsi la mise en garde quant aux relevés floristiques sera répétée ici : certains types de milieux, (notamment les pelouses, pâtures, ...) demandent deux passages à deux moments précis de la saison végétale pour une prise en compte correcte de l'ensemble des espèces présentes sur un relevé. La richesse spécifique, malgré un passage pendant la dite période d'expansion maximale s'expose ainsi à la critique qu'on acceptera dans la mesure où les relevés ne seront pas destinés à un véritable traitement phytosociologique, nécessitant de toute façon de très nombreux relevés dans un même type d'association végétale. Le but des relevés floristiques n'était pas de déterminer des associations végétales, même si une caractérisation de la richesse des espèces végétales de la façon la plus complète possible reste un paramètre important. Malgré cet inconvénient, de ne pas pouvoir, par manque de temps, retourner sur les différentes parcelles à des dates ultérieures pour relever les espèces non déterminés lors du premier passage, on s'est efforcé de déterminer jusqu'au niveau taxonomique de l'espèce. Hélas, cela n'a pas toujours été possible pour des raisons diverses.

Les relevés des trachéophytes : défis de détermination

Le choix de limiter les relevés aux Trachéophytes témoigne de la volonté de simplifier les relevés floristiques en excluant les relevés de mousses, lichens et champignons dont la détermination sur le terrain peut se révéler très longue et difficile s'ajoutant ainsi à la complexité de la détermination des Fougères et Phanérogames. Ainsi on a relevé toutes les Cormophytes à l'exclusion des Bryophytes (mousses), regroupant Ptéridophytes, Prospermatophytes, Gymnospermes et Angiospermes (Magnoliophyta).

La détermination des espèces se fait sur le terrain en présence de spécimens vivants et enracinés. Si des individus se présentaient de façon insatisfaisante pour une détermination complète (absences de fleurs/ fruits), il n'a pas été ignoré pour autant qu'ils se distinguaient clairement des autres espèces présentes et dans certains cas on pouvait tout au moins déterminer le genre.

La détermination de quelques espèces s'avère difficile en raison des caractères peu visibles à l'œil nu et nécessité la loupe du botaniste, indispensable sur le terrain. En revanche certaines espèces sont difficiles à déterminer avec certitude, faut de binoculaire ou comme par exemple certaines espèces du genre *Festuca* ou la distinction difficile entre *Asplenium onopteris* et *Asplenium adiantum-nigrum*. Pour la première une détermination avec certitude demande une coupe transversale de la tige pour voir le nombre et la disposition de phloèmes. La deuxième nécessite d'évaluer la taille des spores en μm . S'y ajoute la difficulté des espèces s'hybridant. On pense notamment aux genres *Rubus* et *Rosa* (le ronces et rosiers), car souvent on se trouva avec des caractères intermédiaires de ceux proposés par les flores. Ainsi la détermination s'arrêtant au genre a été malheureusement souvent le cas pour certains genres « difficiles » comme *Rubia*, *Rosa*, *Hieracium* ou *Potentilla* avec des nombreuses espèces délicates à déterminer demandant une connaissance approfondie des caractères, ou plutôt des flores exhaustives, si elles existent, ce qui n'était à notre connaissance pas le cas pour le genre *Rubus*.

Photo 3.2 (ci-dessous) : Cônes attribués à *Pinus sylvestris* (en haut) et à *Pinus uncinata* (en bas)



On notera les « crochets » plus saillants, une nette asymétrie et des couleurs plus ternes des deux cônes du bas (*Pinus uncinata*). Toutefois, les cônes du haut disposent de crochets qu'on pourrait interpréter comme une hybridation du Pin sylvestre. Les cônes proviennent de la même parcelle du relevé N° 44.

Cliché A. Müller, juillet 2006

Un autre exemple d'hybridation très populaire à l'échelle du massif est celui des Pins. *Pinus uncinata* et *Pinus sylvestris* s'hybrident notamment dans les zones intermédiaires entre des

peuplements de *Pinus uncinata* de l'étage subalpin et des peuplements de *Pinus sylvestris* des stations montagnardes (notamment d'exposition sud). Ici on trouve de nombreux individus avec des caractères intermédiaires, témoignant d'une hybridation. Les signes de reconnaissances entre ces deux espèces sont généralement un port plus aéré concernant le pin sylvestre, s'accompagnant souvent d'une coloration brun rougeâtre à ocre saumonée (Rameau, Mansion *et al.*, 1994) dans la partie supérieure, se différenciant de la couleur du pin à crochet plutôt grise. De plus, on peut observer une asymétrie nette en ce qui concerne les cônes du pin à crochet, avec des crochets beaucoup moins saillants ou absents sur les cônes de pin sylvestre. En comparant les cônes on a pu constater que ceux du pin sylvestre étaient généralement de couleur plus claire, virant au beige. Si les individus sur une même parcelle présentaient ces caractéristiques ils ont été relevés comme deux espèces distinctes même si l'hybridation ne peut pas être exclu (*cf.* photo ci-dessous).

Enfin, malgré une formation initiale en botanique plus ou moins conséquente¹⁰⁵ l'auteur reste avant tout géographe et ne peut se qualifier de botaniste. Les problèmes d'hybridation et de spécimens incomplets ont été ainsi amplifiés des connaissances des milieux pyrénéens insuffisantes et la nécessité, dans certains cas, de consulter plusieurs flores pour une détermination à peu près certaine.

Flores utilisées

Pour les déterminations sur le terrain, peu de flores françaises combinent de nos jours à la fois certitude de détermination et « portabilité ». Le critère majeur pour une flore utile sur le terrain - mis à part sa rigueur, complétude et actualité - est son poids qui doit être acceptable pour des missions de terrain qui demandent plusieurs heures de marche, compte tenu des outils à transporter. Impossible donc d'amener les quatre tomes de flore de Coste sur le terrain. La flore qui correspondrait au mieux à ces critères reste la Flora Catalana, plus précisément la « Flora manual dels països catalans » (de Bolòs, Vigo *et al.*, 1993), malheureusement assez inaccessible en raison de difficulté de l'auteur à interpréter le catalan. Parmi les flores portables et assez complètes, même si on peut regretter leur âge, on peut citer la « Quatre flores de France » très onéreuse de Fournier, (Fournier, 1990), (Flore rééditée par les éditions DUNOD mais sans modifications depuis 1927 !) et la flore portative de Gaston Bonnier et collaborateur (Bonnier et De Layens, 1986), réédition meilleur marché de l'ouvrage de 1909. C'est la première qui a été utilisée souvent, de paire avec la « Flore de Pyrénées » de Marcel Saule (Saule, 1991), très accessible. Cette dernière a été particulièrement utile malgré un poids tout de même pas négligeable, en raison de son adaptation à la flore locale.

Il existe un certain nombre d'autres flores en couleur ou à photos qui ont servi à une reconnaissance rapide d'espèces, notamment si certaines caractéristiques nécessaires pour une identification avec les flores de Bonnier et de Fournier n'étaient pas reconnaissables. La Flora Helvetica (Lauber et Wagner, 2001) était très utile à cet égard, mais nécessitait des vérifications ultérieures pour déterminer si l'espèce pouvait effectivement se trouver dans la zone étudiée. Pour une détermination plus complète de la flore qui se trouve être à la fois applicable au domaine montagnard et méditerranéen (supra et oroméditerranéen), des vérifications ont été souvent

¹⁰⁵ environ 200h de systématique à l'Institut de botanique de Munich, excursions incluses

entreprises dans la flore de l'Abbé Coste (Coste, 1937) qui est relativement complète, qui dispose d'une clé de détermination très accessible, qui est disponible en ligne, mais qui souffre également de son ancienneté. La Flore Forestière Française (3 tomes dont notamment les deux derniers (Rameau, Mansion *et al.*, 1994; Rameau, Mansion *et al.*, 2008) était bien utile pour la vérification des caractéristiques écologiques des espèces déjà déterminées mais restait toutefois trop incomplète jusqu'en 2008 (parution du tome « méditerranée) et de toute façon trop lourde pour une utilisation sur le terrain. Enfin la grande flore de Gaston Bonnier (Bonnier, 1990) en couleurs ainsi que la « Flore et cartographie des Carex de France » les (Duhamel, 1998) ont été consultées à plusieurs reprises dans la bibliothèque de l'AGRNN à Nohèdes.

Pratique du relevé floristique

Il est utile de rappeler que le relevé floristique a pour objet de permettre une caractérisation de la diversité floristique du milieu, c'est-à-dire de la richesse spécifique végétale, se limitant aux plantes vasculaires. Il ne s'agit ni de déterminer l'association végétale, ni un habitat naturel au sens de la directive habitats qui se fonde sur la détermination de cette première. Pour identifier correctement les associations végétales il faut au minimum trois relevés floristiques par milieu. En outre, on peut trouver sur la placette de relevé dans certains cas des micro-milieus (rochers, murettes, zones plus humides, ...) qui peuvent falsifier une analyse phytosociologique se fondant sur le critère d'homogénéité, tandis que la liste complète d'espèces est requise par le protocole d'étude appliquée. On peut ainsi reprocher à l'auteur de ne pas avoir fermé les yeux sur des espèces qui « ne devraient pas être là », de ne pas avoir adapté le protocole aux exigences des relevés phytosociologiques avec un nombre de relevé en conséquence.

Le relevé floristique (RF) succède au relevé « général » (RG) du milieu et commence par une prise de vue extérieure, permettant habituellement de saisir la plupart des espèces arborescentes et arbustives. Une progression systématique à l'intérieur de la placette étudiée est indispensable pour la détermination des espèces herbacées. Habituellement nous avons progressé en bandes parallèles d'environ 1 m à 1,5 m, en évoluant du haut vers le bas de la placette, puisque la plupart des relevés se situent en pente. En remontant la placette, toujours par bandes, on vérifie ensuite s'il n'y a pas eu d'oublis. En particulier dans les milieux pâturés il n'est pas rare de trouver des espèces à l'état végétatif rendant impossible une détermination certaine. Toutefois, les individus à l'aspect physiologique strictement identiques ont été classés comme espèce inconnue N°1, espèce inconnue N°2, etc.

La détermination des espèces se fait selon le critère d'abondance-dominance habituellement d'usage utilisé pour des relevés phytosociologiques, en tenant compte également du critère de sociabilité des espèces. Nous avons retenu le code établi par Braun-Blanquet, modifiée d'après Wilmanns {Braun-Blanquet, 1948 #273; Wilmanns 1973 et 1989 d'après Dierschke, 1994 #474} (cf. fiche de relevé RF-FE, annexes et tab. 3.12 suivant).

La fiche de description « FE » (fiche espèces) est constituée d'une liste des espèces courantes, connues, codifiées, identifiables par l'auteur sans avoir recours à une flore et dont il supposait la présence sur le terrain. La reprise du code reproduit lors du relevé des biovolumes permettait un gain de temps non négligeable. En cas de doute taxonomique on attribue un code provisoire à la plante (prenant en compte le numéro de relevé (R xx - 1/2/3...)) et son abondance-

dominance et sociabilité. Les espèces inconnues, c'est-à-dire les espèces non déterminées avec certitude ou impossible à déterminer au-delà du genre ou de la famille doivent toutefois être comptabilisées et ont mérité une attention particulière. Elles ont été habituellement prises en photo afin de témoigner de leur aspect à l'état vivant. Elles ont été ensuite prélevées sous certaines conditions : Nous avons voulu éviter la transformation du milieu par prélèvement d'espèces rares ou peu fréquentes sur la placette. Si suffisamment d'individus de l'espèce indéterminée se trouvaient sur la parcelle, ci cette dernière se trouvait en dehors d'un périmètre de protection de type réserve naturelle et si on était à peu près convaincu qu'il ne s'agisse pas d'une plante protégée ou rare il était souvent préférable de prélever un échantillon végétal, car une identification exacte est rarement possible sur des photographies. Les échantillons prélevés ont été transportés dans un dossier à fines feuilles (extraits d'annuaire téléphonique) permettant de les presser séparément et sur place, tout en y appliquant un code attribué au préalable, permettant d'identifier le relevé et l'échantillon. Par exemple, le spécimen inconnu n° 10 du relevé n° 37 portera la marque R37- 10. Les spécimens non déterminés et prélevés ont été par la suite herborisés et puis scannés.

Tab. 3.12 : échelles d'abondance-dominance (ad) d'après Wilmanns (1973) développé à partir de l'échelle de Braun-Blanquet

Braun-Blanquet (1948)	Wilmanns (1973, 1989)	<i>Artmächtigkeit</i> (abondance : nombre d'individus)	<i>Deckung</i> (recouvrement : dominance)	Recouvrement en %	Recouvrement moyen (Turboveg)	Classes d'après Londo correspondantes
r	r	<i>raro</i> : le plus souvent qu'un seul individu	recouvrement négligeable	n.c.	1	.1r
+	+	Individus rares ou très rares	recouvrement très faible	n.c.	2	.2p
1 (1)	1	Individus assez abondants	recouvrement faible	<5%	3	.1
	2m	Très nombreux (>100)	<5%	<5%	4	.2 ; .4
2	2a	Indifférent	5-15%	5-12,5%	8	1
	2b	indifférent	15- 25%	12,5 - 25%	18	2
3	3	indifférent		25-50%	38	3,4,5
4	4	indifférent		50-75%	68	5,6,7
5	5	indifférent		75-100%	88	8,9,10

Source : (Braun-Blanquet, 1948; Dierschke, 1994)

3.1.5.2. Exploitation des relevés floristiques

Mise à jour et informatisation

Après consultation de ces nombreuses flores, en partie assez anciennes, une homogénéisation et actualisation des relevés floristiques avec l'index synonymique de la Flore de

France de Michel Kerguelen (ISFF, 1998), réactualisé par Benoît Bock ont été nécessaires (BDNFF v. 4.02)(Bock et Kerguelen, 2005). L'utilité du site web et réseau de botanistes francophones, *Telabotanica* pour accéder à certaines flores (Coste,...) et à l'index n'est plus à démontrer à cet égard. Les bases de données floristiques et phytosociologiques du projet CATMINAT élaboré par Philippe Julve, (Julve, 1998a; Julve, 1998b), BASEFLOR et BASEVEG ont été également d'une grande utilité et ont été intégrées dans notre propre base de données des relevés. Ainsi les espèces végétales ont pu être associées à des caractéristiques renseignés par ces bases (origine floristique, type biologique, indices d'Ellenberg, ...)

Exploration des données floristiques

La matrice des relevés floristiques mise en place après informatisation des relevés recense les espèces en ligne et les valeurs d'abondance-dominance et la sociabilité de chaque relevé en colonnes. Après correction et attribution de codes pour chaque espèce et des codes de CNL correspondants la matrice a été intégrée à la base de données des relevés sous ACCESS (MsOffice) et permettait alors la mise en relation des espèces avec les valeurs indicatrices de BASEFLOR et les autres types de relevés.

Même si les relevés floristiques ne suffisent pas à une analyse phytosociologique proprement dite, ils ont été exploités afin de mettre en évidence des similitudes entre milieux. A cette fin et après informatisation, épuration et correction des données, la matrice des relevés floristiques a été classée à l'aide du logiciel TURBOVEG et explorés à l'aide du logiciel JUICE. La matrice des relevés a également servi pour une informatisation plus rapide des données biovolumiques.

Autres méthodes de relevés floristiques

Au lieu d'utiliser les valeurs d'abondance-dominance utilisées par Braun-Blanquet, on peut envisager l'estimation de l'abondance en pourcentages de volume, les « biovolumes ». La description de la végétation par biovolumes se fait selon une stratification verticale qui diffère en du relevé floristique classique décrite ci-dessus et montre plusieurs points de la méthode des relevés mésologiques. En revanche, afin de rendre comparables les strates de différents relevés elle attribue de « strates fixes » décrites par exemple chez Godron et al. (Godron, Daget *et al.*, 1983). Nous avons également recensé la flore également par biovolumes, mais en prévoyant 8 strates comme ils ont été décrits par C. Neff (Neff, 1995b; Neff, 1995a; Neff, 2000). Elle est réduite de deux strates par rapport à la description proposée par Godron, permettant une description plus rapide.

3.1.6. La diversité des sols

3.1.6.1. La description du sol et le choix des nomenclatures

La description du sol se heurte en premier lieu à l'existence des très nombreuses typologies et classifications des sols existantes. En retenant les méthodes les plus utilisées en Europe centrale et occidentale, trois options se sont proposées, à savoir une description selon :

- la World Reference Base for Soil resources (WRB) de 2006, classification internationale (Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2006)
- le référentiel pédologique (RP) français, plus précisément la nomenclature de 1995, modifié en 2008 (Baize, 1992; Baize et Girard, 1995; Baize, 2009),
- la classification allemande (*deutsche Bodenklassifikation*) d'après la „*Bodenkundliche Kartieranleitung*“ (BKA, manuel de cartographie des sols) du groupe de travail “sol” (*AG Boden*) de 2005 (Ad-Hoc Arbeitsgruppe Boden, 2005).

La *World Reference Base* (WRB) internationale et le *Référentiel pédologique* français utilisent une nomenclature qui se réfère aux « *horizons diagnostics* ». Les avantages de la WRB résident notamment dans son application internationale même s'il s'agit malheureusement d'une typologie encore trop peu utilisée en France et en Allemagne. Cependant pour une application rigoureuse, un diagnostic complet des horizons nécessite souvent des analyses pédologiques au laboratoire. Il en est de même pour une description selon le référentiel pédologique française (INRA, Baize ...) (Baize, 1992; Baize et Girard, 1995; Baize, 2009) qui a cependant l'avantage d'être un peu plus simple d'utilisation en raison de son adaptation aux sols du territoire français et renvoyant donc à des références moins nombreuses. Le référentiel est un système de classement intermédiaire entre les classifications taxonomiques, c'est à dire hiérarchiques, et les simples typologies sans liens entre les types de sols. C'est alors une nomenclature dite « objective », qui considère des relations entre taxons (Legros, 2007) elle est très proche de la classification WRB. Mise à part quelques désavantages pratiques¹⁰⁶ le principal inconvénient consistait dans notre cas dans le fait que le guide de terrain pour la pratique des relevés pédologiques (Baize et Jabiol, 1995) selon le référentiel était épuisé¹⁰⁷ au moment du choix méthodologique. Pour relever les paramètres de terrain (textures ou des caractères hydriques), un manuel de détermination en accord avec la typologie des sols retenu s'avère toutefois indispensable. C'était précisément le premier avantage d'une description des sols selon la « „*Bodenkundliche Kartieranleitung*“ (BKA)(Ad-Hoc Arbeitsgruppe Boden, 2005), manuel très complet et accessible (clarté des descriptions, disponibilité dans les bibliothèques / prix d'achat). La classification allemande de 2005 s'inscrit dans la tradition des typologies génétiques et a été modifiée après la réunification allemande pour s'adapter aux typologies utilisées en ex-RDA et en RFA. Par ailleurs, connaissances personnelles et formation initiale (plusieurs stages pratiques et sorties avec l'Institut de pédologie de la faculté des

¹⁰⁶ Pour la détermination de certaines références (types de sol) il est nécessaire de connaître des propriétés chimiques non directement déterminables sur le terrain, par exemple pour la distinction entre calcosol et dolomitosol ou entre brunisol oligosaturé et alocrisol

¹⁰⁷ Aujourd'hui enfin de nouveau accessible sous forme téléchargeable, payante...

sciences de sylviculture de l'Université de Munich à Freising) ont facilité l'intelligibilité de cette typologie des sols. Un argument de poids résidait aussi dans le fait que les analyses des sols ont été effectuées en Allemagne au laboratoire de pédologie de l'IfGG, l'adoption de la typologie allemande facilitait alors la discussion avec les spécialistes sur place (Prof Dr. D. Burger, Dipl. chem. M. Kull). La prise en compte de ces avantages et inconvénients nous ont fait opter pour cette dernière possibilité. Deux inconvénients de la typologie allemande seront toutefois à mentionner. D'abord elle est peu ou pas connue en France, raison pour laquelle une « traduction » des types de sols et des horizons, ou plutôt une mise en correspondance approximative avec le référentiel pédologique a été nécessaire. Enfin, la classification allemande a été initialement conçue pour les sols méditerranéens, inconvénient à relativiser, puisque les sols de montagne peuvent être qualifiés de sols de la zone tempérée qui se laissent aisément décrire avec la typologie allemande retenue.

Classification des sols allemands et manuels de terrain pour les relevés pédologiques (Bodenkundliche Kartieranleitung)

La *Bodenkundliche Kartieranleitung* (BKA) (Ad-Hoc Arbeitsgruppe Boden, 2005) se présente comme un manuel très complet pour la description des sols. Outre une présentation des types de sols (*Bodentypen*) avec leurs caractéristiques et une méthode de levée de terrain très rigoureuse, de nombreux tableaux permettent de décrire divers paramètres physiques et chimiques comme la granulométrie, la texture et la structure du sol, le taux d'enracinement, la capacité de rétention en eau, la teneur en matière organique (*Humusgehalt* : « humosité »), la capacité d'échanges de cations, etc.

Le système de classement des sols allemand décrit par la BKA distingue quatre *sections* (*Abteilungen*) de sols en fonction de leur régime hydrique : les sols terrestres (par exemple les sols bruns), les sols semi-terrestres (sols hydromorphes, par exemples gleys), les « Moore » (sols hydromorphes organiques) et les sols semi- et sub-hydriques (par exemple sols de type gyttya, thalassosols, etc.). En raison de la présence de lacs et de tourbières sur le massif, des types de sols appartenant à tous les quatre *sections* sont présents sur le massif étudié. Toutefois ce sont essentiellement les sols terrestres qui ont été relevés et nous n'avons effectué aucun relevé de sols semi- ou subhydriques. La différenciation des sections de sol en classes de sol se fait selon le stade de développement (=génétique) (*Entwicklungszustand*) des sols. Pour les sols terrestres on distingue 14 classes (par exemple sols bruns, podzols, lessivés etc.), auxquelles s'ajoutent 7 classes pour les sols semi-terrestres, tourbeux et semi- / subhydriques. Parmi les classes de sols on distingue enfin les 56 types de sols (*Bodentypen*), qui peuvent être déclinés en plus de 200 subtypes (223 en 2005)(Ad-Hoc Arbeitsgruppe Boden, 2005). Par exemple, un jeune sol de type sol brun (*Braunerde*) qui s'est développé à partir d'un sol de type rendzine (*Rendzina*) peut être classé comme subtype intergrade « *Rendzina-Braunerde* ».

Parmi les sols terrestres relevés sur le terrain, les sols « jeunes » assez superficiels, dus au relief accentué (sols à profil O/C, *Rohböden* et sols à profil Ah/C comme les *rankers* et *rendzines*) sont très fréquents. Quand les sols sont plus développés, c'est la classe des sols bruns (*Braunerden*) qui domine. Dans certains cas, il n'a pas été évident de distinguer très clairement les sols terrestres des types de sols colluviaux (*Kolluviole*), classées parmi les sols terrestres dits anthropiques. Ici

apparaît l'inconvénient des classifications génétiques, l'interprétation dépendant toujours fortement des connaissances du pédologue et des capacités de la classification elle-même.

Équivalences avec la nomenclature française et internationale

La classification génétique et hiérarchique française du CPCS (commission pédologique et de cartographie des sols) de 1967 a été plus ou moins abandonnée (Legros, 2007) en faveur du référentiel pédologique français. Pour établir des correspondances entre les typologies allemandes et françaises nous avons utilisé le *référentiel pédologique* (RP) de Denis Baize de 1995 (Baize et Girard, 1995), puisque l'édition de 2008 (Baize, 2009) n'a pas été disponible à temps pour les relevés de terrain. Parmi les 102 références (lire : types de sols) présentés par le RP de 1995, 91 gardent le même intitulé, cependant l'édition de 2008 a été élargie à 110 références et présente néanmoins 19 références modifiées (Exemple : *brunisol eutriqué* au lieu du *brunisol saturé*) ou inédits (exemple : *thalassosol poldérisé*). Le référentiel pédologique français démontre de très nombreux parallèles avec la taxonomie internationale (Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 1998; Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2006), mais reste assez différent de la classification génétique allemande qui ne se fonde pas sur des *horizons diagnostiques*.

Afin de permettre aux lecteurs francophones une interprétation facilitée des données pédologiques présentées plus loin, nous avons établi des tableaux de correspondances, malheureusement assez approximatifs, entre les types de sols et types d'horizons selon les deux nomenclatures (allemande et française). Les principaux horizons du RP (édition 1995) et de la BKA figurent (avec leurs correspondances approximatives) dans les deux tableaux suivants et seront complétés par deux tableaux des suffixes et préfixes utilisés dans la BKA. Cela permet aux lecteurs francophones d'interpréter les principaux types et sous-types des sols décrits sur le terrain d'étude d'après la classification allemande. Le caractère approximatif des traductions et attributions est dû aux différences entre ces nomenclatures, qui, pour être exactes nécessiteraient des tableaux beaucoup plus exhaustifs. Pour une compréhension détaillée des différences entre les classifications pédologiques allemandes et françaises, et plus particulièrement entre les types de sol et références de la Bodenkundliche Kartieranleitung et du référentiel pédologique, une consultation des manuels (Baize et Girard, 1995; Ad-Hoc Arbeitsgruppe Boden, 2005; Baize, 2009) reste malheureusement indispensable.

Il est notamment remarquable que seuls les horizons avec l'abréviation « H » (horizons histiques, tourbeux), « O » (horizons organiques) « A » (horizons organo-minéraux hémioorganiques) connaissent des significations semblables, ce qui n'est pas le cas pour les horizons E, M, R, ou S qui ont des significations distinctes selon le RP et la BKA. A titre d'exemple, l'horizon « S » *structural* du référentiel pédologique RP (Baize et Girard, 1995) correspond dans la classification allemande (BKA 2005) le plus souvent à l'horizon « B » (*Mineralischer Unterbodenhorizont*). Aussi l'horizon C (roche fragmentée, altérée) diffère des horizons R / M / D (roche-mère massive / meuble /

fragments déplacés) dans la classification française (RP), alors que la classification allemande opte pour une différenciation du substrat¹⁰⁸ par des préfixes et suffixes (par exemple : LC : roche ou substrat meuble, mC roche massive, Cv : substrat /roche-mère altérée).

Ci-dessous, les trois premiers tableaux précisent la signification des lettres préfixes et suffixes en minuscules et des lettres majuscules utilisées pour la dénomination des horizons selon la BKA allemande. Un quatrième tableau recense les principaux horizons du RP français à titre comparatif, suivi d'un cinquième tableau où figurent les principaux types et sous-types de sols rencontrés sur le terrain selon la typologie de la BKA.

Tab. 3.13 : Préfixes utilisés par la classification allemande des sols (BKA 2005) pour les caractères physiques et anthropiques des horizons, avec traduction

lettres préfixes (caractéristiques « géogènes » ou anthropogènes), BKA 2005			
préfixe	Définitions BKA 2005	combinaisons possibles (horizons)	Traduction approximative
a	<i>Auendynamik</i>	A C S G M	Dynamique alluviale
c	<i>carbonatisch (>75 m% CaCO₃)</i>	LC mC xC S G	Carbonaté
f	<i>fossil (begrabener Horizont)</i>	F H O A B P T S G	Horizon fossilisé (recouvert)
i	<i>kieselig, silikatisch (<2 m% Carbonat)</i>	LC mC xC	Siliceux / siliceuse
j	<i>anthropogen umgelagertes Natursubstrat</i>	H A C S G Y	Substrat naturel remanié par l'homme
l	<i>Lockersubstrat, grabbar</i>	C	Substrat meuble, excavable
m	<i>massives Substrat, nicht grabbar</i>	A C	Substrat massif, non excavable
n	<i>niedermoorig</i>	H	Tourbeux (tourbière basse)
o	<i>organisch (sedimentär, lithogen)</i>	A C G Y	Organique (sédiments)
q	<i>quellwasserbeeinflusst</i>	G	Liée à une source
r	<i>reliktisch (unter anderen Umweltbedingungen entstanden)</i>	F H A B P T S G	Relictique (développé sous conditions environnementales différentes)
s	<i>hangwasserbeeinflusst</i>	S G	Influencé par des écoulements de surface ou de subsurface
x	<i>steinig weitgehend feinerdefreies Grobskelett (<5 m%Feinerde)</i>	C	Caillouteux, fraction grossière >95% (pondéral)
y	<i>anthropogen umgelagertes künstliches Substrat</i>	LC mC xC G	Substrat artificiel remanié par l'homme

Source : Bodenkundliche Kartieranleitung (2005 :84), traduction A.M. Müller
Les lettres utilisées figurent en gras

¹⁰⁸ Il convient de distinguer la roche-mère dont dérive le solum (directement ou par l'intermédiaire d'un altérite) du substrat qui est la roche située sous les horizons pédologiques sans qu'on puisse être certain d'une relation pédogénétique avec ces derniers (Baize et Jabiol, 1995 :214).

Tab. 3.14 : Suffixes utilisés par la classification allemande des sols (BKA 2005) pour les caractères pédologiques des horizons, avec traduction

lettres suffixes (caractéristiques pédogènes), BKA 2005			
suffixes (BKA 2005)	Définitions BKA 2005	combinaisons possibles (horizons)	Traduction approximative
a	<i>anmoorig</i>	A	Riche en matières organiques, influence hydrique marquée
e	<i>eluvial ausgewaschen sauergebleicht oder nassgebleicht</i>	A	Éluvial
h	<i>humos</i>	F, O, A, B, G	Humique,
i	<i>initial</i>	F, A	De faible profondeur, peu développé (<2 cm / discontinu)
l	<i>lessiviert, tonverarmt</i>	A	Lessivé, teneur en argile réduite
m	<i>massiv, pedogen verfestigt</i>	Bs, Bbs, G	Structure massive d'origine pédologique, non excavable
n	<i>neu, frisch, unverwittert</i>	C	Peu altéré, "jeune"
o	<i>oxidiert</i>	F, G Y	Phénomènes d'oxydation visibles
p	<i>gepflügt oder anders bearbeitet</i>	H, A	Labouré ou autrement travaillé
r	<i>reduziert</i>	F, H, S, G	Phénomènes de réduction visibles
s	<i>angereichert mit Sesquioxiden</i>	H, B, G	Riche en sesquioxydes
t	<i>tonangereichert</i>	B, C	Accumulation d'argiles
u	<i>rubefiziert</i>	B, T	Rubéfaction
v	<i>verwittert, verbraunt, verlehmt *</i>	B, C, T	Brunification, argilisation
w	<i>zeitweilig grund-/stauwassererfüllt</i>	F, H, G	Temporairement influencé par la nappe phréatique / eau stagnante

Source : Bodenkundliche Kartieranleitung (2005 :85), traduction A.M. Müller
Les lettres utilisées figurent en gras

Tab. 3.15 : Principaux horizons (utilisés) selon la classification allemande des sols (BKA 2005) et correspondances approximatives avec le référentiel pédologique français (RP1995)

Organische Horizonte BKA2005 (horizons organiques)		Traduction et correspondances approximatives (RP 1995)
H	<i>Organische Substanz aus Resten torfbildender Pflanzen</i>	horizon H (histique) => sols tourbeux
<u>L</u>	<i>Organischer Substanz >10 Vol%; "Förna" [L von litter : Streu]</i>	horizon Ol
O (Of et Oh)	<i>Organischer Horizont : mineralische Substanz <70% (ca. 58%_{Vol}), Feinsubstanz >10%</i>	horizons OF et OH, matière organique fine >10% _{Vol} , respectivement >70% _{Vol} , <58% _{Vol} de matière minérale
Mineralische Horizonte BKA2005 * (horizons minéraux)		
A	<i>Oberbodenhorizont, <30% organische Substanz</i>	horizon organo-minéral, >30% pondérale de matière organique (A)
B	<i>Unterbodenhorizont: Veränderung der Farbe und des Stoffbestandes durch Verwitterung/ Verlehmung</i>	horizon (organo-)minéral qui se distingue du substrat sous-jacent par sa couleur, et des processus pédologiques (brunification...) (horizon S notamment)
<u>C</u>	<i>Untergrundhorizont, Gestein, daß unter dem Solum liegt (bei Einschichtböden: Ausgangsgestein)</i>	horizon minéral, roche-mère (C, R, D ou M)
<u>F</u>	<i>Semisubhydrischer und subhydrischer Horizont</i>	horizon saturé en eau (nappe phréatique ou marine)
<u>E</u>	<i>anthropogener Bodenhorizont (aufgetragenes Plaggen- oder Kompostmaterial)</i>	horizon d'origine anthropique par apport de matériaux
G	<i>semiterrestrischer Bodenhorizont mit Grundwassereinfluss</i>	horizon semi-terrestre sous influence de la nappe phréatique (G)
<u>M</u>	<i>Bodenhorizont aus sedimentiertem , holozänem, humosem Solummaterial</i>	horizon issu d'une accumulation / sédimentation de matériel humique d'origine holocène
P	<i>Unterbodenhorizont aus Tongestein oder Tonmergelgestein</i>	horizon issu de schistes argileux, argilites ou marnes (Sp, caractéristique du Pelosol)
<u>R</u>	<i>Mineralischer Mischhorizont >40 cm, durch Pflügen oder Meliorationsmassnahmen entstanden</i>	horizon minéral remanié >40 cm d'origine anthropique (labour etc.)
<u>S</u>	<i>Unterbodenhorizont unter Stauwassereinfluss (zeitweilig naß oder entwässert)</i>	horizon influencé par de l'eau stagnante de surface / nappes perchées (g ou -g des Redoxisols)
T	<i>Unterbodenhorizont aus Lösungsrückstand von Carbonatgesteinen; Tongehalt >45%</i>	horizon issu d'une altération de roche carbonatée (argiles de décarbonatation >45%, ou >65%)

* liste incomplète, se référer à la Bodenkundliche Kartieranleitung (éd. 2005) pour plus de précisions.

NB. Les sigles d'horizons sous-lignés (E,M,R,S) ont une signification différente dans la classification française.
Source : Bodenkundliche Kartieranleitung (2005 :pp.90), traductions et attributions approximatives A.M. Müller
Les lettres utilisées figurent en gras

Tab. 3.16 : Pour comparaison : principaux horizons du référentiel pédologique français (RP1995) et correspondances approximatives avec la classification allemande des sols (BKA 2005)

Horizons organiques RP1995 (Organische Horizonte)		Ungefähre Übersetzung / Zuordnung (BKA 2005)
H	holorganique, histique (saturé > 6 mois/an)	<i>H-Horizonte</i>
O (OL, OF, OH)	horizons holorganiques constitués de végétaux, formés en conditions aérobies; (OL: débris végétaux peu ou non évolués, pas de mat. organique fine; OF: <70% de mat. org. fine; OF: >70% de mat. org. fine)	<i>L-Horizont (ohne organische Feinsubstanz), bzw. Of- / Oh-Horizont mit <70Vol% bzw. >70Vol% organischer Feinsubstanz)</i>
Horizons minéraux, RP1995 ** (Mineralische Horizonte)		
A	horizon organo-minéral (0,1-8% C _{org}) ou héli-organique (8-30% C _{org})	<i>A-Horizonte (« hemiorganisch »)</i>
BT	argilluvial	<i>Bt-Horizont</i>
BP	podzolique	<i>Bs-Horizont</i>
C	horizon minéral à fragmentation et/ou altération géochimique (allo- /isaltérites)	<i>Cv-Horizont</i>
D	matériaux durs, fragmentés puis déplacés ou transportés, non consolidés	<i>IC-Horizont aus unverfestigtem, vormals transportiertem Lockermaterial</i>
<u>E</u>	éluvial	<i>Ae oder Be-Horizont</i>
FS	fersiallitique	<i>Tu-Horizont, rubefiziert, deutlich rötlich (MUNSELL Hue >5 YR), Polyeder-Struktur</i>
g, -g	rédoxique	<i>S-Horizonte,</i>
G	réductique (Go et Gr)	<i>Go, bzw. Gr-Horizonte,</i>
J	jeune ou atypique	<i>vor allem Fi- und Ai-Horizonte</i>
-j	xanthomorphe (associé aux horizons S ou BT)	<i>gelbstichiger, tonreicher Horizont (Polyeder) der randmediterranen gemäßigten Zone (Tv-Horizont)</i>
K Kc Km	calcaire	<i>kalkreich, min 15Vol% (K), verhärtete Horizonte (Kc, Km)</i>
<u>L</u>	labouré	<i>Ap-Horizont</i>
<u>M</u>	roche-mère (substrat) meuble, tendre ou peu fragmentée, facile à travailler	<i>IC-Horizonte aus grabbarem Gestein (Kreide, Mergel, shales, Tuffe...)</i>
<u>R</u>	roche-mère (substrat) dure, massive, peu fragmentée	<i>mC-Horizonte</i>
<u>S</u>	structuraux	<i>vor allem B-Horizonte</i>
Xc Xp	cailloutique, pierrique	<i>sehr grusiger oder steiniger Horizont (>60 Masse% Grobboden)</i>

** liste incomplète, se référer au référentiel pédologique de Denis Baize (éd. 1995) pour plus de précisions
NB. Les sigles d'horizons soulignés (E,M,R,S) ont une signification différente dans la classification allemande.
Source : Baize (1995 pp.25), traductions et mise en correspondance approximative A.M. Müller

Tab. 3.17 : Principaux types de sols rencontrés sur le terrain d'étude : classification allemande des sols et correspondances approximatives avec le référentiel pédologique (1995)

Boden- klasse (classe) BKA 2005	Boden- typ (type) BKA 2005	Boden- subtyp (sous-type) BKA 2005	horizons (en allemand) BKA 2005	principales caractéristiques	correspo ndance approxi mative RP1995
Abteilung Terrestrische Böden (Section des sols terrestres) :					
O/C Boden	Fels- Humus- Boden		O/mC	Matière organique sur roche massive ou dans les interstices de pierres et blocs	lithosol
	Skelett- Humus- Boden		xC+O/C	Matière organique dans les interstices des pierres et blocs	lithosol
Terrest rische Roh- böden	<i>(Syrosem)</i>	<i>Norm- syrosem</i>	Ai/mC	Horizon A de faible extension ou discontinu (<2 cm), pédogenèse débutante sur roche massive	lithosol organosol
	<i>(Locker- syrosem)</i>		Ai/lC	Horizon A de faible extension ou discontinu (<2 cm), sur roche meuble / sédiments	peyrosol lithosol organosol
Ah/C- Böden	Ranker	<i>Normranker</i>	Ah/imC ou ixC,	Horizon A sur roche siliceuse massive ou sur blocs	rankosol
		<i>Syrosem- Ranker</i>	Aih/imC ou ixC,	Intergrade avec le Syrosem : horizon A peu important. Sur roche massive, ou blocs	organosol rankosol
		<i>Locker- syrosem- Ranker</i>	Aih/ilC/imC ou ixC	Intergrade avec le Syrosem : horizon A continu mais peu important (env. 2 cm). Fragments de roches siliceuses meubles surmontant roche massive	organosol rankosol
		<i>Braunerde- Ranker</i>	Ah/(Bv- Ah)/Bv- ilCv/imC ou ixC	Intergrade avec le sol brun : Sur roche siliceuse massive ou fragmentée avec un début de brunification et d'altération de la roche-mère	organosol rankosol
	<i>(Regosol)</i>	<i>Normregosol</i>	Ah/ilC	Horizon A peu développé sur sédiments siliceux meubles	régosol arénosol colluviosol ...
		<i>Braunerde- Regosol</i>	Ah/(Bv- Ah)/Bv- ilCv/ilC	Intergrade avec le sol brun : Sur roche siliceuse meuble avec un début de brunification et d'altération de la roche-mère	régosol, brunisol, alocrisol, peyrosol, colluviosol, arénosol ...
	Rend-zina	<i>Norm- rendzina</i>	Ah/cC	Sur roche carbonatée dure ou sédiments carbonatés meubles	rendosol ou dolomitosol

		<i>Syrosem-Rendzina</i>	Aih/cmC	Intergrade avec le Syrosem : horizon A continu mais peu important (env. 2 cm) avec fragments de roche sur roches carbonatées	rendosol, rendisol, dolomitosol
		<i>Braunerde-Rendzina</i>	Ah/ Bv-cCv ou Bv-Ah/cC	Intergrade avec le sol brun : Sur roche carbonatée avec un début de brunification	rendosol à calcosol ou calcisol
Braunerden	Braunerde	<i>Normbraunerde</i>	Ah/Bv/C	Horizon Ah < 40 cm, brunification	brunisol alocrisol calcisol arénosol
		<i>Parabraunerde-Braunerde</i>	Ah/ Al-Bv/Btv/ (Bv/) C	Intergrade avec la Parabraunerde (Lessivé) : teneur en argile diffère entre les horizons Al-Bv et Btv de 2 à 5%	brunisol luvisol alocrisol
		<i>Pseudogley-Braunerde</i>	Ah/ (Bv/ (Bv-) Sw/Sd	Intergrade avec le pseudogley, présence d'un horizon rédoxique	brunisol, alocrisol redoxisol
		<i>Gley-Braunerde</i>	Ah/ (Go-)Bv/ Bv-Go, Go/Gr	Intergrade avec le gley	brunisol, reductosol
		<i>Podsol-Braunerde</i>	(Ahe/)Ae/Bsh, Bhs, Bs/Bv/C	Intergrade avec le Podsol (Ae/Bs < 15 cm), début d'éluviation des sesquioxides et de la mat. org.	brunisol, podzosol
<i>Terra calcis</i>	(<i>Terra fusca</i>)	<i>Braunerde-Terra Fusca</i>	Ah/Bv-Tv/cC	Intergrade avec la Braunerde, >45% d'argiles, couleur 7.5YR ou plus rouge, chroma >4	fersialsol
Terrestische anthropogene Böden	Kolluvisol	<i>Normkolluvisol</i>	A/M/...	Sol issu de matériel remanié par ruissellement transport éolien ou travail manuel, Ah + M >40 cm	colluviosol, anthroposol, ou organosol
Abteilung Semiterrestrische Böden (section des sols semi-terrestres) :					
Auenböden	(<i>Rambla</i>)	<i>Normrambla</i>	aA/ aLC/aG	Horizon A +aLC >40 cm	fluviosol brut, peyrosol
		<i>Gley-Rambla</i>	aA/ aLC/ (aGo- lC/)aGo/aG	Intergrade avec le Gley	fluviosol
	Paternia	<i>Normpaternia</i>	aAh/ailC/aG	Horizon A <40 cm, sur sédiments siliceux, ou pauvre en carbonates	fluviosol
		(<i>Gley-Paternia</i>)	aA/ ailC/ (aGo- ilC/)aGo/aG	Intergrade avec le Gley	fluviosol réductisol
	(<i>Vega</i>)	<i>Normvega</i>	aAh/aM/ (aLC) /aG	Horizons hémiorganiques très importants (Ah+aM>40 cm) avec un horizon structural développé	fluviosol, organosol f.brunifié
		<i>Gley-Vega</i>	aAh/aM/ ailC/ (aGo-M, aM-Go/)aG	Intergrade avec le Gley	fluviosol réductisol

		<i>(Paternia-Vega)</i>	aAh/aiC/aM/ (aiC)/aG	Intergrade avec la Paternia	fluviosol
Gleye	Gley	<i>(Normgley)</i>	Ah/Go/Gr	Caractérisé par un horizon dominé par des processus réductiques, surmonté d'un horizon à taches d'oxydation	réductisol
		<i>(Hanggley)</i>	Ah/sGo/sGr	Pentes >9°	réductisol
		<i>(Quellengley)</i>	Ah/qGo/qGr	Lié à une source	réductisol
		<i>(Auengley)</i>	Ah/aGo/aGr	Sous influence d'une nappe alluviale	réductisol fluviosol
		<i>Braunerde-Gley</i>	Ah/Bv, Bv- Go/Go/Gr	Intergrade avec le sol brun	réductisol, brunisol
	Anmoorgley	<i>(Norm-anmoorgley)</i>	Go-Aa, Aa- Go/Gr	Nappe phréatique très proche de la surface pendant une longue période, Gr <40 cm de profondeur	histosol, réductisol à anmoor
		<i>Hang-anmoorgley</i>	sGo-Aa/Gr	En position de pente >9% (5°)	histosol, réductisol à anmoor
Abteilung Moore, Klasse Naturnahe Moore (section sols tourbeux, classe des tourbières peu anthropisées)					
Moor	Nieder-moor	<i>Norm-nieder-moor</i>	nHw/nHr/)fF) ...		histosol

Source : BKA 2005, interprétations du RP 1995, Anja Müller

N.B. Ne figurent que les types ou sous-types relevés et quelques types et sous-types proches dont la présence sur la massif est probable ou potentiellement envisageable (types de sol entre parenthèses). Pour les définitions des références françaises voir Baize 1995. Les correspondances approximatives ne sont pas exhaustives, ni exclusives. Pour les sigles des horizons se référer aux tableaux des horizons, suffixes et préfixes utilisés par la BKA (voir plus haut).

La consultation des tableaux présentés ci-dessus s'avère également utile pour retrouver des correspondances approximatives entre les horizons du référentiel pédologique et les matériaux minéraux et organo-minéraux fins, décrits par l'ATM dans le lexique des matériaux (annexes). Il est utile de souligner que les horizons ne constituent en aucun cas des corps naturels localisés. Un horizon est le plus souvent constitué par des matériaux (CNL) très différents, comme les éléments grossiers, racines, agrégats de matière pédologique fine, concrétions, etc. décrits par des CNL différents. En revanche, la délimitation des horizons pédologiques correspond le plus souvent à celle des hoplexols du métaèdre strict, du métaèdre inférieur et de l'infraèdre, même si dans certains cas un changement des volumes de CNL respectifs dans un même horizon a pu justifier la distinction de plusieurs hoplexols.

Les équivalences entre la classification allemande et la *World Reference Base* (WRB) sont indiquées pour chaque sous-type de sol dans le manuel BKA, et reflètent des différences importantes entre ces deux nomenclatures. Les correspondances entre le référentiel pédologique de 1995 et la WRB ont été abordées par Legros (Legros, 2007) et se trouvent également dans la dernière version du référentiel pédologique de 2008 (Baize, 2009 : Annexe 5).

3.1.6.2. La fosse pédologique

Notamment en raison de la pierrosité des sols de montagne l'utilisation d'un outil de sondage de type tarière (*Bohrstock*, en Allemagne habituellement le modèle selon *Pürckhauer* avec délimitations décimétriques) n'a pas été possible. En outre il aurait été problématique d'ajouter le poids d'un tel outil au reste de l'outillage nécessaire sur le terrain dépassant déjà 15 kg à porter. La nécessité de mettre en place des fosses pédologiques se fonde encore sur quatre autres raisons :

- la description des horizons pédologiques
- l'estimation de la fraction grossière (> 2 mm et >2 cm) et de l'enracinement
- l'évaluation des matériaux des hoplexols du métaplexion inférieur ou de l'infraplexion
- la qualité des formations superficielles, altérites et/ou de la roche-mère.

Le choix du lieu précis de la fosse a été réalisé par contrôle visuel de la surface. Si aucun élément indique une perturbation du profil (roche affleurante, blocs en surface, proximité immédiate d'un arbre etc.) l'endroit précis du relevé peut être choisi « au hasard », par exemple en lançant un objet derrière son dos, ou de façon subjective si la présence d'arbres ou un méso-modélé irrégulier du terrain limitent le choix.

La fosse pédologique a été mise en place à l'aide de la pioche après avoir accompli les autres types de relevés (RG, RF, partie supérieure de RM, RB). Selon le type de sol, ce travail peut s'avérer assez long.¹⁰⁹ Dans un souci d'efficacité et tenant compte des difficultés d'accès et du temps restreint pour les relevés, la fosse pédologique devrait suffire à un certain nombre de critères tout en permettant une mise en place rapide en raison des relevés de terrain relativement longues dans leur ensemble : la fosse doit être suffisamment large afin de permettre la détermination des profondeurs moyennes des horizons subhorizontaux. Pour ces raisons de gestion du temps, la largeur minimale de la fosse a été fixée à 80 cm (BKA 2005 :38), et la profondeur des fosses ne dépassera pas 1 m de profondeur, même si la qualité du substrat sous-jacent permettait de creuser plus profondément. En cas de présence de blocs et à partir d'une teneur de pierres supérieure à 50 % le travail d'extraction peut être très pénible, mais en règle générale le travail d'extraction s'arrêterait seulement si le volume occupé par la fraction grossière >2 cm (*Grobskelett*) dépassait 75 %. Si le matériel était facilement excavable (roches pourries, arènes granitiques aux éléments <2 cm...) cela ne posait pas trop de problèmes. Il est vrai que le profil reste incomplet si la roche sous-jacente non altérée n'a pas été atteinte, mais dans notre cas l'ampleur du protocole de terrain et la forte pierrosité des sols de montagne nous ont contraint à nous limiter à ces « *fosses de complément* » (Baize et Jabiol, 1995 :33) qui doivent en conséquence suffire pour cette étude.

Puisque nous n'avons pas procédé au prélèvement d'échantillons non perturbés (cylindres) et puisque l'extraction s'arrêterait à 1 m de profondeur, il n'a pas été nécessaire de prévoir un accès à la fosse, surtout parce que la plupart se situaient en position de pente (moyenne de la pente sur 77 (56) relevés : 23.5° ou 57 %), permettant une vue oblique. Cela réduisait par ailleurs considérablement le matériel à extraire.

¹⁰⁹ Quelquefois, une détérioration de la météo ou une heure trop tardive ne permettait plus d'effectuer un relevé pédologique complet le même jour. Toutefois, le relevé du sol étant en quelque sorte moins « urgent » que le relevé floristique ce travail pouvait être différé, mais nécessitait pour des raisons de sécurité une « fermeture » de la fosse déjà mise en place.

Une fois la fosse mise en place, la distinction des horizons pédologiques était de première importance. Pour chaque horizon il a été nécessaire de déterminer la couleur, la granulométrie ("*Fingerprobe*": Test aux doigts cf. annexe « sol » en allemand), la structure, le pH (pH-mètre type HELLIGE), la présence/absence de carbonates (solution HCl), l'enracinement, et éventuellement la présence de taches, concrétions, traces de l'édaphon ou d'hydromorphie. Afin de procéder à des analyses plus précises, un échantillon de matière pédologique (éléments fins et fraction grossière <2 cm) a été extrait de chaque horizon représentatif à l'aide de la truelle et mis en sachet bien identifié. Environ 200 g de matière fine par horizon suffisaient pour les différentes analyses prévues, ce qui nécessitait souvent le prélèvement de bien plus de matériel pédologique, puisque le tri des graviers (<2 cm) s'avérait trop fastidieux sans tamis de poche de 2 mm. Le matériel pédologique a été prélevé sur l'ensemble de l'horizon. Les sachets (type sachet de congélation) ont été refermés aussitôt pour éviter un mélange accidentel des échantillons de sol. Des photos de la fosse avant de la combler s'avéraient bien souvent utiles lors de l'informatisation et interprétation des données.

3.1.6.3. Détermination de la « roche-mère » et des formations superficielles

Afin de comprendre la genèse du sol, leurs propriétés chimiques et physiques ainsi que l'évolution du relief et de la végétation en place, la détermination du type de roche est indispensable. Puisque l'ensemble des relevés se situait en position de pente, la roche-mère sous-jacente n'était pas toujours forcément à l'origine de la formation du sol. Dans les rares cas de sols trop profonds pour atteindre le substrat et surtout dans les nombreux cas où la limite inférieure de la fosse rencontrait en profondeur des formations superficielles et non la roche massive, les fragments de roches plus ou moins altérées dans la matrice du sol fournissaient cependant des informations suffisantes pour comprendre la genèse du sol.

On a pu constater sur le terrain un certain nombre de substrats différents, même si certains types de roche mentionnés par la carte géologique n'ont pas été rencontrés lors des relevés sur le terrain :

- des roches granitoïdes des plutons de Mont Louis et de Quérigut, constitués notamment de granites et granodiorites (tonalite)
- des roches filoniennes, notamment quartziques
- des schistes et autres roches métamorphiques en grande variété, issus de sédiments paléozoïques pour la plupart, et formant en partie une auréole de métamorphisme de contact entourant les plutons de Mont Louis et de Quérigut
- des roches carbonatées, parfois métamorphisées (calcaires, dolomies, marbres, calcschistes)
- des roches sédimentaires massives (conglomérats, grès, grauwackes),
- des sédiments meubles / récents, notamment colluvions, alluvions torrentiels, till (moraines)

Le type de roche a été déterminé par observation des affleurements rocheux sur la parcelle ou en identifiant les altérites dans la fosse si celles-ci étaient accessibles. Dans de nombreux cas des échantillons de fragments de roche ont été prélevés dans le sol pour une détermination ultérieure¹¹⁰. A titre d'exemple, en 2006 6,8 kg d'échantillons de roche ont été prélevés.

¹¹⁰ On ne sous-estimera pas l'utilité du TP de géologie générale ou « Schotterkurs » (détermination de roches) auquel on a participé en 1999 à l'Institut de Géologie de l'Université de Ludwig-Maximilian à Munich

Lors de la détermination de la roche-mère plusieurs problèmes se sont posés, en premier lieu la distinction des roches carbonatées calcaires et dolomitiques. D'une manière relativement simple la roche calcaire se distingue par l'application d'acide chlorhydrique dilué à 10%. Tandis que l'application de l'acide sur du calcaire provoque une réaction assez intense et rapide (« écoussaillement »), on observe sur les dolomies ainsi que sur les calcschistes seulement une réaction très faible, parfois nulle ou observable uniquement à l'aide d'une loupe. Par ailleurs, d'autres types de roches peuvent provoquer une faible réaction à l'acide chlorhydrique, notamment l'argilite à teneur en calcite (Vinx, 2008). La couleur parfois assez foncée, grisâtre à bleuâtre des dolomies rencontrées prêtait alors à confusion avec des roches métamorphiques non carbonatées d'aspect semblable. D'autres critères, notamment une brillance ressemblant à celle des grains de sucre, due à la réduction de volume et à la mise en place des cristaux dolomitiques, permettait alors d'identifier les dolomies. Dans le doute, des plantes indicatrices et le pH du sol aidaient à attribuer un échantillon au groupe des roches carbonatées.

Parmi les roches meubles et sédiments (*Lockergesteine*), on pouvait constater notamment de sédiments de type colluvial, mais aussi des sédiments alluviaux divers dans les bas-fonds et fonds de vallées. Des sédiments d'origine glaciaires peuvent être identifiés dans les vallées du massif au-delà d'environ 1600 m, reconnaissables aux gros blocs arrondis qui parsèment les fonds de vallées.

Compte tenu de la prédominance des pentes moyennes à accentuées, on peut partir du principe qu'il y a eu un déplacement des sédiments meubles, des formations superficielles, des altérites et du solum dans le sens de la pente. Des fragments de roches dans le solum, dont la nature différait du substrat sous-jacent confirmaient ce constat. Une distinction claire des processus périglaciaires, torrentielles et colluviaux peut être difficile dans les parties inférieures des vallées et une grande partie des formations superficielles des étages supérieurs sera ainsi caractérisée de colluvial, même s'il s'agit bien souvent de sédiments activés très probablement durant le pléistocène puis plus ou moins remaniés depuis la dernière déglaciation.

En ce qui concerne cette mise en place, le colluvionnement au sens strict se différencie des processus de solifluxion et de reptation (*Bodenkriechen*), mais tenant compte des variations climatiques quaternaires dans les étages supérieurs du massif et d'une alternance possible, voire probable des processus en fonction de la localisation et du type de substrat, ces processus n'ont pas été différenciés lors de la pratique des relevés pédologiques. Il est par ailleurs utile de mentionner que la notion allemande de *Kolluvium* ne correspond pas directement au *colluvions* en langue française : les colluvions peuvent être compris comme sédiments détritiques, ou plus précisément comme un dépôt meuble en position de pente sans préciser s'il s'agit de roches meubles, d'altérites ou de matériaux pédologiques accumulés. En langue allemande le *Kolluvium* est considéré comme un matériel d'origine pédologique remanié et transporté, supposant une certaine teneur en matière organique. En conséquence la référence *colluviosol* (RP1995) française se réfère à des matériaux variés, le type de sol *Kolluvisol* (BKA 2005) constitue en revanche un sol issu d'une accumulation de matériel pédologique le plus souvent héli-organique (humique, horizon M !). Ce *Kolluvisol* est alors issu du ruissellement suite à une érosion des sols en amont d'origine essentiellement anthropique. Si nous utilisons ici le terme de colluvions, c'est dans le sens français, généraliste, c'est-à-dire désignant des matériaux déplacés dans le sens de la pente pouvant être constitués de fragments de roche, d'altérites et de matériaux fins ayant subi une pédogenèse.

Il en résulte que la roche-mère saine est, dans la plupart des fosses pédologiques décrites, surmontée d'une couche plus ou moins importante d'altérites et de fragments de roche disposés dans une matrice de terre plus fine. La roche-mère a été atteinte seulement dans les cas des sols peu développés. Les sols montraient en général une grande variété en ce qui concerne la profondeur et la granulométrie due à des formations superficielles très variables dans l'espace. La présence dominante des formations superficielles permet en même temps de distinguer ces sols de montagne typiques, souvent caillouteux ou pierreux, voire assez superficiels des rares sols plus profonds en position de bas versant.

En guise de simplification, les différents types de substrats ont été classés parmi les quatre grands groupes utilisés pour l'échantillonnage : roches carbonatées, roches métamorphiques (surtout schisteuses) non carbonatées, roches plutoniques et filoniennes et sédiments n'ayant pas (encore) subi de diagenèse.

Photos 3.2 (a-d) : exemples de roches rencontrées sur le massif



Clichés : A. Müller 2006 et 2007

a) contact entre granitoïdes et roche carbonatée métamorphosée au Roc Mary (Capçir) ; b) calcaire « griottes » à goniatites de Villefranche (Frasnien moyen à supérieur), affleurant à proximité de Belloc c) roches granitoïdes au Gorg Estelat d) réaction différenciée des calcaires et calcaires dolomitiques au contact avec de l'acide chlorhydrique

3.1.6.4. Échantillons prélevés et mesures effectuées

Nous avons prélevé des échantillons perturbés de différents horizons du profil pour effectuer des mesures du pH et de la conductivité électrique, des analyses granulométriques, la

détermination du taux de carbonate et de calcium, ainsi que pour effectuer sur quelques échantillons le dosage du carbone organique et de l'azote.

En raison du nombre d'échantillons effectués, de la distance au laboratoire d'analyse (Karlsruhe : ca. 1100 km), de l'outillage de prélèvement lourd à transporter et du transport pédestre en montagne (vibrations), une prise d'échantillons « non-perturbés » (« *ungestörte Bodenprobe* ») avec des cylindres (*Stechzylinder*) n'a pas été possible lors de la mission sur le terrain en 2006. En conséquence une analyse de la porosité et de la densité des sols a dû être écartée. Par ailleurs la forte pierrosité des sols aurait rendu difficile la prise d'échantillons, et remis en question la représentativité des résultats obtenus à partir des échantillons non perturbés prélevés dans les rares horizons à matrice suffisamment fine.

L'extraction du matériel pédologique pour les échantillons perturbés s'est faite dans notre cas, sur l'ensemble de l'horizon à l'exception des zones de transition entre les horizons (les limites supérieures et inférieures de l'échantillon sont - par défaut - indiquées) à l'aide d'une petite pelle et /ou truelle en acier et transvasée dans un nouveau sachet en plastique (sacs de congélation 5l habituellement) sans utilisation des mains nues. Des cailloux et fragments de roche >2 cm ont été écartés. Environ le quart inférieur du volume du sachet est rempli afin d'obtenir de la matière fine (<2 mm) en quantité suffisante (>150 g). Les sols ayant habituellement un taux de matériaux grossiers assez important, cela correspond à un prélèvement d'au moins 250 g de terre fraîche qui ont dû être prélevés pour être sûr d'obtenir assez de matière fine pour des mesures répétées. On évite de prendre des éléments grossiers de plus de 2 cm, leur pourcentage sera estimé sur place. En raison d'une estimation assez difficile de la matière fine restante après tamisage et séchage de l'échantillon, la moyenne obtenue pour les 145 échantillons analysés au laboratoire en 2006 était de 329,6 g avec un écart-type de 162,12 (quartile inférieur 218.4, quartile sup. 730.4 g). Une fois les sachets fermés pour le transport, les échantillons sont délicatement malaxés et mélangés avec les doigts à travers le sachet, afin d'écraser les agrégats grossiers.

3.1.6.5. Paramètres pédologiques retenus sur le terrain [*Bodenansprache*]

Profondeur des sols

Afin de faciliter la comparaison des sols étudiés, la profondeur de ces derniers est un paramètre intéressant et simple à relever, bien que la limite inférieure reste délicate à attribuer : Il ne s'agit ni de la profondeur de la fosse, ni du seuil d'enracinement (difficile à déterminer dans les interstices, différente selon les espèces et spatialement très variable), mais d'une notion qui désigne la limite entre le solum dominé par des matériaux fins et les horizons à prépondérance d'éléments grossiers ou dominés par les altérites ou par la roche-mère. La profondeur du sol désigne ainsi l'épaisseur du solum à structuration pédologique nette avec un taux de matière fine suffisant pour permettre un enracinement important et pour stocker une réserve d'eau satisfaisante.

Afin de rendre possible la comparaison entre les différents types de sol à partir d'une description des fosses d'un mètre de profondeur au maximum, nous avons défini la profondeur du sol selon la présence d'une nappe d'eau permanente, la présence dominante (plus de deux tiers) d'une roche-mère peu altérée, d'altérites ou un taux d'éléments grossiers >2 mm (*Skelettanteil*). Si

un de ces trois derniers éléments ou la somme de ces derniers dépassaient 65% du volume d'un horizon, la limite supérieure de cet horizon constituait la profondeur moyenne du sol. Il s'agit d'une limite de convenance qui ne constitue en aucun cas une limite écologique, puisque les moindres interstices rocheux à faible teneur en matière organo-minérale peuvent encore permettre la survie des espèces végétales les plus robustes. Par ailleurs les racines pivotantes de certaines espèces arborescentes peuvent se rencontrer fréquemment dans les altérites et interstices rocheux. Pour faciliter la comparaison de la profondeur des sols relevés, nous avons établi sept classes de profondeur (*Gründigkeit*) par pas de 15 cm, adaptés aux sols superficiels du massif (cf. tab. 3.18 ci-dessous).

Tab. 3.18 (ci-dessous) : appréciation de la profondeur des sols du massif

niveau <i>Stufe</i>	qualificatif profondeur	profondeur*	classe (fiche RS)
1	superficiel	≤15 cm	1
2	très peu profond	>15 - 30 cm	2
3	peu profond	>30 - 45 cm	3
4	moyennement profond	>45 - 60 cm	
5	assez profond	>60 - 75 cm	4
6	profond	>75 -100 cm	
7	très profond	> 100 cm	4 et 5 (si >120 cm)

typologie : A. Müller.

* La profondeur désigne ici la limite supérieure des horizons dominés par un taux ≥65% (Vol.) de fraction grossière, d'altérites, de roche-mère, la présence d'une nappe d'eau permanente.

Couleur

La couleur de la terre fine est un autre caractère facilement reconnaissable sur le terrain et pourrait paraître secondaire puisqu' elle ne constitue pas proprement dit un facteur écologique. Cependant l'appréciation visible de la couleur aide à différencier et comparer les horizons et permet notamment d'estimer la teneur en matière organique du sol. La BKA propose une évaluation de la teneur en matière organique (« humosité »,) en 7 niveaux (h0 à h7) à partir de la texture et la clarté (value) de la matière fine (Ad-Hoc Arbeitsgruppe Boden, 2005 :111).

A l'aide d'une charte de couleurs de type Munsell Soil Color Charts (MUNSELL Soil Color Charts) on distingue teinte de base (Hue), clarté (value) et saturation (chroma), codifiées en une formule illustrée par l'exemple suivant : la couleur brune jaunâtre avec la code 10YR 4/3 présente la teinte de base 10YR, la clarté 4 et la saturation 3 désigne alors une couleur appelée « dull yellowish brown ».

La teneur en matière organique diminue avec l'augmentation de la clarté selon Munsell. A la matière fine d'un sol sablo-limoneux à la clarté (value) « 3 » (gris-noir) sera attribué le niveau d'humosité « h2 », niveau qui plus important pour un sol argileux et plus faible pour un sol sableux.

Une estimation du taux de matière organique dans les échantillons organo-minéraux sera notamment nécessaire pour l'évaluation plus fine de la CEC et pour corriger l'estimation de la réserve utile en eau. Par ailleurs on peut observer des teintes de bases différentes selon les substrats : les sols carbonatés sont le plus souvent d'une couleur à teintes jaunes - rouges (8.5YR ou 10YR), les sols sur schistes revêtent le plus souvent des teintes plus jaunâtres (2,5Y ou 5Y).

Toutefois il reste à observer que l'approximation de la teneur en matière organique par la couleur du sol reste imparfaite notamment en cas de forte teneur en matière organique comme l'a mis en évidence le dosage du carbone organique pour 30 échantillons issus d'horizons A. Pour les horizons superficiels organiques de type L et O (Oh et Of) (>30% de matière organique : humus) nous avons ainsi appliqué automatiquement le niveau h7, pour les horizons de type Aho (hémio-organiques) le niveau h6, traduisant une teneur supérieure à 15% de carbone organique.

Tab. 3.19 : niveaux de teneur en matière organique (*Humusgehalt*)

sigle	Matière organique [%]	qualificatif (RP2008)	qualificatif (BKA 2005)	CEC _{pot} [cmol _c /kg]
h1	<1%	organo-minéral	<i>sehr schwach humos</i>	<2
h2	1- <2%		<i>schwach humos</i>	2-<4
h3	2- <4%		<i>mittel humos</i>	4-<8
h4	4- <8%		<i>stark humos</i>	8-<16
h5	8- <15%	hémio-organique	<i>sehr stark humos</i>	16-<30
h6	15- <30%		<i>extrem humos, anmoorig</i>	30-<60
h7	>30%	holorganique	<i>organisch, Torf</i>	n.c.

Source : Bodenkundliche Kartieranleitung, 2005 :112 et 370;
(À ne pas confondre avec les 10 niveaux d'humosité proposés par von Post et Granlund (1925) pour l'évaluation des tourbes)

Hydrisme

Une estimation du niveau hydrique a été effectuée sur place selon sept niveaux allant d'un sol très sec (niveau 0), généralement superficiel et exposé, jusqu'aux sols gorgés d'eau (niveau 6) (cf. fiche de relevé RS, annexes). Afin d'accorder l'estimation de l'hydrisme du sol avec l'estimation de l'ambiance hydrique du milieu, ainsi qu'après avoir corrigé *a posteriori* les estimations faites sur place par une comparaison de l'ensemble des relevés et de leur caractéristiques (floristiques etc.), l'estimation de l'hydrisme des stations a été simplifiée en 5 classes. Cette estimation de l'hydrisme tient alors compte autant du sol que du milieu dans son ensemble de façon comparable à l'évaluation de l'hydrisme d'une stations selon Godron et collaborateurs (Godron, Daget *et al.*, 1983 :121). La réduction en cinq classes favorise également une estimation très approximative de la teneur en eau du sol, proposée par la BKA (Ad-Hoc Arbeitsgruppe Boden, 2005 :115).

Tab. 3.20: codification de l'hydrisme : regroupement de sept classes d'hydrisme du sol et du milieu en 5 classes

C o d e	Hydrisme /Feuchtezustand		Code fiche RG (milieu)		Code fiche RS (sol)		Estimation de la teneur en eau libre (sol)*		Humidité station**	
1	Sec	<i>trocken</i>	1	très sec	0	très sec	<i>Trocken</i>	0-5%	1	très sèche
			2	sec	1	sec			2	sèche
2	Assez sec à assez frais	<i>mäßig trocken bis mäßig frisch (schwach feucht)</i>			2	plutôt sec	<i>Kaum feucht, schwach feucht</i>	5-10%	3	assez sèche
			3	Assez frais (moyen)	3	plutôt frais			4	moyenne
3	frais	<i>frisch</i>	4	frais	4	frais	<i>Feucht</i>	10-20%	5	assez humide (fraîche)
4	humide	<i>feucht</i>	5	très frais						
5	gorgé en surface	<i>naß</i>	7	eau (en surface)	6	gorgé (en surface)	<i>Nass</i>	> 30%	7 et 8	très humide à extrême- ment humide
Code retenu pour l'exploitation des données			cf. Fiche de relevé « général » (RG)		cf. Fiche de relevé „sol » (RS)		*d'après Hartge et Horn 2009 :3		**d'après Godron et al. 1983 : 121	

Source : codification inspiré de (Godron, Daget *et al.*, 1983; Ad-Hoc Arbeitsgruppe Boden, 2005; Hartge et Horn, 2009: 3), le code de la première colonne étant celui qui a été retenu lors du traitement des données

Acidité

L'ambiance chimique du sol peut être abordée sur le terrain par un pH-mètre à liquide indicateur de type « PEHAMETER Modell Hellige ». Il permettait d'évaluer l'acidité du solum et d'avoir un indice sur la saturation des sols en ions échangeables. Un sol est considéré comme saturé à partir d'un pH neutre mésosaturé pour les pH supérieurs à 5 et oligo-saturé pour les pH inférieurs à 5 (Ad-Hoc Arbeitsgruppe Boden, 2005).

Pour un tiers des échantillons analysés aux laboratoire en 2006, les estimations approximatives « à la demi unité près » (Baize et Jabiol, 1995 :188) ont pu être vérifiées par des mesures plus précises du pH(H₂O) et du pH(CaCl₂) avec un pH-mètre électronique. En effet, plus proche des mesures du pH (CaCl₂) que du pH (H₂O) le pH relevé par ce procédé « Hellige » très simple variait tout au plus d'une unité de pH.

Les classes granulométriques (*Korngrößenfraktionen*)

Avant d'aborder la question de la texture (granulométrie) des sols, il est nécessaire de préciser que les trois principales classes granulométriques de la terre fine (<2 mm), les argiles

(*Tone*), les limons (*Schluffe*) et les sables (*Sande*) ne sont pas délimitées de la même manière en France (et Belgique) et en Allemagne (et Autriche et Pays-Bas). Quoique les argiles soient plus ou moins uniformément considérées comme des particules inférieures à 2µm, la limite entre limons et sables n'est pas standardisée. La principale différence réside notamment dans une division logarithmique entre les principales classes de la terre fine (*Kornfraktionen*) dans la typologie allemande, qui se distingue ainsi des divisions décimales habituellement rencontrées dans les classifications occidentales¹¹¹.

Nous avons retenu le système de classement allemand conformément à la *Bodenkundliche Kartieranleitung* (BKA) (Ad-Hoc Arbeitsgruppe Boden, 2005), détaillé dans le tableau suivant (tab .3.21). La détermination de la texture-terrain et le triangle des textures utilisé correspondent à cette typologie granulométrique. A titre comparatif, le tableau qui s'ensuit illustre la typologie granulométrique habituellement utilisée en France, se distinguant de la précédente par le nombre de subdivisions de deuxième ordre, au nombre de six (au lieu de neuf). Il apparaît que la classe des limons est moins « importante » dans la première typologie (allemande). Selon les typologies allemandes, autrichiennes et néerlandaises, sont considérés comme limons grossiers des particules supérieurs à 50µm et inférieurs à 63µm, tandis que selon la classification granulométrique française (et belge), ces particules correspondent aux sables fins (Richer de Forges, Feller *et al.*, 2008)..

Ces classes granulométriques ne doivent pas être confondues avec les classes texturales, qui sont des expressions synthétiques du résultat de l'analyse granulométrique ou de l'estimation tactile de la composition de la matière fine.

Tab. 3.21 (ci-dessous) : classes granulométriques de la fraction fine selon la typologie allemande de l'AG BODEN (2005), typologie retenu

<i>Fraktion</i>	<i>Unterfraktion</i>	<i>Kurzzeichen</i> (sigle)	<i>Äquivalentdurchmesser</i> [en µm ¹¹²]	
			de	à
SAND (sable)	<i>Grobsande</i>	gS	630	2000
	<i>Mittelsande</i>	mS	200	630
	<i>Feinsande</i>	fS	63	200
SCHLUFF (limon)	<i>Grobschluff</i>	gU	20	63
	<i>Mittelschluff</i>	mU	6,3	20
	<i>Feinschluff</i>	fU	2	6,3
TON (argile)	<i>Grobton</i>	gT	0,63	2
	<i>Mittelton</i>	mT	0,2	0,63
	<i>Feinton</i>	fT	<0,2	

Source : AG Boden (BKA) (2005)

¹¹¹ Les classifications françaises retiennent normalement les seuils de 0,2, 2, 20, 50, 100, 200 1000 et 2000µm, tandis que la subdivision logarithmique pratiquée par les auteurs germanophones prévoit des seuils réguliers à 0,2 (= 2*10⁻¹) ; 0,63 (= 2*10^{0,5}) ; 2 ; 6,3 (=2*10^{0,5}) ; 20 ; 63(=2*10^{1,5}) ; 200 ; 630 (= 2*10^{2,5}) ; et 2000µm.

¹¹² N.B. 1 mm=1000 µm

Tab. 3.22 (ci-dessous) : classes granulométriques de la fraction fine selon le référentiel pédologique français (non retenu)

Classes granulométriques		sigle	Dimension des particules [en µm]	
			de	à
SABLE	Sables grossiers	SG ₃	1000	2000
		SG ₂	500	1000
		SG ₁	200	500
	Sables fins	SF ₂	100	200
		SF ₁	50	100
LIMON	Limons grossiers	LG	20	50
	Limons fins	LF	2	20
ARGILE	Argiles grossières	AG	0,2	2
	Argiles très fines	AF	<0,2	

Source : Baize (1988 : 25)

Classes texturales (*Bodenart*)

Une détermination exacte de la composition granulométrique et ainsi des classes texturales¹¹³ par horizon prélevé nécessite des analyses au laboratoire. Une approximation peut être faite sur le terrain en déterminant la texture du sol, plus précisément la texture des éléments fins en dessous de 2 mm (*Feinbodenanteil*) par une estimation tactile. Il faut ainsi distinguer la détermination des « textures terrain » (Legros, 1996) des « textures labo » élaborés à partir des analyses granulométriques effectuées au laboratoire avec une quantification précise des différentes classes granulométriques.

Afin de comparer les résultats des échantillons analysés au laboratoire, ces derniers peuvent être reportés dans un triangle des textures où chaque échantillon représente un point, tandis qu'une texture appréciée par estimation tactile sera représentée par une plage dans ce même triangle des textures. Puisqu'il existent de très nombreux triangles des textures, orthonormés ou équilatéraux et que ceux-ci « *sont découpées d'autant de manières qu'il y a de pays* » (Legros, 1996 : 86; voir aussi Richer de Forges, Feller *et al.*, 2008), nous avons retenu ici deux triangles fréquemment utilisés en Allemagne et en France. Afin de rendre compte des résultats en langue allemande comme en français il était nécessaire qu'ils soient superposables. Un sol sablo-limoneux (argiles 12.5-22.5 %) selon la typologie française ne correspond pas à un Schluffsand (« Sable limoneux ») selon la nomenclature allemande (argiles : 0-8%) ! Le triangle orthonormé de l'AG Boden (Ad-Hoc Arbeitsgruppe Boden, 2005 :142), avec une délimitation orthogonale, présente l'avantage d'être très facilement lisible et utilisable et correspond en outre à la nomenclature

¹¹³ Classe texturale = synonyme de classe granulométrique (Baize, 2004)

retenue pour la détermination de la texture-terrain. Il présente 31 sous-classes qui se déterminent par rapport à la teneur en argiles (Ton) et limons (Schluff).

Pour une traduction correcte des résultats en Français, nous avons comparé le triangle allemand et le triangle des textures également isocèle rectangle du Groupement d'Études des Problèmes de Pédologie Appliquée (GEPPA) de l'Association Française pour l'Étude des Sols (AFES) (Baize, 1988; Baize, 2000 :60; Baize, 2004 :216). Ce dernier compte parmi les deux triangles des textures les plus utilisés en France (Richer de Forges, Feller *et al.*, 2008). Les axes du triangle des textures de la GEPPA sont inversés par rapport au triangle des textures BKA et nécessitent en conséquence une transposition afin de pouvoir superposer les triangles pour comparer ou « traduire » les résultats de l'analyse granulométrique. C'est-à-dire, l'abscisse du triangle de GEPPA (limons) est devenue ordonnée et vice-versa. La figure suivante (*cf.* fig. 3.8 ci-dessous) présente les deux triangles des textures orthonormés et adaptés, dans lesquels seront représentées les données issues de l'analyse granulométrique.

On peut alors remarquer une autre grande différence entre ces deux typologies des classes texturales, celle de la présence d'une classe de texture « intermédiaire » , non existante dans les typologies françaises, le « Lehm »¹¹⁴ (pluriel : « *Lehme* », en anglais : « *loam* »), correspondant à un mélange plus au moins équilibré de sables, argiles et limons.

¹¹⁴ Plus connu sous le nom „loam“ anglais, texture limono-argileuse ou limono-sableuse « *lehmitig* » (allm.) = *loamy* (angl.)

TRIANGLES DE TEXTURE

Comparaison entre deux typologies (d'après AG Boden, 2005 et D.Baize, 1988)

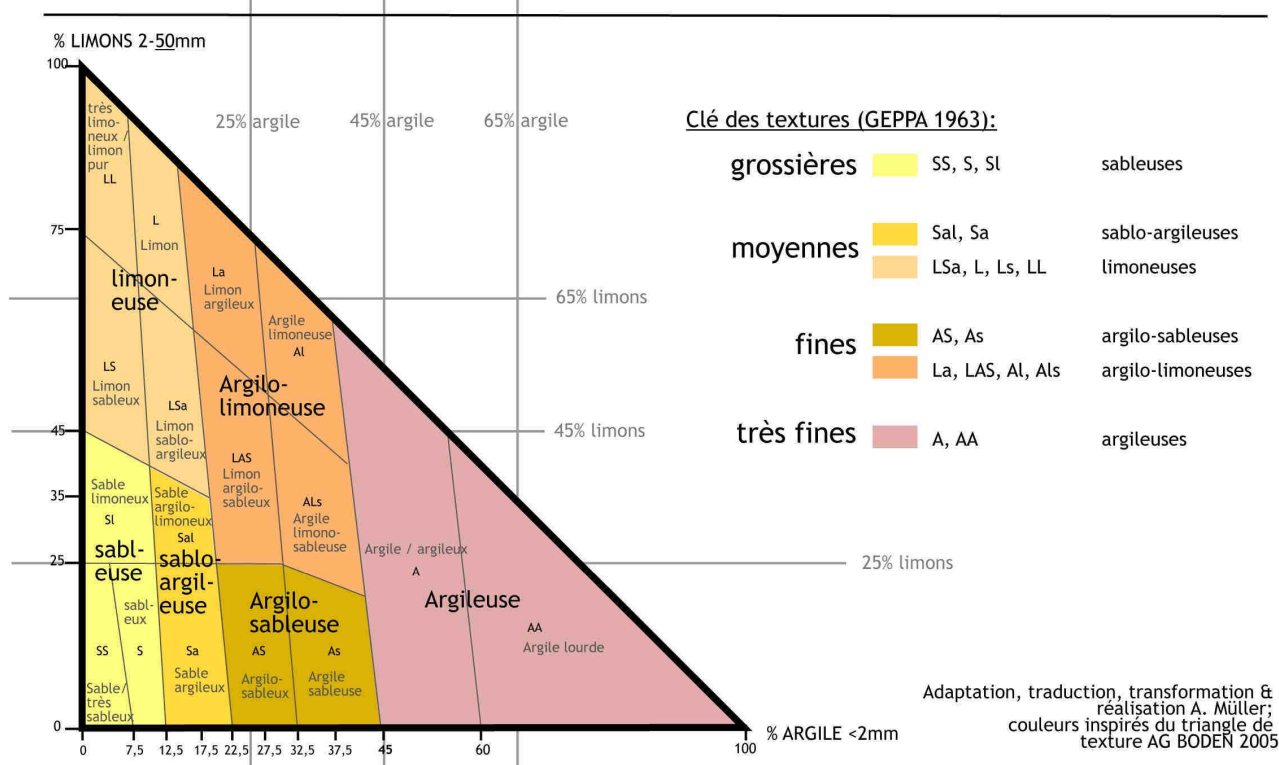
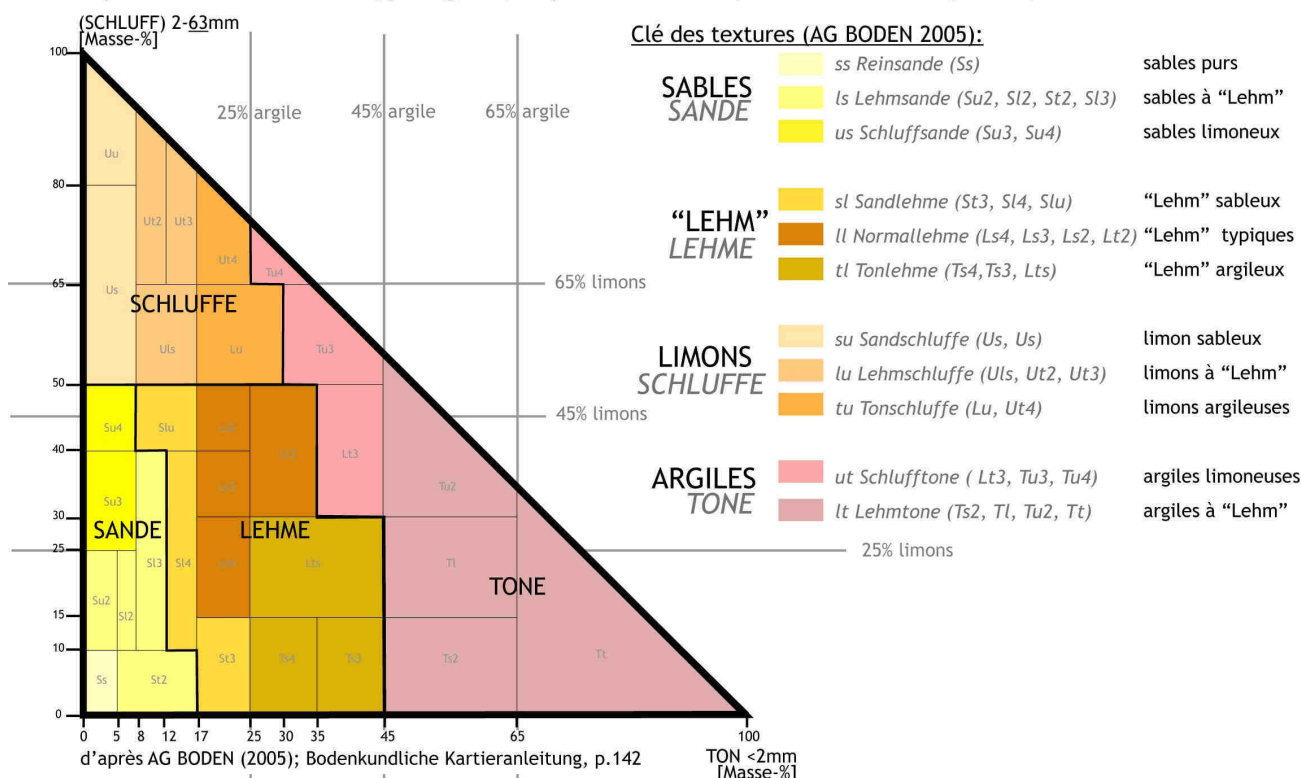


Diagramme des textures du GEPPA (1963), d'après Baize (1988: 32)

Fig. 3.8 : Comparaison des triangles des textures BKA (AG Boden, 2005) et GEPPA (1963)

Noter la différence de délimitation granulométrique des limons. Le premier triangle (à droite, selon l'AG BODEN) a été retenu pour l'étude.

Sources : AG Boden (2005:142), Baize (1988 et 2000:60) modifiées (transposées)

Tab. 3.23 : les 31 classes texturales (éléments fins) selon la BKA

sigle classe texturale	classe texturale (Bodenart) - nom allemand	supergroupe textural	critère « cohésion »	critère « plasticité »	moyenne argile (%)	moyenne limon (%)	moyenne sable (%)	CECpotentiel
Ss	<i>reiner Sand</i>	sable	0	0	2,5	5	92,5	2
St2	<i>schwach toniger Sand</i>	sable	1-2	1-3	11	5	84	6
Su2	<i>schwach schluffiger Sand</i>	sable	0	0	2,5	17,5	80	2
Sl2	<i>schwach lehmiger Sand</i>	sable	1	1-2	6,5	17,5	76	4
Sl3	<i>mittel lehmiger Sand</i>	sable	2	3	10	25	65	6
Su3	<i>mittel schluffiger Sand</i>	sable	0-1	0-2	4	32,5	63,5	4
Su4	<i>stark schluffiger Sand</i>	sable	0-1	0-2	4	45	51	4
Slu	<i>schluffig-lehmiger Sand</i>	"Lehm" (loam)	1-2	3	12,5	45	42,5	9
Sl4	<i>stark lehmiger Sand</i>	"Lehm" (loam)	2	3	14,5	25	60,5	9
St3	<i>mittel toniger Sand</i>	"Lehm" (loam)	3	3	21	7,5	71,5	11
Lt2	<i>schwach toniger Lehm</i>	"Lehm" (loam)	4	4	30	40	30	17
Ls2	<i>schwach sandiger Lehm</i>	"Lehm" (loam)	3	3	21	45	34	13
Ls3	<i>mittel sandiger Lehm</i>	"Lehm" (loam)	3	3	21	35	44	12
Ls4	<i>stark sandiger Lehm</i>	"Lehm" (loam)	3	3	21	22,5	56,5	12
Lts	<i>sandig-toniger Lehm</i>	"Lehm" (loam)	4-5	4-5	35	22,5	42,5	19
Ts3	<i>mittel sandiger Ton</i>	"Lehm" (loam)	5	5	40	7,5	52,5	20
Ts4	<i>stark sandiger Ton</i>	"Lehm" (loam)	4	4	30	7,5	62,5	15
Us	<i>sandiger Schluff</i>	limon	0-1	1	4	65	31	5
Uu	<i>reiner Schluff</i>	limon	0-1	1	4	90	10	6
Ut2	<i>schwach toniger Schluff</i>	limon	1	2	10	78,5	13,5	9
Ut3	<i>mittel toniger Schluff</i>	limon	2	2	14,5	76,5	11,5	11
Uls	<i>sandig-lehmiger Schluff</i>	limon	1-2	1-3	12,5	57,5	30	9
Ut4	<i>stark toniger Schluff</i>	limon	3	3	21	74	9	14
Lu	<i>schluffiger Lehm</i>	limon	3-4	3-4	23,5	57,5	19	15
Tu3	<i>mittel schluffiger Ton</i>	argile	4-5	5	37,5	57,5	10	21
Tu4	<i>stark schluffiger Ton</i>	argile	4	4	30	70	5	17
Lt3	<i>mittel toniger Lehm</i>	argile	5	5	40	40	20	22
Tu2	<i>schwach schluffiger Ton</i>	argile	5	5	55	42,5	12,5	28
Tl	<i>lehmiger Ton</i>	argile	5	5	55	22,5	22,5	29
Ts2	<i>schwach sandiger Ton</i>	argile	5	5	55	7,5	37,5	28
Tt	<i>reiner Ton</i>	Argile	5	5	82,5	17,5	17,5	38

Source : Bodenkundliche Kartieranleitung 2005, (pp.144 et 369); avec moyenne arithmétique de la teneur des trois classes granulométriques en pourcentage pondéral et CEC potentielle [en cmol_c/kg]

Détermination de la texture - terrain

La texture évaluée sur le terrain ou « texture terrain » (Legros, 1996) se détermine en testant la plasticité et la friabilité d'un échantillon de terre fine (débarrassé des éléments >2 mm) légèrement humecté. Différentes méthodes existent, nous avons retenu là encore celle proposée par la *Bodenkundliche Kartieranleitung* (Ad-Hoc Arbeitsgruppe Boden, 2005) (cf. Annexes) au détriment de celle proposée par la GEPPA (Legros, 1996 :90). L'avantage est une reconnaissance assez détaillée, de 31 classes texturales, conformément au premier triangle textural reproduit ci-dessus (cf. figure 3.8). Chaque classe texturale occupe une certaine plage des trois classes granulométriques (argiles, limons, sables), exprimée en pourcentage pondéral (cf. tab. 3.23 ci-dessus) Le pourcentage moyen des classes granulométriques, notamment de l'argile, sert ensuite pour le calcul ou à la correction des nombreux paramètres, comme le taux d'humus, la réserve en eau utile RU (*nutzbare Feldkapazität, nFK*), ou la capacité d'échanges en cations, CEC (*Kationenaustauschkapazität, KAK*).

A partir d'un échantillon organo-minéral humecté de quelques grammes, deux critères, « *Bindigkeit* » (cohésion) et « *Ausrollbarkeit / Klebrigkeit* » (littéralement « déroulabilité » qu'on pourra qualifier de viscosité ou caractère collant) ainsi que quelques observations complémentaires, permettent de déterminer la classe texturale correspondante selon la clé de détermination du BKA (cf. tableaux ci-dessous, et annexes). Ainsi un échantillon de cohérence 2, et une plasticité de niveau 3 (cf. tab. ci-dessous) peut être un « *sandig-lehmiger Schluff* » (Uls) », un « *stark sandiger Lehm* » (Sl4) ou un « *mittel sandiger Lehm* » (Sl3), il est nécessaire de trancher en fonction de la présence de signes visuellement et tactilement reconnaissables comme le rapport entre sables et éléments plus fins, la brillance, le crissement, la présence de limons dans les sillons des empreintes digitales, etc. (cf. annexes, fiche FA « textures », en allemand).

Tab. 3.24a : critère 1 « cohésion » (*Bindigkeit*) pour la détermination de la classe texturale

<i>Bindigkeit / Klebrigkeit</i>			cohérence / cohésion	
	<u><i>Zusammenhalt der Bodenprobe</i></u>	<u><i>zerbröselt/ zerbricht</i></u>	cohérence de l'échantillon	friabilité / décomposition, émiettement, bris, effritement
0	<i>kein</i>	<i>sofort</i>	aucune	immédiatement
1	<i>sehr gering</i>	<i>sehr leicht</i>	très faible	très facilement
2	<i>gering</i>	<i>leicht</i>	faible	facilement
3	<i>mittel</i>	<i>wenig</i>	moyenne	peu
4	<i>stark</i>	<i>kaum</i>	forte	presque pas
5	<i>sehr stark</i>	<i>nicht</i>	très forte	pas du tout

Source: *Bodenkundliche Kartieranleitung* (BKA), 2005 pp.144

Tab. 3.24b : critère 2 « plasticité» (Formbarkeit) pour la détermination de la classe texturale

Formbarkeit / Ausrollbarkeit		plasticité / « déroulabilité »*
0	<i>Probe nicht ausrollbar; zerbröckelt beim Versuch</i>	Impossible de former un boudin de terre, l'échantillon s'effrite/émiette lorsque l'on essaie de le rouler entre les mains
1	<i>Nicht auf halbe Bleistiftstärke ausrollbar, da die Probe vorher reißt und bricht</i>	Impossible de former un boudin d'environ 3,5 mm* d'épaisseur, l'échantillon se rompt avant
2	<i>Ausrollen auf halbe Bleistiftstärke schwierig, da Probe starke Neigung zum Reißen / Brechen aufweist</i>	Il est difficile de former un boudin d'environ 3,5 mm* puisque l'échantillon a tendance à s'effriter
3	<i>Ohne gr. Schwierigkeiten auf halbe Bleistiftstärke ausrollbar, da Probe nur schwach reißt oder bricht</i>	Un boudin d'environ 3,5 mm se laisse former sans trop de difficultés, l'échantillon reste assez cohérent
4	<i>Leicht auf halbe Bleistiftstärke ausrollbar, da die Probe nicht reißt oder bricht</i>	Un boudin d'environ 3,5 mm d'épaisseur se laisse former sans problème, l'échantillon ne se rompt pas
5	<i>Auf dünner als halbe Bleistiftstärke ausrollbar</i>	Il est possible de former un boudin nettement plus fin

Source: Bodenkundliche Kartieranleitung (BKA), 2005 pp.144

* „halbe Bleistiftstärke“= moitié du diamètre d'un crayon, le diamètre correspond à environ 7 mm.

N.B. Les deux critères cohésion et plasticité servent à la détermination de la texture conformément au tableau « textures » cf. annexes.

Fraction grossière

Comme pour les éléments fins, les éléments grossiers au-delà de 2 mm sont délimités différemment selon la typologie adoptée. La fraction grossière du sol constitue ce qu'on appelle en allemand le *Grobboden*, (sol grossier) ou *Skelettanteil*, partie « squelettique » du sol qu'on peut subdiviser encore en fraction grossière « fine » (*Feinskelett*) et fraction grossière « grossière » (*Grobskelett*) (cf. tab. ci-dessous). Comme pour les éléments fins il existe un triangle pour les éléments grossiers. Selon la nomenclature française, sont considérés comme « super-blocs » les blocs dont le plus gros diamètre est supérieure à 2 m (Baize, 1988). Selon la BKA, les éléments au-delà de 630 mm ne sont pas pris en compte dans la détermination de la classe texturale, mais seront mentionnés lors de la description des éléments rocheux (Ad-Hoc Arbeitsgruppe Boden, 2005). Toujours selon la BKA on distingue des éléments grossiers par leur taille (diamètre de la plus grande dimension) mais aussi par leur forme (arrondie, émoussée, anguleuse). Ainsi les graviers et cailloux arrondis se distinguent en langue allemande (*Kies*) de ceux à caractère anguleux (*Grus*). La limite entre cailloux (*Grus/Kies*) et pierres (*Steine*) est habituellement située à 7,5 cm (AFNOR, STIPA), sinon à 5 cm en France, alors que la division logarithmique allemande impose la limite à 6,3 cm (cf. tab. 3.25 ci-dessous).

Tab. 3.25 : Classification des éléments grossiers >2 mm (*Grobbodenanteil*) selon la nomenclature allemande (BKA 2005)

Éléments grossiers	Éléments arrondis	Éléments anguleux	diamètre [en mm]		correspondances approximatives avec la nomenclature française
			de	à	
	<i>gerundete Grobbodenfraktion</i>	<i>kantige Grobbodenfraktion</i>			
<i>Feinskelett</i>	KIES	GRUS			
	<i>Feinkies</i>	<i>Feingrus</i>	2	6,3	graviers : 0,2 à 2 cm
	<i>Mittelkies</i>	<i>Mittelgrus</i>	6,3	20	
	<i>Grobkies</i>	<i>Grobgrus</i>	20	63	cailloux : 2 à 7,5 cm
<i>Grobskelett</i>	KANTIGE STEINE	GERUNDETE STEINE			
	<i>runde Steine ss.</i>	<i>kantige Steine ss.</i>	63	200	pierres : 7,5 cm à 25 cm
	<i>runde Blöcke</i>	<i>kantige Blöcke</i>	200	630	blocs : >25 cm
	<i>runde Grossblöcke</i>	<i>Kantige Grossblöcke</i>	630	>630	

Source : Bodenkundliche Kartieranleitung, 2005:150; Legros, 1996: 92; Baize, 1988(Baize, 1988:13; Ad-Hoc Arbeitsgruppe Boden, 2005:150)

Selon le référentiel pédologique (Baize et Girard, 1995; Baize, 2004; Baize, 2009) un horizon est considéré comme peyrique s'il contient plus 60% d'éléments grossiers (teneur pondérale) et sera dénommé en fonction de la fraction grossière dominante comme horizon pierrique (horizon Xp ; pierres et/ou blocs), *cailloutique* (horizon Xc), si cailloux, pierres ou blocs constituent plus de 50% de l'horizon, ou comme *gravelique* (Xgr) si l'horizon contient plus de 50% de graviers. Le désavantage se situe évidemment dans l'évaluation du poids, nécessitant des quantités importantes de matériel à l'échantillonner si elle se veut précise.

Dans notre cas, l'approximation de la teneur en éléments grossiers se fait à partir d'une estimation du volume occupé par les éléments >2 mm, évaluée à partir du recouvrement de la fraction grossière visible sur la coupe verticale de la fosse pédologique. Le volume qu'occupent les éléments grossiers permet d'attribuer une classe de pierrosité (et « caillousité ») à chaque horizon, conformément à la BKA, et de la mettre en rapport avec une teneur pondérale toujours un peu plus importante que le volume (cf. tab. ci-dessous). Ce tableau permet notamment de considérer des horizons avec une pierrosité supérieure au niveau 4 (>50 Vol%) comme peyrique conformément au référentiel pédologique. Nous avons en outre considéré comme cailloutique des horizons à partir d'une teneur volumique de cailloux (>2 mm, <7,5 cm) de plus de 35%. Par ailleurs, les horizons structuraux « B » selon la BKA se caractérisent habituellement par une pierrosité (tenant compte uniquement de la fraction grossière >2 cm) inférieure à 75%_{Vol} (niveau 5).

On peut rapprocher ces notions de fraction grossière des termes utilisés dans le cadre de l'ATM, plus précisément à la notion de *gravelon*. Ainsi les *macrogravelons* correspondent au graviers (*Kies/Grus* <2 cm), les *mégagravelons* aux pierres et cailloux >2 cm (*Steine/ Grobgrus et -kies*), les *péta- et gigagravelons* (>25 cm) aux blocs (approximativement : *Blöcke*).

Tab. 3.26 : typologie de la pierrosité

niveau Stufe	Bezeichnung Grobboden	Traduction	% [vol]	% [poids]
1	<i>sehr schwach steinig, kiesig, grusig</i>	Très peu caillouteux / pierreux	<2	<3
2	<i>schwach steinig, k., g.</i>	Faiblement caillouteux / pierreux	2 -10	3 -15
3	<i>mittel steinig, k,g.</i>	Moyennement caillouteux / pierreux	10 -25	15 -40
4	<i>stark steinig, k. g.</i>	Fortement caillouteux / pierreux	25 -50	40 -60
5	<i>sehr stark steinig, k., g.</i>	Très fortement caillouteux / pierreux	50 -75	60 -85
6	<i>Steine, Kies, Grus</i>	Cailloux/ pierres	> 75	> 85

Sources : Bodenkundliche Kartieranleitung, 2005:150; tab.33

Structure et densité

Pour estimer la capacité de réserve en eau utilisable (nFK) selon la BKA, il est nécessaire de connaître la densité apparente du sol. Or, puisque des mesures directes de la porosité ou densité des sols sur des échantillons non perturbés font défaut, la densité doit être estimée à partir de la texture des différents horizons du sol.

On distingue deux type de structures du sol (*Gefügeformen*) : des structures élémentaires, parmi lesquels on compte des structures granulaires (*Einzelkorngefüge*) et des structures sous forme d'agrégats individualisés (*Aggregatgefüge*). Parmi ces derniers, la BKA distingue les structures en agrégats fins comme les structures grumeleuses (*Krümelfgefüge*), anguleuses ou subanguleuses (*Subpolyeder- et Polyedergefüge*), ou encore prismatiques ou lamellaires (*Prismen- et Plattengefüge*) et les structures en agrégats grossiers >5 cm en colonnes (*Säulengefüge*) ou plaques, sans insister ici sur les fragments plus grossiers d'origine mécanique. Parmi les sols de montagne des zones tempérées, non cultivés, à granulométrie le plus souvent grossière, des agrégats grossiers n'ont pas été relevés. Le plus souvent on observe sur les substrats granitoides des structures granulaires ou élémentaires et parfois encore grumeleuses, sur les sols calcaires et dans les bas-fonds à caractère alluvial généralement des structures grumeleuses ou encore subpolyédriques pour le cas des horizons à la teneur en argiles plus élevée.

Pour une estimation de la densité des sols, la prise en compte de la taille des agrégats est utile (cf. tab. 20, BKA 2005), notamment en ce qui concerne les structures grumeleuses, subanguleuses ou anguleuses (polyédriques). La taille des agrégats permet de faire une estimation de la *densité apparente du sol in situ*, c'est-à-dire dépendant de l'état hydrique du sol. Cette densité « terrain » (*effective Lagerungsdichte* Ld) peut être classée en cinq niveaux, de Ld1 à Ld5 (cf. tab ci-dessous). Si la taille des agrégats est inférieure à 2 mm ou que des fragments de terre à structure élémentaire s'effritent au prélèvement, on est en présence d'une faible densité Ld1. Si la taille des agrégats dépasse 5 mm ou qu'un monolithe de terre à structure élémentaire cohérente ne se divise pas ou seulement en quelques fragments après une chute d'un mètre de hauteur on est en

présence d'une densité de niveau Ld3 ou supérieur. On peut déjà avancer que nous n'avons observé sur le terrain que les deux premiers niveaux, Ld1 et Ld2.

A partir du niveau de densité « terrain » (Ld), on peut estimer le niveau de *densité apparente réelle*, (*Trockenrohdicht pt*) qui se mesure ordinairement sur un échantillon sec (105°C) prélevé avec un cylindre. Cette transposition de la densité « terrain » à la densité apparente réelle dépend de la teneur en argile qu'on peut déduire de la texture de la terre fine. La densité apparente modifiée en fonction de la teneur en argile se calcule effectivement avec la formule suivante : « $Ld = pt * (0.009 * \% \text{ d'argiles})$ » et à l'aide des classes texturales, il est alors possible de transformer le niveau de densité « terrain » en niveau de *densité apparente* (*Trockenrohdicht pt*) (BKA 2005, tab.71 ; p.346). Un sol très sableux de niveau Ld2 aurait une densité réelle « pt » plus importante (pt3) qu'un sol du même niveau de densité Ld2 très argileux (pt1). En outre, il faut soustraire le taux d'éléments grossiers >2 mm (Vol%) puisque l'eau utilisable par les plantes se situe essentiellement dans le terre fine (Baize, 1988 :119). La densité augmente généralement des horizons supérieurs vers les horizons inférieurs, toutefois, cette nuance n'est pas toujours perceptible puisque les estimations se limitent essentiellement aux deux niveaux Ld1 et Ld2.

Tab. 3.27: structure et niveaux de densité du sol

Niveau de densité (<i>effektive Lagerungsdichte Ld</i>)	cohérence	structures	densité (g/ cm ³)
Ld1	très faible (Vf1)	grumeleuse; subpolyédrique (subangulaire) ou élémentaire à cohérence très faible	<1,3
Ld2	faible (Vf2)	subpolyédrique (subangulaire) à polyédrique (angulaire) ou élémentaire à faible cohérence	1,3 - <1,55
Ld3	moyenne (Vf3)	(sub-) polyédrique, voire prismatique ou élémentaire à cohérence moyenne	1,55 - <1,8

Source : Bodenkundliche Kartieranleitung 2005 : tab. 18 et tab. 20; tab. 68
N.B.: il existe encore deux niveaux de densité supérieures, non rencontrés sur le terrain

3.1.6.6. Analyses de sol au laboratoire

Préparations des échantillons pour les analyses

Les échantillons de sol perturbés et « *mixtes* » (*Mischproben*), emballés sur le terrain dans des sachets de congélation et fermés pour le transport à l'aide de fil de fer plastifié, ont nécessité un prétraitement afin de réaliser des analyses de conductivité, de pH, de taux de carbonates, de la granulométrie et du rapport C/N.

La première étape de préparation des échantillons consiste en un séchage et une pesée (*Einwaage*) des échantillons. Afin de détruire les agrégats argileux avant le séchage, nous les avons émiettés à travers le sachet pour éviter tout contact avec les mains. Le séchage à 105°C n'était pas nécessaire, pouvant provoquer par ailleurs des résultats aberrants concernant la granulométrie en raison de la possibilité de fragiliser par la chaleur les minéraux argileux (*Tonminerale*) (comm. personnelle M. Kull). Ainsi une température de séchage de 40°C pendant 20 heures en étuve (« *Trockenschrank* » - « armoire de séchage ») a été considérée comme suffisante pour obtenir des échantillons secs (*lufttrocken*), elle permettait notamment de conserver les 145 échantillons dans les sachets originaux. Ensuite les échantillons ont été pesés avant de procéder au tamisage

Le tamisage manuel des 144 échantillons prélevés en 2006 a été réalisé au laboratoire de pédologie de l'Université de Karlsruhe (site « *Westhochschule* »). Chaque tamisage d'échantillon était précédé de trois lavages à l'eau distillé des tamis en acier inoxydable et des récipients et de leur séchage (soit 432 rinçages des mortier et tamis). Dans un mortier en porcelaine avec un pilon, les agrégats du sol ont été doucement réduits en éléments particulaires, sans trop forcer, pour éviter une perte des éléments fins par la production de poussières volatiles et pour ne pas broyer les éléments minéraux déjà fragilisés par le séchage (notamment les minéraux argileux). Le tamisage s'est fait ensuite, toujours sans forcer, en apportant des petits coups secs sur le côté du tamis (grille de 2 mm d'espacement).

Ainsi 47,5 kg de matière fine ont été obtenus à partir des 144 échantillons analysés, 27.5 kg d'éléments grossiers >2 mm ont été écartés des analyses. En moyenne 65% de la matière pédologique échantillonnée était constituée de matière fine. Concernant ce chiffre, il faut tenir compte du fait que la plupart des éléments grossiers > 2 cm ont été écartés manuellement avant la prise de l'échantillon sur le terrain.

Lors de la réduction des agrégats et du tamisage, on pouvait constater grâce au mortier blanc des morceaux de charbons écrasés dans certains des échantillons. Les gros spécimens ont été écartés directement avant le tamisage. Leur présence a été prise en compte dans la base de donnée mais les échantillons n'ont pas été systématiquement analysés par rapport à la présence de charbons. Des charbons facilement visibles à l'œil nu (>2 mm) ont été tout de même constatés dans 20 échantillons (14% des échantillons de 2006), même si on peut supposer qu'une analyse systématique de tous les échantillons ferait ressortir un chiffre plus important.

Analyse granulométrique

La teneur en limons et argiles ne peut être déterminée par un simple tamisage. L'analyse granulométrique au laboratoire a été effectuée par la méthode dite de « pipette de Robinson-Köhn » (Pansu et Gautheyrou, 2006 :35), ou, en allemand, « *Köhn'sche Schlämmanalyse* ». La vitesse de sédimentation des particules en suspension se fonde sur la loi de Stokes et augmente avec la taille des particules et dépend de la température de la suspension. Bien que la loi de Stokes est valable pour les particules sphériques (Baize, 1988 :29), on considère comme ayant un diamètre équivalent (*Äquivalenzdurchmesser*) les particules de forme aplatie, le plus souvent argileuses, qui sédimentent à la même vitesse.

Pour une détermination précise avec cette méthode, une certaine habitude est de rigueur pour réduire les erreurs de mesure. L'analyse, procédée sur 20 échantillons (à raison de 10 échantillons parallèles possibles), a été ainsi effectuée par Mlle. Katherina Butz, assistante au laboratoire pédologique de l'IfGG (cf. photos ci-dessous).

Lors de la sélection des 20 échantillons parmi les 145 échantillons disponibles, nous avons essayé de respecter à la fois tous les types de substrat et niveaux d'altitudes en ne retenant pour une meilleure comparaison que des horizons «B» (AG Boden), qui correspondent aux horizons « S » du référentiel pédologique. Par ailleurs la plus faible teneur en matière organique permet d'éviter un prétraitement des échantillons avec du peroxyde d'hydrogène. Toutefois, les échantillons (de 10 g) ont été prétraités avec du Sodium diphosphate (Natriumpyrophosphat $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$) pour réduire les effets de coagulation des agrégats pédologiques ((Kull, 2004)

Détermination de la texture « au doigt »

La détermination de la classe texturale des 144 échantillons préparés au laboratoire a été effectuée par l'auteur à l'aide d'un test relativement simple « aux doigts », en se fondant sur les 20 échantillons analysés par la méthode de la pipette pour étalonner les estimations tactiles. Cette « texture-terrain » a été évaluée pour les échantillons 2006 au laboratoire sur les échantillons tamisés séchés et re-humectés, pour les autres échantillons en 2007 directement sur le terrain. Elle se fonde sur la reconnaissance des 31 classes texturales selon la BKA avec les deux critères, plasticité (« *Ausrollbarkeit / Formbarkeit* ») et cohésion (« *Bindigkeit* ») présentés ci-dessus. La détermination de la texture (*Bodenart*) permet d'estimer la teneur en argile pour les échantillons non analysés par l'analyse granulométrique selon KOEHN et sera nécessaire pour une appréciation de la capacité en rétention d'eau et pour la capacité d'échange cationique.

Détermination de la couleur

La détermination de la texture de la matière fine <2 mm va de pair avec la détermination de l'humidité déduite de la couleur. La couleur des échantillons peut se déterminer sur le terrain, mais plusieurs raisons laissent entrevoir l'avantage de le faire sur les échantillons tamisés de matière fine, traités au laboratoire. La couleur peut être estimée sur un échantillon de terre sèche ou sur la terre humectée. Or, sur le terrain, la matière pédologique est rarement assez sèche et les éléments grossiers peuvent être trompeurs. Ainsi, par souci de comparaison facilité et disponibilité des chartes de couleurs selon Munsell, la détermination de la couleur de la matière fine des

échantillons de 2006 s'est faite en même temps que la détermination des textures au doigt. Cela permettait de relever dans un premier temps la couleur des échantillons séchés en étuve (donc comparables), puis, dans un deuxième temps, la couleur des échantillons légèrement humectés (directement après le test au doigt pour s'assurer que l'échantillon ne soit pas trop ou trop peu humide). Les conditions de lumière sont également plus constantes au laboratoire que sur le terrain.

Paramètres chimiques du sol

Parmi les principales caractéristiques physico-chimiques du sol nous avons déterminé le pH, la conductivité, le rapport C/N, et la présence de carbonates. Ces paramètres physico-chimiques ont ainsi servi de diagnostics complémentaires pour l'analyse de la diversité spatiale des sols.

En raison du coût du matériel, d'une main d'œuvre qualifiée et du temps nécessaire pour une partie des analyses chimiques tous les échantillons n'ont pu être analysés. Ainsi le rapport C/N et le taux de calcaire actif ont été déterminés pour une trentaine d'échantillons seulement. Pour ces mêmes raisons la capacité d'échanges cationique (CEC) a été simplement estimée à partir des caractéristiques granulométriques et de la teneur en matière organique.

Dosage du calcaire

Les mesures de teneur en carbonates ont été effectuées sur 35 échantillons par Dipl.-chem. Martin Kull au laboratoire de pédologie de l'IfGG. Il s'agissait d'échantillons carbonatés dolomitiques ou calcaires. Le dosage du calcaire total a été fait par la méthode du calcimètre, où les échantillons sont exposés à un acide fort (acide chlorhydrique) permettant la libération de gaz carbonique dont on détermine le volume (Mathieu et Pieltain, 2003).

Le rapport C/N

Le rapport entre carbone organique et azote caractérise la qualité des horizons organiques. Les échantillons retenus pour les analyses du rapport matière organique / azote concernent l'ensemble des horizons « A » organo-minéraux.

La teneur en azote des échantillons a été analysée sur 33 échantillons par le *TechnologieZentrum Augustenberg* en mai 2007, selon la méthode décrite par la VDLUFA (Methodenbuch Band I « "Die Untersuchung von Böden ») . Ces analyses ont été financées par l'IfGG avec l'aimable appui du Prof. Dr. D. Burger.

La teneur en matière organique (C_{org}) a été déterminée par *perte au feu* dans le four à moufle (Muffelofen) sur ces mêmes 33 échantillons par Martin Kull au laboratoire de pédologie de l'IfGG. Elle se déduit de la perte du poids de l'échantillon de matière fine porté progressivement à une température de 750°C. La méthode de calcination provoque l'oxydation totale de la matière organique, mais aussi une destruction des carbonates et la perte d'eau de constitution des argiles. Pour cette même raison, la teneur en matière organique tient compte d'une correction de la perte au feu par prise en compte de la teneur en argiles, déduites de la texture-terrain.

Le dosage d'azote et de carbone organique permet ensuite de calculer le rapport carbone / azote (C/N). Un rapport faible caractérise habituellement des sols avec une bonne qualité de humus

La mesure du pH : pH CaCl₂ et pH eau

La concentrations en ions H⁺ libres (acidité effective ou réelle) ou échangeables (acidité titrable ou acidité d'échange) (Mathieu et Pieltain, 2003) définit la réaction neutre, acide ou basique des sols que désigné le critère d'acidité. Les mesures du pH ont été effectuées avec un pH-mètre électronique préalablement étalonné avec des solutions tampon et disposant d'une fonction de compensation de la température. Le pH a été mesuré pour les 144 échantillons de sol préalablement séchés et tamisés. Un volume de matière fine (cuillère mesure) a été réhydraté avec 2,5 volumes d'eau distillée (25 ou 50 ml) pour la mesure du pH (H₂O) (« pH eau ») pour mesurer l'acidité réelle. Un deuxième volume de matière fine a été dilué dans 2,5 volumes de solution saline, plus précisément avec une solution de 0,01 mol/l de chlorure de calcium (CaCl₂) pour mesurer l'acidité titrable, le pH (CaCl₂). Les suspensions du sol ont été ensuite agitées manuellement, les mesures ont été effectuées environ une heure après agitation avec le pH-mètre rincé à l'eau distillé après chaque mesure.

Le pH eau rend compte des concentrations en ions H₃O⁺ à l'état dissocié dans le liquide surnageant (Baize, 1988). La solution de pH (CaCl₂) permet l'échange d'ions H⁺ adsorbés par les ions de calcium ce qui explique pourquoi le pH (H₂O) est généralement de 0,5 à 1 unité pH supérieure au pH (CaCl₂). Le pH (CaCl₂) montre en général des résultats comparables ou légèrement supérieurs aux mesures de pH (KCl) réalisées avec du chlorure de potassium (KCl). L'écart entre pH (CaCl₂) et pH (CaCl₂) permet de qualifier l'acidité titrable et le degré d'acidification du sol. Si le pH eau est inférieur à 7, il ne peut contenir du carbonate de calcium CaCO₃ (Mathieu et Pieltain, 2003).

Le pouvoir tampon, c'est-à-dire la capacité de modérer les variations saisonnières du pH du sol est d'autant plus fort que la CEC (Capacité d'échange cationique) est importante.

La mesure de la conductivité électrique

Pour éviter une manipulation supplémentaire des 145 échantillons nous avons effectué des mesures de conductivité électrique en même temps que la mesure du pH (H₂O) et du pH (CaCl₂) (cf. photo). La conductivité électrique a été mesurée en µS/cm sur un échantillon de 20 g de terre fine dilué avec 50 ml d'eau distillée. La conductivité en tant qu'indice de salinité, ou plus précisément de la teneur de sels solubles dans le sol exprime approximativement la concentration des ions. La conductance est d'autant plus forte que la teneur en minéraux argileux et en matière organique augmente, autrement dit que la concentration en cations et anions augmente (Mathieu et Pieltain, 2003). Elle livre ainsi une information sur la capacité de l'eau d'infiltration à libérer et à conduire des minéraux aux plantes.

Une multiplication de la valeur en µS/cm obtenue avec le facteur 0,64¹¹⁵ permet d'avoir une teneur en sels approximative en mg/l représentative pour la chlorure de potassium (KCl) (*KCl-Äquivalent*).

¹¹⁵ (valeur indique par exemple <http://www.tbs1.de/pdf/boden.pdf> ou <http://www.hortipendium.de/Salzgehalt>)

3.1.6.7. Paramètres physico-chimiques des sols déduits des analyses

Réserve utile

A partir des critères relevés sur le terrain, on peut estimer la capacité de rétention en eau sans avoir recours à des échantillons non perturbés. Différentes méthodes permettent un calcul approximatif de la capacité au champ (*Feldkapazität*), plus précisément de la *réserve utile* en eau (*nutzbare Feldkapazität*), qui est fonction notamment de la texture du sol.

Nous avons privilégié le calcul de la *nutzbare Feldkapazität*, « capacité au champ » utilisable ou *réserve biodisponible* (Calvet, 2003 :263) selon la Bodenkundliche Kartieranleitung. C'est la réserve en eau utilisable par les plantes appelée *réserve utile* (RU) en français. Elle désigne le potentiel matriciel entre la capacité au champ (maximale) et le point de flétrissement permanent (*permanenter Welkepunkt*). Ce dernier se situe à la valeur " $pF^{116} = 4,2$ ", lorsque le sol exerce sur l'eau des tensions supérieures à environ 15 bar (15000 hPa). C'est approximativement le volume pouvant être occupé par l'eau dans les pores plus petits que 50 μm et plus grands que 0,2 μm (Ad-Hoc Arbeitsgruppe Boden, 2005). Autrement dit, la somme de la réserve utile, *nutzbare Feldkapazität* (nFK) et de l'eau non utilisable car trop fortement retenue, le *Totwasser* (TW) constituent la capacité au champ, dite *Feldkapazität* (FK). La réserve utile (*nutzbare Feldkapazität*) dépend alors de la texture, de la structure et de la densité du sol (*Lagerungsdichte* ; pt). Elle exclue ainsi les éléments grossiers, les pores trop fines pour permettre aux racines de puiser l'eau (*Totwasser*) et les pores larges, où l'eau est drainé trop rapidement pour être utilisable par les racines (*Luftkapazität*).

La mesure de la capacité au champ et de la densité du sol se fonde sur l'évaluation du poids spécifique d'un échantillon de sol avec un volume précis. Habituellement cela demande un prélèvement d'échantillons non perturbés à l'aide de plusieurs cylindres en acier (méthode des cylindres ; *Stechzylinderproben*), dont le prélèvement et le transport restent délicats. Par ailleurs les analyses doivent être effectuées rapidement après le prélèvement pour éviter une détérioration de l'échantillon. Tenant compte du nombre de cylindres nécessaires, de la forte pierrosité de la plupart des horizons, du lieu et de la période prévue pour les relevés (Pyrénées Orientales été 2006) et pour les analyses (Karlsruhe hiver 2006/2007) ce type de prises d'échantillons n'a donc pas été envisageable.

En revanche une estimation de la densité apparente permet toutefois, à l'aide des classes texturales, d'avoir un ordre de grandeur concernant la capacité de rétention en eau. A chaque classe texturale, on peut ainsi attribuer une *capacité au champ utilisable* (*nutzbare Feldkapazität*), en fonction de 5 niveaux de densité (*Lagerungsdichte* L_d , *Trockenrohddichte* pt) allant de <1,2 g/cm³ (pt=1) à >1,8 g/cm³ (pt=5) (Ad-Hoc Arbeitsgruppe Boden, 2005 :344). Les valeurs faibles et moyennes de densité (pt=1 à pt3 =1,4 - 1,6 g/cm³) prévalent sur le terrain d'étude. Nous allons présenter dans la partie « résultats » le volume théorique (en %) des pores des échantillons prélevés, conformément au tableau 70 de la BKA

Divers méthodes d'estimation de la réserve utile sont envisageables, mais il reste toujours le problème d'estimation de la densité apparente de l'horizon et la prise en compte de la fraction grossière ou de l'enracinement (Trouche et Morlon, 1999).

¹¹⁶ pF= logarithme décimal du potentiel matriciel de l'eau

Une méthode d'estimation assez grossière » utilisée par le Service de Cartographie des Sols de l'Aisne (Baize, 1988 :pp126) est l'évaluation de la réserve utile (RU) d'eau dans le sol à partir de la texture de la terre fine. Cette méthode se fonde sur 15 classes de texture définies par le triangle de texture du Service de Cartographie des Sols de l'Aisne (cf. figure ci-dessous), qui dispose de deux classes texturales de moins que le triangle textural de la GEPPA (17 classes) (voir par exemple Richer de Forges, Feller *et al.*, 2008). Ces valeurs moyennes de mm d'eau de réserve utile par cm d'horizon ont été élaborées à partir de très nombreux relevés de densité apparente (D_a), de teneur en eau pondérale au point de flétrissement (PF) et de capacité au champ (CAPAC) sur des sols de l'Aisne. La transposition aux sols pyrénéens reste alors assez problématique. Les valeurs proposées par le Service de Cartographie des Sols de l'Aisne (cf. figure ci-dessous) seront à multiplier par l'épaisseur de l'horizon et par la teneur réelle en matière fine. La réserve utile de la fraction grossière est considérée de manière simplifiée comme nulle, car très faible (Baize 1988). Afin de pouvoir comparer les classes texturales avec les deux triangles déjà présentés plus haut (GEPPA et BKA), le triangle du Service de Cartographie des Sols de l'Aisne a été transposé et superposé aux deux précédents.

De façon comparable, la BKA propose des valeurs de réserve utile pour chacune des 31 classes texturales de la BKA présentés ci-dessus. Le calcul de la nFK se fait à partir de la classe texturale (31 classes, tab. 70, BKA 2005) mais tient également compte d'une augmentation de la réserve en fonction de l'humidité (tab. 72 BKA 2005 si $C > 1\%$; niveaux h_2 à h_5) et de la densité du sol. Cette dernière étant estimée en tenant compte des structures des horizons pédologiques (tab. 20 et 71, BKA 2005, cf. chap. suivant). Les valeurs proposées sont des mm de lame d'eau, mais le calcul est comparable à celui proposé par le Service de Cartographie des Sols de l'Aisne, tenant compte de la fraction grossière et de l'épaisseur de l'horizon. Même si les valeurs proposées sont valables là encore et strictement parlant seulement pour les sols de l'Europe Centrale, la comparaison de la *nutzbare Feldkapazität* (nFK) avec les valeurs moyennes valables pour les sols de l'ALSNE, déduites via la superposition des triangles de texture, permet d'avoir un ordre de grandeur de la réserve en eau utile pour les plantes de chaque sol étudié.

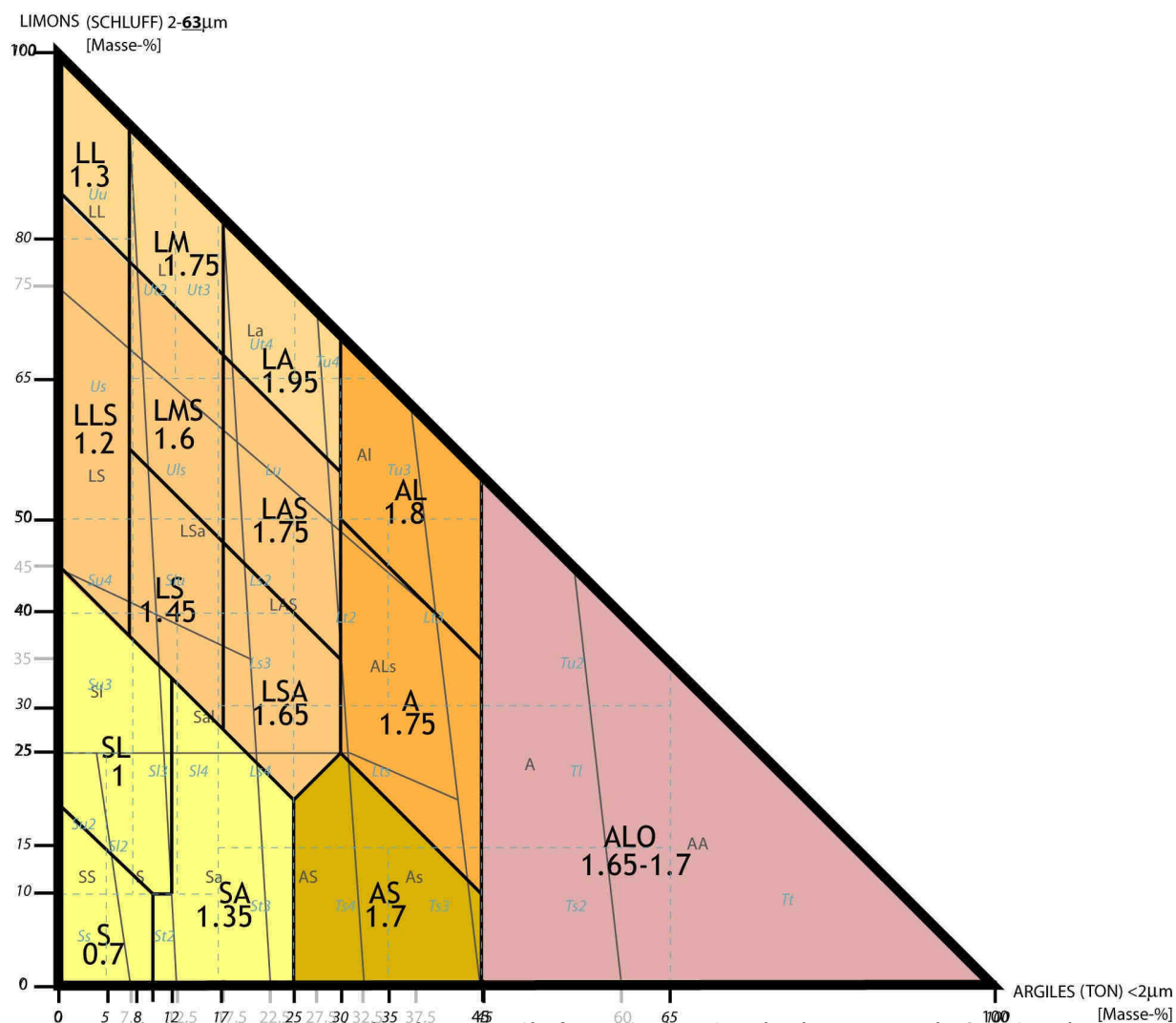


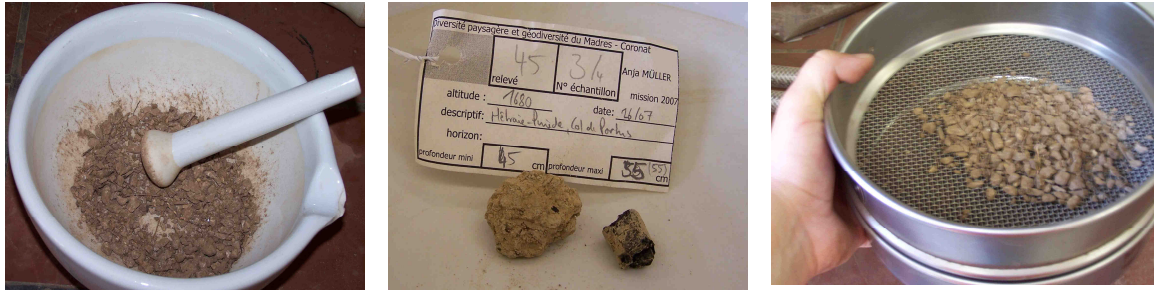
Fig. 3.9 : Estimation de la réserve utile à partir du triangle de texture du Service de Cartographie des Sols de l'AISNE

Légende (sigles noirs) : S = sable; SL= sable limoneux; SA = sable argileux; LLS = limon léger sableux; LS = limon sableux; LmS = limon moyen sableux; LSA = limon sablo-argileux; LAS = limon argilo-sableux; LL = limon léger; Lm = limon moyen; LA = limon argileux; AS = argile sableuse; A = argile; AL = argile limoneuse; Alo = argile lourde.

Mode d'emploi : les chiffres correspondent à la réserve utile en mm d'eau par cm d'horizon et tiennent compte uniquement de la terre fine <2 mm. Les chiffres pour les argiles lourdes (ALO) correspondent aux ALO sédimentaires (1,65) et d'altération (1,7).

A titre informatif, le triangle est superposé aux triangles des textures mentionnés plus haut, de la BKA (AG Boden 2005, lettres italiques bleuâtres et lignes pointillées) et de la GEPPA (1963, lettres et lignes grises, fines). A noter que les limons sont délimités différemment selon la classification allemande (BKA 2005) !

Photos 3.3 a, b et c : préparation des échantillons de sol, tamisage



Photos 3.4 a et b : appareillage pour l'analyse granulométrique



Photo 3.5 : 25 échantillons préparés pour l'estimation de la couleur et de la texture

Photo 3.6 : mesure du pH eau, du pH CaCl₂ et de la conductivité



Cliché : Anja Müller, Janvier/février 2007

La CEC

Les colloïdes argilo-humiques (les complexes absorbants) dotés de charges négatives sont susceptibles de retenir des cations sous conditions échangeables. La capacité d'échange de cations (CEC), aussi appelée « T » désigne la quantité maximale de cations que le sol peut absorber (Duchaufour, 2001) et fournit un indicateur de la fertilité minérale des sols. Généralement la CEC est plus élevée pour les sols humifères et argileux riches en complexes argilo-humiques.

La CEC n'a pas été directement mesurée en raison du grand nombre d'échantillons (manipulation et coût). En France la CEC est habituellement déterminée à l'acétate d'ammonium à pH=7 (Méthode Metson). Les méthodes par saturation telle la méthode Metson sont par ailleurs déconseillées pour les échantillons de sols à faible pH (Mathieu et Pieltain, 2003 :165), ce qui concerne une large majorité de nos échantillons. Enfin, les méthodes de détermination de la CEC effective par sommation, additionnant cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ et Na^+) et acidité d'échange (H^+ , Al^{3+} , ...) impliquent le dosage fastidieux de ces composantes.

En revanche, il est possible d'estimer la CEC à travers les classes texturales de la matière fine, le taux de matière organique (*Humusstufe*) et le pH CaCl_2 , conformément à la BKA ((Ad-Hoc Arbeitsgruppe Boden, 2005 :pp368).

Les CEC potentielles (CEC_{pot} ou KAK_{pot} à pH=7) estimées pour les classes texturales sont valable pour les sols méditerranéens (riches en illites) en se fondant sur la formule $\text{CEC}_{\text{pot}} = (0,5 \cdot \text{teneur en argiles}) + (0,05 \cdot \text{teneur en limons})$. La CEC_{pot} pour la teneur en matière organique se calcule avec la formule $\text{CEC}_{\text{pot}} = 2 \text{ cmol}_c/\text{kg}$ par % de matière organique et se fonde ainsi sur les moyennes des teneurs en matière organique évaluées à partir de la couleur du sol. La CEC effective (*effektive Kationenaustauschkapazität* KAK_{eff} ou CEC_{eff}), correspondant au pH réel (effectif) du sol se calcule ensuite en corrigeant la CEC_{pot} de la partie organique en la multipliant avec un facteur en fonction de son pH (CaCl_2) et en l'additionnant à la CEC_{pot} déduite des classes texturales.¹¹⁷ En effet il a été observé que la CEC_{pot} de la classe texturale correspond à peu près à la CEC effective ($\text{CEC}_{\text{eff}} / \text{KAK}_{\text{eff}}$) à l'exception de quelques sols volcaniques, ce qui rend obsolète une transformation la CEC_{pot} en fonction du pH pour les classes texturales (Ad-Hoc Arbeitsgruppe Boden, 2005 :370). Le résultat s'exprime en centième de mole par kg (cmol/kg) ou encore en milliéquivalents exprimés pour 100 g de matière sèche.

Le rapport indirect existant entre la CEC_{pot} de la matière organique et le rapport C/N permet par ailleurs d'évaluer la qualité d'un humus : un humus de mauvaise qualité offre le plus souvent un rapport C/N important coïncidant avec une CEC_{pot} mesurée relativement plus faible (Ad-Hoc Arbeitsgruppe Boden, 2005 :372).

¹¹⁷ $\text{KAK}_{\text{eff}} = ((\text{KAK}_{\text{pot}} \text{ Humus}) \cdot \text{Umrechnungsfaktor}) + (\text{KAK}_{\text{pot}} \text{ Bodenart})$

Tab. 3.28 : facteur de multiplication pour transformer la capacité d'échange potentiel de la part organique ($CEC_{pot\ m.o.}$) en capacité d'échange effective ($CEC_{eff\ m.o.}$) en fonction du pH

pH [$CaCl_2$]	Facteur de transformation $CEC_{pot} \rightarrow CEC_{eff}$ (matière organique)
>7.5	1
<7.5- 6.5	0.8
<6.5 -5.5	0.6
<5.5 - 4.5	0.4
<4.5 - 3.5	0.25
<3.5	0.15

Source : Bodenkundliche Kartieranleitung, 2005 :370

Le taux de saturation

Le taux de saturation « V » = S/T désigne le rapport entre la capacité d'échange cationique ($CEC = T$) et la somme des cations échangeables (S) représentées essentiellement par les cations à comportement « alcalin » (*basische Kationen*) : Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ et Na^+ . Une mesure précise du taux de saturation V (= *Basensättigungsgrad BS*) indiquant plus précisément le taux de ces cations « basiques » (alcalins) aurait impliqué un dosage fastidieux des cations échangeables et de l'acidité d'échange. Il est cependant possible de le déduire de façon approximative depuis le pH ($CaCl_2$).

Tab. 3.29 : rapport entre taux de saturation et pH ($CaCl_2$)

pH [$CaCl_2$]	Taux de saturation [%]	appellation (BKA 2005)
>6.0	80-100%	<i>sehr basenreich - basengesättigt</i>
<6.0 -4.8	50-<80%	<i>basenreich</i>
<4.8 - 3.8	20-<50%	<i>mittelbasisch</i>
<3.8 - 3.3	5-<20%	<i>basenarm</i>
<3.3	<5%	<i>sehr basenarm</i>

Source : Bodenkundliche Kartieranleitung, 2005:371

Le chapitre 3.1 présente la méthode de relevé appliquée sur le terrain d'étude. Elle est adaptée aux caractéristiques géographiques du massif présenté dans les premiers chapitres de la deuxième partie et doit saisir en conséquence un grand nombre de milieux très variés.

Pour décrire cette diversité des milieux on peut concevoir, que le protocole de terrain doit prendre en compte un grand nombre de paramètres si on veut saisir une partie non négligeable de la géodiversité *in situ*.

En premier lieu se pose la question de l'échantillonnage des relevés sur ce terrain couvrant des centaines de kilomètres carrés. Les stratégies d'échantillonnage aléatoires et systématiques ont été écartées en faveur d'un échantillonnage par un système de quotas, tenant compte d'un certain nombre de paramètres préalablement exploités par le Système d'Information Géographique : La délimitation des bassins versants et niveaux altitudinaux permettait de répartir les relevés, les différentes classes d'exposition, de pente et de substrat géologique permettaient de tenir compte de quelques caractéristiques physiques et géomorphologiques susceptibles d'influencer la répartition des milieux et la carte d'occupation des sols issue des classifications d'images satellite permettait de tenir compte de la répartition actuelle du couvert végétal.

La description du protocole des relevés de terrain, comportant cinq volets avec une description générale et géomorphologique complète du lieu, un relevé floristique, le relevé mésologique proprement dit, la prise en compte de la flore en biovolumes et la description complète d'une fosse pédologique, met en évidence l'ampleur de la tâche mais aussi des données qui en découlent. Dans le souci de rester opérationnel, la nécessité de réduire les exigences matérielles, le poids des outils et une préparation adéquate des relevés et des fiches de description s'avéraient indispensables.

Dans le souci d'étudier les interrelations entre géodiversité mésologique et phytodiversité tout en tenant compte de la pédodiversité, ces trois types de relevés constituent le corps de la description des milieux sur le terrain. Les relevés des *corps naturels localisés* sont accompagnés d'un inventaire floristique où les espèces végétales sont identifiées en terme d'abondance-dominance et quantifiées verticalement par les biovolumes. Les paramètres physiques et chimiques des sols décrits lors de la description de la fosse pédologique permettent une diagnose complémentaire aux relevés floristiques.

L'exploitation de ces paramètres pédologiques, floristiques et mésologiques, des données comme des échantillons relevés sur le terrain nécessite un travail d'informatisation, de traitement et d'analyse supplémentaire décrit dans le prochain chapitre. Celui-ci mettra également en évidence les possibilités d'exploration et d'exploitation statistique ainsi que le changement d'échelle qui surviendra en reliant les données relevées sur le terrain à la cartographie.

3.2. Mesurer la géodiversité

Les relevés de terrain mésologiques, floristiques et pédologiques incluant les analyses physico-chimiques des sols ne permettent pas, à eux seuls une évaluation de la géodiversité qui se situe à l'échelle d'un massif. Outre une informatisation, un traitement et une exploitation statistique des données obtenues, d'autres procédures permettent une description de la géodiversité du Massif de Madres-Coronat par la mobilisation de paramètres issus des analyses d'échantillons, ou encore de la cartographie et de la télédétection. Ces outils complémentaires seront présentés ici.

3.2.1. Cartographie et délimitation des unités paysagères

Dans le domaine des études portant sur l'environnement à l'échelle du paysage et des régions, il n'est pas possible de se restreindre à l'échelle fine des observations des milieux sur le terrain. La cartographie des phénomènes à une échelle plus petite s'avère indispensable pour l'approche multiscalaire. D'une part la cartographie peut être considérée comme une typologisation et généralisation des données de terrain (Jongman, Ter Braak *et al.*, 1995 :3), d'autre part l'interprétation des unités paysagères par la télédétection génère un niveau d'information propre qu'il convient d'exploiter ultérieurement.

3.2.1.1. Données spatiales disponibles et produites

En premier lieu, il a été nécessaire de rassembler les données cartographiques existantes et disponibles, de les adapter et/ ou convertir dans les formats appropriés, voire de les compléter ou générer. En sont issues les cartes présentée dans le premier et deuxième chapitre de cette deuxième partie. Ces cartes, décrivant le terrain et constituant ainsi une « géo-graphie » au sens propre du terme ont été rassemblées dans une base de donnée spatialisée (geodatabase) où ont été intégrés les différents fonds de cartes et couches disponibles et générées.

Fonds de cartes et données disponibles pour l'analyse spatiale : cartographie existante et lacunaire

Grâce à une convention établie entre GEODE et l'Association gestionnaire de la réserve naturelle de Nohèdes en 2004/2003 dans le cadre du projet INTERREG IIIA mobilisé pour l'établissement d'un travail de recherche effectué par Vincent Parage (DEA, 2005), un certain nombre de données disponibles à l'AGRNN ont été transmises aux étudiants se consacrant à l'étude du Madres-Coronat (V. Parage, F. Blanc et A. Müller). Il s'agissait notamment de couches vectorielles du format MapInfo. D'autres informations géographiques ont pu être acquises grâce au laboratoire de recherche ou sont disponibles gratuitement en ligne, sous conditions d'une exploitation non commerciale.

Données mises à disposition par l'AGRNN (convention AGRNN-GEODE)

- orthophotos infrarouge année 2000, couvrant 76% du terrain d'étude
- Périmètres administratifs et de gestion
 - Le statut foncier
 - Le zonage environnementale comprenant
 - les périmètres Natura2000 (ZPS, ZSC, ...)
 - Les ZNIEFF
 - Les Réserves Naturelles de Nohèdes, de Conat et de Jujols faisant partie du réseau des réserves naturelles catalanes (RNC)
 - ZICO
- Cartographie des habitats du site Natura 2000 en cours (inachevé en 2006)
- Cartographie diachronique (1953, 1969, 1990,2000) de Nuria Roura y Pascual et d'Inga Ertel pour six communes (Sansa, Nohèdes, Jujols, Olette, Urbanya, Railleu)
- Diverses cartes thématiques, non utilisées (Réseau hydrographique incomplet, topographie vectorisée incomplète, zones de sensibilité, périmètres des groupements pastoraux pas à jour, etc....)

Mise à disposition par GEODE

- Image SPOT4 année 2000 couvrant l'ensemble du Massif
- MNT (BDalti IGN) de précision 50 m, disponible pour le département des Pyrénées Orientales
- Acquisition de données météorologiques mensuelles (Température et Précipitations moyennes mensuelles) pour la période 1985-2005 pour 6 stations environnantes
- Photos aériennes anciennes sur papier, non orthorectifiées, séries toujours incomplètes pour une partie seulement du territoire étudié

Autres sources

- ASTER-DEM, MNT généré à partir d'images satellitaires, moins précis que celui de l'IGN, mais disponible gratuitement et sans limite dans l'espace
- CORINE LANDCOVER (AEE) - couches vectorielles de l'occupation du sol 1990, 2000, 2006
- SANDRE - BDD Carthage - réseau hydrographique à l'échelle nationale
- BD GEOFLA (IGN) - communes et départements français
- LANDSAT - images gratuites (1975, 1991 et 1999)
- Zonages environnementaux mis à disposition par la DREAL Languedoc-Roussillon (format MapInfo : ZNIEFF, ZPS, ZSC, sites classés etc.)

Ces dernières sources servaient essentiellement à la production des cartes d'occupation du sol (CORINE LandCover, GEOFLA, SPOT) et des cartes topographiques (carte des courbures et des bassins versants constitués avec BDalti, ASTER GDEM et SANDRE).

Cartes produites et vectorisées

D'autres couches d'information ont dû être produites, en partie à l'aide d'une vectorisation et transformation de cartes papier existantes, en croisant des données vectorielles ou raster existantes, par photo-interprétation ou en utilisant des fonctionnalités SIG pour une exploitation du MNT et des images satellites

Cartes du périmètre d'étude produites

- Périmètre géomorphologique : sur fond de carte topographique 1/25000 et orthophotos en suivant cours d'eau, crêtes et cols
- Périmètre d'étude : fusion du périmètre Natura 2000 avec le périmètre géomorphologique

Cartes d'échantillonnage produites

Comme présentées plus haut, les cartes d'échantillonnage suivantes ont été générées :

- Carte « géologique » (lithologique) : simplification à 4 classes par généralisation et de plusieurs cartes géologiques du BRGM : feuilles « Prades » 1/50000 (acquises) et feuilles « Prades » et « Quillan » au 1/80000. Actualisation depuis la parution de la feuille « Mont Louis » au 1/50000 en 2008.
- Carte des pentes (simplification à 3 classes), générée à partir du MNT
- Carte des expositions (simplification à 4 classes), générée à partir du MNT
- Carte d'échantillonnage (répartition des relevés) générées à partir des cartes suivantes :
 - Carte des bassins versants (7 classes), générée par interprétation de la carte topographique
 - Carte des niveaux altitudinaux (5 classes), générée à partir du MNT
 - Interprétation supervisée d'images satellites SPOT (22 classes)
 - Carte des pentes et carte des expositions citées ci-dessus

Cartes du milieu physique, des milieux naturels et des paysages produits

- Carte des courbures de relief (curvature)
- Carte des formes topographiques (landforms)
- Carte des géons (photo-interprétation)
- Carte des segments (photo-interprétation)

3.2.1.2. Aspects pratiques de cartographie

Questions d'échelle

Il est évident que si l'on veut extraire d'un espace le maximum de diversité à une échelle donnée, il faudra rechercher dans la production cartographique le maximum de précision et la résolution la plus grande. A contrario, les données de terrain ne peuvent pas être collectées de façon illimitée, ainsi la typologie des milieux doit malheureusement rester suffisamment grossière pour que les relevés de terrain en nombre restreint, puissent caractériser l'ensemble des milieux cartographiés.

Comme déjà proposé en 2004, il est possible de procéder à une cartographie fine avec une typologie permettant un regroupement ultérieur des types cartographiés afin de lier les unités cartographiées aux relevés de terrain, sachant que cette « généralisation » des relevés ponctuels ne va pas sans problèmes, sur lesquels on reviendra ultérieurement.

L'échelle retenue pour la cartographie des milieux reste la même que celle déjà utilisée en 2004, c'est-à-dire une échelle de travail du 1/5000 au 1/10000^{ème} avec des surfaces cartographiées d'un hectare au minimum. Pour les reconnaissances et interprétations des unités paysagères sur les orthophotos, il a été parfois nécessaire d'effectuer des zooms allant jusqu'à une échelle de 1/1000^{ème}.

Logiciels utilisés

Initialement la cartographie a été réalisée avec MapInfo, version 7.5 (licence machine du Laboratoire GEODE et version évaluation). La première carte des géons (périmètre « Coronat occidental ») datant de 2004 et les cartes d'échantillonnage de 2005 et 2006 ont été produites avec ce logiciel. La mise en forme des cartes et figures, ainsi que la préparation des fonds de carte pour les analyses statistiques cartographiques ont été effectuées sous Adobe Illustrator. Ces fonds de cartes ont été utilisés pour le travail avec PHILCARTO, logiciel de cartographie gratuit

conçu par Philippe Waniez offrant la possibilité d'effectuer des analyses multivariées spatialisées. Une analyse de la « diversité » à partir de l'images satellite SPOT4 a été effectuée avec IDRISI (licence GEODE), tout comme une première analyse non supervisée sur cette même, suivi d'un traitement (généralisation) avec le logiciel ArcGIS9.0. Les résultats peu satisfaisants de la classification et une formation en télédétection dispensée à l'Institut de Photogrammetrie et de Télédétection à l'Université de Karlsruhe (IPF) ont fait appel à une analyse plus poussée des images satellites réalisées avec PCI geomatica sous Linux, disponible sur le Campus de l'Université de Karlsruhe. Cette formation n'a pas pu être totalement terminée en raison d'un emploi du temps occupé par les analyses de sol et les rapports de formation d'études doctorales à l'Université de Karlsruhe avant le retour programmé en France (mars 2007). La non-disponibilité de PCI geomatica sur le campus de Toulouse a provoqué une finalisation de la classification supervisée dans sa version définitive avec ArcGIS 9.1 au printemps 2007 afin de re-échantillonner les relevés en fonction du nouveau découpage du site Natura2000 (restriction sur les Pyrénées Orientales). L'acquisition d'une licence étudiante personnalisée en 2009 a permis le passage définitif à ArcGIS 9.3 (ESRI) plus performant pour l'interprétation des indices paysagers, notamment par l'utilisation de Patch Analyst et Fragstats se basant sur Spatial. Le module ArcScene a permis le calcul de la surface tridimensionnelle. L'apprentissage nécessaire et autodidacte des logiciels MapInfo, Philcarto, Idrisi, ArcGIS et PCI geomatica, ainsi que la manipulation des bases de données (Accès, EndNote pour la bibliographie) et des logiciels de dessin pour la mise en forme (Adobe Illustrator) à l'aide des manuels, *tutoriels* et forums en ligne se situe dans cette même période 2004 à 2009.

3.2.1.3. L'interprétation spatiale de la diversité : typologie taxo-chorologique

Photo-interprétation aboutissant à la carte des géons (carte des unités élémentaires du paysage)

La carte des géons constitue la pièce maîtresse pour l'interprétation spatiale de la géodiversité. Elle s'insère dans la typologie taxo-chorologique de l'analyse transdisciplinaire des milieux (ATM) en constituant le niveau d'analyse idéale pour l'interprétation de la géodiversité du massif.

La typologie des géons, construite en amont et ajustée pendant l'interprétation des photos aériennes, influence obligatoirement très fortement le résultat de cette cartographie manuelle. Une interprétation automatique par segmentation quoique fort intéressante n'aurait pas forcément ôté la subjectivité de l'interprétation du fait d'un paramétrage nécessaire et parfois assez long. Enfin, l'acquisition du logiciel par le laboratoire est venue trop tard par rapport au planning de la recherche doctorale.

La typologie des géons est élaborée en prenant en considération la classification d'images satellites et les autres cartes thématiques physiogéographiques produites. Cependant la résolution est améliorée par rapport à l'image satellite SPOT puisque nous avons utilisé pour l'élaboration de cette carte de la mosaïque des milieux, des photos aériennes orthorectifiées, plus précisément des orthophotos infrarouges de l'année 2000 (résolution ?). Plus exhaustive que la typologie de Corine LandCover, il s'agit d'une typologie adaptée au terrain d'étude.

Il s'agit d'une typologie physiologique, c'est-à-dire se fondant sur les textures, structures et couleurs reconnaissables sur l'image. A titre d'exemple on n'a pas distingué sur la photo aérienne la composition floristique (hêtre / chêne caducifolié ; pin sylvestre/ pin à crochets ; callunaie / rhodéraie etc.), interprétation qui nécessite obligatoirement une vérification sur le terrain irréalisable sur 274 km² dans le laps de temps accordé. C'est la faiblesse de cette typologie par rapport à une cartographie des habitats, mais cette dernière est cependant bien plus longue à réaliser. L'interprétation proprement dite des photos aériennes a toutefois profité des mois passés sur le terrain. Par ailleurs de nombreuses photos du paysage prises lors des relevés et sorties préparatoires permettaient une vérification des milieux identifiés.

Clé d'interprétation

La clé d'interprétation des géons, quoique exhaustive, reste volontairement simple dans le sens qu'elle délimite ce qui est « visible » dans la physiologie du paysage. Il ne s'agit pas d'une cartographie écologique ou floristique.

La typologie des géons constatés sur le massif par photo-interprétation, présentés ci-dessous est le résultat de cette approche physiologique faisant toutefois appel aux connaissances du terrain. Elle est issue d'un élargissement de la typologie proposée en 2004 (Müller, 2004), et tient compte de quelques modifications mineures dans la clé d'interprétation. La typologie se fonde sur le principe d'emboîtement des unités paysagères, c'est-à-dire la possibilité de généraliser en regroupant plusieurs types en sous-groupes et plusieurs sous-groupes en groupe de géons. Nous avons retenus trois niveaux: le premier niveau, le plus détaillé appelé niveau « GEON3C » (avec un code à trois lettres, C de « complet » ou de « complexe ») a été retenu pour la cartographie cherchant à différencier le plus possible les unités paysagères par des critères physiologiques et les connaissances. Sur 122 types reconnus sur le terrain et sur les images aériennes nous avons finalement retenu lors de la cartographie seulement 89 types. Un premier regroupement en sous-groupes du niveau « GEON3S » (code à trois lettres, S de « simplifié ») permet de désigner réduire considérablement le nombre des unités et d'associer en même temps les relevés aux géons cartographiés. Tous les types de géons du niveau « GEON3C » n'ont en effet pas fait l'objet d'un relevé et pour mettre en relation la cartographie avec les données de terrain un regroupement s'avérait indispensable. Cela permet également de regrouper les géons plus finement différenciés (par exemple lande à genêts LAG) avec des unités paysagères pour lesquels une différenciation fine n'a pas été possible (lande indifférencié, LAN pouvant désigner une lande mixte ou dont la composition floristique n'est pas reconnaissable sur la photo aérienne). Le premier niveau de regroupement GEON 3C se caractérise par 21 types qui s'individualisent aisément dans le paysage. Enfin, un dernier niveau de regroupement très grossier, « GEON2 », caractérisé par un code à deux lettres résulte en un petit nombre de groupes de géons, plus précisément 8 groupes facilement distinguable : milieux à dominante rocheuse, forêt de résineux, forêts mixte, forêts de feuillus, zones humides (et ripisylves), artifices, eaux de surface et milieux « ouverts » (prairies et landes essentiellement). Ils existent plusieurs variations possibles pour ce dernier niveau de regroupement qu'on peut également décliner en 9 groupes (en distinguant les prairies et pelouses des landes et milieux complexes) ou en 12 groupes (en distinguant de surcroît la végétation rivulaire des zones humides et parmi les forêts de résineux les forêts claires et à pinèdes dominantes). Ce dernier

niveau de regroupement permet de tenir compte de plusieurs relevés par groupe et de caractériser ainsi la diversité au sein de chaque groupe.

La clé d'interprétation des géons s'inspire de différentes sources, entre autre de la typologie des formations végétales de Godron et al. (Godron, Daget *et al.*, 1983) distinguant ligneux haut (LH, ligneux bas inférieurs à 2 m (LB) et herbacées, permettant de différencier les milieux ou domine le recouvrement en ligneux hauts, ligneux bas, herbacée ou d'identifier des formations complexes. Nous avons également tenu compte de la reconnaissance des différents types de boisements ou de formations végétales comme les pinèdes ou landes à genêts facilement reconnaissables sur les photos aériennes infrarouges en tenant compte également de la cartographie existante (images classifiés SPOT, carte de Gausson, carte des habitats). De ce fait, la typologie des géons se distingue ainsi de la cartographie réalisé pour six communes du massif par Nuria Roura i Pascual et Inga Ertel se fondant sur la typologie de Godron et de Lambert (Roura i Pascual, 2001; Roura i Pascual, 2002; Ertel, 2003) puisque elle tient compte, au moins dans le niveau d'analyse détaillée « 3C » de la nature du substrat ou des formations végétales.

Aspects pratiques de la photo-interprétation

Le problème essentiel de la cartographie des géons concerne les aspects minéralogiques et le substrat. Un géon en milieu calcaire ne correspond pas à un géon sur granite mais la végétation couvre, au sens propre du terme, ces différences au moins à l'échelle de la photo-interprétation. C'est ainsi que nous nous sommes fondés lors de la pratique de la photo-interprétation également sur les connaissances du terrain, ainsi que sur les différents cartes ayant servi pour l'échantillonnage et la reconnaissance du terrain (carte géologique, ...). Toutefois nous avons ôté de la clé d'interprétation des milieux tels que « chênaie pubescente sur substrats carbonatés » ou « yeuseraie sur silice », puisque les limites sont (à la différences de certains milieux rocheux.) pas nettement visibles sur la photo aériennes.

La clé d'interprétation s'est construit au fur et à mesure à partir d'une clé existante en 2004, et se fonde sur la reconnaissance des plages plus ou moins homogènes reconnues lors de la cartographie, fréquemment identifiés grâce aux nombreux photos (près de deux milliers) pris sur le terrain. La résolution de images aériennes infrarouge de l'année 2000, légèrement inférieure à celle d'une série orthophotos disponibles pour l'année 2006 a permis de travailler à une échelle d'environ 1/2500 (variant de 1/2000 à 1/5000). Les unités identifiées étaient parfois inférieurs à 1 ha et ont été ainsi souvent regroupés (*multipart polygons*) par exemple en ce qui concerne des plages d'éboulis, des affleurements rocheux ou des petites zones humides peu espacés. Parmi les plu petites unités identifiées figurent notamment des zones humides et bâtiments isolés dépassant toutefois 200 m² et le plus souvent 1000 m².

Le critère d'homogénéité est mise à l'épreuve dans les secteurs ou de nombreux micro-milieux (pelouses, landes, bosquets, éboulis, ...) se juxtaposent sur une espace très réduit, ce qui est notamment le cas à l'étage subalpin et alpin. Le nombre de patches (unités paysagères) cartographie par kilomètre carré augmente alors de façon considérable et une mosaïque paysagère très dense exprime ainsi directement la diversité paysagique. La généralisation de zones très complexes dépend là beaucoup de l'interprète et influence forcément la caractérisation de la diversité paysagique. Enfin, le critère d'homogénéité se heurte aussi aux transitions graduelles et

c'est la clé d'interprétation livre une aide précieuse à la délimitation par le taux de recouvrement des différents composantes (ligneux, arbustes, herbacées, sol nu). Même si les limites définitives restent assez subjectives la photo-interprétation dispose d'un avantage par rapport à une segmentation automatique, par ailleurs lourde à paramétrer et de ce fait pas si objective que l'on pourrait croire). Les multiples considérations prises en compte par l'interprète, comme savoir identifier différents types d'arbustes et d'arbrisseaux par leur couleur texture et ombre, différencier un fourré de jeunes pins d'une lande fermée, privilégier la taux de recouvrement des rochers plutôt que celui des arbustes, distinguer une prairie à gispet d'une pelouse rase à nard, ou une friche d'un potager fait que la carte résultant n'est pas fait à l'aveuglette.

La clé d'interprétation présentée ci-dessous et la carte résultante est le reflet de la faisabilité de la photo-interprétation par rapport à la qualité des images et des connaissances de terrain. Certains choix ne sont pas anodins pour le résultat de l'interprétation, comme par exemple le fait que nous n'avons pas distingué outre mesure les différents stades de fermeture de landes créant une mosaïque importante et très éphémère. En comparant les images de 2000 et 2006 de très nombreuses différences ont pu être constatés sur la soulane entre Sansa et Oreilla du fait des brûlages dirigés effectués dans cette même période. Nous nous sommes cantonnées à la distinction de landes denses (à genêt), landes, lande-pelouses/ lande-prairies et prairies/pelouses. Le seuil permettant de les distinguer est un recouvrement de 50% des formations herbacées ou buissonnées. Les landes brûlées et pâturées avec un recouvrement relativement équilibré (>25%) d'herbacées, d'arbrisseaux et arbustes) forment des milieux complexes que nous avons regroupés sous le terme de « lande-pelouse » au sens de Da Lage et al. (Da Lage et Metaillié, 2000) : « *formation végétale en mosaïque associant buissonnaie basse et ouverte et tapis herbacées ras, plus ou moins continu* » que nous avons décliné ensuite par exemple en lande-pelouse rocheuse (LPR), lande-pelouse boisée (LPB) avec respectivement >10% de recouvrement de roche ou d'arbres.

Pendant la cartographie nous avons parfois identifié très exactement la type de formation végétale (callunaie, lande à genêt, pinède, ...) alors que parfois une distinction nette n'a pas été possible aboutissant à des types « indifférenciés » (lande subalpine LAP, lande LAN ou forêt de résineux RES) même dans le niveau supérieur 3C. Les milieux plus finement différenciés peuvent alors être considérées comme « variantes secondaires » pouvant être regroupé avec un type principal du niveau 3C. On peut y voir une faiblesse de la clé d'interprétation puisque la distinction d'une lande indifférencié et d'une lande à genêt crée une diversité quelque peu artificielle même si on peut bien prétendre qu'il y a une réelle différence entre une lande à genêt pure, une lande mixte de genêts et de genévrier, une lande à genévriers et une lande à arbustes non identifiés. La distinction explicite de la lande à genêts et de la pinède se justifié aussi par la présence dominante de ces formations, alors que nous avons abandonnées par exemple la callunaie identifié avec certitude seulement sur 6 patchs. Un regroupement ou une distinction plus fine par vérifications sur le terrain sont toujours possibles et peuvent aboutir à de cartes plus fortement généralisé ou plus détaillées.

Quoi qu'il en soit, la légende initiale ne pourrait être plus exhaustive encore et les unités paysagères cartographiés, présentées ci-dessous reflètent ainsi la richesse de la mosaïque paysagère cartographié et les regroupements possibles.

Tab. 3.30 : typologie des géons cartographiés (version condensée)

GEON 2S 8 groupes		9 groupes		12 groupes		GEON 3S 21 groupes		GEON 3C description 89 types	
1								ANT	artifices non différenciés
2						ANT	artifices non différenciés	URB	zones urbanisés
3								POT	potagers et jardins
4	AT	milieux fortement anthropisés	AT	AT		CUT	cultures et champs	CUL	cultures, vergers, sur terrasses ou non
5							surface en eau permanente ou intermittente	LAC	lac
6	EA	surface en eau	EA	EA		EAU	surface en eau permanente ou intermittente	RET	retenu d'eau artificielles
7								TOU	zone humide tourbeuse (à nard etc.)
8								PBF	bas-fonds humides, non boisés
9						PZH	zone humide herbacée	ZHV	zone humide en position de versant
10					ZH	ZHB	zone humide boisée	ZHB	zone humide boisée indifférenciée
11							ripisylves et végétation boisée des talwegs	RIP	ripisylve non différenciée
12	ZH	zone humide	ZH		RI	RIP	talwegs	RIV	végétation rivulaire
13								ROC	milieux à roche affleurante, non différenciés
14								CAA	roche carbonatée affleurante
15								RSA	roche siliceuse affleurante
16								RBS	roche affleurante en blocs
17						ROC	roche affleurante dominante	ROB	boisements sur affleurement rocheux
18								EBO	éboulis et milieux rocailloux indifférenciés
19								COE	couloirs à éboulis et blocs, peu végétalisés
20								EBV	éboulis et couloirs d'avalanches végétalisés
21								EBS	éboulis et blocs siliceux
22						EBU	éboulis et blocs carbonatés	EBC	éboulis carbonatés
23								EZR	milieux à sol nu dominant (indifférenciés)
24								EZS	milieux à sol nu dominant (indifférenciés) sur silice
25	RO	milieux végétalisés rocheux	RO	RO			milieux à sols nus dominants et versants dénudés	EZP	milieux à sol nu dominant, à herbacées
26								EZL	milieux à sol nu dominant, à végétation arbustive
27								EZB	milieux à sol nu dominant, boisés
28								PEL	pelouses subalpines et alpines
29								PER	pelouses sols superficiels / affleurement rocheux
30								PEB	pelouses subalpines boisées
31								PRF	prés et prairies de fauche
32								PRA	prairies et pelouses pâturées
33								PRT	prairies et pelouses pâturées (sur terrasses)
34								PRH	prairies mésophiles à hydroclines
35								PRR	pelouses ou prairies sur sols superficiels ou rocheux
36								PRE	prairies arbustives
37								PRB	prairie boisée
38			P	P		PRA	pelouses et prairies	LPL	lande-pelouse indifférenciée
39								LPB	lande-pelouse boisée
40								LBR	lande-pelouse boisée et rocailleuse
41						LP		LPR	lande-pelouse rocailleuse
42								LAN	lande indifférenciée
43								LAG	lande à genêts
44								LAP	lande alpine (et subalpine)
45								RHO	rhodoraie
46								LGD	lande à genêts dense
47								LAR	lande rocailleuse
48								LAH	landes méso- à hydroclines (supr. médit. / montagnardes)
49								LGB	lande à genêts boisée
50						LAN	landes et buissonnaies	LAB	lande boisée
51								FRI	friches indifférenciés
52								FEF	friche d'exploitation forestière
53								LPT	lande-pelouse (milieu complexe) sur terrasses
54								MAG	maquis et garrigues
55								FRM	friches méditerranéennes
56	PL	landes, friches, prairies et pelouses	L	L		MAG	maquis et garrigues	CVO	garrigues, maquis, friches à boisement de chêne vert
57								FRC	feuillus de recolonisation
58								FRC	feuillus de recolonisation indifférenciés
59								FME	forêts à feuillus (sub-)méditerranéens indifférenciés
60								CHO	chênaie (sub-)méditerranéenne ouverte, indifférenciée
61								CMR	forêt méd. (chênaie) sur sols superficiels / affleurement rocheux
62								CHV	yeuseraie indifférenciée (assez ouverte)
63								CVD	yeuseraie dense
64								CHP	chênaie pubescente
65								FEU	forêt de feuillus, indifférenciée
66								HET	hêtraie (indifférenciée)
67	FF	forêts de feuillus	FF	FF		FEU	forêts montagnardes à feuillus	FFR	forêt de feuillus sur sols superficiels / affleurement rocheux
68								FFO	forêt de feuillus claire
69								FOM	forêt mixte indifférenciée
70								FMM	forêt méditerranéenne mixte
71	FM	forêts mixtes	FM	FM		FOM	forêts mixtes de feuillus et de conifères	FMO	forêt mixte claire
72								FMR	forêts mixtes sur sols superficiels / affleurement rocheux
73								RES	forêt de résineux mixte ou indifférenciée
74								REB	forêt de résineux issu de reboisement
75								RED	forêt de résineux dense
76								RSO	forêt de résineux ouverte indifférenciée
77								SAP	sapinière indifférenciée
78								MEL	mélèzière
79						RES	forêt de résineux	EPC	péssière
80								PIJ	jeune pinède
81								PID	pinède dense
82								PIN	pinède (typique ou indifférenciée)
83								PIB	pinède de reboisement récent
84								PIH	pinède "humide" (faciès à végétation hygrosclérophile)
85						RS	pinèdes	PIR	pinède sur sol nu, blocs ou roche affleurante
86								PIO	pinède ouverte indifférenciée
87								POH	pinède ouverte à abondance d'herbacées
88								POL	pinède ouverte à abondance d'arbustes
89	RS	forêts à résineux	RS	RSO		PIO	pinèdes claires	POB	pinède ouverte issu de reboisement
								POR	pinède ouverte sur sol nu, blocs ou roche affleurante

Typologie : Anja Müller. cf. annexes pour la clé détaillée avec pourcentages de recouvrement requis et résultats de la cartographie

3.2.1.4. Utilisation des indices paysagers ou « landscape metrics » et analyse spatiale

Indices paysagers : les « landscape metrics »

Lors de l'application d'indices de diversité sur les *patches* cartographiés, de quelque nature qu'ils soient, il faut garder à l'esprit que la diversité mesurée dépend toujours de l'échelle, ou plus précisément de « résolution » des cartes sur lesquelles ils s'appliquent. Puisque la diversité est une mesure relative, les indices de diversité doivent permettre de comparer deux ou plusieurs *patches* (leur contenu), secteurs, unités paysagères (etc.) pour pouvoir distinguer les organisations simples des organisations complexes, différencier les paysages monotones des paysages hétéroclites, et séparer les structures uniformes des structures très variées. La quantification de cette diversité doit alors se faire par des mesures reproductibles et suffisamment intelligibles pour qu'on puisse interpréter les résultats issus de ces « formules » de diversité

La quantification des structures « paysagères » et plus précisément la mesure de la diversité spatiale par « les indices paysagers » (*landscape metrics* en angl. ou *Landschaftsstrukturmaße* en allm.) est aujourd'hui assez facile à réaliser. Les indices paysagers sont utilisés communément depuis les années 1990 avec l'avènement des systèmes d'informations géographiques, surtout dans les études orientées vers l'écologie ou l'écologie du paysage. De nombreuses études et ouvrages discutent ces indices, leurs applications possibles et leur limites (Buffaria, Willems *et al.*, 05/2000; Eiden, Kayadjanian *et al.*, 05/2000; Gallego, Escriabno *et al.*, 05/2000; O'Neill, Krummel *et al.*, 1988; Turner, O'Neill *et al.*, 1989; Turner, 1990; Scheiner, 1992; McGarigal et Marks, 1995; Riitters, O'Neill *et al.*, 1995; Cain, Riitters *et al.*, 1997; Hargis, Bissonette *et al.*, 1997; Blaschke et Petch, 1999; Herzog, Lausch *et al.*, 1999; Lang, 1999; Walz, 1999; European Commission / E.E.A., 2000; Gallego et Escriabano, 2000; Walz, 2000; Herzog, Lausch *et al.*, 2001; Nagendra, 2002; Wu, Shen *et al.*, 2002; Ivits et Koch, 2003; Ivits-Wasser, 2004; Yue, Liu *et al.*, 2004; Antrop, 2005; Botequilha Leitão, Miller *et al.*, 2006; Kleinschmit et Walz, 2006; Lang et Blaschke, 2007; Germaine et Puissant, 2008; Herbst, Förster *et al.*, 2009) et ne nécessitent pas une discussion approfondie ici.

Dans la multitude des indices paysagers proposés, il reste cependant à décider quels indices on souhaite utiliser pour caractériser la diversité paysagère spatiale.

Typologie des indices paysagers

Dans le manuel d'utilisateur de FRAGSTATS, logiciel développé pour l'application des indices paysagers par implémentation dans le système d'information géographique ArcGIS, son auteur, Kevin McGarigal présente une typologie des nombreux « metrics » proposés pour l'étude des mosaïques paysagères (McGarigal, Cushman *et al.*, 2002). Les différents indices paysagers (environ 180) y sont décrits.

Reposant sur le modèle « patch-corridor-matrix » largement utilisé en écologie du paysage, il distingue trois différents niveaux d'analyse. Les « *Patch-level-metrics* » analysent chaque *patch* (unité paysagère, par exemple le « géon ») individuellement, par exemple, leur taille, contour ou contexte spatial. L'intégration du patch cartographié au sein d'une classe d'autres unités paysagères du même type (*cf.* typologie des géons) permet l'application des indices du niveau

supérieur, les « *class-level-metrics* » : les propriétés d'un sous-ensemble sont alors évaluées, par exemple en établissant des moyennes pour la classe ou en étudiant la distribution spatiale des *patches* d'une classe permettant par exemple l'étude de fragmentation des habitats. Enfin le dernier niveau, les « *landscape level metrics* » tiennent compte de l'ensemble spatiale avec les différents types d'unités paysagères étudiés et qui sont très nombreuses. Les indices de diversité ou d'hétérogénéité sont parmi les plus connus.

Une autre façon de classer les indices paysagers est de différencier les indices de *composition* (*composition* en angl. ou *Kompositionsparameter* en allm.) des indices de *configuration spatiale* (*spatial configuration* en angl. ou *Konfigurationsparameter* en allm.). Les indices d'abondance, diversité, richesse ou *evenness* sont des indices de composition qui permettent la quantification d'un type d'unités paysagères dans un ensemble spatial (appelé *landscape*). Les indices de configuration spatiale sont plus complexes ou plus difficiles à quantifier puisque ils tiennent compte, comme le nom l'indique, de la configuration, de la position ou de l'orientation des unités paysagères dans une classe ou dans un ensemble géographique. A titre d'exemple on peut citer l'indice de *contagion* (O'Neill, Krummel *et al.*, 1988) qui désigne le degré d'agrégation qu'on peut constater dans une classe d'unités paysagères.

Choix des indices paysagers appropriés pour la mesure de la diversité

Une revue de la littérature citée ci-dessus permet de retenir plusieurs indices paysagers qui seront appliqués et discutés dans la troisième partie, volet « diversité latérale ». Il apparaît que les corrélations entre différents indices sont souvent assez importantes (*cf.* (Hargis, Bissonette *et al.*, 1997) et que les changements d'échelles, plus précisément les changements du rapport entre l'échelle et la taille des unités paysagères (*grain size*) peuvent provoquer des résultats très différents selon les indices retenus (voir par exemple (Wu, Jelinski *et al.*, 2000; Wu, Shen *et al.*, 2002). Ces considérations mettent en garde contre une utilisation abusive des indices paysagers.

Si on tient compte de la définition de Peters et Goslee, mentionné plus (chap.1.2.2.2) (Peters et Goslee, 2001) la *diversité paysagère* décrit le nombre et la dominance de différents « *patch types* » (types de géons) dans un espace hétérogène. Cela suggère que l'on tient compte des indices de « *dominance* », « *hétérogénéité* », « *richesse* » et « *evenness* ». En effet ces deux derniers indices rentrent dans le calcul des indices de diversité connus et pourront donc être exclus.

Les plus évidents des indices paysagers se référant à la diversité sont effectivement les indices de diversité de Simpson (appelé SIDI dans FRAGSTATS) et de Shannon (appelé SHDI). Ils tiennent compte du nombre de *patch types* (types d'unités paysagères) qu'on peut qualifier de *richesse* (*richness*) et de la proportion (surfaccique) occupée par ce *patch type*, qu'on appelle communément *evenness* et qui décrit donc la répartition proportionnelle des classes. Puisqu'il s'agit de paramètres de composition, ils ne tiennent cependant pas compte de la répartition spatiale des unités paysagères comme l'illustrent par ailleurs Eiden *et al.* (Eiden, Kayadjanian *et al.*, 05/2000).

Application des indices paysagers sélectionnés à la zone d'étude.

La diversité étant une mesure relative, un indice de diversité appliqué à un ensemble d'unités paysagères (par exemple à l'échelle du massif) ne présente aucun d'intérêt si on ne peut

pas comparer sa valeur à une autre. Ainsi les « cartes de diversité » générées à partir de l'image satellite SPOT ou les cartes « manuelles » construites pour diverses couches thématiques préexistantes (carte des habitats, carte structures de la végétation et carte de géons de 2004) mettent en évidence que la force de ces indices repose dans la comparaison de différents secteurs ou dans une comparaison de la diversité dans une étude diachronique. Une analyse de la diversité paysagique à partir de la carte des géons repose ainsi sur une analyse par secteurs du massif. Les bassins versants et facettes topographiques constituent à cet égard un cadre idéal pour discuter la qualité des composantes de diversité mais posent problème si on souhaite comparer des mesures quantitatives de la diversité. Il peut être dans ce dernier cas nécessaire de disposer d'unités spatiales comparables, autrement dit d'appliquer une grille d'analyse sous forme rectangulaire ou hexagonale. Sans insister sur l'utilisation de trop nombreux paramètres sur une multitude de secteurs, on utilisera entre autres les indices de Shannon et de Simpson pour mettre en évidence une comparaison de ces deux paramètres et de leur méthode de calcul, illustrés par l'exemple du secteur Mont Coronat occidental.

Quelques considérations générales quant à l'application des indices de diversité de Shannon et Simpson

Les deux indices de diversité les plus populaires, l'indice de Simpson (SIDI) et l'indice de Shannon (SHDI) se ressemblent puisqu'ils ne tiennent pas seulement compte de la richesse (spécifique, taxonomique, typologique), mais aussi de l'*équitabilité* (*evenness*), c'est-à-dire d'un « facteur de taille » des éléments qui sont comparés. L'*evenness* mesure l'abondance relative (ou fréquence) des différents types dans un ensemble. A titre d'exemple, si on mesure la « diversité » d'un paysage en étudiant les unités paysagères dans ce paysage, on ne tient pas seulement compte du nombre de différentes unités paysagères (*richness*), mais aussi de la surface relative occupée par les différentes unités paysagères (*evenness*). Ces mesures de diversité sont aussi appelées des mesures d'hétérogénéité puisqu'elles ne considèrent pas seulement la richesse des composantes (les types d'individus dans un ensemble), mais mettent en évidence la dominance ou, au contraire, l'équilibre entre différents types d'individus.

L'indice de H' de Shannon (ou Shannon-Wiener) est issu de la théorie de l'information comme une mesure d'entropie et s'utilise très couramment en biologie (Magurran, 2004). La formule peut varier en fonction du logarithme utilisé dans la formule (\ln , \log_2 ou \log_{10}). On utilise également l'indice E de Shannon pour mesurer l'équitabilité (*evenness*) ce qui consiste à diviser H' par la valeur maximal théoriquement possible pour H' . On divise alors H' par le logarithme naturel du nombre total des individus (unités paysagères, espèces...), ce qui revient à comparer H' avec des fréquences parfaitement équilibrées pour chaque type d'individus. Si on est en présence d'un seul individu, l'indice H' de Shannon indique une valeur nulle, la valeur de l'indice augmente avec une diversité croissante.

L'indice de Simpson n'utilise pas les logarithmes mais consiste à mesurer la probabilité que deux individus sélectionnés au hasard appartiennent au même type. A la différence de l'indice de Shannon, les valeurs de l'indice de Simpson varient entre 0 et 1, 0 étant la diversité maximale, constituée de par un grand nombre de types avec des fréquences parfaitement équilibrées. Il existe une certaine confusion quant à l'indice D de Simpson puisqu'on utilise souvent en biologie l'indice

de diversité de Simpson qui consiste à soustraire d'indice de Simpson de 1 (1-D) ou l'indice réciproque de Simpson qui consiste de diviser 1 par la l'indice de Simpson (1/D). Ces deux derniers indices dérivés sont soi-disant plus intuitives pour la mesure de la diversité, puisque leur valeur de l'indice augmente avec la diversité. Autant le logiciel FRAGSTATS pour le calcul des indices paysagers que le logiciel de gestion des données floristiques TURBOVEG utilisent en effet la formule « 1-D ». En outre, on peut comme pour l'indice de Shannon mesurer uniquement l'équitabilité (ou dominance) avec l'indice d'équitabilité de Simpson (*Simpsons measure of evenness* $E_{1/D}$) en divisant la valeur réciproque de l'indice de Simpson par le nombre total d'individus ((1/D)/N).

$$SHDI = -\sum_{i=1}^m (P_i \cdot \ln P_i) \qquad SIDI = 1 - \sum_{i=1}^m P_i^2$$

Fig. 3.10 a et b : les indices paysagers de Shannon (SHDI = H') et Simpson (SIDI = 1-D)

Source : McGarigal, manuel d'utilisation de FRAGSTATS, avec m= nombre d'individus (unités paysagères), P_i = proportion (surfactive) relative occupée par l'individu (l'unité paysagère) « i ».

On peut comparer le résultat ces indices de diversité pour un paysage « artificiel » (voir fig. 3.11 ci-dessous) mettant en évidence la distribution de deux à quatre unités paysagères (d'après Eiden, Kayadjanian *et al.*, 05/2000 ;, modifié). Pour un ensemble de 36 individus (carrés) de 4 types (blancs à gris foncés) on peut observer que les indices de Shannon (H') et de Simpson (D) indiquent une diversité croissante (valeurs décroissantes pour D) avec l'augmentation du nombre de types (comparer les exemples a, b, c), ainsi que lors d'une répartition plus équitable des fréquences (comparer les exemples d et e). En revanche la répartition des individus dans l'espace n'est pas prise en compte, comme le suggère l'exemple f).

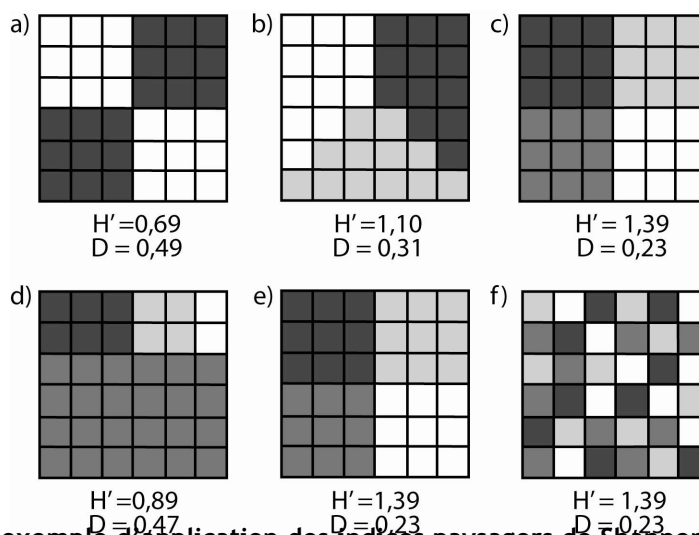


Fig. 3.11 a - f : exemple d'application des indices paysagers de Shannon (H') et Simpson (D)

Source : Eiden *et al.* (2000), modifié et élargie. Calculs réalisés avec Excel

Les formules de Shannon et de Simpson suggèrent donc qu'un paysage avec des unités paysagères au parts relatives assez équilibrées est plus diversifié qu'un paysage où un type d'unité paysagère domine les autres types. La cartographie paysagique suppose que deux types identiques disposés l'un à côté de l'autre seront cartographiés dans un seul patch, contrairement aux exemples a) à e) exposés ci-dessus où les individus d'un même type sont disposés l'un à côté de l'autre. En ce sens, les mesures d'hétérogénéité rendent indirectement compte qu'il existe une mosaïque

spatiale, même si celle-ci ne peut être quantifiée avec les indices de Simpson et de Shannon. Il ne reste pas moins que le simple indice de « richesse », recensant le nombre de types différents au sein d'un paysage reste un indice de diversité important. Par ailleurs, il est fort compréhensible que le nombre d'unités paysagères et les surfaces cartographiées dépendent de l'échelle de cartographie.

En ce qui concerne les indices de diversité de Shannon et de Simpson, il s'agit de mesures « non paramétriques » de la diversité (Magurran, 2004), ne nécessitant pas de distribution statistique particulière des individus. Toutefois l'utilisation de ces formules suppose une sélection probabiliste des individus issus d'un ensemble de taille suffisante (voir illimitée) en présumant que chaque type (espèces, unités paysagères) disponible a été saisi. Si cette condition semble inappropriée pour un jeu de données (échantillonnage non probabiliste par quotas...) il est plus adéquat d'utiliser l'indice de Brillouin (Magurran, 2004), dont le calcul est un peu plus complexe. Non proposé par FRAGSTATS ou TURBOVEG il a pu cependant être appliquée à certains matrices de données grâce au macro complémentaire pour tableurs (Excel) proposé par l'Université de Reading (Grande Bretagne)¹¹⁸.

La différence entre les indices de Shannon et de Simpson, et plus généralement entre les indices d'information (*information statistics*) et les indices de dominance et d'équitabilité (*dominance and evenness measures*) est justement une meilleure prise en compte de l'équitabilité par l'indice de Simpson. L'indice de Shannon est plus sensible à la richesse spécifique et cet indice dépend davantage de la taille des échantillons et rends ainsi plus difficile une approche comparative de la diversité (Magurran, 2004). Pour cette raison l'indice de Simpson est souvent considéré comme plus robuste, surtout si le nombre de types varie fortement d'un ensemble à l'autre. On privilégiera donc ce dernier, même s'il est toujours intéressant de comparer les indices pour mieux comprendre la structure des échantillons et les origines de l'hétérogénéité paysagique ou mésologique.

La signification de la résolution pour l'application du Shannon's Diversity Index illustré par l'exemple Corine Landcover

Un exemple peut illustrer l'importance de la typologie utilisée pour exprimer la diversité paysagère par une cartographie des indices de la diversité.

Le rapport sur Corine2000 LandCover (Commission Européenne, 2000¹¹⁹), abordée en chapitre 1.2 illustre l'exemple de l'application de l'indice de diversité de Shannon à l'échelle européenne. Différents approches sont possibles en fonction du choix des unités de regroupement retenus (dans l'exemple étudié sur des unités administrative et des délimitations agricoles/paysagers) ou encore une approche des unités de références dynamiques, aussi appelés « moving windows » (fenêtres dynamiques). Quoique les auteurs de la section « Quantifying Landscape Structures », du rapport en question (Eiden, Kayadjanina et Vidal in Commission Européenne, 2000 : p. 16-51) précisent que « *the hard cores of diversity and homogeneity of the European territory are well delimited. [...] areas like the alpine chain [...] are characterized by their high diversity.* », il apparaît que c'est surtout les zones de piémont et non les zones centrales des

¹¹⁸ <http://www.reading.ac.uk/ssc/software/diversity/diversity.html>

¹¹⁹ <http://ec.europa.eu/agriculture/publi/reports/corine2000.pdf>

chaînes de montagne où l'indice de Shannon prends les valeurs les plus importantes {Eiden, 05/2000 #417 : pp.40-48, map 2.17 et 2.18}. Ce résultat peut surprendre mais s'explique par le choix des classes et la taille des patches retenus pour cette étude. En comparant l'indice de diversité pour les « régions agricoles » des Pyrénées Orientales (*cf. op. cit* , p. 38, map 2.15) il apparaît que la « diversité paysagère » *sensu* CE est la plus importante en Cerdagne et dans le Roussillon (SHDI : 1.5-1.7), suivi par le Capcir tandis que le Vallespir et Conflent (SHDI 1.1-1.3) comptent parmi les régions les plus « pauvres » des Pyrénées en ce qui concerne la diversité paysagère. D'abord, la taille assez grande des pixels considérés (1 ha : 100 m x 100 m) auquel est attribué une seule classe efface toute diversité spatiale plus fine. En outre une agglomération des classes CLC (level2 : 15 classes) en seulement neuf classes (*op. cit.* p.16) a pour conséquence que l'ensemble du terrain étudié (Madres-Coronat) est constitué par seulement trois classes (source : Cartographie interactive de l'IFEN) : essentiellement de la « *végétation naturelle* » (végétation arbustive ou herbacée) et des *forêts*, ainsi que les *espaces ouverts sans ou avec peu de végétation* occupant le parties sommitales. Le choix de neuf classes explique ainsi l'homogénéité relative des régions de montagne : parmi huit classes terrestres est donne priorité aux classes à vocation agricole (4 classes) qui ne tiennent pas compte de la végétation herbacée ou arbustive (comme les pâtures non fauchées) attribué alors à une seule classe de végétation dite naturelle, se distinguant seulement des forêts, surfaces minérales et artificielles.

En conséquence on retiendra que la diversité globale du massif varie en fonction du nombre de types d'unités paysagères (géons) retenus et qu'une légende suffisamment exhaustive permettra de mieux mettre en évidence des différences de diversité au sein du massif.

3.2.2. Outils statistiques - Variables et mesures

3.2.2.1. Objets, variables, mesures

Considérations générales

Les données issues des relevés de terrain, des analyses au laboratoire ainsi que de l'exploration spatiale cartographique par télédétection satellitale et par photo-interprétation permettent de constituer un jeu de données dont les variables et objets se situent à des échelles différentes. Les données exploitables se présentent sous forme de tableaux de données rectangulaires, les matrices, sujettes à l'analyse de données multivariées, mais dont la nature diffère assez considérablement en fonction du type de donnée.

Chaque relevé (*sample unit*) est caractérisé par de nombreux attributs très différents comme par exemple l'exposition du versant, le volume d'un CNL, le nombre d'hoplexols, le nombre d'espèces, le pH moyen des horizons B, l'absence d'un horizon Oh, la présence d'artifices construits etc. On dispose alors d'un jeu de données multivariées très volumineux. Des effets de redondance et des relations internes peuvent être nombreuses, tout comme les valeurs extrêmes (« *outliers* » (angl.) ou « *level metrics* » (allm.)) qui seront à écarter dans de nombreux cas, puisqu'ils constituent un problème majeur dans le traitement des données, perturbant notamment l'interprétation des analyses multivariées. Par ailleurs, si le jeu de données est complexe il est difficile de trouver des relations causales directes et le choix de l'analyse est obligatoirement assez restrictif : « *with the increasing complexity of the system studies, the restrictions to be met when defining research objectives increase* » (Jongman, Ter Braak *et al.*, 1995)

Plusieurs objectifs structurent l'analyse des données. D'abord une exploration des données floristiques, pédologiques et mésologiques doit permettre de mettre en évidence des « facteurs » ou gradients expliquant la variation (diversité) entre les relevés réalisés et d'identifier des paramètres environnementaux significatifs. Une identification de groupes plus ou moins homogènes pour les trois types majeurs de données (floristiques, pédologiques, mésologiques) constitue une seconde étape dans laquelle peuvent intervenir les considérations de l'exploration initiale. En clair il s'agit de tenir compte des axes factoriels ou composantes dans une classification numérique. La prochaine étape, plus délicate, cherche à mettre en évidence des similitudes entre ces différentes données et d'établir selon les pistes d'interprétation suivies des mesures plus précises des corrélations entre certaines variables.

Corrections nécessaires

Depuis le relevé sur le terrain, en passant par l'informatisation des relevés jusqu'à la constitution des matrices définitives, des erreurs de manipulation ne sont pas rares et ne se détectent qu'en partie par des vérifications mathématiques (par exemples mise en opposition de la somme des lignes et de la somme des colonnes pour les volumes du relevé mésologique). Des erreurs de détermination des espèces ou de mauvaise informatisation se détectent difficilement (exemple d'une erreur d'informatisation détectée : *Calluna vulgaris* à la place de *Carlina vulgaris*

en milieu supraméditerranéen). Malgré des heures passées sur les vérifications, des erreurs peuvent donc persister et il convient de conserver un regard critique à l'égard des matrices présentées dans les annexes.

Types de données et matrices

De manière générale les objets sont considérés en individus statistiques (relevés, hoplexions, échantillons, unités cartographiés, espèces,...) disposés en ligne, tandis qu'un grand nombre de variables quantitatives, nominales et ordinales (corps naturels localisés, pH, classes texturales, indices divers et degré d'anthropisation, ...) appelées ici aussi mesures ou paramètres permettent de décrire ces individus et sont habituellement disposées en colonnes. L'emboîtement des échelles d'analyse peut provoquer le fait qu'un individu devienne variable et vice-versa, comme l'illustre l'hoplexion, à la fois enceinte des corps naturels localisés et composante de l'holoplexion.

Nombreuses et souvent très amples, les matrices utilisées pour l'ordination et classification des données ne seront que partiellement reproduites dans les annexes. Leurs caractéristiques de dispersion et les indices de tendance centrale seront présentés dans le chapitre des résultats. Pour une meilleure vue d'ensemble, on présentera dans les tableaux suivants les principaux types d'individus et variables retenus par secteur d'analyse. Les secteurs d'analyse ne seront pas à confondre avec des analyses sectorielles : On entendra par secteurs d'analyse les types de données (de diversité) analysés, allant des données « générales » (informations générales sur le milieu dans lequel a eu lieu le relevé), en passant par les données « mésologiques » issues des relevés mésologiques (corps naturels, enceintes verticales du holoplexion, ...), aux données disciplinaires (pédologiques et floristiques).

Pour les analyses multivariées effectuées, le nombre de variables ne doit pas dépasser le nombre d'individus, raison pour laquelle nous avons réduit les variables de départ par élimination successive des variables peu significatifs. En ce qui concerne les variables continues directement mesurées au laboratoire ou par analyse spatiale via SIG, les valeurs ont été arrondies à une décimale (pH, % relative des CNL, ...) sinon au chiffre entier (conductivité électrique, capacité au champ nFK, capacité d'échange cationique KAKeff, ...).

Tab 3.31 : sélection de quelques variables « complémentaires » des relevés retenus pour l'analyse de la géodiversité

variables	code	unités	nb. modalités /classes	Type variable	exemple
Altitude du relevé / niveaux altitudinaux	ALT	[m]	(X) 5 cl.	M (O, N)	
Exposition de la parcelle	EXP	dg. [°]	(X) 4 / 8 cl.	M (O, N)	
Pente (moyenne sur la parcelle)	PEN	dg. [°] % ; cl.	(X) 3 / 6 cl.	M (O, N)	
bassin versant / secteurs	BV	cl.	6 / 35 classes	N	2 BV Nohèdes
courbure	COU	cl.	7 classes	N	
dynamique	DYN	cl.	4 classes	N	
segments	SEG	cl.	6 orthot.	N	
présence de terrasses	TER	1/0	2	N	
Type d'occupation du sol	OCC	cl	10 classes		
Indices d'anthropisation	ANT	cl. /nb.	14 types	N	
Indice de pastoralisme	PAS	cl. / 1/0	5 classes	N	
Incendies / brûlages	FEU	nb. 1/0	2 types, (x)		
Recouvrement Z, H, LB, LB	RCR	[%]	1-100	M (O, N)	Sol nu 30%
Présence/ absence de forêt	FOR	1/0	2	N	
Nb. de tiges sur la parcelle	TIG	nb.	(x)	M (O, N)	
Diamètre moyen / dominant des arbres	DIA	[cm]	(x)	M (O, N)	

N.B. il s'agit d'une sélection des variables du relevé général (RG), Types de variables : métriques (M) décimales (MD), ordinales (O), nominales (N)

Tab 3.32 : variables « pédologiques » (sol) de l'analyse

variables	code	précisions	nb. modalités / classes	unités	Type variable	exemple
Type de sol (<i>Bodentyp</i>)	BT	Selon la BKA 1995 (BTB) et selon le RP 2008 (BTR)	14	nb. p/a	N	Braunerde-Ranker, brunisol
Type d'humus (<i>Humustyp</i>)	HT		4 (-8) classes	p/a classes	N	Mull
Taux d'éléments grossiers (<i>Skelettanteil</i>)	SK ou GS	Taux d'éléments grossiers >2 mm (<i>Skelettanteil</i> SK) et d'éléments grossiers >2 cm (<i>Grobskelett</i> GS) par solum ou par horizon [%]	(100)	[%]	M (O, N)	52%, dont 45% GS
Profondeur du sol <i>Bodenmächtigkeit</i>	BM	Profondeur du solum (limité par prédominance d'altérites ou d'éléments grossiers >2 cm >75Vol%) de Of- Cv ; max. 101 cm	∞ (100)	[cm]	M (O, N)	57 cm
Type de substrat / roches mères (<i>Ausgangssubstrat</i>)	ROC		4 classes		N	C (roches carbonatés)
enracinement	WRZ	Taux d'enracinement par horizon	7 (100)	classes [%]	M (O, N)	
état hydrique	HYD	peut se décliner en 2 classes présence/ absence d'hydromorphie	5	classes	O (N)	
Classe texturale (<i>Bodenart</i>)	BA	31 classes selon la BKA 2005 avec taux moyen d'argiles, sables et limons ; 17 classes selon le SCSA, 17 classes selon le GEPPA	31	[%] classes	O (N)	Slu, ...
couleur	COL	Classes déduites de la couleur MUNSELL	34	classes	O (N)	
« humosité » (<i>Humusstufe</i>)	HUF	Déduite de la couleur	4 à 7 classes		O (N)	
pH (CaCl ₂)	pH (CaCl ₂)	Mesuré sur 145 échantillons	∞			pH (CaCl ₂)6,43
pH moyen	pH05	Analyse par type d'horizon (organo-minéraux) ; permet également une estimation du taux de saturation (5 classes)	11	Log... (à 0,5 unités près)	M (O, N)	pH 7,5

Taux de matière organique	C _{org}	Mesuré sur 33 échantillons (horizons A)	∞	C _{org}	M (O, N)	
Rapport C/N	C/N	Mesuré sur 33 échantillons (horizons A)	∞		M (O, N)	
Teneur en calcaire	CaCO ₃	Mesuré au laboratoire (30 échantillons)	∞	[%]	M (O, N)	
Conductivité électrique (Elektrische Leitfähigkeit)	LF	Multipliée par 0,64 on obtient également la teneur en sel équivalent pour KCl		μS/cm	M (O, N)	
Réserve utile (Nutzbare Feldkapazität)	nFK (RU)	(BKA 2005 et triangle des textures du service cartographique de l' AISNE), somme des nFK calculés pour les horizons échantillonnés	∞	mm	M (O, N)	
Capacité d'échange cationique	KAK _{eff}	Déduite du pH, des classes texturales et du taux de matière organique		Cmol/ g		
densité (Lagerungsdichte et Trockenrohdichte)	Ld , ρT		5	Niveaux (1-5)	O (N)	

Types de variables : métriques (M) décimales (MD), ordinales (O), nominales (N)

Tab 3.33 : variables « phytodiversité »

variables / individus	code	exemple	modalités	unités	Type variable
phytodiversité par relevé : nombre de genres	DVGR	Exemple : 17 genres en R27	(x)	nombre	M (N)
phytodiversité par relevé : nombre d'espèces	DVER	Exemple : 53 espèces en R32	(x)	nombre	M (N)

Tab 3.34 : variables « mésologiques » et « paysagiques » de l'analyse

variables / individus	code	modalités	unités	Type variable	exemple
Corps naturels localisé (V)	CNL	103 (VM) ; 44 (Ortho) ou 19 (GE)	Volume [cm ³ ou dm ³], %, présence	M (O, N)	AER = aérophyse, regroupements possibles
hoplexol (I)	HPL	1157	Volume [cm ³ ou dm ³], CNL (présence, Vol)	M (O, N)	H10102 (hoplexol « +2 » au dessus de l'épipause du relevé 10)
hoplexion (I/V)	HPN	5 HPN par relevé (S, U, T, F, I)	Volume [cm ³ ou dm ³], CNL (% , vol, présence)	M (O, N)	MS27 (métaplexion supérieur du relevé N°27)
holoplexion (I)	HLP	72	Volume [cm ³ ou dm ³], CNL	M (O, N)	RM46 (holoplexion du relevé 46)
géon (I)	G	89 (niveau1) 21 (niveau2) 12, 9 ou 8 (niveau 3)	Surface (ha, m ²), périmètre, nombre de patches, %, présence	M (N)	EBO= éboulis, regroupements possibles (EBO : RO= roche affleurante)

Types de variables : métriques (M) décimales (MD), ordinales (O), nominales (N)

3.2.2.2. Base de données

Base de donnée « relevés », structure générale

Les relevés informatisés, les analyses complémentaires (sols) et divers tableaux de codification font l'objet d'une base de donnée créée sous Access 2003 (Ms Office) permettant de croiser les informations des différents types de relevés et de préparer leur exploration statistique. Afin de constituer facilement les matrices de données pour l'analyse, une telle gestion des données a été plus efficace grâce à l'utilisation de requêtes dans cette base de donnée « relevés » au nom de « RelTAM.mdb ». Des formulaires d'entrées ont été créés pour une informatisation facilitée de données issues de la fiche FG (relevé « général »). Les autres données ont été le plus souvent importées depuis des tableaux Excel (relevés mésologiques, analyses pédologiques, matrice flore) ou créés directement dans Access (codes pédologiques, ...). La saisie dans les tableaux Excel (MS Office) a été préférée pour la saisie des données automatiquement transformées, comme par exemple les pourcentages des relevés mésologiques et biovolumiques en volume réel, alors préférable à la possibilité des requêtes dans Access.

Base de données spatialisées (geodatabase)

De façon semblable les données cartographiques sont stockées sous forme de *geodatabase* avec ArcGIS9.3, au nom de « cartoTAM », exploitable également avec Access2003. Certains tableaux ont été à la suite intégrés dans la base « RelTAM.mdb ». En effet, les relevés sont considérés comme données ponctuelles mais par leur association aux types de géons (milieux), il est possible de relier cartographie et données relevés sur le terrain.

3.2.2.3. Analyse des données : Méthodes d'ordination et de classification

Une quantification de la diversité après traitement des données par des analyses statistiques multivariées permet de comprendre la nature des liens qui unissent les milieux localisés par les relevés et les variables environnementales. Les analyses de données multivariées peuvent rendre intelligibles ce grand ensemble d'observations et permettent de saisir leur structure profonde par une condensation des données et une représentation simplifiée (Groupe CHADULE, 1997).

Quelques principes en ce qui concerne les méthodes d'ordination seront évoqués afin de rendre plus transparente leur utilisation et l'interprétation des résultats, présentés dans la troisième partie. L'objectif des méthodes d'ordination réside dans la réduction des informations de façon à décrire des phénomènes qui s'expriment par de nombreuses variables corrélés entre eux par un minimum de facteurs (ou composantes) (Barsch, Billwitz *et al.*, 2000). Il s'agit de transposer un nuage de points-objets dans un sous-espace réduit avec des nouvelles dimensions qui sont représentées par des axes indépendants.

Assez robustes, ces méthodes permettent de traiter des données qui ne correspondent pas forcément à une distribution statistique strictement linéaire ou unimodale, même si le choix des méthodes s'y oriente (Sanders, 1990)

Pour une exploration initiale, on a utilisé des méthodes d'ordination sans contrainte (*unconstrained ordination* ou *indirekte Ordination/ Gradientenanalyse*) (Lepš et Šmilauer, 2003; Leyer et Wesche, 2007), plus précisément les analyses des correspondances principales (ACP, abréviation en angl. *PCA*, *principal component analysis* ou en allm. *Hauptkomponentenanalyse*) pour l'analyse des tableaux de mesures à variables exclusivement quantitatives et l'analyse factorielles des correspondances (AFC, en anglais *correspondence analysis*, *CA* ou en allm. *Faktorenanalyse*) pour divers tableaux de correspondances symétriques. En fonction des matrices utilisés l'une ou l'autre méthodes d'ordination s'impose (Leyer et Wesche, 2007; Bahrenberg, Giese *et al.*, 2008).

Méthodes d'ordination et de classification

L'analyse des composantes principales ACP (*principal component analysis PCA*), méthode d'ordination sans contrainte s'applique aux valeurs continues en construisant une matrice d'association (dispersion) par une mesure de ressemblance (matrice de covariance ou matrice corrélation d'après Pearson) qui se fonde ainsi sur modèle linéaire (Leyer et Wesche, 2007).. La linéarité supposé ou non des corrélations entre différentes espèces ou variables environnementales est ainsi le principal facteur de décision pour ou contre une ACP si on dispose de données métriques. Le deuxième critère concerne l'hétérogénéité des données. Il est notamment possible

d'appliquer l'ACP pour des « sets » partiels de données plus homogènes avec peu de valeurs nulles, par exemple pour un tableau où on a condensés les CNL par orthotypes ou pour une analyse des données issus d'un seul secteur spatial ou pour un seul type de milieu. En fonction du type de matrice (covariance ou corrélation) utilisé on effectuera des ACP centrée avec des données avec des unités de mesures homogènes où le poids de la variance de chaque variable doit entrer en compte. En revanche, pour l'exploration des données environnementales à unité de mesures différentes on utilisera l'ACP standardisé centrée-réduite (Groupe CHADULE, 1997; Leyer et Wesche, 2007).

L'analyse factorielle des correspondances (AFC) (*correspondence analysis* CA, Faktorenanalyse) se prête davantage aux tableaux d'observations, plus symétriques, « où la somme des lignes a un sens ») et se fonde sur les mesures de distance du χ^2 (khi carré) (Sanders, 1990). Elle sera notamment adoptée pour les variables nominales et pour les grands tableaux issus des relevés mésologiques aux chiffres entiers avec une certaine quantité de valeurs nulles. L'AFC met alors en évidence les facteurs majeurs de la différenciation des milieux permettant à la suite une meilleure compréhension des résultats des classifications ascendantes hiérarchiques.

Dans une moindre mesure et à titre exploratoire se proposait l'utilisation d'analyses factorielles des correspondances multiples (AFCM) adaptées à traiter un grand nombre de variables nominales pour décrire ces mêmes individus, mais où la somme des lignes ne fait aucun sens (Lebart, Morineau *et al.*, 2004). A la différence de l'AFC il nécessite la constitution d'un tableau disjonctif complet.

L'ordination précède habituellement l'étape de classification, même si la vocation première des analyses factorielles ne consiste pas à grouper les individus (relevés). Une classification ascendante hiérarchique permet de rassembler les relevés. Concrètement les similitudes entre les relevés mésologiques permettent d'attribuer plusieurs relevés à un type de géon et permettent alors de caractériser le contenu de ce type de géon.

Plusieurs méthodes de classification non supervisée (*clustering*) se proposaient pour grouper les relevés. Nous avons retenu la CAH, classification ascendante hiérarchique bien adaptée aux tableaux de données relativement modestes.

La cartographie qui constitue le fondement de la mesure de la diversité latérale se fonde d'abord sur une exploration des données environnementales spatiales disponibles, mais aussi sur des connaissances approfondies du terrain acquises lors des relevés. A partir de ces connaissances il a été possible de bâtir une typologie des unités paysagères se fondant sur une reconnaissance physionomique des « milieux » sur les orthophotos aériennes. L'interprétation de la mosaïque paysagère ne peut donc pas être considérée comme une cartographie écologique des milieux mais se fonde sur une reconnaissance de grands ensembles de structures à la fois verticales et latérales qui différencient ces milieux. La clé d'interprétation se fonde ainsi sur la différenciation du recouvrement de différentes composantes élémentaires du paysage reconnaissables à l'échelle du 1/2000^{ème} au 1/10000^{ème}, incluant les essences forestières, les types de landes ou les affleurements rocheux.

La carte des géons résultante permet de situer l'analyse de la géodiversité à l'échelle du massif, non seulement par une analyse qualitative et quantitative de la mosaïque paysagère par les « indices paysagers », mais aussi en permettant de relier l'information du niveau mésologique des données de terrain à l'échelle plus petite des unités paysagères.

La méthode de terrain, complémenté par des analyses des échantillons au laboratoire génère un ensemble important de données qui nécessitent lors de l'étape suivante une informatisation et des vérifications minutieuses pour préparer le traitement statistique des données. Pour combiner les données issues de la cartographie et des relevés de terrain une gestion raisonnée de cet ensemble requiert l'utilisation des bases de données qui permettent de croiser les informations à l'aide de requêtes. Enfin, les matrices de données résultantes sont le fondement de l'analyse statistique de l'information, utilisant une panoplie de statistiques descriptives, en insistant surtout sur les possibilités d'une ordination exploratoire des données par les analyses factorielles des correspondances et dans une moindre mesure par les analyses des composantes principales et les méthodes d'ordination directes. Les classifications ascendantes hiérarchiques permettront enfin de regrouper les relevés semblables afin de mieux saisir la diversité se dessinant dans les données.

Conclusion de la troisième partie

La diversité qui se révèle dans les cartes, ainsi que dans les informations qualitatives et quantitatives issus d'une première description du terrain met en évidence l'ampleur de la tâche : révéler de nombreux paramètres de types différents par un nombre forcément trop restreint de relevés de terrain sur un terrain fortement diversifié.

La méthodologie incluant l'échantillonnage, la cartographie, et le protocole des relevés de terrain dépend fortement des caractéristiques du massif. Une approche cartographique a été nécessaire pour une reconnaissance de ces caractéristiques, indispensable pour un échantillonnage raisonné qui ne pouvait être aléatoire à l'échelle du massif. En ce qui concerne les relevés, une entrée consiste à choisir un ensemble de variables plus ou moins facilement saisissables pour illustrer différents aspects de la diversité biologique, physique et anthropique. A cette approche disciplinaire se joint une deuxième, plus holistique, l'approche intégrée des relevés mésologiques consistant à décrire les formes et la physionomie du milieu en quantifiant l'ensemble du contenu des milieux dans les enceintes déterminés sur place.

La description de ces éléments de nature fort diversifiés a nécessité la mise en place d'un protocole de terrain rigoureux, des analyses complémentaires et d'une réflexion générale sur les outils de description et d'analyse de la diversité. L'étude de la diversité d'un massif nécessita d'abord une compréhension approfondie du terrain d'étude et une réflexion sur les méthodes disponibles. La description de la diversité dépend des variables retenues pour son interprétation et la définition du vocabulaire, l'identification des espèces et le choix des nomenclatures constituaient des étapes particulièrement importantes. La préparation et la mise en place du protocole de terrain et des outils d'interprétation apparaissent alors forts détaillées, mais elles font indirectement partie des résultats qui en sont issus. L'évaluation de la géodiversité qui suit est une évaluation de la diversité saisie par les paramètres retenus, mise en évidence dans cette deuxième partie.

4 - QUATRIEME PARTIE :
la géodiversité du Madres-Coronat

4.1. Les relevés des milieux du Madres-Coronat

4.1.1. Localisation et description des relevés effectués

4.1.1.1. Localisation et cartographie des relevés

La carte des relevés (cf. carte 4.1ci-dessous) localise les relevés à partir de la méthode d'échantillonnage par quotas. On s'est efforcé de réaliser dans un premier temps des transects sur différents versants du Mont Coronat et du Madres afin de mettre en évidence des effets de gradient et que ces transects sont disposés sur différentes façades et expositions. Dans un deuxième temps l'échantillonnage selon le système de quotas exigeait de répartir les relevés encore nécessaires selon les modalités et proportions retenues, aboutissant à une répartition plus diffuse mais davantage régulière dans la vallée de la Castellane et sur la soulane des Garrotxes.

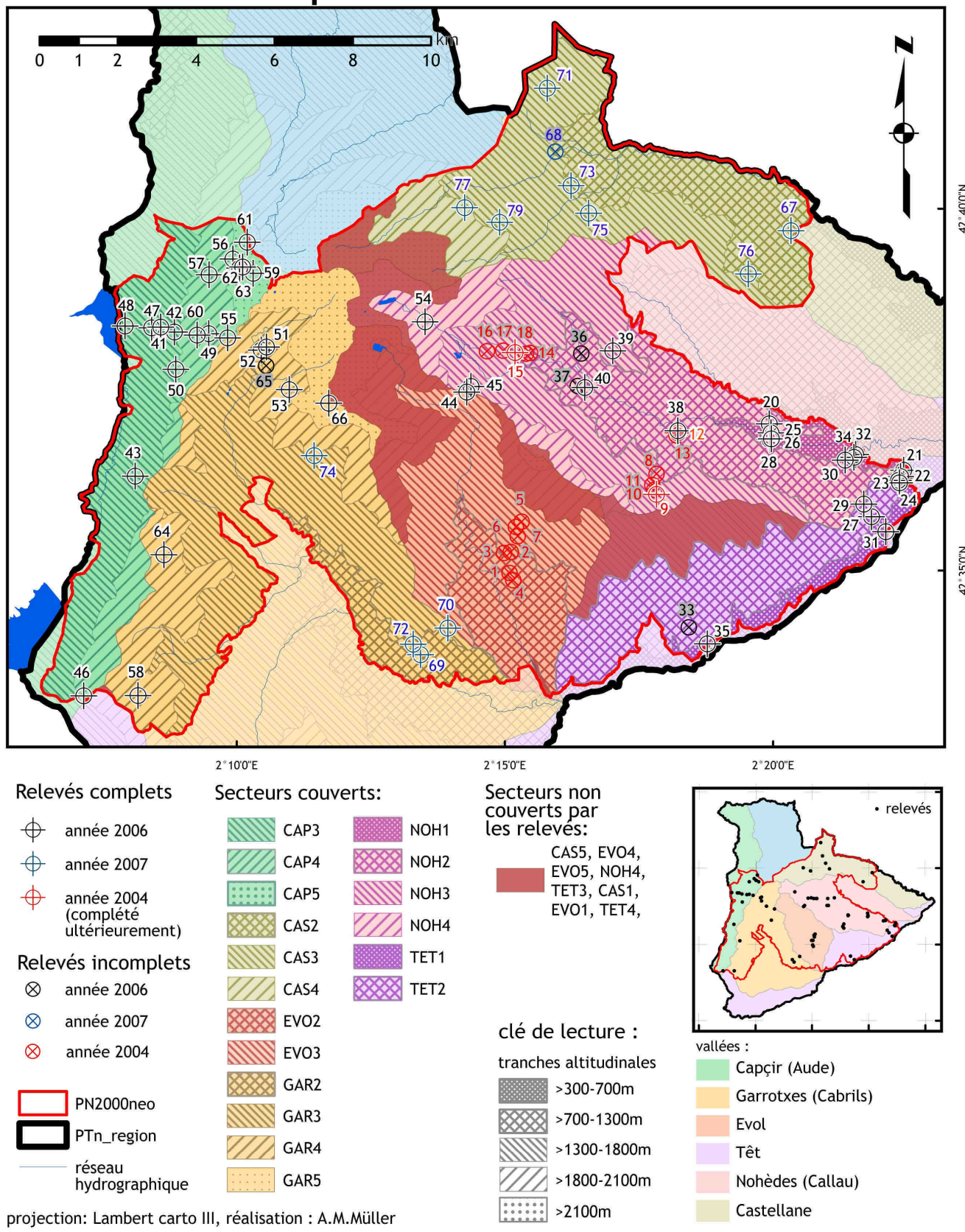
Les relevés sont numérotés dans un ordre (plus ou moins) chronologique de 1 à 79, les relevés N° 19 et N° 78 n'étant pas réalisés, 77 relevés ont été effectués, dont 47 en 2006 et 12 en 2007. Sur les 18 relevés effectués selon l'ancienne méthodologie en 2004, deux ont été actualisés en 2007 en ce qui concerne le relevé de la flore (cf. carte des relevés ci-dessous). Sur la carte de localisation des relevés figurent entre autre les secteurs d'échantillonnage, dont les secteurs non couverts en rouge, l'année du relevé et les relevés non retenus en gris. La cartographie des points de relevés est issue des points GPS ou par localisation du relevé sur des orthophotos aériennes récentes. La résolution parfois assez grossière des cartes thématiques (1 /50 000, voire 1/80000 pour la carte géologique ; image SPOT 20 mx20 m; carte des pentes et des expositions issues d'un MNT à 50x50 m) est à l'origine de quelques différences entre les caractères des relevés d'après les requêtes SQL cartographiques et des caractères réellement relevés sur le terrain. Ainsi il peut y avoir une discordance entre les données de terrain et celles issues des requêtes cartographiques. Les données de terrain étant plus fiables, ce sont elles qui sont restituées dans le tableau suivant, résumant les relevés effectués (cf. tab. 4.1 ci-dessous).

4.1.1.2. Relevés obtenus et retenus

Relevés effectués

Le tableau (cf. tab. 4.1 ci-dessous) recense les principales caractéristiques des relevés, altitude, exposition, pente, courbure, dynamique morphologique, hydrisme du milieu, classe d'occupation de sol correspondante (se référer à l'image satellite classifiée) et statut foncier. Afin d'illustrer ces données, un aperçu de la plupart des milieux (si les photos étaient disponibles) figure sur les pages suivantes.

Carte de la répartition des relevés



Carte 4.1 : Localisation des relevés effectués entre 2004 et 2007

Source : relevés de terrain réalisés par l'auteur, fond de carte : périmètre Natura2000 Madres-Coronat d'après les données AGRNN avec limites départementales

Tab. 4.1 : principales caractéristiques des 77 relevés effectués

Numéro Relevé	Surface placette [m ²]	Commune	Secteur	Foncier	Altitude [m]	Pente [°]	Exposition [°]	Dynamique	Code Courbure	classe d'occupation du sol	hydricité
1	400	Olette	EVO2	Communal	1100	40	175	transitif	XX	11	1
2	64	Olette	EVO3	Privé	1415	38	200	transitif	XX	8	1
3	25	Olette	EVO3	Privé	1340	25	190	transitif	VV	5	2
4	400	Olette	EVO2	Communal	980	8	205	accumulatif	GV	9	3
5	64	Olette	EVO3	Communal	1660	28	170	transitif	XX	9	2
6	64	Olette	EVO3	Privé	1615	4	195	autonome	GX	16	2
7	400	Olette	EVO3	Privé	1575	35	175	transitif	GX	5	1
8	400	Nohèdes	NOH2	Communal	1250	43	110	transitif	XX	14	2
9	400	Nohèdes	NOH3	Communal	1470	46	325	transitif	GX	17	2
10	400	Nohèdes	NOH3	Communal	1410	42	345	transitif	GG	14	3
11	400	Nohèdes	NOH3	Communal	1330	28	5	accumulatif	VV	13	3
12	200	Nohèdes	NOH2	Communal	830	48	345	transitif	XX	18	1
13	16	Nohèdes	NOH2	Communal	870	75	5	autonome	GX	19	1
14	25	Nohèdes	NOH2	Privé	1230	9	85	transitif	GG	2	2
15	16	Nohèdes	NOH3	Privé	1340	12	100	transitif	XX	2	4
16	400	Nohèdes	NOH3	Privé	1580	18	95	transitif	XX	15	2
17	200	Nohèdes	NOH3	Communal	1450	15	90	transitif	GG	13	3
18	200	Nohèdes	NOH2	Privé	1260	16	80	transitif	VX	9	2
20	25	Conat	NOH2	Communal	815	1	160	autonome	VV	4	1
21	400	Conat	TET2	Domanial	715	26	25	transitif	VX	10	2
22	400	Villefranche	TET2	Domanial	760	20	41	transitif	GX	12	2
23	400	Villefranche	TET2	Domanial	780	6	42	autonome	XX	12	1
24	400	Villefranche	TET2	Domanial	770	23	170	transitif	XX	7	1
25	400	Conat	NOH2	Communal	710	35	165	transitif	GG	10	1
26	400	Conat	NOH1	Communal	620	30	190	transitif	VV	11	1
27	400	Villefranche	TET1	Privé	460	42	138	transitif	VV	5	1
28	100	Conat	NOH1	Communal	610	4	195	accumulatif	VG	5	2
29	200	Villefranche	TET2	Domanial	980	18	170	autonome	VG	7	1
30	400	Conat	NOH1	Communal	540	30	60	transitif	VG	12	2

31	400	Villefranche	TET2	Domanial	790	27	155	transitif	VG	11	1
32	400	Conat	NOH1	Communal	590	30	58	transitif	GV	10	1
33	100	Serdinya	TET2	Privé	940	14	150	transitif	VX	3	1
34	255	Conat	NOH2	Communal	810	23	40	transitif	XX	16	1
35	400	Serdinya	TET1	Privé	605	14	150	accumulatif	VV	12	2
36	64	Nohèdes	NOH2	Privé	1050	6	210	transitif	VX	2	2
37	100	Nohèdes	NOH2	Communal	1130	23	150	transitif	GX	9	1
38	400	Nohèdes	NOH2	Communal	780	15	15	accumulatif	VV	12	2
39	400	Nohèdes	NOH3	Privé	1445	19	285	transitif	XX	9	1
40	400	Nohèdes	NOH2	Communal	1080	26	110	transitif	VV	5	2
41	400	Réal	CAP3	??	1650	18	250	transitif	XX	17	2
42	400	Réal	CAP3	Communal	1750	21	250	transitif	XX	16	2
43	400	Matemale	CAP3	??	1650	29	285	transitif	VV	16	2
44	400	Nohèdes	NOH3	Communal	1770	16	10	autonome	VV	16	2
45	400	Nohèdes	NOH3	Communal	1680	31	20	transitif	GG	14	3
46	400	Matemale	CAP4	Communal	1840	21	210	transitif	GX	17	2
47	100	Réal	CAP3	??	1550	17	250	transitif	VV	2	2
48	100	Réal	CAP3	??	1440	5	350	accumulatif	VV	2	4
49	25	Réal	CAP4	Communal	2030	12	285	transitif	XX	3	2
50	400	Réal	CAP4	Communal	1870	21	305	transitif	XX	16	2
51	400	Sansa	GAR4	Domanial	1920	8	300	accumulatif	VV	15	2
52	64	Sansa	GAR4	Domanial	1870	4	200	transitif	XX	2	2
53	400	Sansa	GAR4	Domanial	2050	29	340	transitif	GG	16	2
54	64	Nohèdes	NOH4	Domanial	1890	3	100	accumulatif	GG	1	4
55	400	Réal	CAP5	Domanial	2115	6	280	autonome	XX	15	2
56	64	Puyvalador	CAP4	Communal	2050	26	225	transitif	GG	8	1
57	400	Réal	CAP4	Communal	1870	29	350	transitif	GG	16	3
58	400	Caudiès	GAR4	Domanial	1850	13	350	transitif	GV	17	2
59	64	Réal	CAP5	Domanial	2250	17	325	transitif	XX	6	2
60	25	Réal	CAP4	Communal	1965	18	275	autonome	XX	2	5
61	64	Puyvalador	CAP5	Domanial	2235	15	205	transitif	XX	1	1
62	25	Réal	CAP4	Communal	2075	35	295	transitif	GG	18	1
63	4	Réal	CAP5	Domanial	2125	90	270	autonome	XX	19	1
64	400	Railieu	GAR4	Communal	1965	18	355	transitif	VX	17	2
65	400	Sansa	GAR4	Domanial	1850	18	262	transitif	VV	16	3
66	25	Sansa	GAR5	Domanial	2360	9	330	autonome	XX	20	1
67	400	Mosset	CAS2	Communal	780	30	85	transitif	VV	12	2
68	400	Mosset	CAS2	Communal	1250	9	52	transitif	XX	13	4

69	100	Oreilla	GAR2	??	1190	17	143	transitif	XX	3	1
70	64	Oreilla	GAR3	??	1390	28	223	transitif	XX	4	1
71	64	Mosset	CAS3	Privé	1605	19	140	transitif	XX	3	2
72	100	Oreilla	GAR3	??	1310	17	198	transitif	GG	4	1
73	400	Mosset	CAS3	Communal	1425	29	348	transitif	GG	16	3
74	100	Sansa	GAR4	Privé	1820	31	160	transitif	GG	5	1
75	400	Mosset	CAS3	Privé	1450	28	43	transitif	GX	14	3
76	400	Mosset	CAS3	Privé	1310	32	85	transitif	GX	13	3
77	400	Mosset	CAS4	Privé	1910	18	40	transitif	XX	6	2
79	400	Mosset	CAS3	Privé	1795	19	328	transitif	GV	16	2

Surface en m² ; secteurs cf. carte 4.1; pente et exposition en degré ; code courbure : 1ère lettre = profil horizontal, 2^{ème} lettre = profil vertical avec X=convexe, G=droit, V=concave ;
source : relevés Anja Müller

Relevés retenus pour le traitement statistique

Parmi les 77 relevés réalisés, certains ont été à exclure pour une partie des traitements statistiques en raison de leur incomplétude, notamment en ce qui concerne les relevés effectués en 2004 avec l'ancienne méthode, plus limitée. Parmi les relevés réalisés en 2006, tous n'ont finalement pas tous été retenus pour l'analyse statistique, notamment en raison de données lacunaires ou invalides. Les relevés effectués en 2004 n'étaient complet seulement en ce qui concerne le relevé mésologique et quelques caractéristiques générales (pentes, exposition etc.), à l'exception de deux relevés pour lesquels les relevés floristiques ont été refaits *a posteriori*. En raison d'une description incomplète de la flore (R36, R37) ou du métaplexion inférieur / supraplexion (R33, R38) les relevés R33, R36, R37 et R68 ont été écartés des analyses. Le relevé R65 a du être également écarté puisque le relevé floristique et mésologique partiel de 2006 ne correspondait plus à la réalité en raison d'une coupe réalisée sur cette parcelle boisée d'épicéas pour des raisons sanitaires. Ainsi nous avons retenus les 72 relevés restants (2004-2007) pour l'analyse de la diversité mésologique, les relevés réalisés en 2006 et 2007 ont servi pour l'analyse des rapports entre géo-, pédo- et phytodiversité.

Si on tient compte des milieux du site Natura2000 Madres-Coronat dans les limites du périmètre couvert par les orthophotos de l'année 2000, on pouvait estimer le nombre de relevés sur avec des placettes de 400 m², disposées côte à côte au nombre de 542193. A la vue de ce chiffre, les 54 relevés retenus correspondant au dernier protocole de terrain présentent environ un 10000^{ème} de la surface étudiée. Cette infime partie de la surface du terrain d'étude a été pourtant très riche d'informations comme on illustrera à la suite.

4.1.1.3. Relevés et critères d'échantillonnage selon les quotas

La carte, ainsi que le tableau qui recense uniquement les relevés retenus laisse apparaître quelques caractéristiques répondant aux critères d'échantillonnage par quotas (voir échantillonnage des quotas chap. 3.1). La répartition des relevés par rapport aux classes d'occupation du sol est illustrée dans les deux dernières colonnes du tableau des classes issu de l'interprétation supervisée

de l'image satellite. La répartition par rapport aux secteurs et bassins versants est visible sur la carte ci-dessus et constitue probablement le critère d'échantillonnage le moins respecté en raison des questions d'accessibilité par rapport au logement sur le terrain. On peut toutefois reconnaître un effort de répartition des relevés sur l'ensemble du terrain : 18 secteurs sur 26 secteurs retenus (ayant une taille suffisante) ont fait l'objet d'un relevé.

La localisation des relevés par rapport à l'altitude :

Les relevés ont été effectués entre 460 et 2360 m d'altitude. La localisation des relevés par rapport aux tranches altitudinales répond sensiblement aux critères d'échantillonnage, c'est-à-dire que 5 relevés se situent entre 2100 et 2469 m (niveau5), 15 entre 1900 et 2099 m (niveau 4), 26 entre 1300 et 1899 m (niveau3), 15 entre 800 et 1299 m (niveau2), et 5 en dessous de 800 m d'altitude (niveau1). Ainsi le nombre de relevés exigés sur le niveau 2 (19,7 relevés), le niveau 4 (14,2 relevés), et le niveau 5 (5,6 relevés) a été atteint, en revanche les relevés de l'étage mésoméditerranéen sont surreprésentés par rapport aux relevés du niveau 3 (31 relevés exigés) correspondant à peu près à l'étage montagnard.

La localisation des relevés par rapport à la pente

Les relevés ont été réalisés sur des pentes très variées, des surfaces quasi-planes (1°) jusqu'aux parois rocheuses subverticales. Face à la dominance (69.1%) des pentes modérées à accentuées sur le massif ($10-30^\circ$), le nombre de relevés réalisés sur des pentes allant de 10 à 30° (45 relevés) est légèrement trop faible atteignant seulement 62,5% des relevés. Trop de relevés ont en effet été réalisés sur des pentes faibles à très faibles (5 relevés de trop sur des pentes de 0 à 10°) on aurait pu faire en effet 4 à 5 relevés de plus sur les pentes accentuées allant de 20 à 30° .

La localisation des relevés par rapport à l'exposition

La localisation des relevés par rapport à l'exposition des versants est relativement équilibrée avec 18 relevés d'exposition est (23.4% des relevés) et nord-est, 20 relevés d'exposition nord et nord-ouest, 20 relevés d'exposition sud et sud-est (correspondant à 26% des relevés), ainsi que 14 relevés d'exposition ouest et sud-ouest. En raison de la dissymétrie du massif, avec des expositions « est » plus fréquentes et une troncature du versant nord depuis la redéfinition du périmètre Natura 2000, les relevés sur versant nord sont malheureusement surreprésentés, on aurait en effet faire 7 relevés de moins sur le versants nord pour privilégier les autres versants.

La localisation des relevés par rapport au substrat

Les relevés sur substrat schisteux était dominant correspondant à 31 relevés (43,1%) et correspondait approximativement aux nombre de relevés exigés sur ce substrat (33 relevés). En revanche, le nombre de relevés effectués dans la partie est du massif a provoqué un déséquilibre de relevés sur calcaire et sur roches granitoïdes. Sur substrat carbonaté 18 relevés ont été effectués, 13 seulement sur substrat granitique et 10 sur alluvions ou colluvions. Pour garder un équilibre

parfait par rapport à la carte d'échantillonnage on aurait dû faire 8 à 9 relevés de plus sur substrat plutonique aux dépens de 5 relevés sur sédiments et 4 de moins sur sols carbonatés

Résultats des relevés retenus par rapport aux critères d'échantillonnage

Avec un échantillonnage de type non-probabiliste selon le système des quotas, il est autant plus difficile d'atteindre exactement tous les quotas exigés si on augmente le nombre de critères d'échantillonnage. Avec 6 critères d'échantillonnage à 42 modalités¹²⁰, il est alors extrêmement difficile d'atteindre exactement le taux des 42 quotas exigés pour chacun des 6 critères. A cet égard, les résultats obtenus sont plutôt satisfaisants : seulement 7 relevés sont décalés par rapport aux quotas de pente et d'exposition, 5 par rapport aux niveaux altitudinales et 9 à 10 par rapport au substrat.

4.1.2. Caractérisation des relevés par rapport aux aspects anthropiques, végétales et physiques

4.1.2.1. Caractéristiques d'anthropisation

Quoique nous avons étudié par les relevés de terrain essentiellement les « milieux naturels » selon la définition d'un environnement naturel anthropisé, certains éléments ont permis une prise en compte de l'anthropisation : les relevés d'occupation du sol, des indices d'utilisation pastorale, de sylviculture, ainsi que la prise en compte des artifices environnantes. Les objets artificiels localisés à l'intérieur de la parcelle ont été pris en compte par la nomenclature du lexique des CNL (cf. annexes), mais si des véritables objets artificiels étaient plutôt rares : Le plus souvent la modification des milieux se fait sur le « corps naturel » même sans qu'ils soient forcément apparents ; il s'agit d'une influence sur les limites des hoplexols modifiant ainsi la hauteur ou profondeur (par exemple en cas de pâturages, concernant la grume (*Ackersohle*). Si la transformation (anthropisation) est très nette, les CNL la prennent en compte, par exemple par l'arumite (matériaux du horizon A modifié par les cultures).

Plusieurs indices et paramètres retenus lors du relevé « général » (RG) permettent de tenir compte de l'empreinte des activités humaines. La présence de terrasses a été constatée dans un quart des relevés (25% : 18 relevés) et la proximité immédiate de terrasses (à moins de 200 m), de murettes ou de pierriers a été relevé dans 11 autres cas, surtout dans les étages inférieurs. Si on recense l'ensemble des artifices à proximité d'un relevé incluant constructions, clôtures, déchets, pistes visibles à moins de 500 m, sentiers aménagés etc., peu de relevés sont, malgré les précautions prises (distance minimale aux pistes et sentiers, cf. chap. 3.1), bien loin des artifices directement perceptibles. Des charbonnières visibles depuis le lieu du relevé ont été constatées dans 5 cas même si des charbonnières à proximité ont été encore bien plus fréquentes. Dans trois cas le hasard nous a fait découvrir des morceaux de déchets dans la placette (cartouche à plomb, boîte à sardines...). Dans 18 cas on pouvait constater à proximité (moins de 500 m) des constructions

¹²⁰ Quatre expositions, trois différents types de pente, quatre différents substrats, cinq niveaux altitudinaux, six bassins versants, et 20 classes d'occupation du sol

de type refuge, orri, des ruines ou des cortals et dans 7 cas des (restes de) canaux d'irrigation. Dans six autres cas, des clôtures liés aux estives ont pu être remarquées à proximité. Enfin, l'accessibilité veut que même à une distance minimale rigoureusement respectée n'empêche pas que dans les 500 m à proximité de la placette passe dans presque deux tiers des cas (64%) au moins un petit sentier emprunté par les troupeaux, vachers et/ou randonneurs, parfois plus ou moins enrichi (36% des relevés), voire une piste ou tire forestière (39% des relevés). Dans les 5 relevés où aucune de ces traces n'a été contactée il s'agissait tout de même de milieux où les traces de pastoralisme étaient évidentes ou d'éboulis et de parois rocheuses.

Presque deux tiers des relevés (43 relevés) ont été par ailleurs identifiés comme milieux pastoraux en raison de traces évidentes ou par connaissance des secteurs. Des traces de faune ont été relevées (piétinement, espèces broutées, déjections animales) sur 56 placettes (77,8%).

En ce qui concerne les milieux forestiers, on s'est interrogé sur les traces de sylviculture, évidentes seulement si on peut noter des martelages, élagages ou coupes réalisés sur la parcelle. En effet dans 31 parcelles considérées comme véritablement forestières (sans compter les 11 placettes « boisées » et les 5 relevés en milieu « arboré»), trois parcelles portaient des traces de martelage, 17 ont subi des coupes ou dépressage d'après les troncs encore sur place et on a pu constater un cas d'élagage dans une jeune pinède.

Enfin, le feu peut être considéré également comme une trace plus ou moins directe d'anthropisation. D'après les incendies recensés depuis les années 1950 et les brûlages pris en compte par la cartographie disponible à l'AGRNN en 2005, cinq placettes se situaient sur des anciens lieux d'incendies et 4 sur des lieux ayant subi un brûlage dirigé depuis 1992 jusqu'en 2005 auquel on peut ajouter une placette effectuée sur un site de brûlage plus récent et cinq placettes où des traces de végétaux carbonisés (le plus souvent au pied des arbres ou arbustes) ont été constatés (relevés 34,37, 48, 56, et 67).

4.1.2.2. Types d'occupation du sol et végétation relevés

Les dix classes d'occupation du sol relevées sur le terrain (forêt, landes, garrigue/maquis, pâturages pelouse, pré de fauche, ripisylve, zone humide, milieu rocheux et « autre ») montrent une dominance des relevés en milieu forestier (34) par rapport aux landes et maquis (12), milieux essentiellement herbacés (10), zones humides (3) ou rocheux (5). Le descriptif détaillé des relevés se réfère en effet dans 17 cas à des pinèdes de pin à crochets ou de pin sylvestre, dans dix cas à des chênaies méso- ou supraméditerranéennes, dans quatre cas à des hêtraies ou hêtraies-sapinières et dans deux cas à des sapinières, sans tenir compte des forêts feuillus autres, forêts mixtes et ripisylves. On peut également décompter 12 landes de types différents incluant les « garrigues » et divers milieux enrichis complexes. En effet ces derniers n'étaient pas toujours faciles à classer ou distinguer des stades de transition avec les pelouses et pâtures, également au nombre de 12.

Si on associe les relevés retenus aux 20 classes issues de la classification supervisée (cf. chapitre 3.1) on peut conformément aux informations contenues dans le tableau calculer si les types de milieux correspondent aux quotas des classes d'occupation du sol. En regroupant les 20 classes en six groupes, plus d'un quart des relevés retenus (26,4%) ont eu lieu dans les forêts de conifères, 22,2% dans les landes, friches et maquis, 19,4% dans les milieux à dominante herbacée, 15,3% en forêt méditerranéenne, 9,8 % dans les forêts montagnardes dominées par des feuillus ou

mixtes et 6,9% dans les milieux à végétation discontinue avec du sol nu dominant. Par rapport au résultat de la classification d'image satellite dans le nouveau périmètre du SIC Madres-Coronat, les forêts méditerranéennes et les forêts mixtes sont alors très correctement représentées (écart 0,1%), par contre les milieux à feuillus montagnards et les milieux à dominante herbacée sont surreprésentés (respectivement de 2,1 et 8,2%) par rapport aux landes et forêts de conifères sous-représentées (respectivement 7,6 et 3,7%). Si on considère les 20 classes une par une, l'erreur maximale positive a été constatée dans la classe 2 surreprésentée (+4.6% : 3 relevés de trop), l'erreur maximale « négative » dans la classe 8 (landes à genêt) avec -3.7%.

Les classes déterminées par une classification supervisée sur quatre canaux de l'image SPOT 4 sont bien évidemment une approximation très grossière de la diversité réelle des milieux. A titre d'exemple, les zones humides, trop peu représentées sur l'image satellite à résolution moyenne (un pixel : 250 m²) ont été classées parmi les pelouses et prés de fauche (classe 2), ce qui explique en partie leur surreprésentation. En effet les 72 relevés effectués sont assez hétérogènes ce qui aura des conséquences pour le traitement des données.

4.1.2.3. Caractéristiques physiques

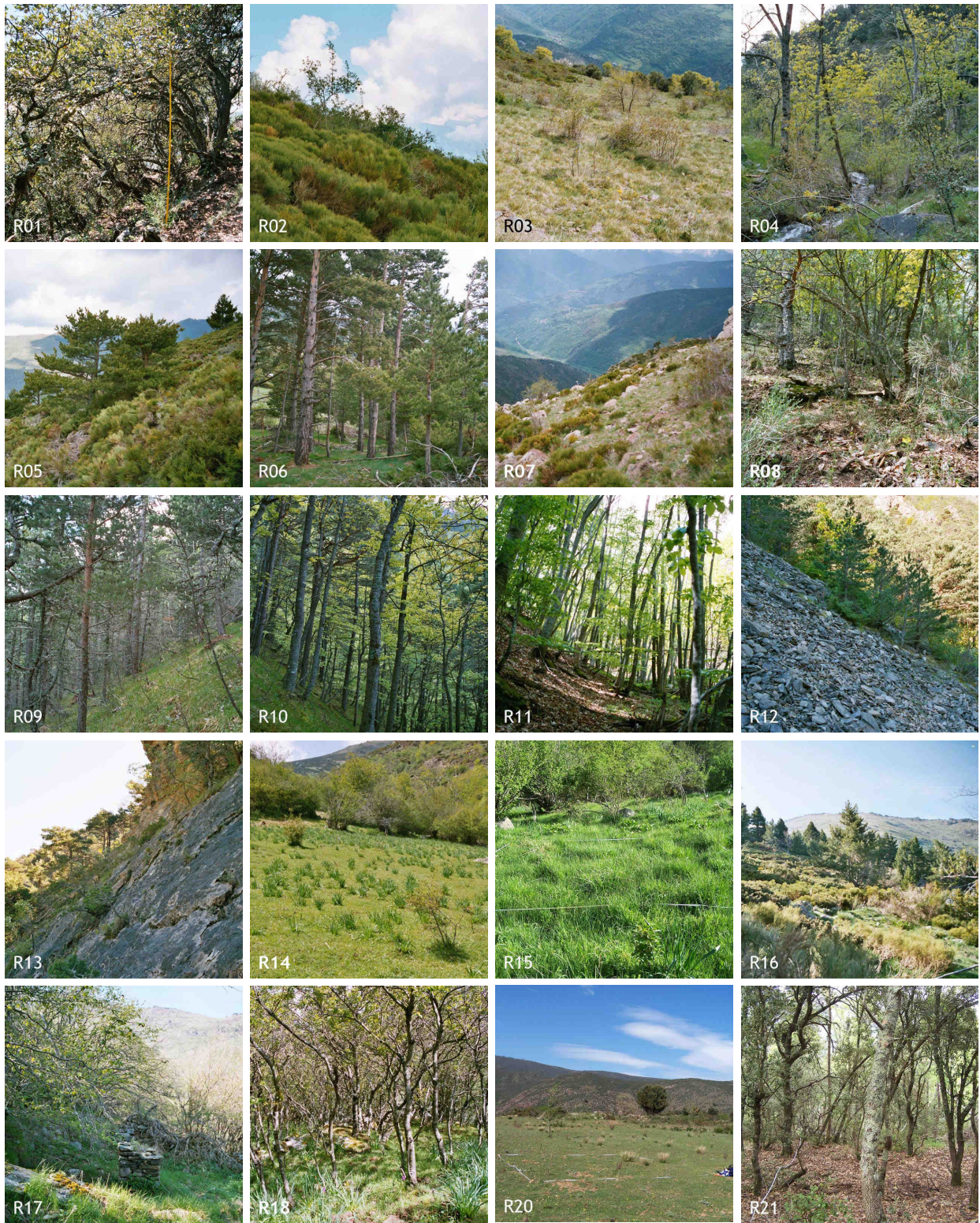
En plus des caractéristiques pédologiques abordées plus loin et des caractéristiques d'échantillonnage directe ou indirecte (pente, exposition, altitude, substrat), on peut encore ajouter les formes du relief.

D'après la typologie des segments établie par Jean-Charles Filleron (Filleron, 1995) (cf. annexes) , 83% des relevés se situaient sur des segments de type acroèdre. Les métaèdres et infraèdres étaient très rares (3 respectivement 4 relevés) et deux cas d'intergrades (supramétaèdres), un ectaèdres, un supraèdre et un cataèdre ont également été constatés.

La position majoritaire des relevés dans le versant (et non sur le sommet ou dans le bas-fond) fait que trois quart des relevés (54 relevés) ont été caractérisés comme étant des milieux à dynamique dominante « transitive », que dans 9 relevés nous avons reconnu une dynamique essentiellement accumulatives et 9 placettes mettaient en évidence les caractéristiques d'un milieu à dynamique érosive ou autonome.

La courbure constatée sur la placette est à cet égard assez significative : les types purs (profil horizontal et profil vertical avec une courbure de type identique, c'est-à-dire droite, convexe ou concave) dominaient : 13 relevés se situent sur des pentes parfaitement droites sur le plan horizontal et vertical, 14 relevés se situent sur des pentes doublement concaves de type bas-fond, et 26 % des relevés sur des pentes convexes sur le plan horizontal et vertical comme on en rencontre le plus souvent sur les crêtes, sommets, dos, etc. . Des pentes concavo-convexes ont été constatées dans seulement trois cas, dans le cas d'un profil horizontal droit on pouvait constater des profils longitudinaux convexes dans huit cas et concaves dans trois cas. Le type de pente concavo-droite de type entaille de ravinement a été constaté quatre fois.

Photos 4.1- 20: aperçu sur les placettes des relevés 2004-2007 : R1-R20



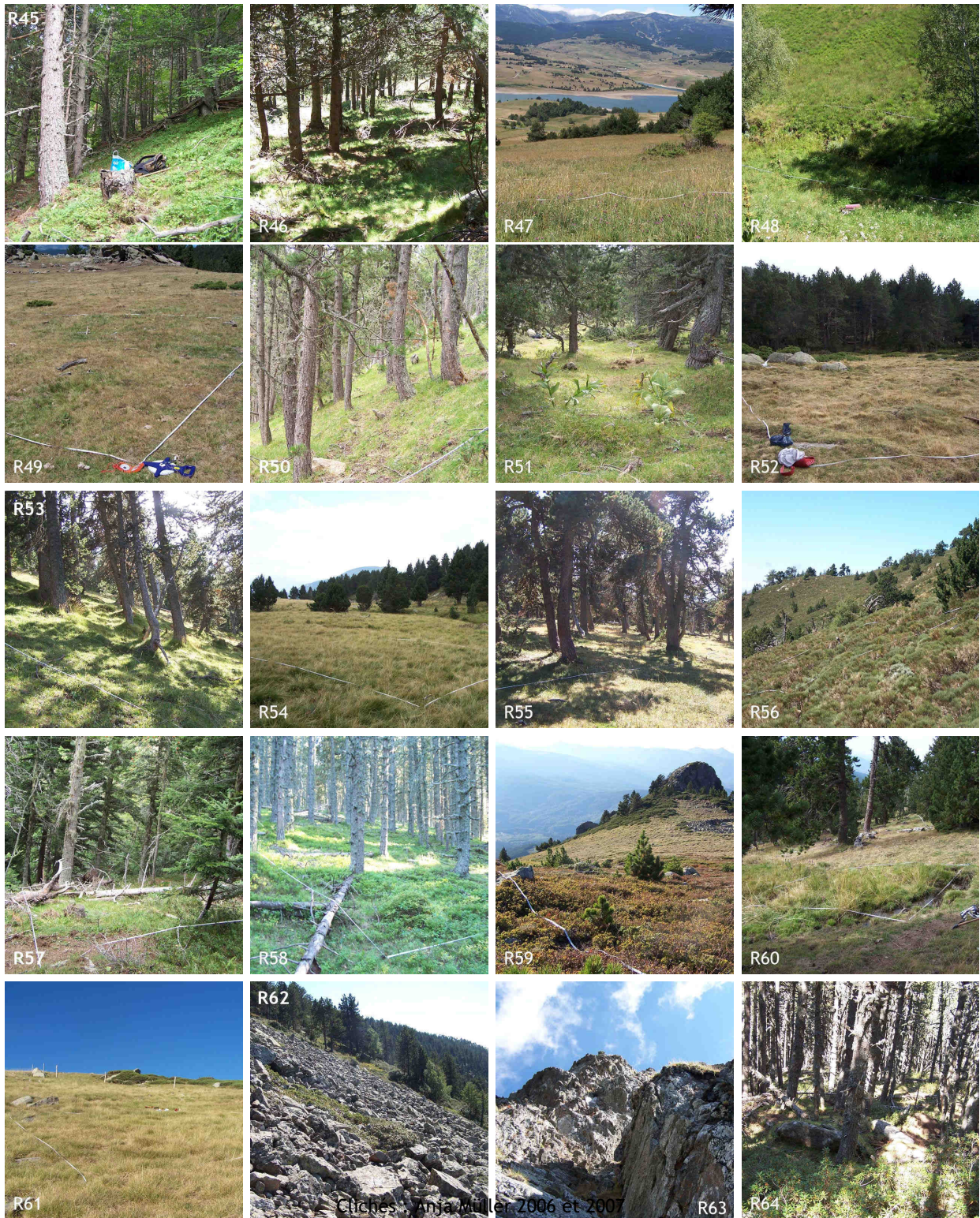
Clichés: Anja Müller 2004 et 2006

Photos 4.20-40 : aperçu sur les placettes des relevés 2004-2007 (suite) : R21-R44



N.B. : absence des clichés de R34, R40 et R42 pour cause de défaut de matériel informatique. Clichés R41 et R43 pris *a posteriori*.

Photos 4.40-60 : aperçu sur les placettes des relevés 2004-2007 (suite) : R45-64



N.B. Les limites des placettes ne sont pas toujours visibles dû à l'angle de prise de vue ou en raison de la basse résolution de l'image. Pour les relevés réalisés en 2004 et quelques rares cas (milieux rocheux R62, R63) la placette n'a pas été mise en évidence par le mètre déroulant.

Photos 4.60-78 : aperçu sur les placettes des relevés 2004-2007 (suite) : R65-79



Ces images mettent en évidence plusieurs aspects : premièrement une diversité qui s'exprime dans l'unicité de chaque milieu et la difficulté de choisir « le bon endroit » pour un relevé, puisque tous les milieux sont uniques à leur façon. Deuxièmement la prédominance des forêts de pins sur le massif. Troisièmement les difficultés à réaliser des relevés floristiques sur des pelouses où le pâturage et une courte période de floraison rendent difficile la détermination de la plupart des espèces (en particulier R49 et 52).0

4.2. La diversité végétale et pédologique - approche disciplinaire

4.2.1. Diversité floristique et végétale

4.2.1.1. Résumé des relevés floristiques

Aperçu sur les données floristiques

Des relevés floristiques ont été effectués pour l'ensemble des relevés R01 à R79. Toutefois nous avons choisi de ne retenir ici que les relevés effectués en 2006 et 2007 en raison d'un protocole de terrain plus strict recensant systématiquement toutes les espèces sur une parcelle bien délimitée. Nous avons par ailleurs écarté de l'analyse les relevés incomplets notamment en ce qui concerne l'étude des sols (R33, R36, R65, R68). Les relevés floristiques sur des parcelles parfois assez larges (400 m² en milieu forestier) peuvent avoir comme conséquence le recensement de plusieurs micro-milieus, comme par exemple la végétation sur les murettes ou les faciès plus ombragés ou à sol plus profond sur une même placette. Il est alors possible de rencontrer dans un même relevé des espèces à caractères écologiques assez hétérogènes. Nous avons toutefois décidé de retenir l'ensemble des espèces présentes sur une placette.

Sur 77 relevés floristiques réalisés entre 2004 et 2007 nous avons retenus 54 relevés effectués conformément au protocole de terrain mis en place en 2005. Nous avons pu identifier dans ces 54 relevés 1286 individus, correspondants à 408 espèces de plantes vasculaires (Trachéophytes). Pour 201 autres occurrences nous nous sommes limités à la détermination du genre (59 genres concernés) puisque l'espèce n'a pas pu être déterminée avec certitude. Malgré une herborisation et informatisation (scan) des échantillons végétaux prélevés concernant une partie des non déterminés afin de permettre une identification ultérieure, on note un certain nombre de spécimens non déterminés, le plus souvent en raison de leur caractère incomplet (végétatif) ne permettant pas une identification certaine. Pour les 54 relevés retenus nous constatons ainsi 200 occurrences ou le taxon n'a pas pu être déterminé avec certitude. Dans 130 cas il a été possible de reconnaître toutefois la famille, mais 70 individus sur un total de 1687 occurrences (relevés retenus) n'ont pas pu être déterminés, ce qui correspond à 4,1% des espèces courantes. On observe ainsi une certaine perte d'information si on ne retient que les taxons déterminés jusqu'à l'espèce, correspondant à 76,2% des taxons rencontrés.

Le nombre de 408 espèces pour 54 relevés indique déjà une grande variété floristique se manifestant aussi dans la moyenne de 24 espèces par relevé avec un coefficient de variation relativement important de 52,4% (cf. tab. 4.2 ci-dessous). De très nombreuses espèces, constituant pas loin de la moitié des espèces recensées (178 espèces) ont été rencontrées dans un seul relevé. Si on ne retient que les espèces rencontrées dans au moins trois relevés, on ne recense plus que 154 espèces différentes.

Tab. 4.2 : caractéristiques des relevés floristiques

	N tot.	moy sp./R	ET	CV	min	max	Q1	Q3
Espèces déterminées	408	23,8	12,5	0,52	1	56	13,25	32,75

Abréviations : n= nombre d'espèces déterminées, moy= moyenne arithmétique (*arithmetisches Mittel*) des espèces déterminées par relevé, ET= écart-type (*Standardabweichung*), min=valeur minimale (*Minimalwert*), max=valeur maximale relevée (*Maximalwert*), Cv= coefficient de variation (*Variationskoeffizient*), Q1=1^{er} quartile (25%-Quantil), Q3 = 3^{ème} quartile (75%-Quantil)

Si on tenait compte des 22 relevés non retenus ou des herborisations occasionnelles effectuées sur le massif, la liste du nombre d'espèces rencontrées pourrait s'allonger à respectivement 434 et 547 espèces, sans prétendre cependant à un inventaire exhaustif de la flore rencontré sur le massif.

La liste des espèces recensées lors des 54 relevés retenus (figurant en raison de taille du tableau dans les annexes) laisse apparaître l'absence de quelques espèces assez communément rencontrées sur le terrain, pour ne citer que la gentiane jaune (*Gentiana lutea*), les jubarbes (*Sempervivum arachnoideum* L. et *S. tectorum* L.), l'œillet des Chartreux (*Dianthus carthusianorum*), les sureaux (*Sambucus* sp.), les Mufliers (*Antirrhinum* sp.), le pied d'âne (*Tussilago farafara*), la dent de chien (*Erythronium dens-canis* L.) ou la vesce des Pyrénées (*Vicia pyrenaica* Pourret), sans mentionner les résineux plantés par endroits comme le douglas, l'épicéa, le mélèze, et le cèdre.

En moyenne, sept taxons par relevé n'ont pas pu être déterminés jusqu'à l'espèce, dont trois à quatre seulement jusqu'au genre. Nous avons rencontré jusqu'à sept taxons « indéterminables » dans un même relevé (cas de R38 où nous avons pu toutefois identifier 56 espèces). Parmi les taxons déterminés jusqu'au genre, de nombreuses occurrences ont été notamment constatées pour les genres *Viola* (18 occurrences) *Rubus* (17 occurrences), *Hieracium* (15), *Festuca* (11), *Agrostis* (11), *Rosa* (9) et *Ranunculus* (7). La floraison précoce de *Viola* et les difficultés de détermination (cf. chap. 2.2) rencontrées pour les taxons *Rubus*, *Hieracium*, *Festuca* et *Rosa*, mais aussi pour *Taraxacum* (4), *Carex* (6) *Alchemilla* (5) et *Potentilla* (3) expliquent ainsi la moitié occurrences déterminés seulement jusqu'au genre. Les éléments végétaux totalement inconnues se limitaient le plus souvent à quelques feuilles sans fleurs apparentes qui n'ont pas pu être attribuées aux autres espèces présentes. Nous les avons recensés ces taxons inconnus pour avoir une idée de l'erreur potentielle lors de l'utilisation des indices de diversité.

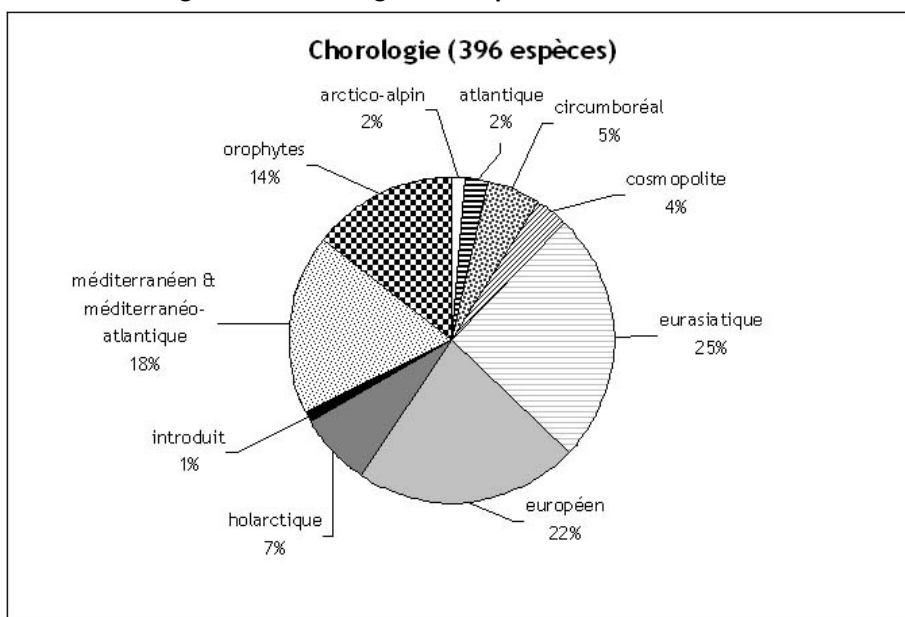
Comme mentionné plus haut, de nombreuses flores ont servi à la détermination sur le terrain, en fonction de leur disponibilité dans les bibliothèques ou leur présence sur place (à Nohèdes). L'hétérogénéité de la nomenclature des flores utilisés a été ensuite normalisée par consultation et correction des données à l'aide de l'index synonymique de la flore de France (ISFF de Kerguelen revisitée par B. Bock : BDNFF v. 4.02). Après informatisation et validation des noms latins nous avons relié le tableau brut dans une base de donnée au catalogue « baseflor » du projet CATMINAT de Philippe Julve (Julve, 1998a : dernière version consulté : 8 novembre 2010), disponible en ligne, recensant plus de 7500 espèces de la flore française. Cela permettait d'attribuer à chaque espèce des caractéristiques écologiques et géobotaniques comme la chorologie

(aire de répartition), le type biologique (typologie propre à Philippe Julve mais s'inspirant de la classification de Raunkiaer) et une indication phytosociologique caractéristique.

Chorologie

Les aires de répartition des espèces rencontrées reflètent assez bien la diversité des influences climatiques : L'influence méridionale se manifeste par la présence de 71 espèces typiquement méditerranéennes. On trouve, par exemple, de nombreuses espèces inféodées à la région méditerranéenne occidentale comme *Aphyllanthes monspeliensis* L., *Argyrobolium zanonii* (Turra) P.W. Ball, *Aristolochia pistolochia* L., *Euphorbia nicaeensis* All., *Galium maritimum* L., *Linum narbonense* L., *Phillyrea angustifolia* L., *Teucrium aureum* Schreber et *Thymus vulgaris* L., mais aussi des espèces méditerranéennes atlantiques (méditerranéen humide), ainsi que 40 espèces typiques de l'Europe méridionale comme le buis (*Buxus sempervirens* L.), l'amélanchier (*Amelanchier ovalis* Medik.) le houx (*Ilex aquifolium* L.) ou le Cerisier de Sainte Lucie (*Prunus mahaleb* L.). Les espèces franchement atlantiques comme l'euphorbe d'Irlande (*Euphorbia hyberna* L.) sont plus rares (13 espèces).

Fig. 4.1 : Chorologie des espèces rencontrées



Source : 54 relevés floristiques, quantification avec « baseflor »

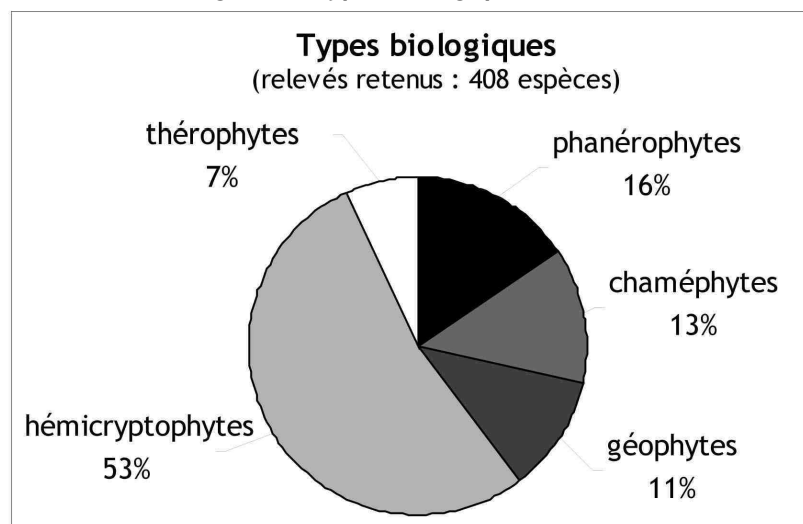
La tendance montagnarde est mise en évidence par les 57 orophytes et six espèces arctico-alpines comme la dryade (*Dryas octopetala* L.), la silène acaule (*Silene acaulis* (L.) Jacq.), ou le genévrier nain (*Juniperus sibirica* Lodd. ex Burgsd.). Parmi les orophytes, on compte notamment une vingtaine d'orophytes pyrénéens comme la campanule à feuilles lancéolées (*Campanula lanceolata* Lapeyr.), l'œillet de Montpellier (*Dianthus hyssopifolius* L.), l'œillet des Pyrénées (*Dianthus pyrenaicus* Pourr.), le gispet (*Festuca eskia* Ramond ex DC.), le camérisier des Pyrénées (*Lonicera pyrenaica* L.), la renoncule à feuilles de parnassie (*Ranunculus parnassifolius* L.), le séneçon des Pyrénées (*Senecio pyrenaicus* L.), la valériane à feuilles de globulaire (*Valeriana apula* Pourr.) et la valériane des Pyrénées (*Valeriana pyrenaica* L.), ainsi que l'orophyte pyrénéo-auvergnat *Achillea ptarmica* subsp. *pyrenaica* (Sibth. ex Godr.) Heimerl (cf. photo, chap. 2.3).

Toutefois, plus de la moitié des 396 espèces rencontrées¹²¹ ont des aires de répartition assez ordinaires, respectivement holarctiques, circumboréales, eurasiatiques et européennes comme l'anémone hépatique (*Hepatica nobilis* Schreber) et le gaillet vrai (*Galium verum* L.), le génévrier (*Juniperus communis* L.) et le nard (*Nardus stricta* L.), le sorbier (*Sorbus aucuparia* L.), la myrtille (*Vaccinium myrtillus* L.) et le millefeuille (*Achillea millefolium* L.), ainsi que le serpolet (*Thymus serpyllum* L.) et le gaillet de printemps (*Cruciata glabra* Ehrend.), qui faisaient partie des espèces les plus couramment constatées. A ces espèces très communes il convient d'ajouter 18 espèces cosmopolites et introduites, parmi ces dernières on trouve notamment *Senecio inaequidens* DC, *Robinia pseudoacacia* L. et *Ficus carica* L.

Types biologiques

En ne retenant que les cinq types biologiques principaux, phanérophytes (arbres), chaméphytes, géophytes, hémicryptophytes et thérophytes, on peut surtout observer dans les 54 relevés retenus la prédominance des hémicryptophytes persistants à la mauvaise saison par des bourgeons dormants à la surface du sol (219 espèces). La quasi-totalité des graminiformes relevés (poacées, joncacées, cypéracées) peut être en effet classée parmi les hémicryptophytes cespiteux (45 espèces) et la plupart des herbacées rencontrées sont des hémicryptophytes érigés (79 espèces), stolonifères (51 espèces) ou rosettes (24 espèce). Les géophytes à rhizomes comme la réglisse des Alpes (*Trifolium alpinum* L.) ne sont toutefois pas rares et concernent 27 sur 38 géophytes relevés dans tous types de milieux.

Fig. 4.2 : Types biologiques rencontrés



Source : 54 relevés floristiques, quantification avec « baseflor » (Julve, 1998b)

Les 27 espèces thérophytiques relevées, essentiellement des dicotylédones (magnoliopsida) se rencontrent en revanche surtout dans les milieux relativement ouverts. Les chaméphytes frutescents (24 espèces) aux bourgeons dormants aériens, et dans une moindre mesure les chaméphytes suffrutescents (26 espèces) occupent souvent les landes où ils constituent parfois les

¹²¹ Onze espèces relevées ne sont pas renseignées par *baseflor* (version decembre 2010), notamment les pissenlits et les liondents relevés, ainsi que *Leuzea conifera* (L.) DC., *Polygonum bistorta* L. et *Tamus communis* L.

espèces dominantes (exemples du genêt purgatif, *Cytisus oromediterraneus* Rivas Mart. et al.,) mais se rencontrent également dans le sous-bois des forêts (exemples de la myrtille *Vaccinium myrtillus* L., du rhododendron, *Rhododendron ferrugineum* L et des camérisiers *Lonicera sp.*) et dans les milieux plutôt ouverts (exemple des thymus, *Thymus sp.* et du Sénéçon du Cap, *Senecio inaequidens* DC). Enfin, les 24 espèces d'arbres et arbustes (méga-, et mésophanérophytes), le plus souvent caducifoliées (21 espèces) constituent les strates supérieures des milieux forestiers, tandis que les 34 espèces de micro et nanophanérophytes (sans lianes) essentiellement représentées par les arbrisseaux ou sous-arbrisseaux se rencontrent fréquemment dans le maquis, les landes et friches, surtout en ce qui concerne les formes sempervirentes (13 espèces), même si on peut les rencontrer également dans le sous-bois des milieux forestiers.

Espèces particulières

Les deux espèces végétales prioritaires selon la directive habitats et recensées sur le site Natura 2000, la Ligulaire de Sibérie (*Ligularia sibirica*) et l'Alysson de Pyrénées (*Hormatophylla pyrenaica* (Lapeyr.) Dudley et Cullen) n'ont pas été contactées lors de relevés, même si les secteurs où ces dernières se trouvent aient été à peu près connus à l'auteur. Il s'agissait en effet de ne pas perturber davantage ces sites puisque nous n'avons pas cherché à mettre en évidence des espèces végétales « extraordinaires ». De surcroît, l'Alysson des Pyrénées est en effet assez difficilement accessible du fait de son habitat en milieu rocheux des abrupts calcaires sur le versant nord du Mont Coronat.

En revanche, d'autres espèces de la flore patrimoniale ont été rencontrées sur le terrain, plutôt par hasard, comme par exemple le Panicaut de Bourgat, *Eryngium bourgatii* à proximité des chemins sur les communes de Sansa et de Réal, ou *Ononis aragonensis* dans les secteurs inférieurs de la Réserve Naturelle de Nohèdes, mais elles n'ont pas été recensées à l'intérieur des placettes des relevés. Parmi les endémiques de Pyrénées (incluant les espèces pyrénéo-cantabriques ou pyrénéo-ibériques)(Nicol, 1995) nous avons pu constater au moment des relevés de terrain, le camérisier des Pyrénées (*Lonicera pyrenaica*) et l'Endressie des Pyrénées, (*Endressia pyrenaica*). Une observation du galeopsis des Pyrénées (*Galeopsis pyrenaica*) reste incertaine puisque les exemplaires fleuris ont été constatés en dehors de la placette R74. Parmi les espèces considérées comme patrimoniales dans la PNR des Pyrénées catalanes on peut par ailleurs mentionner la prêle des forêts *Equisetum sylvaticum* L. et la gentiane pneumonanthe (*Gentiana pneumonanthe* L.) rencontrées dans un bas-fond (R48), ainsi que *Epilobium duriaei* Gay ex Godron et *Dryopteris carthusiana* (Vill.) H.P. Fuchs.

4.2.1.2. La phytodiversité

Richesse et diversité spécifique

La façon la plus simple de « mesurer » la phytodiversité est la quantification des espèces présentes dans un relevé, mesure la plus fréquente pour caractériser la « diversité α » au sein d'une communauté. Considérer le nombre d'espèces recensées dans un relevé est une façon approximative de considérer l'alpha-diversité tout en intégrant au moins deux erreurs potentielles :

le nombre d'espèces relevées omet les espèces non déterminés (pour diverses raisons) et la placette du relevé est considéré comme représentant parfaitement une communauté, ce qui n'est pas forcément le cas et même, ce qui est à priori plutôt rare. En outre le principe de mesurer la phytodiversité à partir d'espèces n'intègre ni la diversité génétique, ni l'état ou l'abondance des espèces dans la communauté (Trempe, 2005).

Avec une moyenne de 24 espèces déterminées par relevé on peut noter toutefois un écart brut assez important allant de 1 (R62) à 56 (R38) espèces déterminés par relevé. L'histogramme des fréquences par classes de 5 espèces (cf. fig. ci-dessous) indique une répartition bipolaire où 15 relevés se caractérisent par la présence de 5 à 15 espèces et 29 relevés par la présence de 20 à 35 espèces.

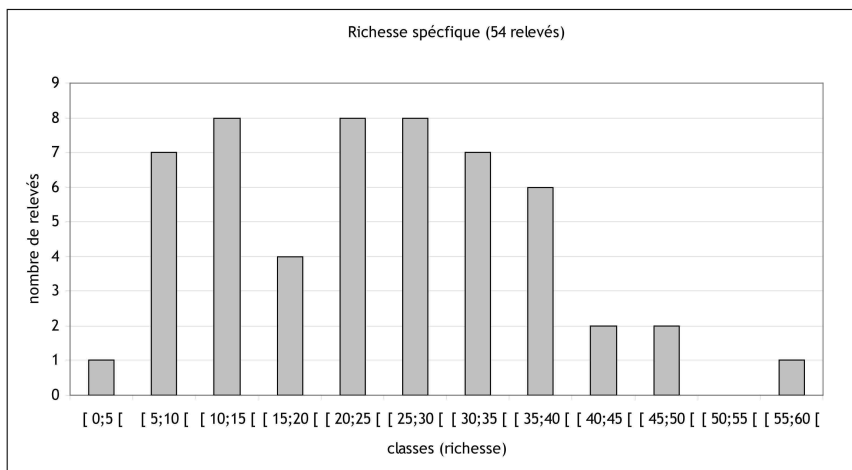


Fig. 4.3 : répartition des 54 relevés floristiques dans 12 classes de richesse spécifique végétale

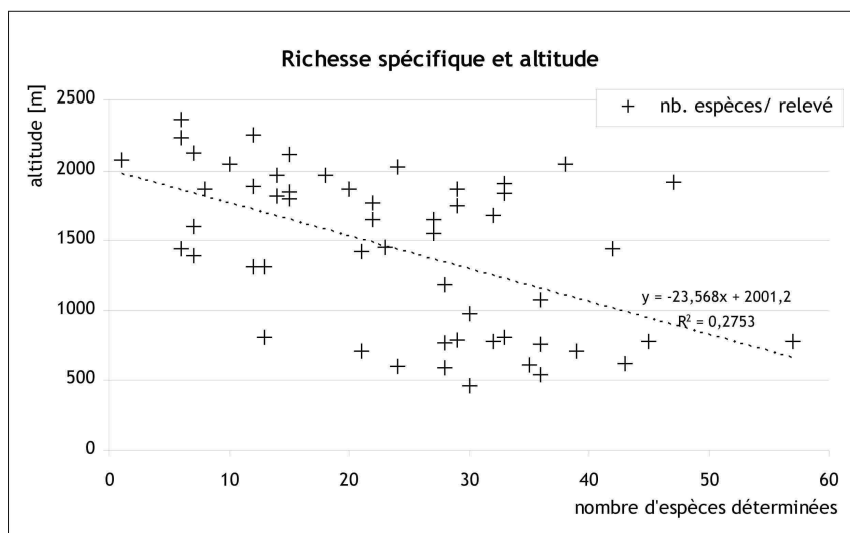


Fig. 4.4 : richesse spécifique et altitude des relevés

Un histogramme du nombre d'espèces pour chacun des 54 relevés retenus montre les différences de richesse spécifique entre les relevés, tenant également compte du nombre (approximatif) de taxons non déterminés (cf. fig. 4.5, symboles carrés gris). On peut observer une richesse spécifique globalement plus importante pour les relevés effectués dans l'étage méso- et supraméditerranéen (R20 - R 38 et R40, R67 et R69) que pour les relevés de l'étage montagnard et

subalpin (R39, R41-R64 et R70-79) et y voir une légère tendance (cf. fig. 4.4) qui varie cependant en fonction du milieu (cf. chap. 4.4).

Même si la richesse spécifique d'une placette constitue un indicateur de diversité non négligeable, on utilise souvent les indices de Simpson et de Shannon pour décrire la diversité (hétérogénéité) d'une communauté. Ces indices tiennent compte de l'équitabilité (*evenness*) d'apparition des espèces (cf. chap. 3.2). Les abondances relevées selon la méthode Braun-Blanquet permettent en effet une transformation approximative (moyenne) du recouvrement des espèces qui intervient dans les formules de calcul. Ils ont été effectués avec le programme TURBOVEG (Hennekens et Schaminée, 2001), permettant par ailleurs la gestion des bases de données floristique pour le traitement phytosociologique dans le programme JUICE (cf. figure ci-dessous). Une comparaison des ces indices offre des histogrammes rappelant celui de la richesse spécifiques (cf. figures ci-dessous) avec une diversité assez faible pour les relevés R39 et R62 et des indices globalement moins prononcés pour les relevés de l'étage montagnard et subalpin. Toutefois on peut noter que des relevés à richesse spécifique relativement faibles atteignent des indices de diversité relativement importants (exemples : R52, R63, R71) et la variabilité entre les relevés est moins forte dans l'histogramme des indices de diversité.

Les indices de diversité de Simpson (1-D) et de Shannon (H') (fig. 4.6 a) semblent se comporter, malgré des échelles distinctes de façon assez similaire. On peut cependant noter des différences sensibles en observant de plus près les valeurs et en comparant la figure des indices de diversité avec la figure de la richesse spécifique. L'indice de Simpson produit des résultats plus « équilibrés » que l'indice de Shannon. Ce dernier accentue davantage la différence entre les relevés à faible et forte diversité spécifique. La comparaison de l'indice de diversité de Shannon avec l'indice d'équitabilité de Shannon (fig. 4.6b) permet de comprendre pourquoi la diversité (hétérogénéité) spécifique peut atteindre pour des valeurs assez importantes même pour les relevés à richesse spécifique relativement faible (R52, R63 et R71). L'indice de diversité de Simpson, et dans une moindre mesure l'indice de diversité de Shannon indiquent pour ces relevés des valeurs assez élevées dû à une répartition plus équilibré des abondances puisqu'il s'agit de milieux non forestiers où aucune essence particulière domine par son abondance les autres espèces. La formule de l'indice de Shannon privilège davantage la richesse spécifique, plus précisément la présence d'espèces rares (multipliant leur proportion avec le logarithme naturel).

Après cet aperçu de la diversité spécifique alpha au sein des relevés, il est naturellement intéressant d'étudier la richesse et la diversité spécifique en fonction du milieu ou par secteur du massif pour rendre compte d'une diversité bêta et gamma. On présentera les résultats après avoir présenté les types de milieux dans le chapitre 3.4.

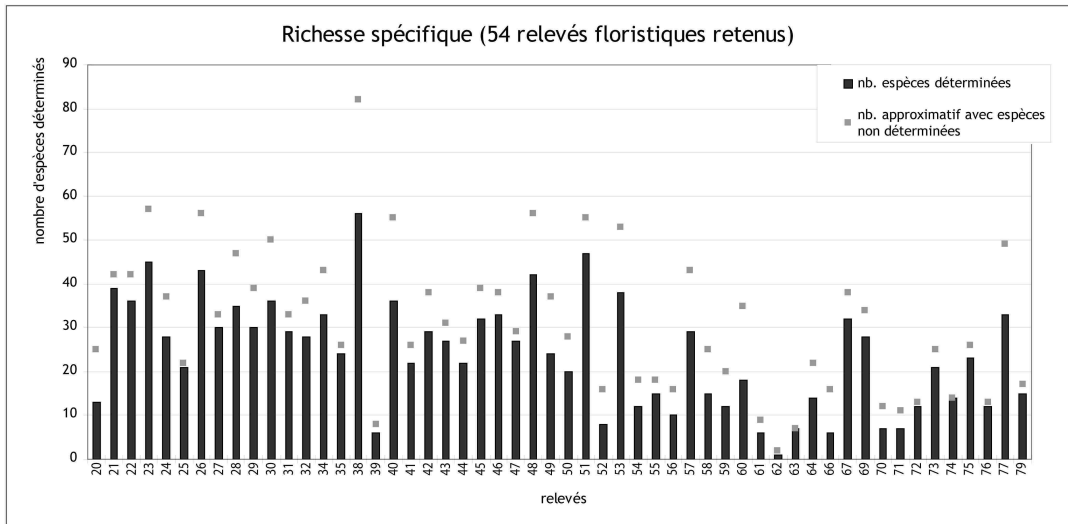


Fig. 4.5 : la richesse spécifique par relevé

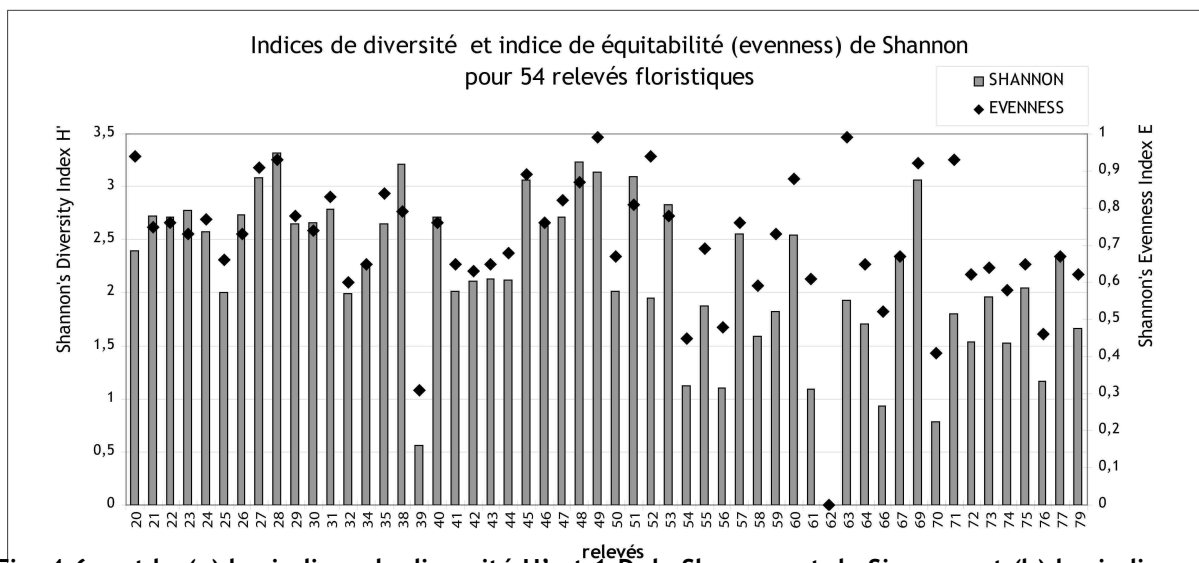
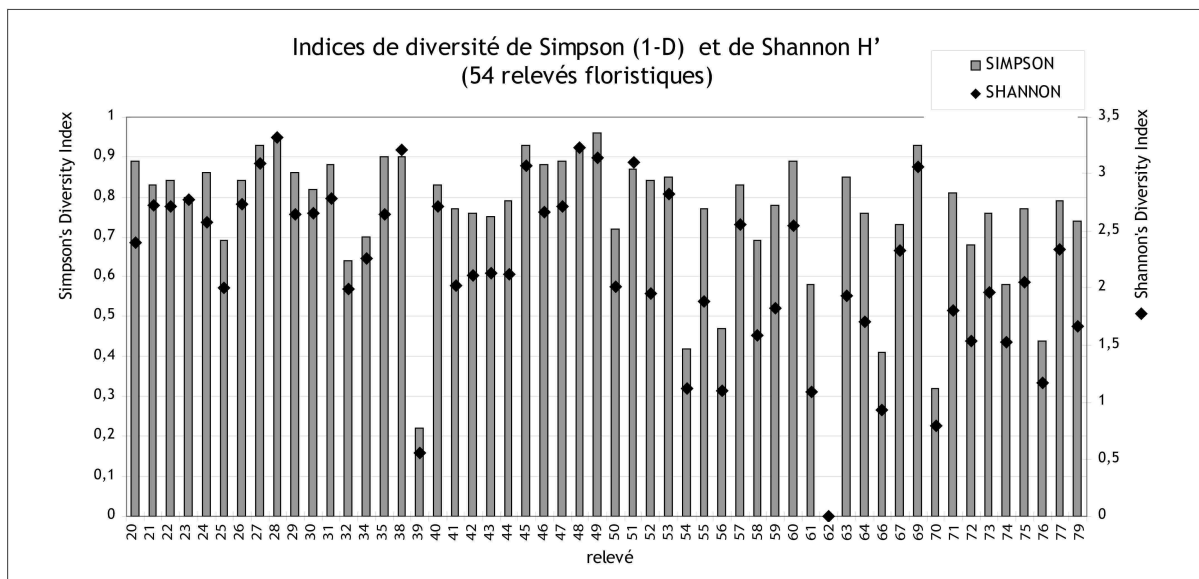


Fig. 4.6 a et b: (a) les indices de diversité H' et 1-D de Shannon et de Simpson et (b) les indices de diversité et d'équitabilité de Shannon

4.2.1.3. Approche phytosociologique

Comme mentionné plus haut, les relevés effectués ne suffisent pas à une analyse phytosociologique proprement dit en raison d'un trop faible nombre de relevés dans des milieux forts différents. Il est toutefois possible d'attribuer certains relevés à une association végétale décrite dans la littérature en observant de plus près la composition spécifique de ces relevés.

Tableau brut des données floristiques

Le tableau brut des espèces recensées en 2006 et 2007 figure dans les annexes en raison de sa taille, mais quelques caractéristiques seront toutefois évoquées ici. Les relevés floristiques effectués en 2004 ont initialement fait partie de ce premier tableau brut, mais en raison de leur caractère incomplet reposant sur un autre protocole d'étude (sans délimitation d'une parcelle, recensant seulement les espèces « dominantes ») ils ont été écartés de l'analyse.

Une analyse avec un logiciel de classification des relevés floristiques (JUICE et plus particulièrement TWINSpan et MULVA 5) ne donne pas de résultats concluants si on applique des classifications sur la matrice dans son ensemble. De trop nombreuses espèces diffèrent. En revanche le tri des relevés est fortement facilité avec JUICE et permet de reconnaître toutefois des groupes, ainsi que des relevés floristiques forts différents des autres dans un tableau analytique.

Parmi les 54 relevés retenus, on peut agglomérer, essentiellement par la présence du pin à crochets (*Pinus uncinata*), ainsi que du chêne vert (*Quercus ilex*) et du chêne pubescent (*Quercus pubescens*) deux groupes relativement amples à respectivement 15 et 16 relevés floristiques qui peuvent faire l'objet de classifications phytosociologiques. Les autres relevés constituent de petits groupes à moins de six relevés, et le plus souvent à moins de trois relevés toujours forts dissemblables. On pourrait en peu envisager de regrouper les trois relevés des (hêtraies-) sapinières R 57, R73 et R75 avec les 15 relevés dans la pinède oncinée (pinède de pin à crochets) à canche, stellaire holostée et luzule blanc de neige (*Deschampsia flexuosa*, *Stellaria holosteam*, *luzula nivea*) même si on peut remarquer quelques différences avec la plupart des pinèdes de pin à crochets. La hêtraie de R76 montre un certain nombre d'espèces communes avec les sapinières mais appartient encore à l'étage montagnard inférieur et on note alors l'absence de la luzule blanc de neige ou de sorbiers des oiseleurs et la présence du houx et de chênes et merisiers. Les relevé R39, un pinède à pin sylvestre sous - pâturée avec assez peu d'espèces ne semble rentrer dans aucun groupe et semble du fait de sa localisation à l'étage montagnard constituer un stade intermédiaire entre les deux grands groupes à chênes et à pin à crochet. Le relevé R20 est également fort dissemblable aux autres relevés mais peut être à titre exploratoire attribué au groupe fort hétérogène des prairies et pâtures supraméditerranéennes, montagnardes et subalpines sur silice, R47, R49, R52, R61 et R69, qui partagent quelques espèces très communs comme l'achillée millefeuille et au plantain lancéolé (*Achillea millefolium*, *Plantago lanceolata*), même si on peut constater des différences assez marquées. Les landes à genêt purgatif, R56, R70, R71, R72 et R74 se ressemblent davantage même si il est envisageable de regrouper ces derniers avec les prairies. On peut également regrouper les trois relevés issus des zones humides R48, R54 et R60 qui se distinguent toutefois fortement entre eux. On pourrait croire qu'il est possible de regrouper les

milieux subalpins à forte composante rocheuse carbonatée, R62, R63 et R66, mais ils n'ont aucune espèce en commun.

Bêta-diversité et groupes identifiés

L'*indice de Jaccard* est une mesure de la similarité des relevés permettant de caractériser la bêta-diversité pour des paires de relevés floristiques. Il consiste à diviser le nombre d'espèces communes de deux relevés par le somme de ce nombre de ces espèces communes avec le nombre d'espèces exclusivement présents dans un des deux relevés. Le tableau croisé des 54 relevés avec l'indice de Jaccard « j » (cf. annexes) met en évidence le taux d'espèces communes pour chaque paire et permet de détecter des groupes à similarité floristique. Cela revient au même que d'utiliser l'indice de *distance* de Jaccard « j_{δ} » (=1-j).

Un traitement à classification seulement avec les deux premiers groupes mentionnés ci-dessus, respectivement le groupe (sub-) méditerranéen à chênes et montagnard supérieur (R 21-R38, R40, R67) et le groupe subalpin à pin à crochets (R41- 46, R50-51, R53-58, R73–R75, R76-R79), ce qui se justifie en observant les valeurs de l'indice de Jaccard avec supérieurs à 0,10 pour ces relevés (cf. annexes). Pour ces deux groupes il a été possible de procéder à des classifications en vu de produire des tableaux de diagonalisation. Il s'agit pourtant de groupes encore très hétérogènes. Une analyse phytosociologique ne sera donc pas retenue dans le cadre de cette étude.

4.2.1.4. Ordination des relevés floristique

Même si une classification phytosociologique de relevés floristiques forts divergents n'avait pas d'intérêt, il a été intéressant d'utiliser des matrices de présence-absence des espèces floristiques par relevé retenu et de procéder à une ordination exploratoire. En effet ce tableau peut se traiter en analyse factorielle des correspondances (AFC) et permet de mettre en évidences la proximité entre des relevés à composition floristique proche.

En considérant les espèces comme les individus et les relevés comme les fréquences on obtient un histogramme à 54 valeurs propres avec une décroissance relativement faible en raison des très nombreuses présences isolées (158 sur 408 espèces sont présentes dans un seule relevé). Toutefois, en observant les trois premiers axes factoriels résumant 13,9% de l'information on peut reconnaître quelques grands ensembles fort bien différenciés.

Tab. 4.3 : histogrammes de valeurs propres issues de l'AFC des relevés floristiques

ANALYSE DES CORRESPONDANCES BINAIRES			
SOMME DES VALEURS PROPRES 14.9068			
HISTOGRAMME DES 10 PREMIERES VALEURS PROPRES			
NUMERO	VALEUR PROPRE	POURCENTAGE	POURCENTAGE CUMULE
1	0.8292	5.56	5.56
2	0.6495	4.36	9.92
3	0.5983	4.01	13.93
4	0.5520	3.70	17.64
5	0.5407	3.63	21.26
6	0.5089	3.41	24.68
7	0.4967	3.33	28.01
8	0.4752	3.19	31.20
9	0.4275	2.87	34.07
10	0.4010	2.69	36.76

Le premier axe factoriel permet en effet de diviser l'ensemble des 54 relevés retenus en deux grands ensembles qui permettent de différencier justement les relevés de l'étage méso- et

supraméditerranéen des relevés de l'étage montagnard et subalpin. Les contributions assez équilibrées de la plupart des 54 relevés (cf. annexes), à l'exception de R20, R39 et R69 se situant à la transition entre l'étage supraméditerranéen et montagnard témoignent d'une distinction floristique fondamentale.

Les espèces typiquement méditerranéennes comme notamment *Aphyllanthes monspeliensis*, *Osyris alba*, *Brachypodium retusum* montrent des fortes coordonnées négatives sur ce premier axe et on peut observer des contributions importantes notamment de *Quercus ilex*, *Rubia peregrina*, *Amelanchier ovalis*, *Rhamnus saxatile*, *Teucrium chamaedrys*, *Thymus vulgaris*, et *Acer monspessulanus* pour les coordonnées négatives, et de *Vaccinium myrtillus* et *Deschampsia flexuosa* pour les coordonnées positives.

Le deuxième axe exprime la très forte contribution du relevé R48, un bas-fond humide avec une richesse spécifique non négligeable. Proche de ce dernier, on peut observer les contributions de deux autres relevés effectués dans des zones humides, R54 et R60. Les principales contributions des individus proviennent ici de *Montia fontana*, *Polygonum bistorta* et *Epilobium palustre* inféodés aux zones humides.

Le troisième axe permet enfin de mieux différencier les deux grands groupes de relevés. Des contributions significatives (>2%) de 408 espèces proviennent ici de *Plantago holosteum*, *Dianthus pyrenaica*, *Thymus serpyllum* et *Festuca eskia* qu'on trouve sur les prairies et landes supraméditerranéennes et montagnardes (coordonnées négatives), sapin, hêtre, sorbier et noisetier et la luzule blanc de neige (*Abies alba*, *Fagus sylvatica*, *Sorbus aucuparia*, *Corylus avellana*, *Luzula nivea*) aux coordonnées positives permettent de mieux distinguer les milieux forestiers montagnard frais des autres milieux montagnards et subalpins.

Les principaux contrastes floristiques des relevés étudiés se résument ainsi assez bien par les l'altitude (axe1), l'hydricité (axe 2) et la dissemblance entre les milieux montagnards ouverts et fermés. Les deux grands groupes des milieux boisés (sub-)méditerranéens et montagnards-subalpins mentionnés plus haut se trouvent ici clairement distingués.

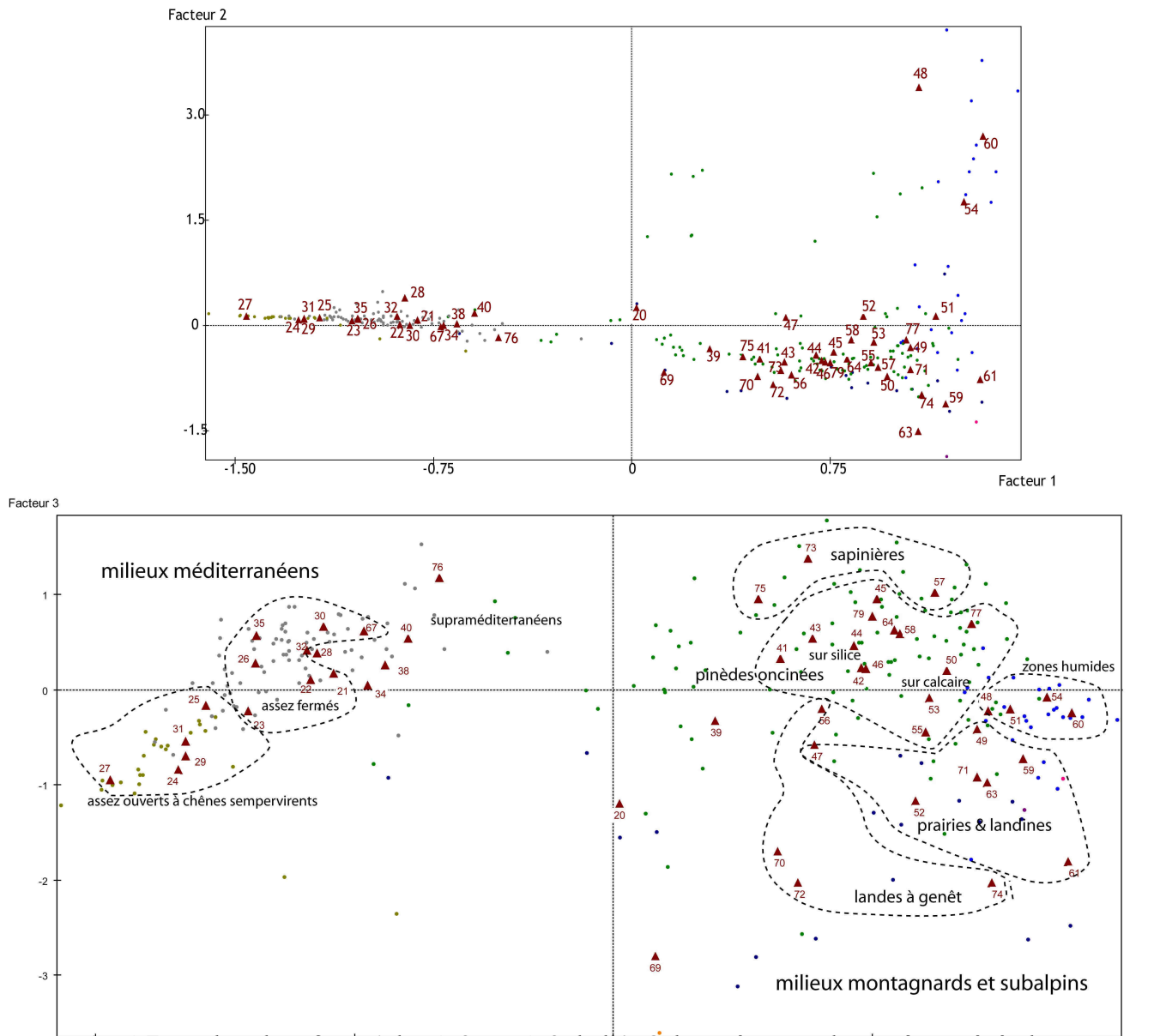


Fig. 4.7 a et b : plans factoriels F1F2 et F1F3 de l'AFC des présences des espèces végétales dans 54 relevés

Triangles : fréquences (relevés, numérotés) ; points : espèces végétales

Tab. 4.4 : coordonnées, contributions et cosinus carrés de quelques individus (espèces végétales) choisis

espèce	Poids relatif	Dist.	Coordonnées			Contributions			Cosinus carrés		
			Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 1	Axe 2	Axe 3
descfl	1,64	2,3	0,73	-0,48	0,27	1,05	0,57	0,19	0,23	0,10	0,03
vaccmy	1,41	2,9	0,89	-0,58	0,34	1,34	0,73	0,27	0,28	0,12	0,04
queril	1,17	1,6	-1,11	0,11	-0,05	1,74	0,02	0	0,75	0,01	0
querpu	1,01	2,4	-0,95	0,09	0,36	1,12	0,01	0,22	0,38	0	0,06
rubipe	1,01	2,0	-1,12	0,12	-0,06	1,55	0,02	0,01	0,62	0,01	0
teucch	0,86	2,4	-1,01	0,08	-0,02	1,05	0,01	0	0,42	0	0
amelov	0,78	3,0	-1,09	0,08	-0,19	1,12	0,01	0,05	0,40	0	0,01
hedehe	0,78	2,7	-0,94	0,11	0,41	0,83	0,01	0,21	0,33	0	0,06
veroor	0,78	4,2	0,93	-0,47	0,55	0,82	0,26	0,40	0,21	0,05	0,07
acermo	0,70	3,3	-1,10	0,11	-0,18	1,02	0,01	0,04	0,37	0	0,01
thymse	0,70	8,3	0,84	-0,68	-1,43	0,59	0,50	2,38	0,08	0,06	0,24
thymvu	0,70	3,5	-1,10	0,00	-0,82	1,03	0	0,78	0,35	0	0,19
aspaac	0,62	4,0	-1,13	0,08	-0,23	0,96	0,01	0,05	0,32	0	0,01
campsc	0,62	5,9	1,05	-0,46	0,42	0,82	0,20	0,18	0,19	0,04	0,03
festes	0,62	14,9	1,06	-0,91	-1,39	0,85	0,80	2,03	0,08	0,06	0,13
prunma	0,62	3,7	-1,08	0,07	0,07	0,88	0	0	0,31	0	0
rhamsa	0,62	3,6	-1,18	0,09	-0,44	1,05	0,01	0,20	0,39	0	0,05
bracre	0,55	5,0	-1,33	0,12	-0,58	1,17	0,01	0,31	0,35	0	0,07
pistte	0,55	4,7	-1,20	0,11	-0,33	0,95	0,01	0,10	0,31	0	0,02
dorype	0,47	6,0	-1,32	0,12	-0,53	0,99	0,01	0,22	0,29	0	0,05
osyral	0,47	5,3	-1,22	0,10	-0,46	0,85	0,01	0,16	0,28	0	0,04
aphymo	0,39	7,2	-1,37	0,11	-0,84	0,89	0,01	0,46	0,26	0	0,10
pogobi	0,31	14,5	1,29	2,37	0,05	0,63	2,69	0	0,12	0,39	0
planho	0,23	36,3	0,41	-0,93	-2,81	0,05	0,31	3,10	0	0,02	0,22
dianpy	0,16	37,1	0,36	-0,94	-3,12	0,02	0,21	2,54	0	0,02	0,26
epilpa	0,16	24,4	1,33	3,77	-0,30	0,33	3,41	0,02	0,07	0,58	0
montfo	0,16	24,4	1,33	3,77	-0,30	0,33	3,41	0,02	0,07	0,58	0

Abréviations pour les espèces : voir annexes

Le résultat de l'ordination reflète les effets de l'échantillonnage par quotas, qui nous a incité de répartir les relevés dans les différents niveaux altitudinaux et qui privilégie des relevés en milieu forestier en raison de la dominance de ce type de formation végétale sur le massif. Bien évidemment les nombreuses associations végétales existant dans les milieux ouverts, rocheux, humides, etc. à plus faible surface se trouvent sous-représentés par cette approche.

4.2.1.5. La caractérisation de la phytodiversité

Diversité spécifique et caractérisation des milieux

La quantification des éléments floristiques par le critère d'abondance-dominance permet de caractériser la diversité végétale des milieux. Il n'est plus besoin de démontrer que les milieux méditerranéens et les zones humides se caractérisent par une diversité spécifique supérieure à la moyenne. Toutefois il est utile de quantifier et nuancer ces tendances. La plus simple des mesures de la diversité s'est faite donc par simple quantification des espèces relevées. Les indices de diversité et d'équitabilité permettent de compléter la caractérisation de la diversité en quantifiant l'hétérogénéité floristique. La comparaison de ces indices de diversité n'a cependant seulement un sens si on subdivise les différents relevés en créant des groupes de relevés similaires ou au moins relativement proches. On peut créer ces regroupements simplement par des critères floristiques à

l'image des associations végétales mais tel n'est pas le but de cette étude et par ailleurs, il a été mise en évidence que la de nombreuses relevés sont trop singuliers pour permettre l'attribution à un « groupe » floristique contenant plusieurs relevés.

L'objectif est donc d'utiliser les indices de richesse et de diversité pour caractériser des milieux qui ne se définissent pas, ou pas exceptionnellement par leur composition floristique.

Distribution spatiale et phytodiversité - la répartition des espèces à l'échelle du massif

La phytodiversité se limite aux milieux concrètement étudiés et ne permet pas de quantifier la phytodiversité de l'ensemble du massif. Les indices de diversité n'ont donc une valeur seulement pour les sites étudiés.

Les 54 relevés retenus, repartis de façon irrégulière sur le terrain d'étude ne permettent pas de « modéliser » la répartition spatiale de la phytodiversité. Les habitats auxquels on peut associer les relevés sont en revanche cartographiables et si on tiendrait à quantifier de façon très approximative le potentiel de phytodiversité il faudrait passer par une cartographie des habitats naturels. Celle-ci étant incomplète et la modélisation de la phytodiversité ne constituant pas l'objet de cette recherche on se limitera à constater la répartition des relevés floristiques effectivement réalisé sur le massif.

Une cartographie des 408 espèces relevées n'est pas envisageable à l'échelle du massif, à moins de se réduire à quelques espèces caractéristiques. Pour consulter la répartition des espèces il suffit alors de se référer au tableau d'abondance-dominance (*cf.* annexes), les relevés (numérotés) peuvent être localisés sur la carte des relevés (*cf.* carte 4.1).

4.2.2. Les apports de la pédologie

4.2.2.1. Caractéristiques des sols étudiés

Les relevés de sols retenus sont au nombre de 72 si on inclut les descriptions rapides et incomplètes effectuées sur 18 fosses en 2004. Le protocole plus exhaustif de description appliqué sur les autres 54 fosses prévoyant la prise d'échantillons permettait de caractériser les sols par leur granulométrie, couleur, pH. Les 144 échantillons de sol prélevés dans 40 fosses en 2006 ont été tamisés et analysés au laboratoire. A ces échantillons s'ajoutent 57 échantillons prélevés sur 18 fosses en 2007 et 34 échantillons de substrat rocheux. Tenant compte également des horizons sans prélèvement d'échantillons, 274 horizons pédologiques ont été décrits en 2006 et 2007 (en tout), ce qui inclut également les horizons constitués par la roche-mère ou des altérites. Parmi ces 274 horizons on dispose de paramètres bien identifiés (couleur, granulométrie, pH, ...) pour environ 230 horizons (entre 203 et 234 selon le paramètre), les horizons restants sont souvent des horizons à forte pierrosité ou rocheux se situant entre la limite inférieure de la fosse et la limite inférieure théorique du relevé (1 m de profondeur).

Pour les 144 échantillons prélevés en 2006 on dispose de mesures précises du pH (H₂O), du pH (CaCl₂) et de la conductivité électrique, effectuées au laboratoire. Parmi les autres paramètres analysés, la granulométrie de la terre fine a été déterminée pour 20 échantillons, le rapport C/N pour 33 échantillons et le taux en carbonates pour 35 échantillons (dont 2 sans résultats).

La description des divers paramètres sur le terrain et au laboratoire permettait par ailleurs l'estimation ou évaluation de quelques paramètres supplémentaires. A titre d'exemple, la couleur du sol a été déterminée pour 231 horizons et permettait l'estimation du taux de matière organique. La classe texturale (texture tactile) a été évaluée pour 235 horizons dont 24 contenaient un taux de matière organique trop important pour la détermination de la classe texturale. L'évaluation de celle-ci permettait l'estimation d'une teneur moyenne en argile pour ces horizons, nécessaire pour l'évaluation de la réserve utile et la correction des résultats de la perte au feu. Le taux d'éléments grossiers ainsi que la valeur du pH (à 0,5 unités près issu du pH CaCl₂ arrondi ou de l'estimation par pH mètre HELLIGE) ont été évalués pour 264 horizons. Ils permettent l'estimation de la capacité d'échange effective (*KAK_{eff}*) pour 231 horizons et l'estimation de la capacité au champ utilisable (*nFK*) pour 233 horizons. Cette dernière peut être comparée avec les valeurs de la réserve utile estimée pour 210 échantillons selon le Service de Cartographie des sols de l'Aisne ((Baize, 1988), qui s'applique seulement aux échantillons organo-minéraux (et non aux échantillons à forte teneur en matière organique). Les réserves utiles évaluées pour les horizons à moins de 65% d'éléments grossiers ont été additionnées fosse par fosse (relevé par relevé) selon la profondeur des sols retenus pour permettre une comparaison. Le taux d'enracinement en 6 classes a été estimé pour 212 horizons. Le tableau suivant offre un aperçu sur quelques éléments descriptifs des principaux paramètres quantitatifs retenus.

Pour 47 fosses, les photos prises des profils ont pu être superposées sur une grille métrique grâce au mètre figurant sur l'image et après légère rectification avec un logiciel de traitement d'images. Pour les fosses restantes les photos ont été inexploitables ou non existantes (perte de

données en 2006). Une sélection de ces images utilisées lors de l'interprétation des données figure dans les annexes.

Types de sol - résultats d'après la « Bodenklassifikation » allemande

Une première approche qualitative consistait à identifier les types de sols selon la typologie retenue décrite par la Bodenkundliche Kartieranleitung (Ad-Hoc Arbeitsgruppe Boden, 2005).

Parmi les 72 relevés des sols les types de sols déterminés correspondaient à 14 types et sous-types de sols qu'on pouvait encore regrouper en 8 types. Les sols bruns (*Braunerde*) constituaient alors la majeure partie des types de sols constatés (50%), suivi des rankers (*Ranker*) (18.1%), rendzines (*Rendzina*) (11.1%) et colluvisols (*Kolluvisol*) (8.3%). A part ces quatre principaux types on a pu constater dans 4 cas des sols initiaux (*O/C-Boden*, 5.6%) et cinq sols de type semi-terrestre, dont un sol tourbeux (*Niedermoor*), un fluvisol (*Auenboden : Paternia*) et trois formes de gley (*Gley : Quellengley, Braunerde-Auengley, Hanganmoorgley*).

Les transitions entre rendzines et sols bruns et entre rankers et sols bruns étaient nombreuses. Ainsi 5 des 8 rendzines constatés sont en effet des intergrades appelés « *Braunerde-Rendzina* », et 11 des 13 rankers constatés pouvaient être qualifiés de « *Braunerde-Ranker* »

Malgré ces stades de transition attribués aux sols superficiels (les rankers et rendzines), la classe des sols bruns reste ample. Comme on peut le constater sur les photos jointes dans les annexes, les sols bruns ne constituent pas une classe bien homogène, on peut alors remarquer des grandes différences de texture, profondeur, pierrosité et teneur en matière organique qui seront mise en évidence par les autres paramètres retenus.

L'absence de véritables horizons éluviaux ou illuviaux même dans les milieux forestiers acides à pluviométrie non négligeable s'explique finalement assez bien par le caractère jeune et souvent perturbé commun aux sols du massif.

Si on observe les 234 horizons décrits par de nombreux paramètres (donc à l'exclusion de la roche sous-jacente) on peut identifier *grosso modo* 6 différents types d'horizons : les horizons A et B qui constituent les deux tiers des horizons identifiés, mais aussi des horizons hydromorphes de type Aa, F, G et H (5% des horizons), des horizons colluviaux de type M (6%), des horizons organiques (L, Of, Oh) (7,3%) et les altérites (Cv...) (13%). Les horizons de type Bv-Cv, qui désignent une transition entre les horizons brunifiés et des altérites étaient nombreux (12,4%) et les horizons structuraux à forte teneur en matière organique de type Bh n'étaient pas rares (3,4%).

Comparaison des types de sols et horizons déterminés avec le référentiel pédologique (RP) et la Kartieranleitung (BKA)

Une comparaison des types de sols déterminés selon la typologie allemande avec ceux déterminés à l'aide du référentiel pédologique (Baize et Girard, 1995; Baize, 2009) met en évidence les démarches différentes de ces typologies.

De façon simplifiée on peut identifier 11 références (types de sol) où le brunisol domine encore avec 45,8% des relevés, suivi de fréquence par les sols carbonatés (12 calcosols et 2 rendosols) constituant 19,4% des relevés. En effet le groupe des *Ranker* selon la typologie allemande ne se retrouve pas vraiment dans les références françaises où on ne constate que quatre véritable

rankosols (5,6%), en partie aux dépens des sols bruns et des organosols. Nous avons constaté parmi les types de sols restants quatre cas d'organosols, (5,6%), trois peyrosols (4,2%), cinq colluvisols (6,9%), trois lithosols, trois histosols, et respectivement un alocrisol, un fluviosol et un réductisol.

Malgré le fait que nous avons retenus les mêmes délimitations (limite supérieure et inférieure) pour caractériser les horizons selon le référentiel pédologique, le résultat diffère. La dénomination assez flexible des horizons de transition selon la BKA explique en partie les différences. En outre un horizon « colluvial » selon la Bodenkundliche Kartieranleitung (M-Horizont), inexistant dans le référentiel pédologique pouvait par exemple correspondre à un horizon peyrique de type pierrique (horizon Xp), inexistant dans la typologie allemande des horizons. Ceci explique les différences dans le décompte des types d'horizon parmi les 274 horizons recensés en 2006 et 2007 pour 54 relevés : Si respectivement 7% et 4% des horizons correspondaient selon les deux typologies aux horizons organiques ou hydromorphes, les chiffres varient légèrement pour les horizons organo-minéraux et minéraux. Selon la typologie du RP, 9% des 274 horizons ont été considérés comme peyriques (horizons X), c'est-à-dire riche en éléments grossiers (>60%), à côté de 26% d'horizons minéraux (altérites et substrat : horizons C et R / D), 32% d'horizons structuraux (horizons S et variantes) et 24% d'horizons « A ». Selon la typologie de la BKA, 5% des horizons de type colluviaux se joignaient à 25% d'horizons minéraux, 36% d'horizons structuraux et 23% d'horizons A « superficiels » (*Oberbodenhorizonte*).

Tab. 4.5 : Relevés pédologiques : types de sols et principaux paramètres pour les relevés 2004

Numéro relevé	Bodentyp (BKA)	Référence (RP)	type d'humus (RP)	profondeur	p. horizon A (cm)	p. horizon B (cm)	code substrat
1	Ranker	Rankosol	mull	23	23		2
2	Braunerde-Ranker	Rankosol	mull	35	10	35	2
3	Braunerde	Brunisol	mull	65	16	42	2
4	Paternia	Fluvisol	mull	35	14	35	4
5	Braunerde-Ranker	Rankosol	mull	37	22	37	2
6	Braunerde	Brunisol	moder	42	16	42	2
7	Ranker	Rankosol	mull	22	15	22	2
8	Rendzina	Calcosol	mull	40	30		3
9	Braunerde-Rendzina	Calcosol	mull	40	15	40	3
10	Braunerde-Rendzina	Calcosol	mull	52	28	52	3
11	Braunerde	Calcosol	amphimus	45	30	45	3
12	Skeletthumusboden	Lithosol	-	<1			3
13	Felshumusboden	Lithosol	-	<1			3
14	Braunerde	Brunisol	mull	75	25	60	4
15	Hanganmoorgley	Histosol	hydromull	30	10		4
16	Braunerde	Brunisol	moder	70	15	60	4
17	Braunerde	Brunisol	mull	45	15	45	4
18	Braunerde	Brunisol	mull	50	20	50	4

« p. » = profondeur de la limite inférieur du horizon A ou B en cm; code substrat cf. chap 3.1 ;
Source : relevés A. Müller 2004

Tab. 4.6 : Relevés pédologiques : types de sols et principaux paramètres pour les relevés 2006 et 2007

Numéro relevé	Bodentyp (BKA)	Référence (RP)	type d'humus (RP)	profondeur	p. horizon A (cm)	p. horizon B (cm)	code substrat	pH horizon A	pH horizon B	KAK _{eff} horizon A	KAK _{eff} horizon B	rapport C/N (horizon A)	nFK [profondeur]	RU 'Aisne) [profondeur]
20	Braunerde-Ranker	Brunisol	mull	14	14		2	5,5	5,5	13	10	17,3	29,4	18,9
21	Braunerde	Brunisol	mull	26	12	26	2	6	5	17	9	32,5	47,7	27,6
22	Braunerde-Rendzina	Calcisol	mull	25	12	32	3	7	7	16	16	23,3	22,1	18,3
23	Braunerde-Rendzina	Calcisol	mull	23	14		3	7,5	7,5	37	26	23,2	37,4	27,5
24	Braunerde	Calcisol	mull	36	18	36	3	7,5	7,5	10	18	40,9	56,6	42,7
25	Braunerde	Brunisol	mull	67	14	67	2	6	6	14	10		110,6	67,5
26	Braunerde	Brunisol	moder	28	6	38	2	6	4,5	16	9	41,7	44,5	25,4
27	Braunerde	Calcisol	mull	75	10	60	3	7,5	8	24	12	30,1	118,5	56,6
28	Kolluvisol	Colluvisol	mull	101	6	24	4	6,5	6	19	16	10,2	134,2	107,4
29	Rendzina	Rendisol	mull	10	10		3	7,5	7,5	19	15	21,7	18,9	11,7
30	Kolluvisol	Colluvisol	mull	53	12	53	3	7,5	7	10	16		84,3	64,7
31	Braunerde	Calcisol	mull	65	7	65	3	7,5	7,5	22	21	28,5	78,5	61,9
32	Braunerde	Calcisol	mull	42	8	42	3	7,5	7,5	15	13		49,7	35,6
34	Kolluvisol	Colluvisol	moder	79	2		3	5	7,5	9	16		98,1	78,4
35	Kolluvisol	Colluvisol	mull	80	8		4	6,5	6,5	20	11	28,6	78,2	54,4
38	Kolluvisol	Colluvisol	moder	65	6	34	3	7,5	8	8	3		73	34,8
39	Braunerde	Alocrisol	moder	45	25	45	2	4	4	14	13	36,1	74,8	38,5
40	Braunerde	Brunisol	mull	101	12	75	2	5,5	5	13	16		117,6	88,8
41	Braunerde	Brunisol	moder	101	12	54	1	4,5	4,5	5	4		130,8	58,2
42	Hanggley-Braunerde	Brunisol	moder	101	12	60	2	4,5	4,5	17	11	35,5	170,2	97,4
43	Braunerde	Brunisol	moder	65	15	65	1	4,5	5	6	7	36,9	81	41,2
44	Braunerde	Brunisol	mull	40	10	40	2	4,5	4,5	17	11	29,4	60	31
45	Braunerde	Brunisol	moder	75	14	75	2	4	4,5	9	12	32,2	102,9	74,9
46	Braunerde	Brunisol	moder	62	8	62	1	4	4,5	6	4	32,1	100,7	43,7
47	Braunerde	Brunisol	mull	57	15	57	2	5	4,5	12	7	27,9	102,4	44,8
48	Braunerde-Auengley	Réductisol	mull	80	15	45	4	5	4,5	9	6	27,7	108,5	51,2
49	Braunerde	Brunisol	mull	75	8	75	2	4	4,5	9	7	26	112,6	53,5
50	Braunerde-Rendzina	Calcisol	mull	58	36	58	3	7	7,5	21	32	34,4	100	53,9
51	Braunerde-Ranker	Organisol	mull	50	24	50	4	4,5	4,5	12	6	32,4	93,2	33,9
52	Braunerde	Brunisol	mull	74	38	74	4	4,5	4,5	9	11	23,3	137,6	60,3

53	Kolluvisol	Calcosol	mull	101	6	14	3	5,5	7	21	13	31,7	102,9	76,6
54	Niedermoor	Histosol	Hydro-mor	88	8		4	4	4	71	84	29,7	427,4	
55	Braunerde-Ranker	Brunisol	mull	45	16	45	2	4	4,5	11	11	36,3	62,2	34,8
56	Braunerde	Organosol	moder	53	16	53	1	4	4,5	9	17	22,6	141,3	65,4
57	Braunerde	Brunisol	mull	70	15	70	1	4,5	4,5	12	5	36	85,5	34,9
58	Braunerde	Brunisol	moder	75	12	60	1	5	4,5	6	11		132,2	77,8
59	Braunerde	Organosol	moder	55	25	55	1	4	4,5	9	12	39,4	129,8	46,7
60	Quellengley	Histosol	Hydro-mull	55	22		4	5,5	4,5	87	12	30,9	185,9	33,4
61	Braunerde-Ranker	Organosol	mull	45	23	45	1	4	4,5	9	12	33,9	80,3	30,5
62	Skeletthumusboden	Peyrosol	-	<1			3							
63	Felshumusboden	Lithosol	-	<1			3							
64	Braunerde	Brunisol	moder	70	11	38	1	4	4,5	4	8	44,3	93,3	34,4
66	Rendzina	Rendosol	mull	12	35		3	7	7,5	20	24	24,6	15,7	5,9
67	Braunerde-Ranker	Brunisol	moder	32	14	32	2	5	5	6	16		86,6	48,5
69	Braunerde	Brunisol	mull	36	16	36	2	4	5	7	11		55,5	29
70	Braunerde-Ranker	Peyrosol	mull	40	9	40	2	4	4	11	13		31,6	21,6
71	Braunerde	Brunisol	-	50	6	50	1	4	4	10	13		99,1	54,3
72	Braunerde	Brunisol	mull	33	6	33	2	5	5	13	13		41,7	31
73	Braunerde	Brunisol	moder	101	8	80	2	4	4	6	11		106	67,8
74	Braunerde-Ranker	Brunisol	mull	48	24	48	2	4	5	6	10		71,5	29,5
75	Braunerde-Ranker	Peyrosol	moder	25	6	25	2	5	5	15	13		40,5	34,4
76	Braunerde	Brunisol	moder	101	12	72	2	4	5	15	19		158,9	108,7
77	Braunerde-Ranker	Brunisol	moder	38	23	38	1	4,5	4,5	12	5		58,5	21,4
79	Braunerde	Brunisol	moder	56	16	56	1	4,5	4,5	8	11		84	45,2
moyenne				54	15	49		5,3	5,4	15	14	30,3	93,6	47,8

Typologie des sols simplifié ; code substrat cf. chap 3.1 ; « p. » = profondeur de la limite inférieure du horizon A ou B en cm ; « pH » = moyenne de l'horizon en question issu des mesures de pH CaCl₂ arrondis ou du péhamètre Hellige ; « nFK » = *nutzbare Feldkapazität* évalué conformément à la BKA pour la profondeur du sol indiqué. « RU » = réserve utile évalué à l'aide du triangle des textures du Service Cartographique des Sols de l'Aisne pour la profondeur du sol indiqué ; « KAK » = CEC ou capacité d'échange des cations issu de la moyenne des horizons A ou B.

Source : relevés A. Müller

Profondeur des sols

Étant donné que les fosses pédologiques ont été limitées à un mètre de profondeur au maximum, les chiffres indiqués pour les profondeurs moyennes et maximales sont à relativiser. Nous avons pu constater sept sols (sur 72) avec une profondeur dépassant 100 cm de profondeur. On peut toutefois indiquer une profondeur moyenne de 51,5 cm avec un écart-type de 26,5 cm. Si on attribue 7 classes de profondeur avec des pas de 15 cm la classe des sols n°3 avec une profondeur moyenne de 30 à 45 cm est la plus fréquente (19 sols, soit 26.4%), suivi des sols de la classe n°5 avec une profondeur de 60 à 75 cm (15 sols soit 20.8%). Des sols superficiels, voire l'absence de sols (0-15 cm de profondeur) présentaient sept cas (9.7%).

Tab. 4.7 : chiffres clés (*Lagemaße*) concernant la profondeur des sols du massif

	n	moy	méd	ET	CV	min	max	Q1	Q3
Profondeur des sols [cm]	74	51,5 cm	50 cm	26,6 cm	0,52	0	>100 cm	35	70

Abréviations : n= nombre de fosses; moy= moyenne arithmétique (*arithmetisches Mittel*), méd= médiane (=Q2), ET= écart-type (*Standardabweichung*), min=valeur minimale (*Minimalwert*), max=valeur maximale relevée (*Maximalwert*), Cv= coefficient de variation (*Variationskoeffizient*), Q1=1^{er} quartile (25%-Quantil), Q3 = 3^{ème} quartile (75%-Quantil)

Pierrosité des sols de montagne

La pierrosité des sols est un facteur fortement variable dans l'espace et entre les horizons d'un même solum. La taille moyenne des éléments grossiers varie considérablement en fonction de la position dans le versant et du substrat dominant. Ainsi les sols sur roches granitoides se caractérisent souvent par la présence d'arènes granitiques ayant pour conséquence la prédominance de graviers dans le solum, tandis que les roches carbonatées laissent apparaître une prédominance des cailloux et pierres. Les schistes occupent souvent une position intermédiaire avec prédominance des cailloux et une forte teneur en graviers.

Tab. 4.8 : éléments grossiers

	n	moy	méd	ET	CV	min	max	Q1	Q3
éléments grossiers >2 mm (SK) [en %]	229 e	38,8%	39%	22,7%	0,58	0%	90%	19%	55%
... dont cailloux et pierres >2 cm (GS) [en %] ;.	229 e	24,6%	15%	22,2%	0,9	0%	90%	5,3%	40%

Abréviations : n= nombre d'échantillons, moy= moyenne arithmétique (*arithmetisches Mittel*), méd= médiane (=Q2), ET= écart-type (*Standardabweichung*), min=valeur minimale (*Minimalwert*), max=valeur maximale relevée (*Maximalwert*), Cv= coefficient de variation (*Variationskoeffizient*), Q1=1^{er} quartile (25%-Quantil), Q3 = 3^{ème} quartile (75%-Quantil)

Anthropisation des sols

Une partie importante des sols notamment des étages inférieurs se trouve dans un environnement de terrasses de culture. En ce sens il s'agit selon le référentiel pédologique d'anthrosols, c'est-à-dire des sols ayant subi pour grande partie un nivellement, et une destruction de l'horizonation antérieure par mélange d'horizons au moins à proximité des murettes (Baize et Girard, 1995 :95). Les sols de terrasses sont également fortement susceptibles d'avoir subi du labour et cela qui impliquerait de dénommer l'horizon A labouré « Ap » (BKA) ou « L » (RP), s'il s'agissait aujourd'hui encore de sols cultivés. Or, l'abandon des terres, l'enrichissement ou encore la pâture ont effacé plus ou moins la transition nette entre l'horizon organo-minéral et les horizons sous-jacents. Les processus « naturels » dominant aujourd'hui l'évolution actuelle de la plupart de ces sols. Pour cette même raison, et dans le doute, nous avons utilisé, à quelques rares exceptions près surtout le sigle Ah au lieu de Ap (BKA ; horizon « L » selon le RP) pour la dénomination de l'horizon organo-minéral et nous n'avons pas utilisé la dénomination « anthrosols »

Horizons riches en charbons

Le traitement des échantillons au laboratoire permet de remarquer plus facilement la présence de charbons millimétriques, qui ne ressortent pas forcément lors de la description du sol sur le terrain. Quelques exceptions doivent cependant figurer ici, comme notamment des macrocharbons constatés dans l'horizon « carbonique » du relevé R30 (une charbonnière fossilisée par des colluvions, ces derniers étaient probablement issus de l'effondrement d'une murette de soutènement de terrasse), ou encore les macrocharbons du relevé R45 et R58 (cf. photos). Pendant le tamisage nous avons (sans les avoir systématiquement cherchés) remarqué des morceaux millimétriques de charbon dans pas moins de onze autres relevés effectués en 2006 et cela à des profondeurs assez variables : A titre d'exemple, dans 9 relevés les charbons constatés se trouvaient dans les horizons structuraux (B) et seulement dans sept relevés nous avons remarqués du charbon dans l'horizon A. Les relevés R39 et R64 se caractérisaient par la présence de charbons dans tous les horizons.



Photo 4.79 (ci-dessus) : présence de charbons centimétriques, ici à environ 25 cm de profondeur dans la fosse pédologique du relevé N°58

Cliché A. Müller

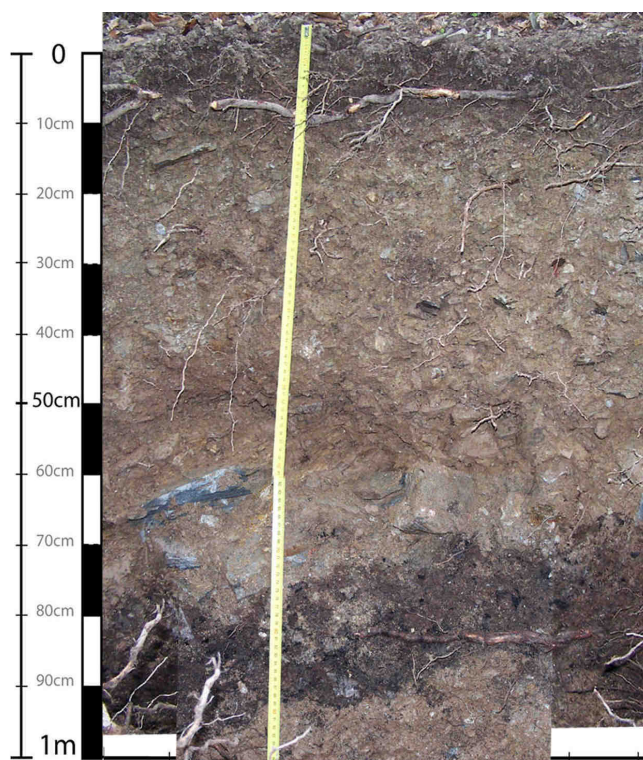


Fig. 4.8 : Coupe verticale dans la fosse pédologique du relevé R30 : « Kolluvisol » avec horizon de charbonnage entre 70 et 90 cm de profondeur surmonté par des colluvions

Cliché et rectification A. Müller

Les couleurs des échantillons

Quatre teintes de base, c'est-à-dire quatre chartes selon MUNSELL suffisaient pour caractériser l'ensemble des couleurs de sol rencontrées à l'état humecté (231 échantillons) : les teintes « orangées » comme 7.5YR, 10YR et les teintes « jaunâtres » 2,5Y et 5Y. Les premières et dernières (7.5YR et 5Y) étaient toutefois extrêmement rares (8 horizons sur 231, et trois cas intermédiaires : 8,75YR et 3,75Y), la teinte 10YR était la plus fréquente relevée dans 188 échantillons, suivi de la teinte 2.5Y caractérisant 87 échantillons. Parmi les échantillons prélevés dans un sol sur substrat calcaire, 83% montraient une teinte 10YR, ce chiffre atteignait également 64% pour les sols issus de roches granitoïdes. En ce qui concerne les échantillons sur sol schisteux, la teinte 10YR était aussi fréquente que la teinte plus jaunâtre 2,5Y (respectivement 46 et 48% des échantillons sur schistes)

Sans compter les intergrades, on pouvait constater 45 couleurs différentes en fonction de leur saturation et de leur clarté. La couleur la plus fréquente était « 10YR 3/4 » (« brown », 25 horizons), suivi de « 10YR 3/3 » (« dark brown », code 5, 18 horizons) et de « 2,5Y 3/3 » (« dark olive brown » code 23, 18 horizons) ; puis « 10YR 2/3 » (« very dark greyish brown » code 3 ; 15 horizons), « 10YR 4/4 » (« dark yellowish brown », code 10 , 15 horizons) « 10YR 2/1 »(incl. 10YR 1,7/1, « black », code 1, 14 horizons), et « 2,5Y 4/3 » (« olive brown » ; code 26 : 14 horizons).

Par leur caractère intégrateur (teneur en matière organique, reflet des minéraux dominants) et physiognomique la couleur constitue un paramètre intéressant et sera retenu dans les traitements statistiques visant à différencier les sols par leurs horizons. Le paramètre « couleur » peut s'apprécier sous différents aspects (variables) : on peut distinguer 6 classes de teintes (hue), 7

classes de clarté (value) et 8 classes de saturation (chroma) qui constituent des variables ordinales, les 45 couleurs recensées constituent les modalités d'une variable « couleur » nominale.

4.2.2.2. Les résultats des analyses du sol effectués au laboratoire

Les analyses décrites ci-dessous, réalisées au laboratoire permettent de compléter les observations faites sur le terrain notamment en ce qui concerne les paramètres physiques et chimiques du sol.

Les analyses granulométriques de la matière fine

Les analyses granulométriques effectués sur 20 échantillons permettaient de faire ressortir des différences entre les sols étudiés, et paraissent fortement refléter le substrat sous-jacent. La forte teneur en sables grossiers et une teneur en argiles ne dépassant jamais les 30% caractérisent les résultats des analyses à la pipette de Robinson-Köhn (cf. tab. 4.10 suivant). La figure 4.9 met en évidence ce constat de la relation entre le substrat et la texture du sol. Les échantillons prélevés dans les sols surmontant des substrats granitoïdes se caractérisent par des textures grossières sableuses. C'est notamment la teneur en limons qui permettait de différencier les sols calcaires plus argileux (8-30%), à teneur importante en limons (entre 40 et 65%) des sols sur substrat métamorphique / schisteux assez limoneux mais rarement sablo-argileux. Les sols sur plutonites se présentent toujours sableux, voire sablo-argileux sur le matériel remanié par des processus colluviaux et morainiques. Les sols issus d'autres roches cristallines comme les schistes plus ou moins métamorphisés et les sols issus d'alluvions ou colluvions cristallins mixtes se caractérisent par des textures intermédiaires, sablo-argileuses, voire sablo-limoneuses pour les substrats plus schisteux. Les sols issus de substrat schisteux occupent ainsi une position intermédiaire entre les sols issus des roches et formations superficielles granitoïdes et les sols issus de substrats et formations superficielles carbonatées généralement plus argileuses. Il est par ailleurs intéressant de constater que les deux échantillons carbonatés dolomitiques issus des versants occidentaux subalpins sont plus limoneux, moins argileux que les trois échantillons argilo-limoneux issus des calcaires et dolomies de Villefranche et de Conat de l'étage subméditerranéen.

Les échantillons de l'analyse granulométrique ont servi pour étalonner les estimations tactiles de la texture, réalisé pour les premiers 145 échantillons au laboratoire de pédologie. A cette expérience se sont ajoutées les estimations de la texture de terrain pour 65 échantillons prélevés en 2007, toujours avec les mêmes échantillons d'étalonnage. Une mise en garde sera toutefois nécessaire, car les estimations tactiles sont soumises à des erreurs importantes si l'expérience fait défaut, comme affirment les spécialistes (Jamagne 1967 d'après Baize et Jabiol, 1995). Toutefois, l'application rigoureuse de la clé de détermination présentée (cf. chap. 3.1. et annexes) semble produire des résultats pertinents. En effet, les résultats de l'estimation tactile sont fortement comparables aux analyses granulométriques comme le montrent les deux figures suivantes (cf. fig. 4.9 et fig. 4.10).

Tab. 4.9 : comparaison des chiffres clés (*Lagemasse*) concernant la teneur en argile

	n	moy	méd	ET	CV	min	max	Q1	Q3
argiles [%] analyse granulométrique	20 e	12,25%	10,87%	7,31%	0,6	3,95%	28,78%	6,68%	14,85%
argiles [%] moyennes issues de l'estimation tactile	234 e	12,5%	13%	9,0%	0,73	2%	30%	4%	21%

Abréviations : n= nombre d'échantillons, moy = moyenne arithmétique (*arithmetisches Mittel*), méd = médiane (=Q2), ET= écart-type (*Standardabweichung*), min=valeur minimale (*Minimalwert*), max=valeur maximale relevée (*Maximalwert*), Cv= coefficient de variation (*Variationskoeffizient*), Q1=1^{er} quartile (25%-Quantil), Q3 = 3^{ème} quartile (75%-Quantil)

Tab. 4.10: résultats des analyses granulométriques selon Köhn, corrigés (somme = 100)

relevé	échantillon	sables (S) [%]			limons (U) [%]			argiles	texture
		gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	
20	20_2	18,4	8,2	6,9	12,2	27,2	17,8	9,3	Uls
21	21_3	22,0	12,2	8,3	8,9	18,6	16,5	13,6	Slu
22	22_4	6,5	4,7	6,8	11,2	21,7	20,0	29,2	Lu
23	23_2	12,7	5,3	7,7	9,4	19,1	19,8	26,1	Lt2
24	24_2	11,4	5,3	8,8	9,7	20,7	17,2	27,0	Lt2
25	25_4	21,2	12,5	5,9	11,0	25,3	14,7	9,5	Uls
35	35-2	17,3	15,0	19,0	10,0	11,2	12,7	14,9	Sl4
41	41-4	25,6	19,9	18,5	16,9	9,8	4,7	4,5	Su3
42	42-4	15,1	13,0	21,0	16,9	14,4	8,8	10,8	Slu
43	43-3	59,2	20,6	9,2	2,7	2,2	2,2	4,0	Ss
45	45-2	25,4	9,0	9,1	4,5	14,8	20,3	17,0	Sl4
48	48-3	38,1	30,8	17,0	5,2	3,0	1,2	4,8	Ss
48	48-4	6,0	24,7	44,5	10,0	6,5	4,0	4,3	Su2
49	49-3	30,1	13,2	17,8	10,6	8,8	7,9	11,7	Sl3
50	50-3	11,0	8,3	27,8	16,1	14,1	12,6	10,2	Slu
52	52-2	16,6	15,2	20,4	11,9	16,7	7,6	11,6	Sl3
53	53-2	11,7	4,8	12,7	18,2	23,5	15,7	13,5	Uls
55	55-2	16,1	12,3	19,7	13,3	12,1	10,5	16,0	Sl4
61	61-3	39,3	16,8	20,2	5,7	7,2	4,0	7,0	Sl2
64	64-3	55,5	18,2	7,9	3,1	4,6	4,2	6,4	Sl2

Source : analyse au laboratoire de l'IfGG, février 2007

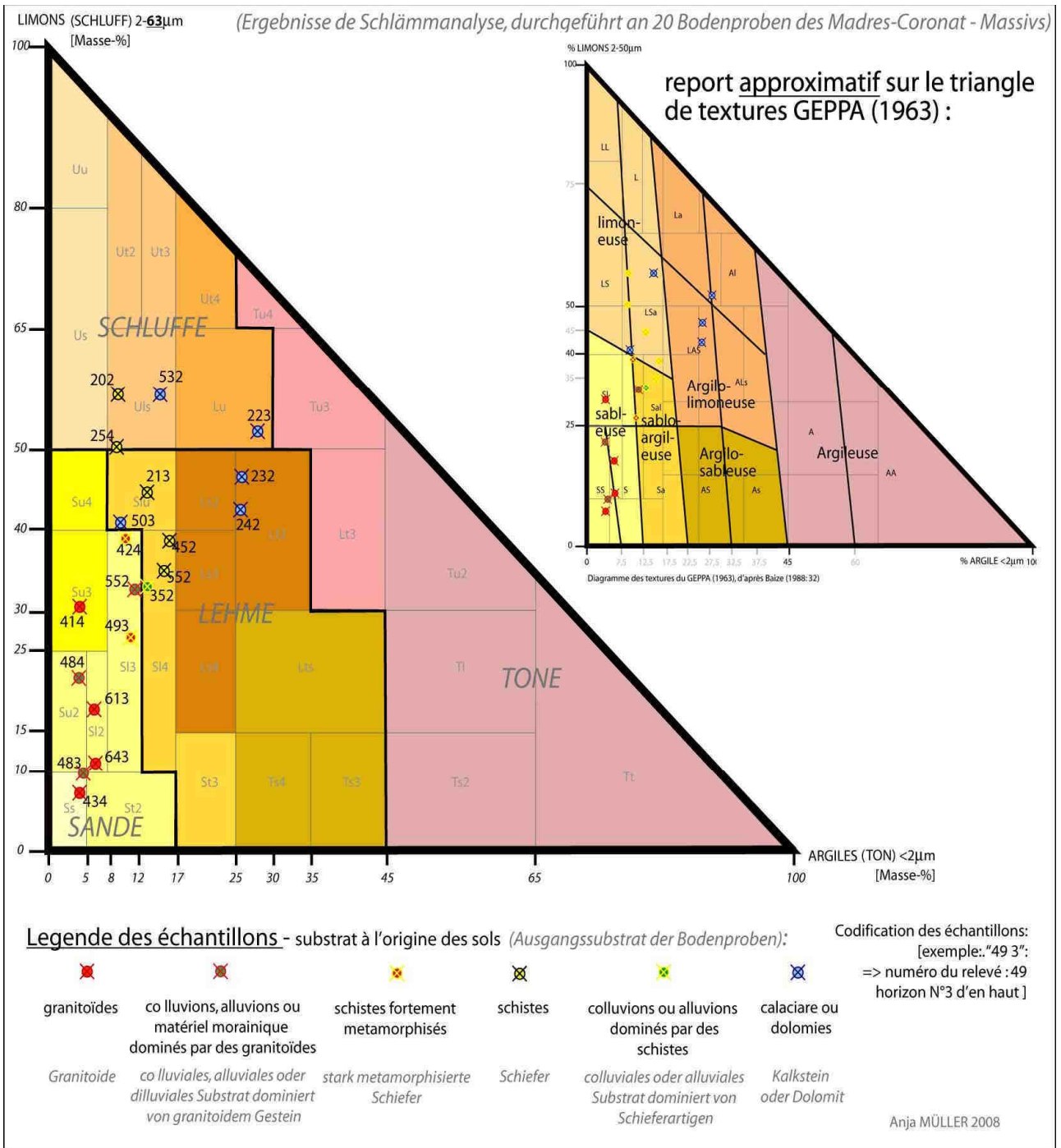


Fig. 4.9 : Résultats des analyses granulométriques (méthode « Köhn ») effectués sur 20 échantillons transposé sur le triangle des textures

Source : Résultats A. Müller (2007) et report sur les triangles de textures de l'AG BODEN (2005) et du GEPPA (1963), voir aussi fig. 3.8 pour la légende des triangles de texture. (Attention : transposition approximative : la limite entre limons et argiles se situe pour la GEPPA à 50µm et non 63µm comme pour l'AG Boden)

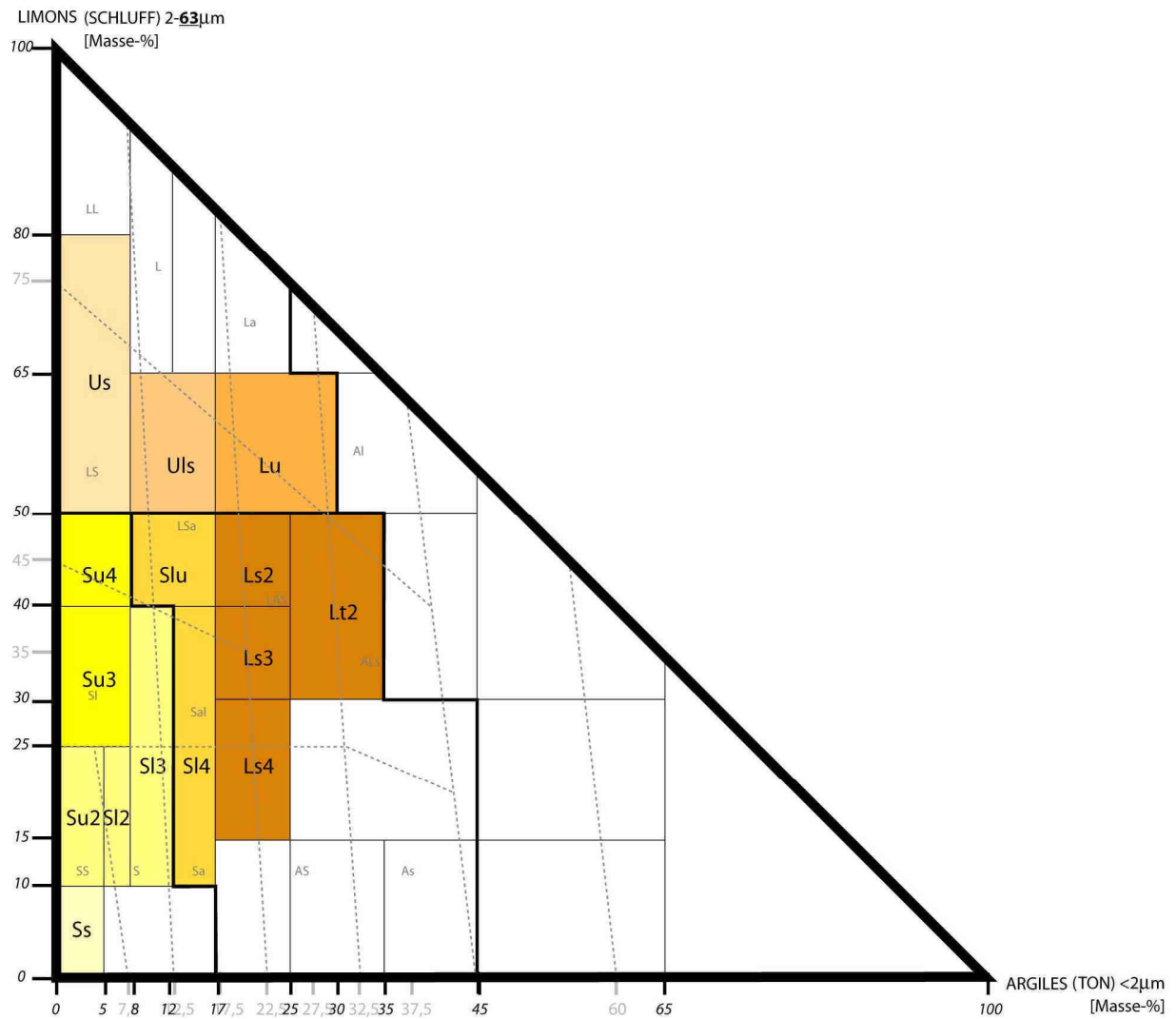


Fig. 4.10 : Classes texturales déterminées par estimation tactile (210 échantillons)

Source : Résultats A. Müller (2007) reportés sur les triangles des textures de l'AG BODEN (2005) (lignes entières) Les lignes pointillées représentent approximativement les limites des classes texturales du GEPPA (1963).

En effet, aucun échantillon ne présentait des textures argileuses. Parmi les 15 sur 31 classes texturales du BKA constatées, les textures sableuses (81 échantillons) et intermédiaires (« lehmig » (loamy) : 90 échantillons) dominant, avec toutefois un quantité d'échantillons limoneux non négligeables. Transposés aux classes texturales du triangle du GEPPA, les textures dominantes sont sableuses, sablo-argileuses, limoneuses et argilo-limoneuses avec une quantité importante d'échantillons de sables (SS et S), sables limoneux (Sl) ou argilo-limoneux (Sal) et de limons sablo-argileux (LSa) et argilo-sableux (LAS).

Acidité des sols

Le pH mesuré sur les 144 échantillons au laboratoire de pédologie de l'IfGG révèle la relative acidité des échantillons de sols, à l'exception évidemment de ceux issus des sols sur substrat carbonaté. Les mesures varient entre des valeurs très acides ($\text{pH}(\text{CaCl}_2)$: 3,71; $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$: 4,61) et basiques ($\text{pH}(\text{CaCl}_2)$: 7,82), voire très basiques ($\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$: 8,9). Les résultats entre le pH (CaCl_2) et pH (H_2O) sont différents pour le même échantillon, le pH (CaCl_2) étant toujours plus bas puisque l'électrolyte d'échange, le chlorure de calcium provoque une libération des ions H^+ associés aux complexes d'adsorption. La différence entre les pH (eau) et le pH (CaCl_2) varie pour les échantillons de 2006 entre 0,33 et 1,48 unités de pH, avec sur un même échantillon un écart moyen entre pH (H_2O) et pH (CaCl_2) de 0,81 (écart-type 0,209). A partir d'une analyse bibliographique on peut constater que le pH(CaCl_2) est généralement assez proche du pH(KCl) plus fréquemment cité dans la littérature francophone mais avec une signification identique ((Mathieu et Pieltain, 2003 :31), même si ce dernier tend généralement à afficher des valeurs légèrement inférieurs (de l'ordre de 0,1 unités de pH), dues très probablement à une concentration plus importante du chlorure de potassium (0,1 mol/l) (« Höhrerer Dissoziationsgrad » d'après (Becher, 1999 :114)).

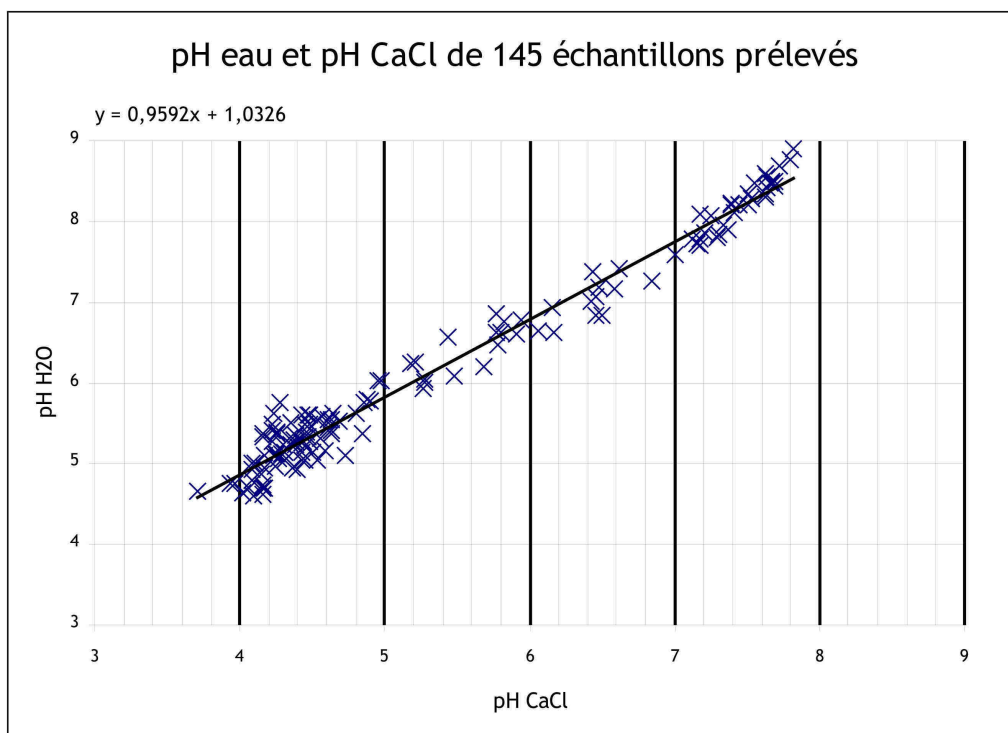


Fig. 4.11 : acidité des sols mesurée sur 144 échantillons prélevés en 2006.

A. Müller

La figure (cf. fig. 4.11 ci-dessous) illustre les 145 mesures du pH (CaCl_2) et pH (H_2O) réalisées, et fait apparaître sur les extrémités de la droite des tendance deux groupes, celui des sols acides et celui des sols neutres à basiques sur substrat carbonaté. Peu d'échantillons présentent alors ce pH « idéal » que l'on situe le plus souvent entre 6 et 7.

Si on tient compte des valeurs de pH arrondis à 0,5 unités ainsi que des données déterminées avec le pH-mètre de type Hellige, le mode obtenu, c'est-à-dire la valeur la plus fréquemment constatée est un pH de 4,5.

Tab. 4.11 : acidité des sols

	n	moy	méd	ET	CV	min	max	Q1	Q3
pH (CaCl ₂)	144	5,41	4,63	1,33	0,25	3,71	7,82	4,35	6,59
pH (H ₂ O)	144	6,2	5,6	1,28	0,21	4,6	8,9	5,24	7,22
pH arrondi	234	5,4	4,5	1,3	0,25	3,5	8	4,5	6,5

N.B. le pH arrondi est constitué des mesures de pH (CaCl₂) arrondies à 0,5 et des estimations effectuées sur le terrain avec le « Pehameter » Hellige.

Abréviations : n= nombre d'échantillons ; moy = moyenne arithmétique (*arithmetisches Mittel*), méd= médiane (=Q₂), ET= écart-type (*Standardabweichung*), min=valeur minimale (*Minimalwert*), max=valeur maximale relevé (*Maximalwert*), Cv= coefficient de variation (*Variationskoeffizient*), Q₁=1^{er} quartile (25%-Quantil), Q₃ = 3^{ème} quartile (75%-Quantil)

La conductivité électrique

La salinité des sols de montagne reste comme on pouvait s'y attendre relativement faible. Elle ne dépassait pas 0,55 g/l (conductivité de 842 µS/cm). La conductivité moyenne de 141 µS/cm ne donne que peu d'indices si on ne sépare pas différents types d'horizons sur lesquels ont été effectués ces mesures. Dans les horizons organo-minéraux de type A (53 échantillons / horizons retenus) la conductivité est en moyenne de 235 µS/cm, dans les horizons structuraux de types B (ou S selon le référentiel pédologique (36 échantillons retenus) elle est en moyenne de 88 µS/cm.

On peut également remarquer des nettes différences de ces moyennes si on différencie les résultats en fonction du substrat. Sur substrat carbonaté la conductivité électrique est en moyenne de 312 µS/cm dans les horizons A (9 échantillons retenus) et de 172 µS/cm dans les horizons B (8 échantillons retenus). Sur substrat schisteux ces moyennes sont respectivement de 205,7 µS/cm pour les horizons A (pour 15 échantillons retenus) et 64,3 µS/cm pour les horizons B (14 échantillons retenus). Sur substrat granitoïde 104,75 µS/cm (9 échantillons retenus) et les horizons B ont une très faible conductivité atteignant une moyenne de 29,3 µS/cm (7 échantillons retenus).

Cela suggère de retenir dans un premier temps le critère de conductivité électrique comme paramètre métrique pour la différenciation des sols dans l'analyse par horizons A et B.

Le carbone organique

Les dosages du carbone organique (C_{org}) effectués sur 33 échantillons par Dipl. chem. Martin Kull sur des échantillons d'horizon A et sur un échantillon d'hydromor coïncident assez bien avec les classes d'humidité déduites des couleurs. A l'exception de l'hydromor le carbone organique n'atteint jamais 30% correspondant à la limite entre les horizons A et la litière. Cependant les valeurs sont généralement assez élevées en ce qui concerne les sols montagnards

Tab. 4.12 : dosage de la matière organique (carbone organique)

Taux de matière organique (C _{org})	Nombre d'échantillons	minéralisation	Relevés n°
2-5	2	organo-minéral	20, 28
6-10	10	organo-minéral	22, 23, 24, 26, 27, 32, 42, 43, 45, 46
11-15	7	organo-minéral	21,39, 44, 47, 48, 55, 57
16 -20	9	hémi-organique	29, 35, 49, 51, 52, 53, 61, 64, 66
21- 25	3	hémi-organique	50, 56
26-30	2	hémi-organique	59, 60
Somme :	32		

Données issues des analyses au laboratoire ; N.B. chiffres arrondis au nombre entier. Le relevé N° 54 avec un taux de C_{org} de 63 n'est pas retenu dans ce tableau

Le rapport C/N

Le rapport C/N a été déterminé pour 33 échantillons de type A (organo-minéraux à hémi-organiques) et atteint une moyenne harmonique de 28 (moyenne arithmétique de 30,9) avec un minimum de 10,2, un maximum de 44,3 et un écart-type de 7,3. Le rapport C/N est alors le plus souvent assez « large » à très « large » indiquant un taux de minéralisation généralement faible. En effet un rapport C/N moyen ou « rapproché », c'est à dire plus faible que 20 a été observé dans seulement deux cas (R20 :17,3 et R28 : 10,2) ou on peut alors constater un taux de minéralisation plus favorable, moyen pour R20 et assez élevé pour R28.

Les rapports C/N « larges » de 30 à 40 sont habituellement observés dans les humus de type dysmoder ou hémimor (*Rohhumus*), le rapport C/N moyen autour de 20 caractérise le plus souvent des moder, les mull se caractérisent le plus souvent avec un rapport C/N entre 7 et 15 (Scheffer, Schachtschabel *et al.*, 2010). Les rapports C/N établis pour les horizons supérieurs de type A paraissent alors extrêmement forts par rapport au type d'humus constaté sur le terrain, il faudra éventuellement envisager des sources d'erreurs possibles ayant faussées ces résultats (analyses effectuées en partie plus de 6 mois après prise de l'échantillon, dosage N effectué par un autre laboratoire, ...).

Tab. 4.13 : indicateurs de tendance centrale et caractéristiques de dispersion pour la teneur en carbone organique (C), azote (N) et le rapport C/N

	n	moy	méd	ET	CV	min	max	Q1	Q3
C _{org}	33	15,01	12,36	2,03	0,71	2,03	62,93	9,03	17,74
N	33	0,51	0,39	0,37	0,18	0,18	2,12	0,28	0,37
C/N ;	33	30,3	30,9	7,2	0,24	10,16	44,3	26,0	35,5

Abréviations : n= nombre d'échantillons ; moy = moyenne arithmétique (*arithmetisches Mittel*), méd= médiane (=Q2), ET= écart-type (*Standardabweichung*), min=valeur minimale (*Minimalwert*), max=valeur maximale relevée (*Maximalwert*), Cv= coefficient de variation (*Variationskoeffizient*), Q1=1^{er} quartile (25%-Quantil), Q3 = 3^{ème} quartile (75%-Quantil)

Tab. 4.14 : typologie du rapport C/N

Rapport C/N	Nombre d'échantillons	minéralisation	Relevés n°
<16	1	haute	28
17-20	1	moyenne	20
21-25	5	faible	22, 23, 29, 52, 56,66,
26-35	17	faible	21,27,32,35,42,44,45,46, 47,49,50,51,53,54,60,61,
>35	9	faible	24, 26, 39, 43, 55, 57, 59,64
Somme :	33		

Source de la typologie adoptée :
http://www.wsl.ch/forest/soil/products/zeiger/interpretation/kap2_intbod.php

4.2.2.3. Autres caractéristiques

La capacité d'échange cationique

Les valeurs de CEC (KAK_{eff}) estimées conformément à la BKA à partir de l'humosité, du pH et corrigées par rapport à la teneur en argile montrent une diminution classique avec la profondeur du sol. Très élevées dans la matière organique et dans les substrat argileux elles tendent vers zéro dans les substrats très sableux à faible teneur en matière organique. Ainsi s'explique la différence des valeurs évaluées pour les horizons A et les horizons B retenues pour l'analyse (cf. tab. 4.15 ci-dessous).

Tab. 4.15 : indicateurs de tendance centrale et caractéristiques de la CEC

	n	moy	méd	ET	CV	min	max	Q1	Q3
KAK_{eff} [cmol/kg]	234	21,3	12,0	30,5	1,43	2	155	7,44	17,4
KAK_{eff} horizons A*	52	18,5	12,0	23,68	1,28	3,5	136	9	17
KAK_{eff} horizons B*	49	11,6	11,4	5,64	0,48	2,8	29	7,2	15

KAK_{eff} : *effektive Kationenaustauschkapazität* : capacité d'échange cationique estimée à partir du pH, de la teneur en argiles et de la matière organique conformément à la BKA

Abréviations : n= nombre d'échantillons ; moy = moyenne arithmétique (*arithmetisches Mittel*), méd= médiane (=Q2), ET= écart-type (*Standardabweichung*), min=valeur minimale (*Minimalwert*), max=valeur maximale relevée (*Maximalwert*), Cv= coefficient de variation (*Variationskoeffizient*), Q1=1^{er} quartile (25%-Quantil), Q3 = 3^{ème} quartile (75%-Quantil)

La capacité au champ utilisable (réserve utile)

La réserve biodisponible ou réserve en eau utile aux plantes (*nutzbare Feldkapazität* nFK) repose comme la KAK sur une estimation qui se fait à partir des classes texturales, de la densité du sol et de la teneur en matière organique, conformément aux tableaux proposés par la BKA explicité plus haut. A titre comparatif nous avons joint au tableau suivant les valeurs indiquées par le triangle des textures du Service de Cartographie des Sols de l'Aisne (RU), en le superposant avec le triangle de texture de la BKA.

Tab. 4.16 : indicateurs de tendance centrale et caractéristiques de dispersion pour la capacité au champ ou réserve biodisponible

	n	moy	méd	ET	CV	min	max	Q1	Q3
nFK* (BKA)	51r	87,0	85,5	39,4	0,45	15,7	185,9	57,6	109,6
RU* (Aisne)	51r	47,8	43,7	23,5	0,49	5,9	108,7	31,0	61,1

*Somme des nFK et RU par relevé, c'est-à-dire somme des estimations effectuées par horizon dans la limite de la profondeur indiquée pour chaque relevé : Les valeurs nFK estimées en ml/cm, dépendent de la pierrosité et de l'épaisseur des horizons qui varient fortement. Pour une meilleure comparaison des résultats nous n'avons pas tenu compte de la nFK du R54 (427,4 mm), puisque une estimation des horizons tourbeux n'est pas prise en compte par les valeurs de RU indiquées par le service Cartographique de l'Aisne.

Abréviations : n= nombre d'échantillons ; moy = moyenne arithmétique (*arithmetisches Mittel*), méd= médiane (=Q2), ET= écart-type (*Standardabweichung*), min=valeur minimale (*Minimalwert*), max=valeur maximale relevée (*Maximalwert*), Cv= coefficient de variation (*Variationskoeffizient*), Q1=1^{er} quartile (25%-Quantil), Q3 = 3^{ème} quartile (75%-Quantil)

On peut observer que les valeurs de RU (Aisne) sont presque réduites de moitié par rapport aux valeurs nFK indiquées par la BKA pour des classes texturales semblables et malgré la prise en compte des éléments grossiers. Sans insister sur les erreurs possibles, il peut exister plusieurs explications à ces différences, notamment la prise en compte de la matière organique et de la densité des sols dans le calcul de la nFK (BKA). Il est également possible que la densité des sols (argileux ?) de l'Aisne soit globalement plus importante que celle des sols de montagne. Si les valeurs effectives sont très différents, il ne reste pas moins que les proportions restent comparables et une prise en compte de la nFK dans l'évaluation de la pédodiversité se propose.

4.2.2.4. Ordination des caractéristiques pédologiques

Considérations générales et choix des variables

Une ordination indirecte, donc exploratoire des données pédologiques relevées dans chaque milieu permet de mettre en évidence la proximité (ou familiarité) entre différents sols par rapport à leurs caractéristiques physiques, chimiques ou encore physiologiques.

Un grand nombre de variables nominales, ordinales et continues impliquent de faire certains choix quant aux données représentatives. Il est peu utile de retenir toutes les variables en même temps si on cherche à bien mettre en évidence des propriétés communes. Après de nombreuses analyses réalisées nous proposons de retenir plusieurs ensembles de variables :

En premier lieu nous avons procédé à une ordination indirecte des variables « chimiques », c'est-à-dire le rapport C/N de l'horizon A ainsi que les pH(CaCl₂) moyen et la KAK_{eff} moyenne pour les horizons A et B. Ils ont été disponibles pour 31 relevés. Ensuite des paramètres physiques comme la profondeur des sols et la réserve utile biodisponible (nFK) constituaient un deuxième ensemble, ils étaient disponibles pour 52 relevés.

Ordinations des paramètres « pH », « CEC » et « rapport C/N »

Le rapport C/N était disponible pour 33 relevés mais nous avons écarté le relevé R54 (tourbière) en raison de taux de C_{org} extrêmement élevé (62,9%), perturbant l'analyse aussi en raison d'une CEC en conséquence très élevée. Par ailleurs le relevé R29 qui ne disposait pas d'horizon B n'était de ce fait pas comparable aux autres relevés. Ainsi nous avons retenu le pH(CaCl₂) et la CEC des horizons A et B de 31 relevés. Si plusieurs horizons étaient concernés par l'appellation A ou B, nous avons utilisé la moyenne arithmétique. Il en va de même pour la capacité d'échange cationique qui n'est cependant pas issues d'un dosage direct mais d'une estimation (à partir du pH et de la classe granulométrique) décrite ci-dessus. En raison de la prise en compte du taux d'argiles et de la matière organique dans cette estimation, nous avons retenu cette variable malgré une forte corrélation avec le pH. Le dosage de l'azote et du carbone organique, à l'origine du rapport C/N concerne uniquement les horizons A au nombre d'un dosage par relevé.

Il aurait été possible d'utiliser comme paramètres directement les mesures d'azote et de carbone organique. Ces deux paramètres sont très fortement corrélés (0,97 d'après la matrice de corrélation d'une ACP avec les autres paramètres cités), et il est plus intéressant de mettre en évidence des relevés avec un rapport C/N « étroit » que les valeurs brutes de C et de N. On peut

toutefois mentionner que les relevés R60, R56, R59 et R52 se distançaient des autres relevés par des taux d'azote et de carbone organique plus élevés.

Les résultats d'une AFC sur ces cinq paramètres, pH (horizons A et B), capacité d'échange de cations (horizons A et B) et rapport C/N sont représentés par un tableau de valeurs propres avec les deux premiers axes sur cinq rassemblant 77,85% de l'inertie totale (cf. tableaux ci-dessous)

Tab. 4.17 : valeurs propres des 5 axes factoriels, coordonnées, tableau de corrélation et valeurs-test pour l'ACP des paramètres chimiques pH (CaCl₂), CEC (KAKeff) et rapport C/N

Tableau des valeurs propres				Matrice des corrélations					
Axe factoriel	Valeur propre	%	% cumulé		pH (hor.A)	pH (hor.B)	C/N (horA)	KAKeff (hor.A)	KAKeff (hor. B)
1	2,78	55,6	55,55	pH (hor.A)	1,00				
2	0,93	18,6	74,14	pH (hor.B)	0,92	1,00			
3	0,85	17,0	91,18	C/N (horA)	-0,22	-0,22	1,00		
4	0,38	7,6	98,77	KAKeff (hor.A)	0,35	0,21	-0,15	1,00	
5	0,06	1,2	100,00	KAKeff (hor. B)	0,67	0,71	-0,22	0,27	1,00
Coordonnées des variables actives				Matrice des valeurs-tests					
	Axe 1	Axe 2	Axe 3		pH (hor.A)	pH (hor.B)	C/N (horA)	KAKeff (hor.A)	KAKeff (hor. B)
pH (hor.A)	0,93	-0,17	0,00	pH (hor.A)	99,99				
pH (hor.B)	0,92	-0,25	-0,13	pH (hor.B)	9,00	99,99			
C/N (horA)	-0,37	-0,78	0,49	C/N (horA)	-1,27	-1,25	99,99		
KAKeff (hor.A)	0,45	0,45	0,77	KAKeff (hor.A)	2,02	1,19	-0,83	99,99	
KAKeff (hor. B)	0,84	-0,14	-0,05	KAKeff (hor. B)	4,54	4,98	-1,25	1,56	99,99

La matrice des corrélations et le plan factoriel F1F2 des variables (cf. fig. 4.12 ci-dessous) mettent en évidence l'absence d'une corrélation significative entre le rapport C/N et les quatre autres variables. La capacité d'échange cationique des horizons B est fortement corrélée aux pH des horizons B, mais la corrélation est plus faible entre la CEC de l'horizon A et le pH de l'horizon A en raison de la prise en compte de la matière organiques dans le calcul de la CEC.

Le plan factoriel des individus (cf. fig. 4.13 ci-dessous) met en évidence la forte contribution des pH des deux horizons et la CEC des horizons B au premier axe factoriel. On peut distinguer deux ensembles de part et d'autre de l'origine (0) : les relevés aux pH élevés, généralement sur substrat carbonaté avec des coordonnées positives à droite et les relevés à faible pH avec des coordonnées négatives sur la gauche. Certains relevés montrent des pH élevés même sur substrat schisteux, notamment R35 et R21 au pied du Mont Coronat (roche carbonatée!) et R20 et R28 situés à proximité de Betllans, respectivement sur un plan en position de crête et sur une terrasse alluviale. Pour caractériser les ressemblances entre ces relevés nous avons procédé à une classification ascendante hiérarchique (procédure RECIP dans SPAD) et nous avons retenu cinq facteurs pour le calcul des distances (coordonnées d'agrégation) entre les individus. La classe 2 et la classe 3 regroupent les relevés sur sols carbonatés (à l'exception de R 35 dans classe 2 avec un pH toutefois élevé) La première se distingue de la dernière par les valeurs du pH : dans les horizons A ils dépassent le pH 7,7 et atteignent généralement un pH de 8 dans l'horizon B.

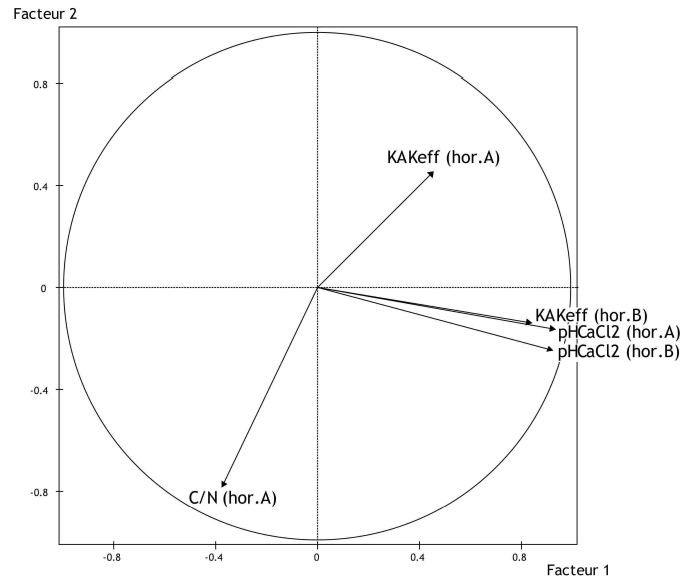
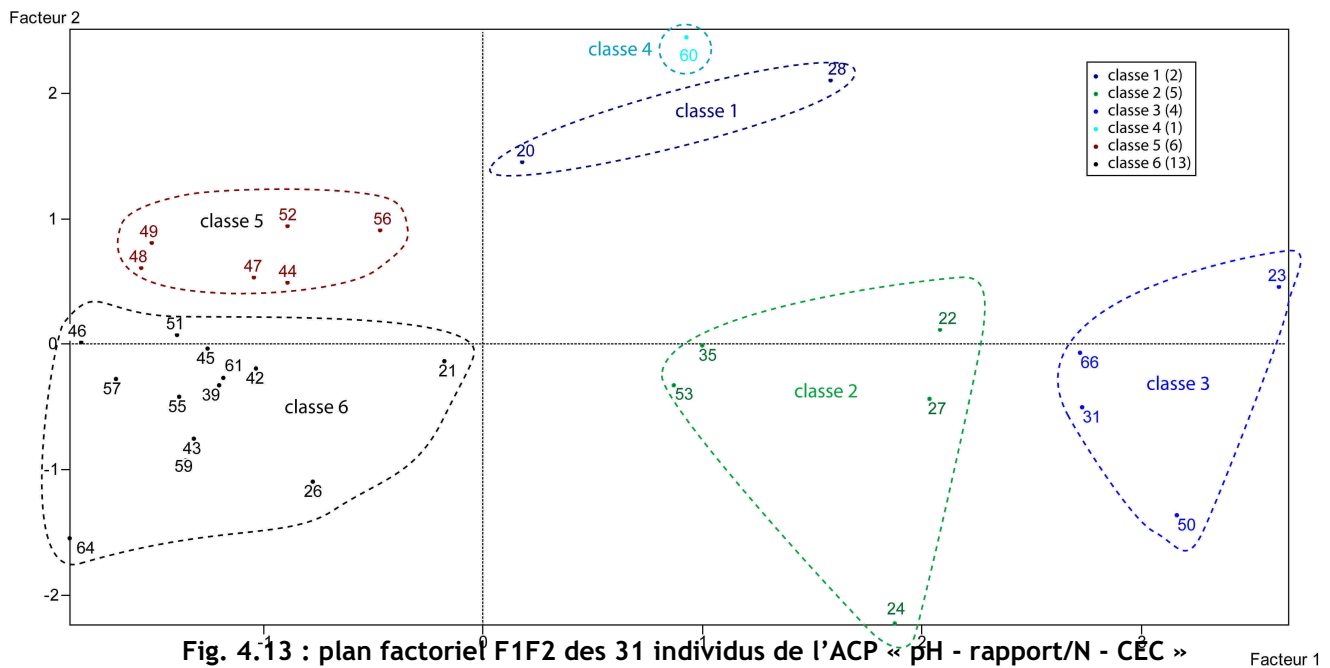


Fig. 4.12 : plan factoriel F1F2 des variables pH (CaCl₂), CEC (KAKEff) et rapport C/N



La contribution du rapport C/N au deuxième axe permet enfin de mieux distinguer ces deux groupes. Le relevé R60 constitue une classe à part (n°4) avec un rapport C/N particulier en raison de l'hydromorphie de ce sol à proximité immédiate d'une source. La classe n°2 rassemble les deux cas particuliers des sols schisteux à pH modéré (entre 5,9 et 7) de Betllans. Il s'agit de sols dont la mise en culture n'est pas très ancienne, on peut supposer qu'un amendement a du provoquer des rapports C/N nettement plus favorable (<18) que les autres sols. Les classes n°5 et n°6 rassemblent tous les sols acides développés sur schistes, sur substrats granitoïdes ou sur sédiments plus récents issus de ces types de roches. Cette dernière partition de la classification indique des valeurs de rapport C/N plus favorables, il s'agit dans les six cas (R44, R46, R47, R48, R52 R56) de milieux pâturés, même si le taux de minéralisation peut être globalement considéré comme faible et qu'on

retrouve des milieux pâturés également dans la classe n°6. On peut remarquer la position singulière du relevé R21 (proche de l'origine), un sol développé sur schistes mais surmonté d'un solum à carbonates libres.

ACP des paramètres « réserve en eau » et « profondeur » du solum et des horizons

Pour les relevés de 2006 et 2007 nous disposons d'une description détaillée des sols et des échantillons ayant permis la détermination de la classe texturale, du pH, de la CEC et de la réserve en eau utile (nFK). Les valeurs pH sont arrondies à 0,5 unités près en raison du caractère très approximatif des pH déterminés en 2007 avec le liquide indicateur. Ces paramètres continus peuvent constituer l'objet d'une ordination indirecte pour 52 relevés, excluant ainsi les relevés des éboulis et abrupts rocheux R62 et R63, sans sols proprement dit.

Nous avons cependant choisi d'aborder dans un premier temps les variables physiques et physiologiques continues pour les 52 relevés, c'est-à-dire la profondeur du sol (HM), l'extension verticale des horizons Ol, Of, Oh, A et B (HMOL, HMOf, HMOh, HMA, HMB) et la réserve en eau utile dans les limites de la profondeur déterminée (nFKprof). Une ACP de ces sept variables « structurelles » se fonde donc essentiellement sur des mesures de profondeur des horizons. La réserve en eau utile, constituant la somme des réserves de tous les horizons d'un solum dans la limite de sa profondeur tient également compte de la pierrosité des différents horizons.

Tab. 4.18 : valeurs propres des 7 axes factoriels, coordonnées, tableau de corrélation et valeurs-test pour l'ACP des paramètres physiques / physiologiques

Matrice des corrélations							Tableau des valeurs propres					
	HM	HMA	HMB	HMOL	HMOf	HMOh	nFKprof	Axe	VP	%	% cumul.	
HM	1,00							1	2,03	29,0	29,0	
HMA	-0,22	1,00						2	1,87	26,7	55,7	
HMB	0,49	-0,16	1,00					3	1,10	15,7	71,4	
HMOL	0,07	-0,03	0,18	1,00				4	0,80	11,4	82,8	
HMOf	0,03	0,03	0,10	0,61	1,00			5	0,65	9,3	92,1	
HMOh	-0,02	0,17	0,00	0,26	0,54	1,00		6	0,30	4,3	96,4	
nFKprof	0,62	-0,03	0,11	-0,04	-0,02	0,04	1,00	7	0,25	3,6	100,0	
Matrice des valeurs-tests							Coordonnées des variables actives					
	HM	HMA	HMB	HMOL	HMOf	HMOh	nFKprof	variable	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4
HM	99,99							HM	-0,53	-0,75	0,14	-0,02
HMA	-1,61	99,99						HMA	0,11	0,39	0,67	-0,59
HMB	3,86	-1,16	99,99					HMB	-0,50	-0,44	-0,33	-0,59
HMOL	0,52	-0,21	1,34	99,99				Hmol	-0,70	0,34	-0,28	-0,02
HMOf	0,21	0,25	0,73	5,11	99,99			Hmof	-0,76	0,49	-0,04	0,12
HMOh	-0,17	1,20	-0,02	1,90	4,35	99,99		Hmoh	-0,55	0,48	0,34	0,14
nFKprof	5,20	-0,24	0,77	-0,28	-0,13	0,27	99,99	nFKprof	-0,35	-0,61	0,57	0,27

La matrice des corrélations met en évidence une relation peu surprenante entre nFK et profondeur du sol, ainsi qu'entre l'épaisseur des horizons Ol, Of et Oh (pas de Of sans Oh, pas de Oh sans Of...). On note un palier important entre le 2^{ème} et troisième axe de l'histogramme des valeurs propres, raison pour laquelle nous nous limiterons à la description du premier plan factoriel,

rassemblant 55,7% de l'inertie totale, pour mettre en évidence les différences de réserve utile et de profondeur des sols. Nous avons appliqué une classification CAH tenant compte de toutes les coordonnées factorielles pour illustrer la proximité entre les relevés. Une partition de l'arbre hiérarchique à 4 classes suffit pour notre propos.

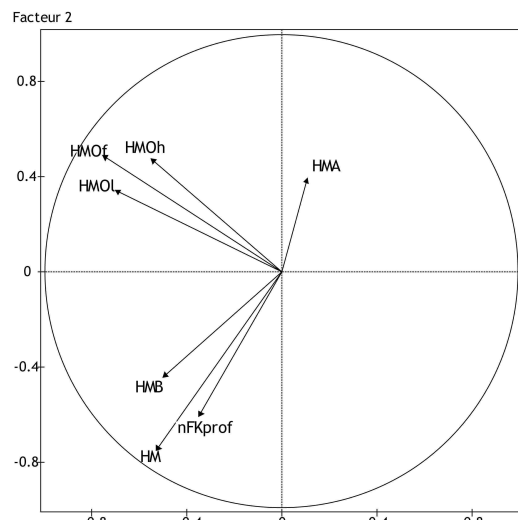


Fig. 4.14 : plan factoriel F1F2 des variables « HM » (extension verticale) et nFK (réserve utile)

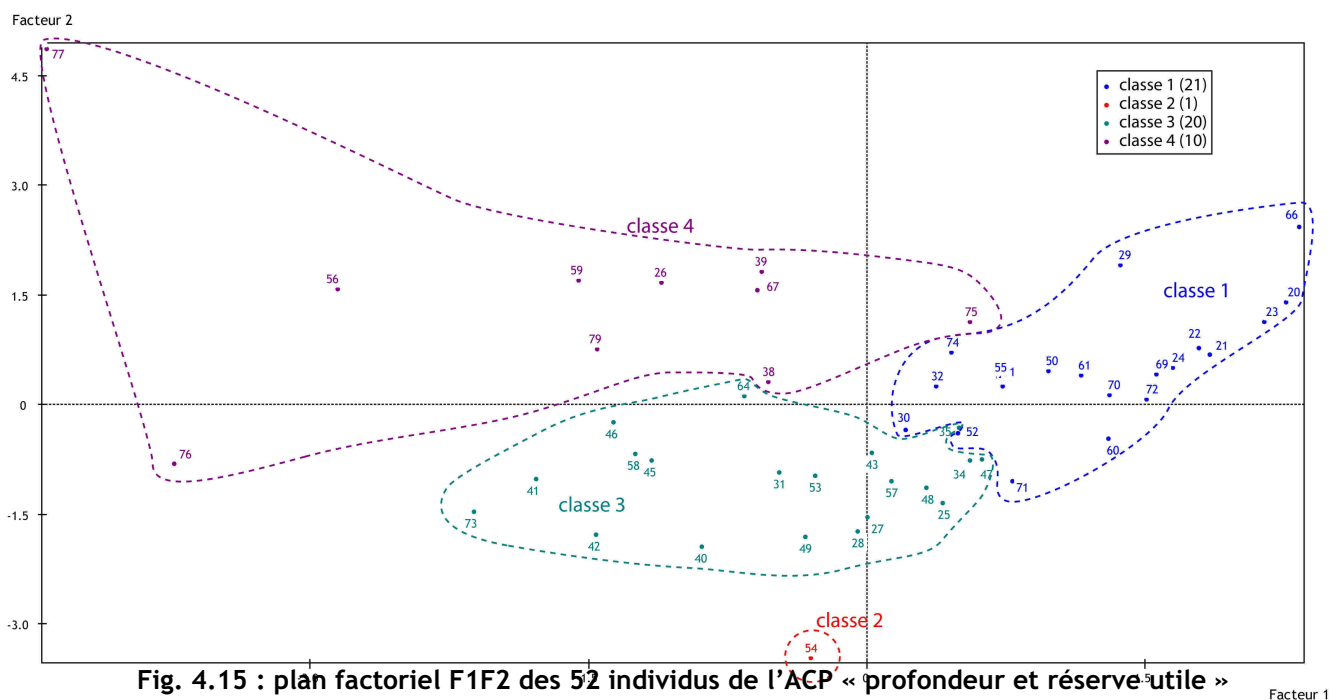


Fig. 4.15 : plan factoriel F1F2 des 52 individus de l'ACP « profondeur et réserve utile »

Les plus importantes corrélations des variables actives avec le premier facteur se manifestent pour l'épaisseur des horizons O_{li} et O_f . C'est en particulier le cas concernant le relevé R77 de la classe n°4 qui est caractérisé par une épaisse couche de litière. Les autres relevés appartenant à cette classe quoique issus de milieux très différents se distinguent ainsi par une épaisse couche de litière constituée de feuilles (R76, R26, R67), d'aiguilles (R39, R79) ou encore de brindilles de genêts (R56) et il s'agit généralement de sol à moder. A l'opposé, les relevés de la classe n°1 sont le plus souvent pourvus d'une litière, souvent discontinue, de type mull forestier ou mull de pelouse (R20, R52, R61, R69). Les relevés de la classe n°3 constituent des cas intermédiaires, avec une litière parfois aussi épaisse que celles des relevés de la classe n°4, se

distinguant cependant de ces autres relevés par une profondeur plus importante du solum, mise en évidence par le deuxième axe factoriel. Six des sept relevés avec une profondeur du sol dépassant 100 cm se trouvent ainsi attribués à la classe n°3 (R73, R42, R41, R40, R53, R28). En conséquence la réserve utile cumulée des sols d'un mètre de profondeur atteint des valeurs importantes, dépassant pour les relevés de cette classe en général 100 mm de lame d'eau. Un cas particulier enfin, la classe n°2, constituée par le seul relevé n°54 est liée à la capacité très importante des sols tourbeux pour la rétention en eau, qui a été dans ce cas précis évaluée à 427 mm pour 1 m de profondeur.

CAP des variables pH, CEC, profondeur du solum, et réserve utile

Après avoir mis en évidence les différences dans la structure et les propriétés physiques des sols (profondeur, réserve en eau utile) il semble intéressant de les combiner avec des paramètres chimiques disponibles pour les 52 relevés (pH, capacité d'échange cationique). Nous avons procédé à une ACP des six variables pH (horizons A et B), CEC (horizons A et B), réserve utile (NFK) et profondeur du solum (HM) combinée avec une CAH sur l'ensemble des coordonnées (ce qui revient à procéder à une CAH sur les données brutes). Nous avons retenu les variables d'extension verticale de différents horizons comme variables illustratives (HMA, HMB, HMOL, HMOF, HMOH). Nous avons écarté de l'analyse les relevés R54 et R60 avec des valeurs de CEC très importantes en raison de leurs horizons organiques hydromorphes.

Les valeurs propres des axes factoriels résultants permettent une description de 78,0% de l'inertie totale par les deux premiers axes factoriels avec une valeur propre supérieure à 1,0.

Tab. 4.19 : valeurs propres des 6 axes factoriels, coordonnées, tableau de corrélation et valeurs-test pour l'ACP des paramètres physico-chimiques

Matrice des corrélations							Tableau des valeurs propres			
	HM	nFKprof	pHhorAm	pHhorBm	KAK(horA)	KAK(horB)	Axe	Valeur propre	%	%cumul
HM	1,00						1	3,1448	52,41	52,41
nFKprof	0,84	1,00					2	1,5317	25,53	77,94
pHhorAm	-0,25	-0,37	1,00				3	0,6762	11,27	89,21
pHhorBm	-0,14	-0,29	0,89	1,00			4	0,4226	7,04	96,25
KAK(horA)	-0,18	-0,25	0,62	0,56	1,00		5	0,1415	2,36	98,61
KAK(horB)	-0,18	-0,13	0,46	0,51	0,57	1,00	6	0,0833	1,39	100,00
							Trace de la matrice: 6,00000			
Matrice des valeurs-tests (>2,0 : significatif)							Coordonnées des variables actives			
	HM	nFKprof	pHhorAm	pHhorBm	KAK(horA)	KAK(horB)	Libellé de la variable	Axe 1	Axe 2	Axe 3
HM	99,99						HM	-0,51	0,81	0,15
nFKprof	8,59	99,99					nFKprof	-0,60	0,75	-0,07
pHhorAm	-1,81	-2,76	99,99				pHhorAm	0,88	0,21	0,36
pHhorBm	-1,01	-2,11	10,21	99,99			pHhorBm	0,84	0,31	0,35
KAK(horA)	-1,28	-1,83	5,17	4,46	99,99		KAK(horA)	0,77	0,27	-0,24
KAK(horB)	-1,32	-0,89	3,52	3,99	4,55	99,99	KAK(horB)	0,67	0,31	-0,59

La matrice de corrélations révèle une légère corrélation négative entre le pH et la réserve utile du fait des sols carbonatés généralement de plus faible extension verticale. Les vecteurs des variables sur plan factoriel F1F2 (cf. fig. 4.16) mettent en évidence le caractère complémentaire

des variables « physiques » (profondeur et nFK) d'une part et « chimiques » (pH et CEC) d'autre part. Les contributions des individus (relevés) sont assez équilibrées : pour atteindre 50% des contributions il faut compter respectivement 7 et 8 individus (avec le plus fortes contributions) pour le premier et deuxième axe. Les plus fortes contributions au premier axe proviennent des relevés carbonatés R23, R66, R29 et R50 représentant respectivement 16,47%, 9,6%, 7,2% 6,5% de l'inertie.

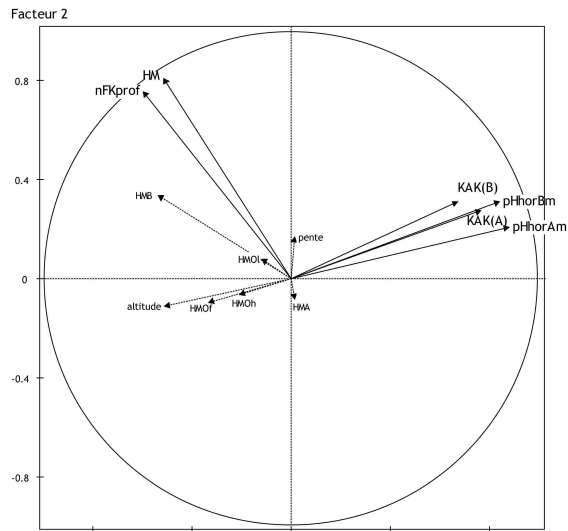


Fig. 4.16 : plan factoriel F1F2 des variables « HM » (extension verticale) et nFK (réserve utile)

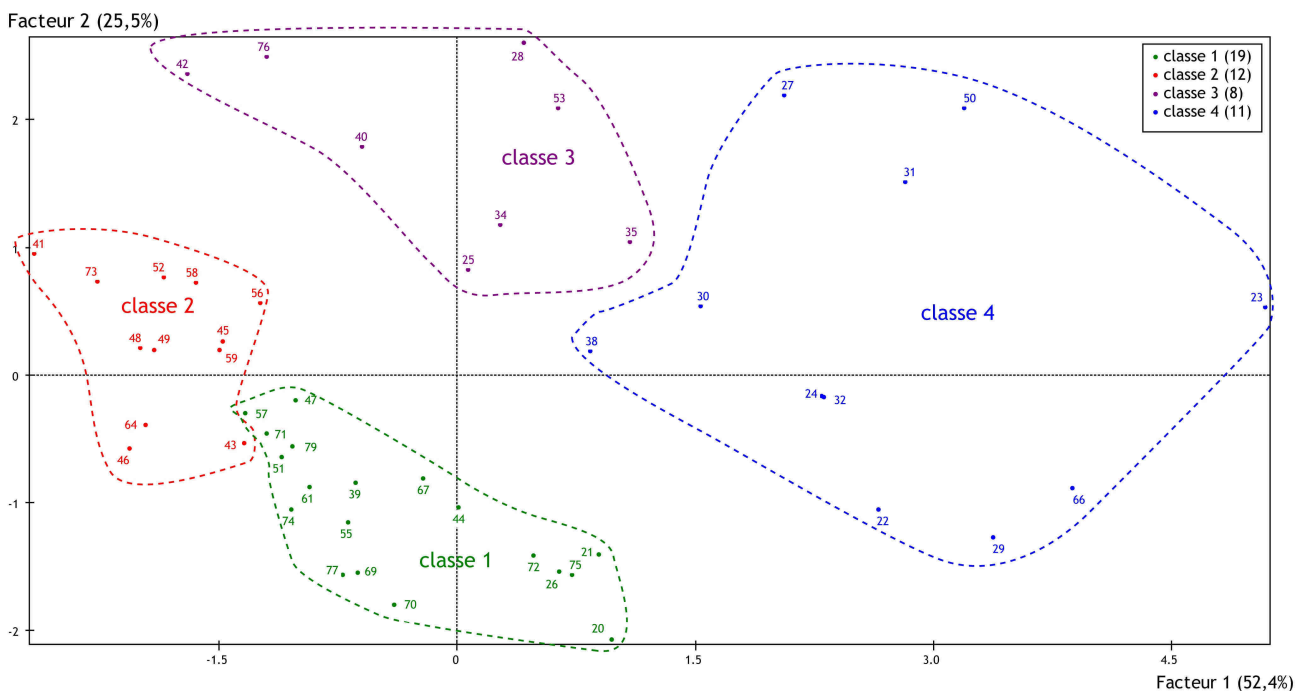


Fig. 4.17 : plan factoriel F1F2 des 50 individus de l'ACP « profondeur, réserve utile, pH et CEC » avec attribution aux 6 classes issues de la CAH

En retenant ces variables physiques et chimiques on obtient une remarquable subdivision des relevés, visible sur le plan factoriel F1F2 des individus (cf. fig. 4.17) : on peut imaginer une diagonale séparant les sols des classes n°1 et n°2 des sols des classes n°3 et n°4. En effet, un pH plus important provoque des coordonnées positives sur le premier axe, tandis que les individus à pH faibles se caractérisent par des coordonnées négatives sur ce même axe. Le deuxième axe met en

évidence la profondeur et la réserve utile des sols : les coordonnées positives désignent là des sols plus profonds à réserve utile plus importante (R28, R40, R42, R53, R76 dans la classe N°3 ; R41 et R73 dans la classe 2), tandis que les relevés à coordonnées négatives (<-1) sont assez superficiels (R20, R21, R26 dans la classe n°1; R22, R29, R66 dans la classe n°4).

A l'exception de la classe n°3, les relevés s'ordonnent remarquablement bien en fonction du substrat. Ainsi les relevés de la classe n°4 sont issus de substrats carbonatés ou influencés par des colluvions carbonatés. Les sols rassemblés dans la classe n°1 sont issus pour la plupart de substrats schisteux et métamorphiques à l'exception de R57 et R71 (localisé proches de la classe n°2), ainsi que R51 et R77 sur substrats à remaniements quaternaires. A l'opposé la classe n°2 est surtout constituée des relevés issus de substrats granitoïdes (dans les cas de R49 et R48 : présence de colluvions granitoïdes et métamorphiques), à l'exception toutefois de R45 issu de substrat métamorphique. Puisque ni le substrat, ni la granulométrie n'interviennent dans cette ordination et que les pH se ressemblent assez dans les deux classes n°1 et 2 il faut chercher la différenciation dans la réserve utile, qui tient compte de la profondeur des sols et de leur granulométrie : les individus de la classe n°2 se démarquent en effet par des réserves utiles plus importantes que celles de la classe n°1 : elles dépassant généralement 100 mm (moyenne classe n°2: 114,7 mm) avec comme seule exception R43 avec 81 mm. A l'inverse, ce seuil n'est guère dépassé par les individus de la classe n°1, avec des sols généralement plus superficiels se caractérisant par une moyenne de 65.7 mm en réserve utile, où seulement le relevé R47 dépasse le seuil des 100 mm (102 mm). Les relevés de la classe n°2 sont caractérisés par ailleurs par des capacités d'échanges cationiques globalement plus faibles atteignant en moyenne 7,3 cmol/kg dans l'horizon A et 9,2 cmol/kg dans l'horizon B contre respectivement 11,6 et 10,4 cmol/kg en ce qui concerne les individus de la classe n°1.

Le regroupement des individus relativement hétérogènes de la classe n°3 s'explique par des profils semblables à forte réserve en eau (généralement >100 mm sauf pour R35), des pH plus ou moins neutres (sauf R42) et une capacité d'échange cationique relativement élevée (entre 13 et 37 cmol/kg). Ils se distinguent des individus de la classe n°4 par un pH généralement inférieur à 7. Le seul relevé (R53) issu de substrat carbonaté associé à cette classe n°3 se caractérise en effet par un pH acide (pH 5) dans l'horizon A. Les relevés sur substrat non carbonaté (schisteux) dans la classe n°4 (R32, R30) sont caractérisés par l'influence des colluvions carbonatés venant d'amont expliquant un pH de 7,5 dans l'horizon A. Enfin, le relevé R42, seul relevé issu de colluvions granitoïdes à métamorphiques dans la classe n°3 (individus sur substrats schisteux / métamorphiques) est caractérisé par une réserve en eau utile exceptionnelle (170,2 mm) et une capacité d'échange cationique relativement élevée (17 cmol/kg dans l'horizon A) en rapport avec sa position à proximité d'une zone humide en pente.

On peut en outre remarquer une différence de densité des individus selon les classes. Le nuage de points est plus dense au niveau des relevés associés aux classes n°1 et n°2 représentant les sols acides généralement marqués par une faible capacité d'échange cationique. On observe une plus grande variance des propriétés physico-chimiques dans les classes n°3 et n°4.

Ces quatre variables « physico-chimiques » quantitatives (pH, CEC, profondeur des sols et réserve en eau utile) fournissent ainsi un aperçu assez complet sur les grandes différences entre les sols du massif, sans avoir encore tenu compte des autres caractéristiques comme la fraction grossière, les classes texturales, la coloration ou le taux d'enracinement. Ces dernières variables,

surtout qualitatives et nominales nécessitent pour la plupart une approche par horizon puisque on ne peut pas les généraliser pour un sol entier.

Autres possibilités d'analyse des sols par ordination

Nous nous sommes limités ici à présenter des analyses des composantes principales pour les paramètres physiques et chimiques des sols. Il s'agissait de présenter la variété des sols à travers les variables métriques disponibles pour un sol entier et non seulement pour les différents horizons.

D'autres facteurs physiques comme la texture fine du sol (taux d'argile moyen ou classes) ou la pierrosité nécessitent une approche par horizon, puisqu'il est aberrant de constituer des moyennes de ces paramètres à travers tous les horizons d'un relevé. L'analyse des paramètres par horizons de type « A » et « B » aurait fourni des détails supplémentaires, mais la variété des propriétés des sols du massif est suffisamment explicite avec les données présentées ci-dessus.

Enfin, on peut envisager aussi une analyse des données qualitatives nominales et ordinales comme les types de sol, le type d'humus, ou encore des descripteurs par horizons comme le taux d'enracinement, les classes de pierrosité, la couleur et les classes texturales. Puisque ces données ne sont pas exploitables via une AFC ou une ACP cela nécessite une analyse des correspondances multiples (ACM), fournissant des informations plus délicates à interpréter.

Pour une description de la diversité des caractéristiques des sols du massif nous nous contentons donc des descriptions fournies ci-dessus, permettant une meilleure compréhension de l'analyse mésologique qui suivra. L'analyse des hoplexions inférieurs, c'est-à-dire du métaplexion inférieur et de l'infraplexion constituant les « enceintes » du sol permettront de fournir des informations supplémentaires sur le caractère physionomique des sols et les composantes qui permettent de les différencier.

4.3. Approche intégrée à la mesure de la géodiversité

La mesure de la géodiversité par des relevés effectués selon la méthode d'analyse transdisciplinaire des milieux (ATM), qu'on pourra qualifier également d'analyses intégrées du milieu (AIM) permettent de qualifier la géodiversité dans notre démarche par deux principales entrées qu'on souhaite rappeler :

- Une entrée verticale : la géodiversité mésologique qui aborde la diversité des milieux par une approche stationnelle. Celle-ci permet d'identifier les composantes du milieu : les corps naturels localisés (CNL). Ces derniers peuvent être regroupés en des strates subhorizontales qui seront évalués sur place : les hoplexols. Les hoplexols qui peuvent à leur tour être regroupés en six sous-types, les hoplexions. Enfin, l'ensemble de la coupe verticale de la formation superficielle à la cime des arbres, qualifié sous le nom de holoplexion et caractérisé par une certaine composition de CNL et d'hoplexols représente un échantillon du géon, unité paysagique élémentaire. La diversité des matériaux et de leur articulation dans la stratification verticale permet de caractériser une diversité spatiale « interne » aux milieux et permet de saisir la diversité mésologique qu'existe entre milieux de type différent.
- Une entrée latérale ; la géodiversité paysagique s'apprécie tout d'abord par la cartographie des unités paysagiques élémentaires, le géons. Cette cartographie effectuée manuellement par interprétation de photographies aériennes tient compte d'extension horizontale des milieux. Les résultats dépendent de la typologie appliquée aux géons cartographiés. Une carte à typologie grossière, généralisée ait forcément pour conséquence une diversité inférieure à une carte à typologie fine, détaillée et à haute résolution des unités cartographiées. Différentes mesures issues des landscape metrics permettent de caractériser la diversité de la configuration et de la composition de la mosaïque paysagère qui sera alors qualifiée de géodiversité paysagique.

4.3.1. La mesure de la diversité mésologique (diversité verticale)

4.3.1.1. Les relevés mésologiques

Aperçu des données mésologiques

Conformément au lexique des corps naturels localisés (CNL) proposé (cf. annexes) et des 103 différents CNL réellement relevés sur le terrain, on peut résumer les relevés effectués de la façon suivante : 8994 CNL ont été quantifiés au sein de 1157 hoplexols dans un volume totale de 737 500 000 cm³, soit 737,5 m³. Ils constituent les 72 relevés mésologiques retenus, effectués entre 2004 et 2007. 18 relevés ont été effectués en 2004, 43 en 2006 et 11 en 2007.

Dans un holoplexion (relevé), on peut constater en moyenne 33 différents matériaux, chiffre qui a varié entre 10 et 50 (écart-type: 8). En fonction du nombre d'hoplexols constatés nous avons ainsi relevé jusqu'à 191 matériaux par relevé (R 38). Certains matériaux sont omniprésents comme

l'aérophyse, recensé 774 fois, d'autres n'ont été relevés qu'exceptionnellement comme le tano-luérite (R35). Leur impact est à relativiser dans les statistiques par rapport à la médiane de 33 apparitions d'un type de matériau dans l'ensemble des relevés (moyenne : 82).

L'extension verticale d'un holoplexion (relevé) dépend essentiellement des hoplexions supérieurs, puisque la limite inférieure de l'holoplexion a été située de façon générale à 1 m de profondeur. Ainsi l'extension verticale d'un relevé a été en moyenne de 10,24 m (écart-type 6,38 m) avec en conséquence 9,24 cm situés au-dessus de l'épipause. Le plus « fin » de ces holoplexions n'atteignait que 1,15 m, le plus ample s'étalait sur 26 m (supraplexion d'une extension verticale de 24,5 m dans R73). Parmi les 5 hoplexions (supraplexion, métaplexion supérieur, strict et inférieur, infraplexion) seulement deux, le métaplexion strict et le métaplexion supérieur étaient représentés dans tous les relevés. L'absence du supraplexion se justifie en milieu ouvert strictement herbacée, l'absence du métaplexion inférieur se comprend face à une paroi rocheuse et l'absence du infraplexion est évident en observant les sols colluviaux ou alluviaux avec une brunification constatée jusqu'à 1 m de profondeur.

On peut, toujours en moyenne, constater dans un relevé 16 hoplexols dont 11 se situent au-dessus de l'épipause et 5 constituent les sols et altérites. Même si la délimitation des hoplexols reste assez subjective, l'extension verticale influence ce nombre qui a varié entre 8 et 23 hoplexols relevés par holoplexion. Le plus grand nombre d'hoplexols a été constaté dans le supraplexion (9 hoplexols dans R64), même si on trouve de façon équilibrée en moyenne quatre hoplexols dans le supraplexion, quatre dans le métaplexion supérieur et quatre dans le métaplexion inférieur.

Le volume occupé par les différents hoplexols varie fortement et de façon assez typique, les hoplexols du supraplexion (strate arborée) constituent en moyenne 65,9% du volume de l'holoplexion, 13,2% du volume est en moyenne attribué au métaplexion supérieur (strate herbacée), 10,6% incombe au solum proprement dit (horizons organo-minéraux et structuraux), 9,8% à l'infraplexion et seulement 0,5% du volume appartient au métaplexion strict (à la surface du sol, constituée essentiellement de matières organiques de la litière). Ces chiffres restent bien sûr à relativiser en raison de la limite « artificielle » des relevés à 1 m de profondeur.

Ces chiffres peuvent se retrouver (pour partie) dans le tableau suivant (*cf.* tab. 4.20) recensant les principales caractéristiques des relevés mésologiques. Par ailleurs, ces caractéristiques « générales » des relevés ont fait l'objet d'une ordination des relevés abordés dans le chapitre suivant.

Tab. 4.20 : caractéristiques des 72 relevés mésologiques

Nom Relevé	nombre d'hoplexols	hoplexols positifs	hoplexols négatifs	extension verticale hoplexion [cm]	nombre de CNL différents	nombre de CNL relevés	Extension verticale S*	Extension verticale U*	Extension verticale T*	Extension verticale F*	Extension verticale I*
R1	17	11	6	750	40	129	595	51,5	3,5	48	52
R2	14	9	5	350	27	75	190	57	3	48	52
R3	16	10	6	520	26	88	340	78	2	65	35
R4	17	13	4	1900	41	182	1740	57	3	35	65
R5	18	12	6	700	33	144	560	36,5	3,5	55	45
R6	18	12	6	1300	34	139	1170	24	6	42	58
R7	17	10	7	300	32	139	140	59	1	22	78
R8	18	12	6	1300	39	159	1170	27,5	2,5	50	50
R9	20	14	6	1500	37	149	1370	22	8	40	60
R10	16	11	5	1500	34	119	1320	76,5	3,5	52	48
R11	13	9	4	2300	22	72	2140	57	3	45	55
R12	12	9	3	450	29	83	260	88	2	4	96
R13	12	10	2	1100	22	71	960	39	1	0	100
R14	15	10	5	280	23	84	120	59,5	0,5	60	40
R15	12	8	4	1000	30	99	825	73	2	50	50
R16	17	12	5	1500	37	159	1370	25,5	4,5	55	45
R17	16	11	5	800	33	132	630	68	2	45	55
R18	16	11	5	800	29	115	640	58,4	1,6	50	50
R20	12	7	5	160	27	71	0	58,5	1,5	14	86
R21	17	11	6	1300	50	181	1140	54	6	26	74
R22	17	12	5	1700	45	177	1555	43,5	1,5	32	68
R23	18	13	5	1500	39	168	1330	67	3	23	77
R24	18	13	5	800	41	168	640	57,5	2,5	36	64
R25	16	9	7	650	41	119	515	32,5	2,5	67	33
R26	19	14	5	1700	44	161	1520	74	6	38	62
R27	16	10	6	550	36	152	400	47	3	75	25
R28	15	9	6	340	33	112	80	156	4	80	20
R29	14	10	4	600	34	114	430	67	3	10	90
R30	18	12	6	1700	36	165	1540	56	4	100	0
R31	17	11	6	1000	38	144	860	38	2	65	35
R32	16	10	6	1300	38	115	1160	37,5	2,5	54	46

Nom Relevé	nombre d'hoplexols	hoplexols positifs	hoplexols négatifs	extension verticale hoplexion [cm]	nombre de CNL différents	nombre de CNL relevés	Extension verticale S	Extension verticale U	Extension verticale T	Extension verticale F	Extension verticale I
R34	18	12	6	1050	38	152	915	33,5	1,5	79	21
R35	15	10	5	1900	33	106	1730	66	4	80	20
R38	20	14	6	900	42	191	715	82	3	100	0
R39	18	12	6	1250	35	137	1125	20,5	4,5	52	48
R40	19	14	5	1400	39	175	1210	86	4	75	25
R41	17	12	5	1800	38	135	1630	66	4	70	30
R42	16	12	4	1450	31	128	1280	67	3	38	62
R43	16	12	4	1700	38	133	1555	43,5	1,5	65	35
R44	17	12	5	1650	39	127	1470	78,5	1,5	60	40
R45	18	13	5	1550	42	161	1380	67	3	75	25
R46	19	13	6	1100	40	148	900	96	4	62	38
R47	13	9	4	210	17	52	0	108,5	1,5	72	28
R48	16	10	6	1300	29	89	1060	137	3	45	55
R49	13	8	5	160	25	80	0	59,2	0,8	75	25
R50	18	13	5	1400	37	127	1220	77,5	2,5	70	30
R51	20	16	4	1500	36	165	1350	48	2	50	50
R52	13	8	5	145	19	74	0	44,4	0,6	100	0
R53	18	13	5	1700	34	135	1555	41,5	3,5	100	0
R54	13	7	6	190	18	47	0	88	2	88	12
R55	19	13	6	1300	33	134	1145	53,5	1,5	55	45
R56	16	10	6	270	29	113	60	102	8	62	38
R57	19	14	5	1700	41	170	1520	78	2	70	30
R58	23	16	7	1700	37	178	1520	76,5	3,5	75	25
R59	16	11	5	310	33	113	170	35	5	80	20
R60	11	6	5	230	19	60	0	128,5	1,5	72	28
R61	15	9	6	185	24	84	0	84,2	0,8	58	42
R62	9	6	3	220	10	26	0	115	5	0	100
R63	8	6	2	1100	11	29	978	20	2	0	100
R64	20	16	4	1600	41	180	1460	36,8	3,2	70	30
R66	9	6	3	115	24	71	0	14,2	0,8	12	88

Nom Relevé	nombre d'hoplexols	hoplexols positifs	hoplexols négatifs	extension verticale holoplexion [cm]	nombre de CNL différents	nombre de CNL relevés	Extension verticale S	Extension verticale U	Extension verticale T	Extension verticale F	Extension verticale I
R67	17	13	4	1700	39	160	1520	70	10	75	25
R69	13	8	5	155	28	91	0	52,5	2,5	55	45
R70	11	6	5	150	26	82	0	48,5	1,5	40	60
R71	15	9	6	160	31	123	0	59	1	50	50
R72	16	10	6	230	30	118	75	53,5	1,5	33	67
R73	20	15	5	2600	33	156	2450	45	5	80	20
R74	13	8	5	170	26	106	0	66,5	3,5	48	52
R75	18	14	4	2000	37	150	1820	75	5	47	53
R76	18	14	4	1600	34	137	1455	38	7	100	0
R77	19	13	6	1150	40	179	930	106	14	55	45
R79	18	14	4	1100	42	187	940	54	6	56	44
somme	1 157	792	365			8 994					
moyenne	16	11	5	1 024	33		859	62	3	55	45

*N.B : abréviations pour les cinq types d'hoplexols : S = supraplexion, U= métaplexion supérieur, T = métaplexion strict, F= métaplexion inférieur, I= infraplexion

Similitudes entre les relevés

Une lecture attentionnée de ce tableau permet de constater les différences d'extension verticale et de stratification des milieux sans que l'on connaisse à priori la moindre information sur le contenu des enceintes naturelles. Le nombre d'hoplexols et de matériaux constatés par relevés constitue une première mesure de la diversité des milieux, qui se limite purement à la structuration élémentaire des milieux en « strates » (hoplexols).

Si on peut admettre une certaine subjectivité en ce qui concerne le nombre d'hoplexols relevés, le protocole appliqué ne laisse cependant que peu de marge pour la détermination du nombre de matériaux. Le résultat dépend pour ces derniers en revanche de la typologie des CNL adoptée et du niveau d'analyse retenu (détermination des variantes secondaires ou non ...).

Un examen de ce tableau par une analyse des composantes principales permet de mettre en évidence des différences physiologiques des milieux avant même de considérer leur contenu, les corps naturels localisés. Une ACP réalisée sur les 11 variables du tableau ci-dessus et de 5 variables supplémentaires, caractérisant le nombre d'hoplexols contenus dans chacun des cinq hoplexions donne un premier aperçu sur les relevés mésologiques. L'extension verticale des hoplexions a été au préalable transformée en pourcentages par rapport à l'ensemble de l'holoplexion considéré. La matrice des corrélations fournit quelques informations élémentaires sur le rapport entre ces

variables. Sans surprise, on peut constater que l'extension verticale de l'holoplexion (HXN_HAUT_CM) et le nombre d'hoplexols d'un holoplexion (HPL_NB) sont fortement corrélés au nombre d'hoplexols du supraplexion (NB_HPL_S) et aux volumes du supraplexion (VOLPC_S) : le volume d'un relevé dépend de l'extension verticale de la strate arborescente et le nombre de « strates » augmente si la strate arborescente est importante. Les caractéristiques du supraplexion contribuent ainsi fortement à la direction du premier axe factoriel (cf. tableau des corrélations *variables - facteurs*). Par ailleurs on constate que le nombre total de matériaux contenus dans un holoplexion (HXN_CNL_TOT) et le nombre de matériaux différents (HXN_CNL_DIFF) sont en forte corrélation et sont également influencés par le volume et le nombre d'hoplexions dans le supraplexion : L'absence d'une strate arborescente conduit inévitablement à une réduction du nombre de matériaux recensés. Toutefois, l'influence du nombre d'hoplexols du métaplexion strict (NB_HPL_F) sur le nombre de CNL recensés n'est pas négligeable. Le nombre d'hoplexols négatifs est surtout déterminé par le nombre d'hoplexols identifiés dans le métaplexion inférieur.

Les deux premiers axes factoriels résument 69,9% de l'information, 52,5% étant fourni par le premier axe, le plan factoriel F1F2 représente alors assez bien l'information que l'on peut tirer des paramètres structurels des milieux (cf. figures et tableaux ci-dessous).

Tab. 4.21 : matrice des corrélations, coordonnées des variables actives et valeurs propres des axes pour l'AFC réalisé sur les données

Matrice des corrélations	HXN_HAUT_CM	HPL_NB	HPL_POS_NB	HPL_NEG_NB	HXN_CNL_TOT	HXN_CNL_DIFF	NB_HPL_S	NB_HPL_U	NB_HPL_T	NB_HPL_F	NB_HPL_I	Volpc_S	Volpc_U	Volpc_T	Volpc_F	Volpc_I
HXN_HAUT_CM	1,00															
HPL_NB	0,58	1,00														
HPL_POS_NB	0,71	0,93	1,00													
HPL_NEG_NB	-0,11	0,50	0,16	1,00												
HXN_CNL_TOT	0,58	0,88	0,86	0,34	1,00											
HXN_CNL_DIFF	0,54	0,79	0,75	0,37	0,92	1,00										
NB_HPL_S	0,83	0,79	0,88	0,05	0,76	0,73	1,00									
NB_HPL_U	-0,52	-0,14	-0,19	0,07	-0,23	-0,36	-0,60	1,00								
NB_HPL_T	0,41	0,71	0,70	0,26	0,69	0,60	0,50	-0,20	1,00							
NB_HPL_F	0,04	0,55	0,28	0,84	0,40	0,38	0,20	-0,02	0,33	1,00						
NB_HPL_I	-0,24	-0,24	-0,27	-0,01	-0,23	-0,15	-0,28	0,14	-0,20	-0,56	1,00					
Volpc_S	0,84	0,64	0,74	0,00	0,65	0,66	0,90	-0,65	0,44	0,09	-0,17	1,00				
Volpc_U	-0,77	-0,57	-0,67	0,04	-0,63	-0,65	-0,84	0,67	-0,46	-0,06	0,16	-0,94	1,00			
Volpc_T	-0,56	-0,36	-0,42	0,03	-0,34	-0,35	-0,54	0,33	-0,11	-0,04	0,12	-0,62	0,64	1,00		
Volpc_F	-0,66	-0,38	-0,50	0,17	-0,46	-0,49	-0,69	0,58	-0,28	0,26	-0,21	-0,79	0,73	0,39	1,00	
Volpc_I	-0,64	-0,63	-0,63	-0,20	-0,51	-0,48	-0,69	0,33	-0,33	-0,41	0,45	-0,72	0,55	0,46	0,23	1,00

	Coordonnées	
	Axe 1	Axe 2
NB_HPL_S	-0,95	0,14
Volpc_S_HP NHXNarrondi	-0,92	0,31
HPL_POS_NB	-0,90	-0,14
HPL_NB	-0,86	-0,41
HXN_CNL_TOT	-0,86	-0,27
HXN_CNL_DIFF	-0,83	-0,21
HXN_HAUT_CM	-0,83	0,30
NB_HPL_T	-0,64	-0,30
NB_HPL_F	-0,33	-0,85
HPL_NEG_NB	-0,21	-0,78
NB_HPL_I	0,29	0,36
NB_HPL_U	0,53	-0,43
Volpc_T_HP NHXNarrondi	0,58	-0,28
Volpc_F_HP NHXNarrondi	0,65	-0,57
Volpc_I_HP NHXNarrondi	0,73	0,14
Volpc_U_HP NHXNarrondi	0,87	-0,34

Inertie totale 16.00000			
AXE	VP	%	%C
1	8,40	52,5	52,5
2	2,78	17,4	69,9
3	1,39	8,7	78,5
4	0,96	6,0	84,6
5	0,80	5,0	89,6
6	0,47	2,9	92,5
7	0,39	2,5	95,0
8	0,28	1,7	96,7
9	0,19	1,2	97,9
10	0,17	1,1	99,0
11	0,12	0,7	99,7
12	0,05	0,3	100,0
13	0,00	0,0	100,0
14	0,00	0,0	100,0
15	0,00	0,0	100,0
16	0,00	0,0	100,0

VP Valeur propre
% Pourcentage
%C Pourcentage cumulé

Inertie totale 16,00 100

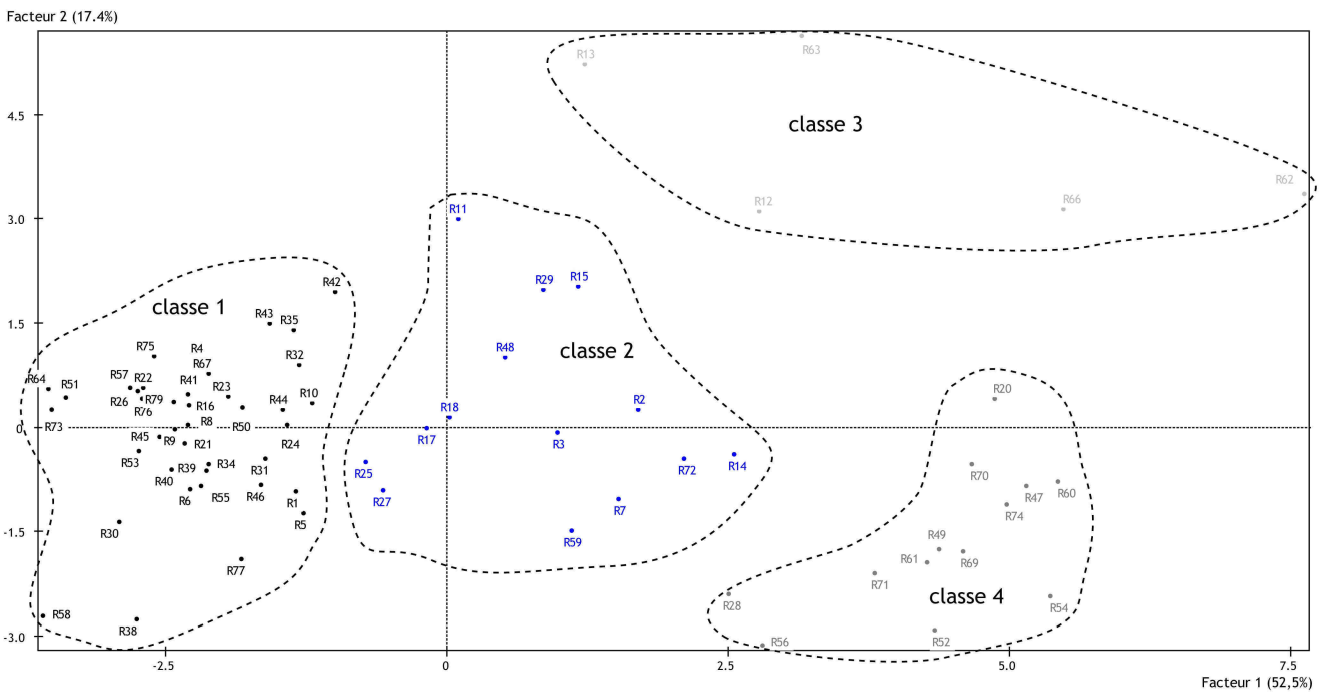
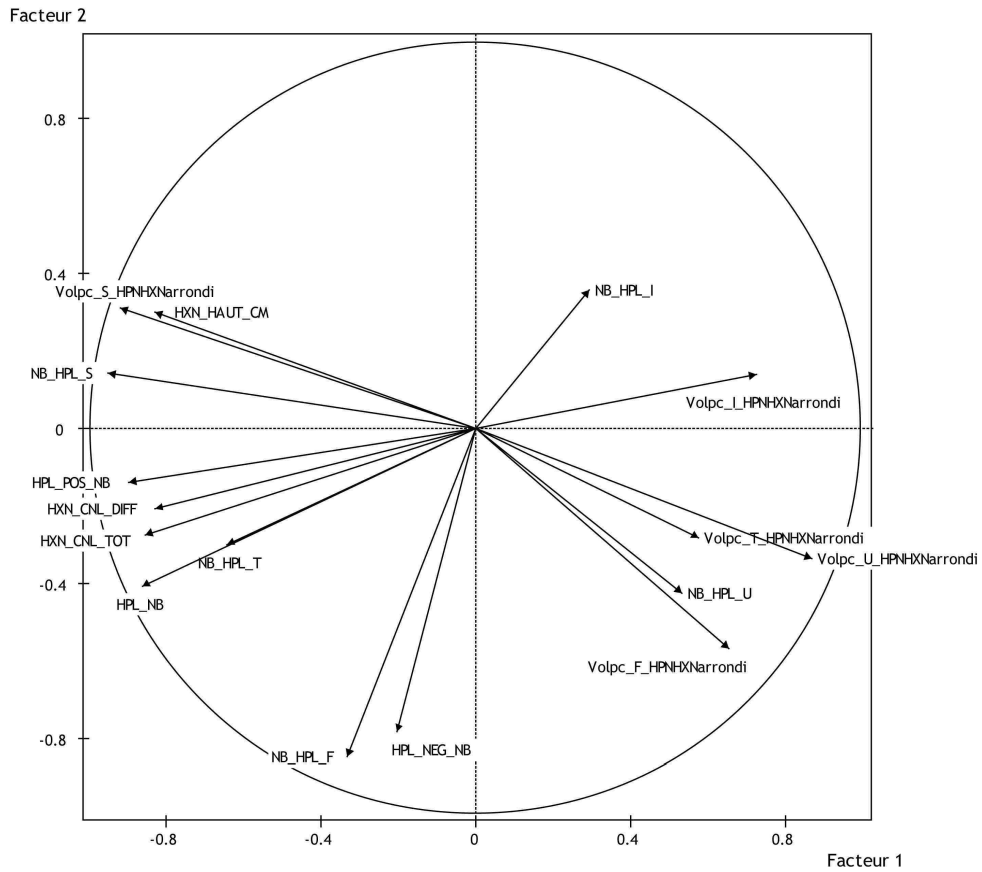


Fig. 4.18 : plans factoriels F1F2 des variables (en haut) et des individus (en bas), tenant compte des 4 classes d'individus identifiées par la CAH

Abréviations utilisées : VP= valeur propre ; %C = cumul des pourcentages ; NB= nombre ; HPL= hoplexol, HXN= holoplexion, S= supraplexion, U = métaplexion supérieur, T = métaplexion strict, F= métaplexion inférieur, I = infraplexion ; Volpc= volumes en % ; POS= hoplexols positifs ; NEG = négatif,

Une classification ascendante hiérarchique réalisée avec l'ensemble des coordonnées factorielles met en évidence quatre classes nettement différenciables sur le plan factoriel F1F2 des individus. Avec seulement 5 individus, la troisième classe est celle qui apparaît le plus clairement par rapport au nuage de points. Il s'agit des relevés réalisés en milieux rocheux superficiels (calcaire en occurrence) qui sont caractérisés par le nombre d'hoplexols de l'infraplexion (NB_HPL_I), en raison d'un volume très faible, voire absent du métaplexion inférieur. La deuxième classe à 13 individus désigne les milieux sans supraplexion, c'est à dire les milieux non arborés des pelouses et landes. A l'inverse, la première classe contenant 40 individus, rassemble la majorité des relevés où tous les hoplexions sont présents et où le nombre de matériaux est assez élevé : il s'agit de l'ensemble des milieux forestiers. La quatrième classe regroupe l'ensemble des relevés intermédiaires avec un supraplexion peu important (en volume et en nombre d'hoplexols), un plus faible nombre de matériaux où on trouve les milieux complexes, le plus souvent arborés, comme les terrasses enfrichées.

Sans utiliser le moindre détail sur le contenu des relevés mésologiques, les caractéristiques des enceintes qui mettent en évidence des structures spatiales verticales et le nombre de composantes différentes permettent déjà de distinguer certains types de milieux. L'analyse de la diversité des milieux nécessite cependant un niveau d'analyse plus fin, qui est celui des composantes naturelles des milieux, les CNL qui constituent les « variables fondamentales » (Filleron, 1995 :156) de l'analyse mésologique.

L'hoplexol, l'hoplexion et l'holoplexion dans l'analyse mésologique

Cette analyse de la « superstructure » des milieux est insuffisante parce qu'elle se fonde uniquement sur les contenants sans tenir compte des contenus. Le nombre et le volume des enceintes permettent certes de différencier les milieux avant de les « connaître » et le nombre de matériaux constitue un premier indice de la diversité des milieux, mais ces caractéristiques ne permettent pas de différencier les milieux par leur nature, c'est-à-dire par leur composition matérielle.

Il aurait été possible de décrire dans un premier temps le contenu des 1157 hoplexols relevés, et d'effectuer ainsi une analyse de type « bottom-up » dans les règles de l'art, allant du niveau d'analyse le plus détaillé de la description des CNL par hoplexols (strate élémentaire), en passant par une typologie d'hoplexols pour l'analyse des hoplexions pour terminer sur un regroupement des holoplexions (relevés) fondé sur une typologie d'hoplexions. Pour plusieurs raisons nous avons choisi un cheminement un peu original qui s'écarte de la méthode proposée par J.-C. Filleron (Richard, 1989a; Filleron, 1995), dans la mesure où l'on ne créera pas des typologies d'hoplexols pour l'identification des milieux.

Nous proposons la caractérisation des milieux directement par le CNL, en raison du nombre relativement faible de relevés, qui, comme on le verra par la suite, se différencient fortement entre eux. C'est-à-dire on procédera à une description directe de l'ensemble des holoplexions par les CNL qui les caractérisent, description exploratoire qu'on approfondira par la suite en décrivant en détail les structures verticales par une approche par hoplexions. La caractérisation de « types de milieux » n'est pas une fin en soi. Elle permet d'associer les relevés aux unités cartographiées afin

de passer de la caractérisation de la diversité verticale à celle de la diversité latérale, qui se situe à une autre échelle.

Les hoplexols comme enceintes (« strates ») élémentaires ont un intérêt pour caractériser, hoplexion par hoplexion, la répartition des matériaux et pour établir une typologie des hoplexols en fonction de l'abondance et de l'organisation des CNL. Idéalement, l'emboîtement des niveaux d'analyse permet de définir l'étude des hoplexions par une typologie des hoplexols. Celle-ci est cependant assez secondaire pour notre propos qui cherche à décrire la diversité des milieux dans leur ensemble et où le niveau d'analyse des hoplexions suffit pour décrire des différences de la structuration verticale. En effet, en raison de leur nature très variée (hoplexols très fin de surface, hoplexols épais de la canopée forestière, ...) les hoplexols sont difficilement comparables entre eux, ce qui rend peu utile une ordination directe de ces individus pour la description des relevés : plusieurs types d'hoplexols caractérisent un relevé et leur nombre par relevé peut varier assez considérablement. On serait alors dans l'obligation de traiter les hoplexols par hoplexions pour identifier des types qui interviennent dans l'analyse des holoplexions.

Enfin, c'est pour deux raisons principales si nous n'avons pas adopté ici, dans l'analyse des données, le cheminement classique de l'emboîtement des échelles de l'hoplexol à l'holoplexion par la construction de typologies successives. Tout d'abord la mise en relation de la diversité pédologique et végétale avec la « mésodiversité » ne peut se fonder sur des « types » de milieux mais sera à mettre en évidence à partir des relevés bruts. Même s'il est possible d'identifier des types de sols ou de classer des relevés floristiques par la richesse spécifique cette typologisation rendrait d'autant plus difficile la mise en relation quantitative des différentes « diversités ».¹²² Deuxièmement, une étude de la diversité se fondant sur des types de milieux nécessiterait pour certains de ces types davantage de relevés. A titre d'exemple nous ne disposons que de deux relevés sur des sols tourbeux très différents pour établir le « type » de zone humide, alors que nous avons 17 relevés dans des pinèdes de divers types. Transposé au niveau hiérarchique inférieur, une typologie d'hoplexols serait théoriquement envisageable avec 1157 hoplexols. On obtiendra toutefois de nombreux types représentés par très peu d'hoplexols. Si une généralisation des données reste toutefois de rigueur, il est plus utile de construire des « types » de milieux dans l'étape finale qui consiste à fondre en un seul tableau les résultats de différentes approches pour l'ensemble des relevés retenus dans cette étape.

Pour notre propos il suffit ainsi d'identifier des combinaisons de matériaux au niveau des holoplexions et des hoplexions. Il est possible que cela provoque une interrogation sur l'utilité de relever les CNL par hoplexols au lieu de relever les matériaux directement par hoplexions. Il peut alors être utile de préciser que les hoplexols sont importants pour la description des milieux : c'est la délimitation de ces enceintes élémentaires qui a permis un calcul beaucoup plus précis des volumes de CNL dans les cinq hoplexions. En outre, nous avons tenu compte de ces enceintes élémentaires dans une première ACP pour explorer les caractéristiques structurelles des relevés mésologiques, en utilisant leur nombre (au sein des hoplexions et dans l'holoplexion) pour la description (cf. chap. 3.3.1.2).

¹²² La mise en relation de ces différentes diversités se fonde ainsi sur les contenus « réels » et non sur des types de contenants. La mésodiversité ne reste pas moins une diversité physiologique puisque elle se fonde sur la reconnaissance visuelle d'objets de nature différente quantifiés en fonction de leur répartition verticale.

L'analyse se fonde alors sur la nature et la quantification des corps naturels localisés à l'échelle des deux enceintes de niveau supérieur, l'hoplexion et l'holoplexion. Dans un premier temps nous cherchons à caractériser la diversité des milieux tout simplement par une exploration des contenus de chaque relevé, en étudiant la composition des CNL dans les holoplexions. Dans un deuxième temps nous approfondirons les nuances de ces compositions en observant de plus près la structure verticale par le biais des analyses des cinq hoplexions.

Possibilités d'exploitation de la matrice initiale

Le relevé des pourcentages occupés par chaque corps naturel localisé dans chaque hoplexol a abouti en une matrice de 1157 lignes (hoplexols) et 103 colonnes (CNL), qu'il sera impossible de reproduire ici. L'« épaisseur », donc l'extension verticale (en cm) de chaque hoplexol multiplié par la surface de référence de 1 m^2 et le pourcentage occupé par chaque matériau aboutit à la matrice de référence, les volumes occupés par chaque corps naturel localisé dans chaque hoplexol. Cette matrice à 119171 entrées (1157×103) n'est pas exploitable directement, pour les raisons évoquées ci-dessus. Deux options d'exploitation statistique se proposent :

- 2) Établir la somme des volumes des hoplexols de chaque relevé, ce qui aboutit à une matrice de 72 lignes (holoplexions /relevés) x 103 colonnes. Ici se perd la signification de la stratification des milieux et on ne considère uniquement la signification des matériaux dans leur ensemble
- 3) Le regroupement des hoplexols en hoplexions aboutit à une matrice qui occupe en théorie 37080 entrées (72x5 lignes et 103 colonnes), mais constitue en réalité cinq matrices (une par hoplexion) avec des nombres de lignes et colonnes variables, étant donnée que les lignes et colonnes « nulles » (aucune valeur) seront supprimées. En effet il n'est pas envisageable de traiter tous les hoplexions simultanément. Ici la signification de chaque hoplexion est évaluée séparément et il faut tenir compte que seulement deux hoplexions (U=métaplexion supérieur, T=métaplexion strict) sont présents dans tous les relevés.

Tab. 4.22 : regroupements des corps naturels localisés relevés pour les analyses factorielles

67 VARIABLES (OV67)	VARIANTES MAJEURES	VARIANTES REGROUPEES	CODE GROUPE
1	AER		
2	HDR		
3		NCDE DEN	DN
4	STY		
5		NCST NCPN	<i>NCXYPN</i>
6	CON		
7	SEM		
8	CAD		
9	PNC		
10	PNS		
11	PND		
12		NOC NOD NOS	NO
13	NAC		
14	NAD		
15	NAG		
16	NAS		
17	NAL		
18	MPH		
19	CLG		
20	NCCA		
21		OPH OPS	OP
22		PLE PLS KOPL	PL
23		PTE EQU	<i>PTEQ</i>
24		KOR KOC	<i>KO</i>
25	NCKO		
26		KONA NAKO	<i>KONA</i>
27	GRA		
28	NCGR		
29		BRY PHC MYC	<i>BRPHMY</i>
30	NEA		
31	NEF		
32	NEG		
33	NEL		
34	NES		
35	NCNT		
36	NCT		
37	TPH		
38		HIT MLT	<i>HIML</i>
39	MSC		
40	MAC		
41		MIZ MSZ MAZ MEZ	ZO
42		PEE MEE MAE EPAN	EP
43	RZP		
44	RZG		
45	GRZ		
46	HMP		
47	HMC		
48	HMH		
49		HMT HMBC	<i>HMTBC</i>
50	MNT		
51	BCN		
52	BCC		
53		BCP BCD	<i>BCPD</i>
54	BCHM		
55	BCEF		
56		BCAT BCAR EFBC	<i>BCEAA</i>
57		RTP RDRT RDP	<i>RTRD</i>
58		GNAR GNRE EFAT ATGN	<i>GNARE</i>
59		PEG MEG MAG GNAN	<i>GN</i>
60		EFA EFC LUTN	<i>EFLU</i>
61	ATRE		
62	ATR		
63		ARE ARRE	AR
64		HYC HYS HYL	HR
65	REC		
66	RES		
67	REL		

50 VARIABLES (OT50)	VARIANTES MAJEURES	VARIANTES REGROUPEES	CODE GROUPE
1	AER		
2	HDR		
3		STY DEN	<i>STDN</i>
4		NCDE NCPN NCST	<i>NCXYPN</i>
5	CON		
6	SEM		
7	CAD		
8		PNC PNS PND	<i>PN (PNCSD)</i>
9		NOC NOD NOS	NO
10	NAC		
11		NAD NAS	<i>NADS</i>
12	NAG		
13	NAL		
14	MPH		
15		CLG NCCA	<i>CLNC</i>
16		OPH OPS PLE PLS KOPL	<i>OPL</i>
17		PTE EQU	<i>PTEQ</i>
18		KOR KOC NCKO	<i>KO (KORCKO)</i>
19		GRA NCGR	<i>GR (GRANC)</i>
20		KONA NAKO	<i>KONAKO</i>
21		BRY PHC MYC	<i>BRPHMY</i>
22	NEA		
23	NEF		
24	NEG		
25		NEL NES TPH	<i>NELGTP</i>
26	NCNT		
27	NCT		
28		HIT MLT	<i>HIML</i>
29		MIZ MSZ MAZ MEZ	ZO
30		MSC MAC	CP
31		PEE MEE MAE EPAN	<i>EPMAN</i>
32	RZP		
33	RZG		
34	GRZ		
35		HMT HMP HMC HMH HMBC	HM
36	MNT		
37		BCN BCC	<i>BCNC</i>
38		BCP BCD	<i>BCPD</i>
39		BCHM BCEF	<i>BCHEF</i>
40		BCAT BCAR EFBC	<i>BCEAA</i>
41		RTP RDRT RDP	<i>RTRD</i>
42		EFAT GNAR GNRE	<i>GNARE</i>
43		GNAN PEG MEG MAG	<i>GNPMAN</i>
44		EFA EFC LUTN	<i>EFLU</i>
45		ARRE ARE	AR
46		ATGN ATRE ATR	<i>ATRRE</i>
47		HYC HYS HYL	HR
48	REC		
49	RES		
50	REL		

Tableau de gauche : regroupement des 103 CNL initiaux à 67 CNL (variables) utilisés pour les AFC réalisés sur les tableaux d'holoplexions; tableau de droite : regroupement à 50 CNL, utilisé pour les études ultérieures. Les premières colonnes de chaque tableau se réfèrent au codes des orthotypes et variantes majeures de CNL indiqués plus haut (tab 3.10 chap. 3.1.). La dernière colonne de chaque tableau indique le code utilisé pour désigner les « groupes » de CNL dans les analyses. Les codes à deux lettres (caractères **gras**) résultent d'un regroupement des variantes majeures d'un même orthotype.

4.3.1.2. Analyse des corps naturels localisés par holoplexions

Une adaptation entre données et méthodes d'ordination

Dans un premier temps nous observons les résultats issus de l'ordination des matériaux, c'est-à-dire des sommes des volumes des CNL par holoplexion ($72 \times 103 = 7416$ entrées) sous forme de matrice « volumesCNL-relevés ». Plusieurs possibilités se proposent là encore.

D'un côté il est possible de regrouper les matériaux en sous-ensembles correspondants aux orthotypes. Les 103 orthotypes, variantes majeures et secondaires seront ainsi condensés en un tableau de 44 orthotypes relevés dans 72 relevés (3168 entrées). Il est en outre possible de regrouper encore ces orthotypes en grands ensembles conformément à la typologie proposé dans le lexique des matériaux aboutissant dans ce cas à une matrice de 19 grands ensembles (colonnes) face au 72 relevés (1368 entrées). Ainsi on arrive à une simplification extrême de la matrice initiale ne constituant plus que 1.14% des entrées initiales.

D'un autre côté il est possible d'exploiter les données volumiques sous différentes formes. S'il est peu utile d'exploiter la matrice des pourcentages initialement informatisés (et encore...), il se présente d'autres alternatives à l'utilisation de la matrice « volumesCNL-relevé », comme le pourcentage relatif occupé par chaque matériau dans le relevé ou la simple matrice de présence - absence notant seulement la présence ou non de chaque matériau dans un relevé (négligeant alors leur poids relatif pour davantage tenir compte de la diversité des matériaux). Dans le premier cas la somme des lignes devient 100%, négligeant ainsi les différences d'extension verticale entre les différents relevés. Dans le deuxième cas on néglige les quantités absolues de chaque matériau, c'est-à-dire leur poids relatif pour se concentrer davantage sur la diversité des matériaux par relevé. Certaines techniques d'analyses n'acceptant que des valeurs entières il a été utile de recoder les valeurs quantitatives en classes, en particulier les pourcentages avec des valeurs fréquemment inférieurs à 0,5%. La transformation des pourcentages des volumes relevés par holoplexion en classes oriente vers un regroupement manuel au lieu d'effectuer une discrétisation « mathématique » (par exemple en classes standardisées), afin de pouvoir appliquer les mêmes classes aux différents tableaux de données (cf. tableau ci-dessus).

En combinant ces deux possibilités de regroupement et de transformation des variables on arrive ainsi à de nombreuses matrices différentes qui désignent les corps naturels localisés par relevé et qui se traitent par des méthodes statistiques différentes. En effet, toutes les matrices ne prêtent pas tous à une analyse exploratoire par ordination.

Premièrement, le nombre de CNL relevés (103) dépasse le nombre de relevés retenus (72). Pour les analyses factorielle une réduction des variables, donc un regroupement des CNL jusqu'à obtenir un nombre inférieur au nombre des relevés retenus (72 relevés) s'impose. Le regroupement décrit ci-dessus, suivant les orthotypes (aboutissant à 44 CNL) ne s'avérait après quelques tests réalisés pas suffisamment détaillé pour mettre en évidence la diversité des milieux de manière satisfaisante. Il a été donc nécessaire d'écarter les matrices à 103 variables et de procéder à un nouveau regroupement des CNL en s'approchant le plus possible du nombre de relevés retenus. Ce regroupement ne se fonde alors pas sur les orthotypes mais sur les connaissances des différences des milieux et des matériaux qui permettent la mise en évidence de ces différences. Deux

regroupements successifs ont permis d'élaborer des matrices à respectivement 69 et 50 variables (CNL) (cf. tableau des regroupements ci-dessus).

Deuxièmement, une analyse des données par les analyses factorielles des correspondances (AFC) se fonde sur l'utilisation de tableaux de contingences, dont la forme classique correspond à des tableaux de comptages issus du croisement de deux variables nominales (Lebart, Morineau *et al.*, 2004). Une utilisation de données quantitatives est soumise à conditions et nécessite le plus souvent un recodage (Groupe CHADULE, 1997). Généralement son application est prônée uniquement pour les tableaux de contingences (Lebart, Morineau *et al.*, 1995), sinon l'objectif de l'AFC ne se formule plus en terme de liaison entre variables qualitatives (Escofier et Pagès, 2008). Bien que initialement conçu pour les tableaux de fréquences, il est cependant possible d'étendre l'AFC aux tableaux logiques ou encore aux tableaux de contingences étendus, exprimant une relation entre individus et variables dans une même unité de mesure, comme par exemple les volumes (Jambu, 1999 :231).

Les valeurs quantitatives continues se prêteraient directement à une analyse factorielle des composantes principales (ACP), mais seulement si on condense le tableau (c'est-à-dire le nombre de matériaux) au point de réduire le nombre de valeurs nulles. Or, on perd l'essentiel de la diversité des milieux en réduisant le nombre de composantes du milieu. Même avec la matrice à 19 grands ensembles de CNL (donc seulement 19 variables) pour les 72 relevés retenus le nombre d'entrées correspondant à « zéro » est toujours au nombre de 474 (34,6%).

L'intérêt d'une analyse factorielle des correspondances (AFC) pour l'exploration des données mésologiques est évident : elle est adaptée aux tableaux croisés d'effectifs, autrement dit aux tableaux de fréquences symétriques à deux variables. La matrice opposant holoplexions (relevés) et CNL est symétrique puisque la somme des colonnes indiquant le contenu des relevés (les effectifs ou volumes des CNL différents) est égal à la somme des lignes, qui recense la fréquence d'apparition de chaque type de CNL. L'AFC permet d'interpréter simultanément la ressemblance entre les enceintes des milieux (holoplexions et hoplexions) et les classes d'objets matériels qui les composent (CNL). C'est-à-dire que les objets matériels rencontrés dans les relevés permettent d'étudier la relation qui existe entre leur répartition spatiale (holoplexions/ hoplexions) et le type de matériau rencontré. La distance du khi-carré (X^2) mesure la significativité de la liaison entre ces deux « variables » et peut constituer, avec phi ($\Phi^2=X^2/N$) qui mesure l'intensité de la liaison (Escofier et Pagès, 2008), une mesure de la « diversité » des relevés mésologiques, tout en respectant le principe d'équivalence distributionnelle ((Sanders, 1990). Même les variables à masses relatives assez faibles (par exemple le nécrumite) sont correctement prises en compte par la mesure des distances X^2 , puisqu'elles reposent sur une comparaison des profils des individus (relevés).

L'analyse des composantes principales (ACP) n'est pas pour autant à exclure puisqu'elle met également en évidence des individus (relevés/ holoplexions) qui se ressemblent et permet d'évaluer la liaison entre différents CNL par le coefficient de corrélation linéaire (ou par la covariance dans le cas d'une ACP centrée, non normée). L'interprétation des plans factoriels des variables permet, elle aussi une description aisée des liaisons entre variables, mais surtout une description des variables quantitatives, qui ne sont pas directement utilisables dans l'AFC. Il s'agit ainsi d'une option intéressante pour l'analyse des tableaux de volumes pour élucider les origines de la variabilité entre différents groupes de relevés (Trempe, 2005). En revanche, les résultats peuvent

être faussés par l'absence de relations linéaires entre variables et par un grand nombre de valeurs nulles. En principe les ACP s'appliquent alors à des matrices relativement homogènes (Leyer et Wesche, 2007). Les ACP seront donc retenus dans un premiers temps pour analyser les variables par grands ensembles et orthotypes (matrices à 19 et 44 variables) afin d'étudier les corrélations entre les orthotypes de CNL.

Analyse des composantes principales des corps naturels localisés dans les holoplexions

Les analyses des composantes principales (ACP) se sont proposées pour une exploration des grandes tendances et pour une différenciation des milieux à partir des tableaux de matériaux extrêmement condensés pour suffire aux conditions d'application de cette méthode. Les matrices tenant compte de l'ensemble des 103 CNL ont été écartées d'office, nous avons retenus dans un premier temps des analyses à partir des tableaux des volumes à 44 orthotypes de CNL (pcO44 et VolO44) et à 19 grands ensembles de CNL (pcG19 et VolG19). McGarigal suggère qu'une ACP devrait se réaliser sur un tableau avec un ratio individus /variables supérieur à 3/1 (McGarigal, Cushman *et al.*, 2000), ratio qui ne devrait pas être inférieur à 2/1. Ceci implique de retenir uniquement le tableau à 19 grands ensembles d'orthotypes, qui est en outre plus homogène.

La prise en compte des volumes des CNL dans une ACP normée (centrée-réduite) a été préférable, puisque le poids des matériaux à fort volume (aérophyse, caduphyse, coniphyse, etc.) rend les ACP non normées illisibles en raison de l'excentricité des ces variables, à moins d'écarter un bon nombre de ces variables. De façon générale, les différences de masse relative des différents CNL influenceront les mesures de distance euclidienne, les résultats dépendent alors du type de tableau initial : les effets de masse seront plus important dans le tableau des volumes que dans un tableau des pourcentages. L'intérêt de conserver le tableau des volumes réside dans le fait que le volume total d'un hoplexion change entre les différents relevés. Les pourcentages des volumes cacheraient cet effet. Aussi, il est dans ce premier aperçu par ACP intéressant de privilégier les CNL avec les plus forts effectifs, c'est-à-dire avec les volumes les plus importants, qui seront davantage pondérés dans une AFC (Cibois, 2000)..

Une ACP a été ainsi appliquée à la matrice des volumes de 19 types de CNL pour les 72 relevés retenus (*cf.* matrice dans les annexes). L'inspection visuelle de l'histogramme des valeurs propres permet de distinguer clairement le premier axe factoriel des axes suivants, mais la décroissance assez lente des valeurs propres fait apparaître une certaine complexité des données avec des structures peu manifestes. La valeur propre encore assez modeste de 3,29 du premier axe factoriel (17,3% de la somme des valeurs propres (19,0), puisqu'il s'agit d'une ACP normée) nécessite de tenir compte, pour une interprétation suffisante, du deuxième et troisième axe avec des valeurs propres sensiblement égales de 2,26 et 2,06, reproduisant ainsi 40,11% de l'information (*cf.* tableau ci-dessous). Les plus fortes corrélations variable-facteur peuvent être constatées pour l'aérophyse, le xylophytion et le phyllophytion, ce qui confirme la prise en compte explicite des volumes dans les résultats de l'analyse (*cf.* plan factoriel F1/F2 des variables et tableau des coordonnées). Toutefois l'aérophyse n'a pas été écartée de l'analyse, puisqu'elle permet « d'allonger » le premier axe pour une meilleure différenciation des holoplexions à forte et à faible extension. Son écart de la matrice change sinon assez peu les caractéristiques principales des matrices de corrélation.

Le résultat visuel de cette ACP (*cf.* plan factoriel F1/F2 des individus) présente un nuage de points d'apparence première assez peu différenciée, mais qui se laisse cependant assez bien interpréter à l'aide d'une classification ascendante hiérarchique utilisant toutes les coordonnées de l'ACP en tant que coordonnées pour l'agrégation. En retenant une partition de l'arbre de sept classes, quatre classes se différencient assez bien de la masse des points-individus. Même sans avoir recours à l'interprétation par les classes, les quatre relevés des milieux rocheux (matériau RE : régolite) avec des coordonnées positives sur les deux premiers facteurs (sur le plan en haut à droite) apparaissent clairement distancés de l'origine et de la masse des autres individus.

Tab. 4.23 : paramètres de dispersion statistiques, coordonnées factorielles et valeurs propres pour l'ACP « volumes » sur 19 CNL

variable	moyenne	Ecart-type	CV	coordonnées			valeurs propres			
				Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe	VP	%	%C
XY	314773	287386	91,3	-0,89	0,03	-0,30	1	3,29	17,3	17,3
PP	1410780	1501210	106,4	-0,84	0,08	-0,32	2	2,26	11,9	29,2
AH	6948610	4760180	68,5	-0,82	0,04	-0,34	3	2,06	10,9	40,1
NN	133612	181813	136,1	-0,61	0,14	0,23	4	1,71	9,0	49,1
LU	406473	260817	64,2	-0,39	0,17	0,71	5	1,46	7,7	56,8
PL	19200	55438	288,7	-0,37	0,28	0,15	6	1,35	7,1	63,9
RZ	31466	18825	59,8	-0,35	-0,45	0,19	7	1,16	6,1	70,0
PH	4005	16015	399,9	-0,32	0,01	0,09	8	0,97	5,1	75,1
ZO	1613	3077	190,8	-0,13	-0,24	-0,24	9	0,91	4,8	79,9
PC	221235	148007	66,9	-0,12	-0,36	0,00	10	0,78	4,1	84,0
OR	51736	108288	209,3	-0,11	-0,09	-0,04				
PT	1393	4986	358,0	-0,10	-0,41	0,18				
NP	210740	319374	151,5	-0,02	0,01	0,35				
HC	89586	57160	63,8	-0,01	-0,57	0,03				
RT	15179	69771	459,6	0,00	-0,52	-0,04				
EP	19849	32151	162,0	0,02	0,48	0,55				
KP	84724	83572	98,6	0,10	-0,75	0,15				
AT	77574	113790	146,7	0,22	0,04	-0,65				
RE	200507	539839	269,2	0,35	0,42	-0,42				
Total								19,00		

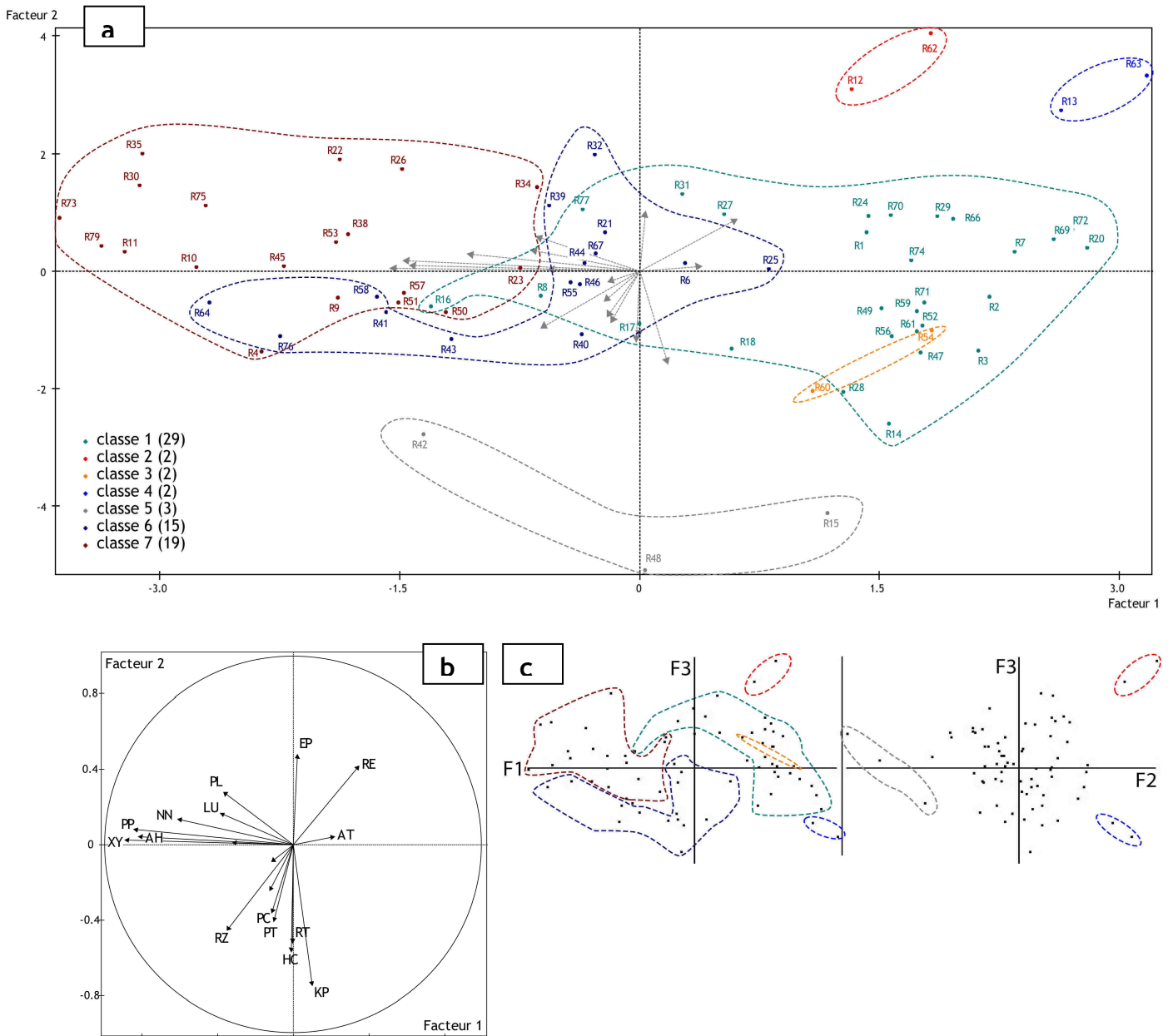


Fig. 4.19 a, b et c : plans factoriels issus de l'analyse des composantes principales des volumes de 19 CNL pour 72 holoplaxions

- a) premier plan factoriel F1F2 des individus de l' ACP avec attribution aux 7 classes issus de la CAH
- b) premier plan factoriel F1F2 des variables
- c) aperçu des plans factoriels F1/F3 et F2/F3

La classification permet de différencier ces quatre relevés de milieux rocheux parmi lesquels on peut distinguer les éboulis (classe 2) des affleurements rocheux (classe 3), caractérisés respectivement par les épilites et le régolite. Leur différenciation est mise en évidence par le troisième facteur. Les relevés disposés le long du premier axe mettent en évidence le contraste entre les relevés des milieux à forte extension verticale, c'est à dire les milieux forestiers par des coordonnées négatives, s'opposant aux relevés à faible extension verticale (pelouses, prairies, prés) sur la droite avec des coordonnées positives importantes. Les milieux forestiers se caractérisent par la présence dominante du xylophytion et phyllophytion et leur absence ordonne la disposition des relevés avec des coordonnées positives. Les individus disposés plus proches de l'origine se caractérisent par des volumes intermédiaires de phyllophytion, xylophytion et nanophytion et

regroupent ainsi de nombreux relevés de types assez différents allant des taillis de chêne vert (R25, R32) en passant par des jeunes pinèdes (R46) et bosquets de pinèdes assez ouverts (R6) de la classe 6 au faciès de l'enrichissement montagnard à merisiers (R18) ou noisetiers (R17) et méditerranéen (R27, R31) de la classe 1. L'allongement maximal du nuage des points ne permet en effet pas, au moins sur ce plan factoriel F1F2, de bien différencier les classes 1, 6 et 7, qui se superposent. Elles se distinguent en revanche mieux sur le plan factoriel F1F3 (petite image) mais constituent toutefois des classes assez hétérogènes, difficiles à différencier. Ce dernier plan factoriel F1F3 « cache » les trois relevés de la classe 5 différenciés sur le deuxième facteur par la présence des « rétitichrons-reductons » (RT). Les trois relevés aux coordonnées négatives sur le deuxième axe désignent en effet les milieux à sols hydromorphes. La troisième classe avec les deux relevés R60 et R54 aux sols tourbeux ne s'individualise pas sur ces trois plans factoriels alors qu'ils constituent une classe bien à part, qui se différencie seulement sur le sixième axe. Malgré le fait que l'histite est classé parmi le grand ensemble des organumites (OR, matériaux organiques qui caractérisent aussi les différents types d'humus et de litière) les volumes assez conséquents occupés par l'histite ont permis de différencier ces deux relevés.

Les interprétations imposent plusieurs remarques. Tout d'abord il apparaît que quelques milieux se distinguent assez bien même en ne retenant que les grands ensembles d'orthotypes : Les signatures des volumes de CNL sont pour ainsi dire très particulières comme c'est le cas pour les milieux rocheux et tourbeux. Les grands ensembles d'orthotypes rares contribuent également fortement à la différenciation de certains relevés par exemple c'est le cas pour ceux comportant des horizons réductiques ou rédoxiques. Puisque nous avons ici effectué une analyse des volumes et non seulement des pourcentages relatifs on peut également très bien différencier les milieux à forte extension verticale des milieux relativement ouverts ou seulement boisés. En revanche, la différenciation des milieux forestiers, boisés et arborés ne distingue pas les forêts de conifères, des feuillus caduques, ni des forêts de feuillus sempervirents. Au sein dans les classes n° 1, 6 et 7 on peut alors rencontrer des milieux assez différents. Il en va de même pour les milieux non boisés où les différents types de landes et pelouses ne se différencient guère plus. En outre, les divers types de pédochrons (PC), altérite (AT) et de régolites (RE) ne sont pas distingués par les 19 grands ensembles. Ainsi les milieux acides et siliceux « côtoient » les milieux carbonatés. La matrice condensée à 19 matériaux ne suffit alors pas pour une distinction suffisante des milieux dominants et fait appel à une analyse plus fine par l'analyse factorielle des correspondances, plus souple en ce qui concerne l'homogénéité des données.

Analyse factorielle de correspondances des corps naturels localisés par holoplexions

Les matrices à 103 CNL (variables trop nombreuses) et à 19 CNL (information trop condensée) ont été écartées de cette analyse. Nous avons retenus les tableaux de présence - absence binaires (ou tableaux booléens). Pour ce niveau d'analyse, cherchant à décrire l'ensemble en conservant un maximum de détails, les matrices à 67 variables étaient les plus avantageuses.

A titre comparatif nous avons examiné les résultats de l'analyse factorielle des correspondances (AFC) réalisée sur plusieurs types de tableaux : En premier lieu nous avons utilisé un tableau binaire signalant seulement la présence (1) ou l'absence (0) d'un matériau. Ceci nous a paru la meilleure façon de rendre compte de la diversité des matériaux pour la caractérisation des

relevés. Les volumes des différents CNL pour chaque holoplexion constituent un deuxième tableau de données quantitatives qui nous a semblé toutefois adapté pour l'AFC en raison du caractère symétrique des données brutes. En outre, nous avons examiné un tableau d'effectifs où apparaît le nombre d'occurrences d'un CNL dans chaque relevé appelé ici « nombre-présence ». Par exemple, le cauligé (CLG) présent dans cinq hoplexols du relevé donne comme effectif le chiffre 5. Pour ce tableau d'effectifs on rencontre un « problème » lors du regroupement des divers corps naturels en sous-ensembles¹²³, même si on peut avancer qu'on tient alors indirectement compte de l'importance du nombre de variantes initiales dans le poids de cette variable. Enfin, nous avons par ailleurs comparé les résultats avec ceux issus d'un tableau de « recodage » des données continues, plus précisément constitué des sept classes issues de la transformation des volumes exprimés en pourcentages pour chaque holoplexion (cf. tableau ci-dessous). Pour ce dernier tableau appelé ici tableau de « recodage », on peut regretter l'absence de signification de la somme des lignes correspondant à l'« l'interprétation naturelle » des profils des lignes étant exigé pour l'application d'une AFC (Jambu, 1999), même si les résultats étaient fortement comparables au tableau binaire utilisé. L'utilisation directe du tableau des pourcentages des CNL (un holoplexion =100%) sans recodage nous a semblé également inadéquate puisque l'AFC exige des nombres entiers et la perte d'information après avoir arrondi ces pourcentages est considérable : seulement 787 entrées sur 2021 dépassent 0,49% et on « perd » 8 matériaux sur 67 ne dépassant pas le seuil de 0,5% dans aucun des relevés. Ceci est dû évidemment à la prédominance de l'aérophyse qui atteint en moyenne 62% du volume total d'un relevé. En outre une pondération des relevés avec des extensions verticales très différentes fait perdre le sens initial de l'utilisation des volumes. En ce qui concerne le tableau brut des volumes en cm³, la transformation en dm³ et le fait d'arrondir ces chiffres au nombre entier provoque également une perte de l'information de 7,6 % (153 occurrences). Nous avons ainsi privilégié le fichier original en cm³.

Même si les résultats des analyses factorielles appliqués à ces matrices diffèrent, les interprétations laissent apparaître des structures comparables. Les AFC retenant 67 variables (cf. tableau des CNL retenus ci-dessous), qu'on appellera ici fréquences, mettent d'abord en évidence les valeurs exceptionnelles : les matériaux typiquement rencontrés dans les zones humides : hydrophyse, réticron, réducton, histite et mélanumite, rencontrées seulement dans 3 à 5 relevés se manifestent nettement dans les structures (nuages de points) mises en évidence. Ils contribuent fortement aux premiers ou deuxièmes axes de tous les types de tableaux analysés. On peut illustrer cela en particulier à l'exemple des résultats issus des matrices « volumes » et « pourcentages recodés », où la contribution de la seule variable « histite-mélanumite » (HIML) au premier axe est de respectivement 92,75 et 52,47%. (cf. plan factoriel ci-dessous). En ce qui concerne le tableau binaire, ces valeurs exceptionnelles s'expriment seulement sur le deuxième axe des AFC réalisés : la contribution du « réducton-réticron » (RTRD), de « l'histite-mélanumite » (HIML) et de l'hydrophyse (HDR) au deuxième axe factoriel sont ici, toujours assez fortes, respectivement de 22,78%, de 22,34% et de 21,08% avec des cos² de respectivement 0,73, 0,61 et 0,74. Les relevés associés, R54 (une tourbière), R60 (végétation de source), R15 (zone humide), R48 (bas-fond alluvial) et dans une moindre mesure les relevés R42 (traces de oxydoréduction dues à la proximité

¹²³ Par exemple, lors du regroupement des épilites, des mésoépilites rencontrés dans trois hoplexols, des macroépilites rencontrés dans cinq hoplexols et des pétaépilites rencontrés dans six hoplexols résultent en un effectif 14 occurrences d'épilites et donc une proportion anormalement forte de l'épilite dans l'ensemble du tableau.

d'un ruisseau) et R4 (terrasse alluviale) s'écartent nettement du nuage de points sur le premier plan factoriel. L'excentricité exprimée par ces valeurs fortes justifie le fait d'écarter ces trois groupes de CNL à la suite pour une analyse plus fine des autres structures et de retenir (dans un premier temps) le tableau à codage binaire pour réduire l'effet d'hétérogénéité des volumes

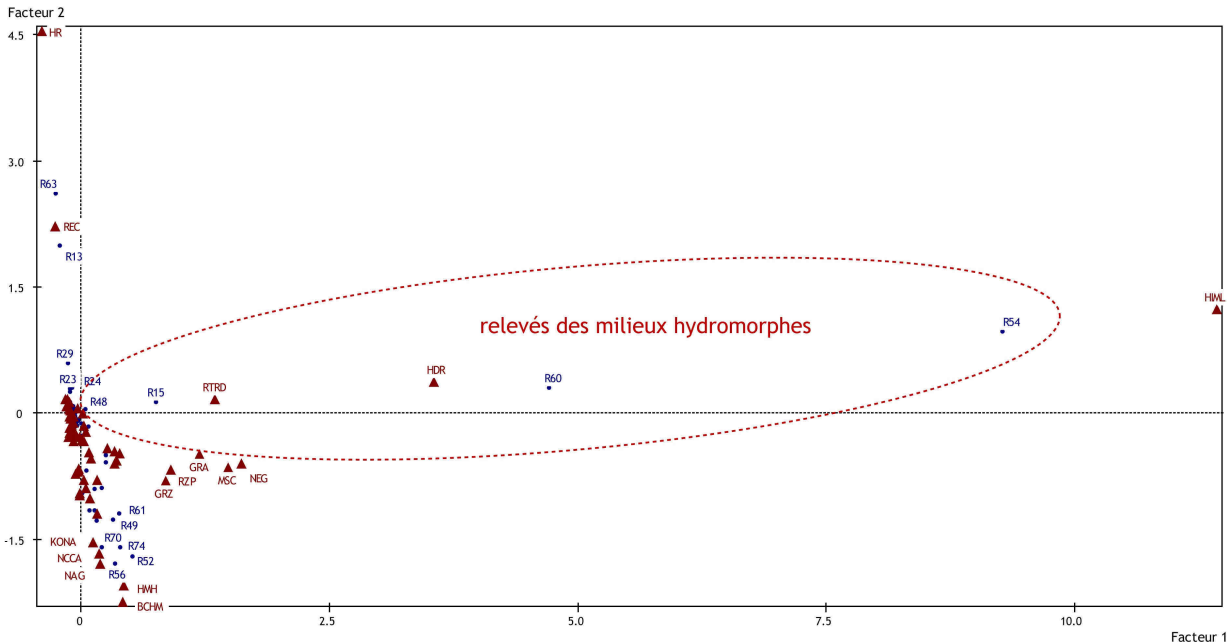


Fig. 4.20 : plan factoriel F1F2 de l'AFC issu du tableau « volumes » réalisés sur l'ensemble des 67 variables (CNL)

Triangles rouge-bruns : fréquences (CNL) ; points bleus : individus (relevés)

Si nous avons retenu le tableau binaire pour une description succincte des holoplexions, cela s'explique par des *poids relatifs* très équilibrés des différentes fréquences. C'est le nombre d'apparition des matériaux dans l'ensemble des relevés et non leur volume qui est pris en compte. En tête de liste l'aérophyse et le kortode avec un poids relatif de 3,56 devançant de peu le rhizophytion et les necro-nécromites (poids relatif 3,51%). Les matériaux aux poids les plus faibles sont ceux qui montrent la plus grande distance à l'origine et influencent en conséquence le plus la mise en place des axes factoriels : Avec une distance à l'origine de 40,0 le « histite-mélanumite » (HIML) se caractérise, comme le rétichron-réducton (RTRD), par des fortes coordonnées sur le premier et deuxième axe factoriel, avec pour ce premier une distance à l'origine de 19,65. La suppression des ces trois composantes « hydromorphes » (retenues comme fréquences illustratives) modifie considérablement le résultat visible sur le premier plan factoriel (cf. fig. 4.20 ci-dessus). Nous avons écarté les relevés des milieux hydromorphes en même temps que les variables (CNL « hydromorphes ») afin de rendre l'interprétation plus claire. En effet, la mise à l'écart de ces variables met en évidence les structures qui étaient au préalable visibles sur les axes factoriels secondaires. Ainsi le plan factoriel F1F2 des AFC réalisés sur le tableau binaire et le tableau recodé après écart des trois matériaux est presque identique avec le plan factoriel F1F3 de la précédente analyse réalisé avec l'ensemble des 69 variables. En effet l'AFC effectué avec 64 variables produit des données très comparables en ce qui concerne les deux tableaux « binaire » et « recodage ».

Les résultats de l'analyse du tableau des présences pour les 64 variables retenues indiquent un poids total des individus actifs de 1940 et une somme des valeurs propres de 1,24 (cf. tableaux ci-dessous). L'histogramme de valeurs propres montre un léger palier entre le troisième et quatrième axe, raison pour laquelle nous allons observer les résultats concernant les trois premiers axes, résumant 34,28% de l'information. Cette valeur assez faible est due d'une part au grand nombre d'axes (63) et au caractère varié des relevés qui cherchent justement à mettre en évidence un maximum de diversité sur le massif étudié. Toutefois, après écartement des zones humides qui constituent un véritable cas à part, les principales différences entre les relevés se manifestent assez nettement sur les plans factoriels.

A la lecture des histogrammes des valeurs propres, il s'avère que la décroissance des valeurs propres des axes est suffisamment marquée pour le tableau binaire. Les pourcentages des valeurs propres sont globalement comparables pour les différents tableaux, le premier axe du tableau binaire représente 13,93% de l'inertie totale.

Tab. 4.24 : valeurs propres des 15 premiers axes de l'analyse factorielle réalisée sur le tableau des présences après mise à l'écart des fréquences « hydromorphes »

ANALYSE DES CORRESPONDANCES BINAIRES
 INDIVIDUS ACTIFS 68 (POIDS 1940,000)
 INDIVIDUS SUPPLEMENTAIRES 4 (POIDS 67,000)
 SOMME DES VALEURS PROPRES ... 1,2359
 HISTOGRAMME DES 15 PREMIERES VALEURS PROPRES

NUMERO	VALEUR PROPRE	POURCENTAGE	POURCENTAGE CUMULE
1	0.1721	13.93	13.93
2	0.1474	11.92	25.85
3	0.1041	8.43	34.28
4	0.0746	6.03	40.31
5	0.0668	5.41	45.72
6	0.0538	4.36	50.08
7	0.0520	4.21	54.28
8	0.0480	3.89	58.17
9	0.0427	3.45	61.62
10	0.0403	3.26	64.89
11	0.0367	2.97	67.86
12	0.0359	2.91	70.77
13	0.0309	2.50	73.27
14	0.0292	2.36	75.64
15	0.0258	2.09	77.72

Sur le premier plan factoriel (F1F2) du tableau binaire (cf. fig.4.21 ci-dessous) on peut observer un contraste très caractéristique entre les relevés des milieux forestiers ou boisés (en haut et à droite) et des milieux ouverts et landes (en bas et à gauche). Le premier axe n'est pourtant pas seulement caractérisé par des coordonnées positives de la semperphyse (SEM) et du pénephytion sempervirent (PNS) marquant les milieux de yeuseraie, mais aussi par des matériaux caractéristiques du métaplexion inférieur. Les plus fortes coordonnées des fréquences actives du premier axe sont négatives : humo-brunichron (BCHM) et humite hémi-organique (HMH) marquent les milieux pastoraux avec des sols à forte teneur en matière organique sur les substrats granitoïdes (REL et AR) (cf. tab. 4.25 ci-dessous). On notera aussi la contribution non négligeable du macrocoprumite (MAC), autrement dit des bouses de vache. A l'opposé, le premier axe n'est pas seulement déterminé par les contributions du feuillage des arbres sempervirents : mésophyse (MPH), caduphyse (CAD) et pénephytion caducifolié marquent les forêts de feuillus, tout comme la présence du néophytion (NO, formes de régénération des arbres) et la présence de lianes ou plantes rampantes (PL, OP). Par ailleurs les forêts sempervirentes coïncident, en raison de leur position dans le massif, le plus souvent avec des sols calcaires, ce qui s'exprime par la position des variables humichron carbonaté (HMC) et brunichron carbonaté (BCC).

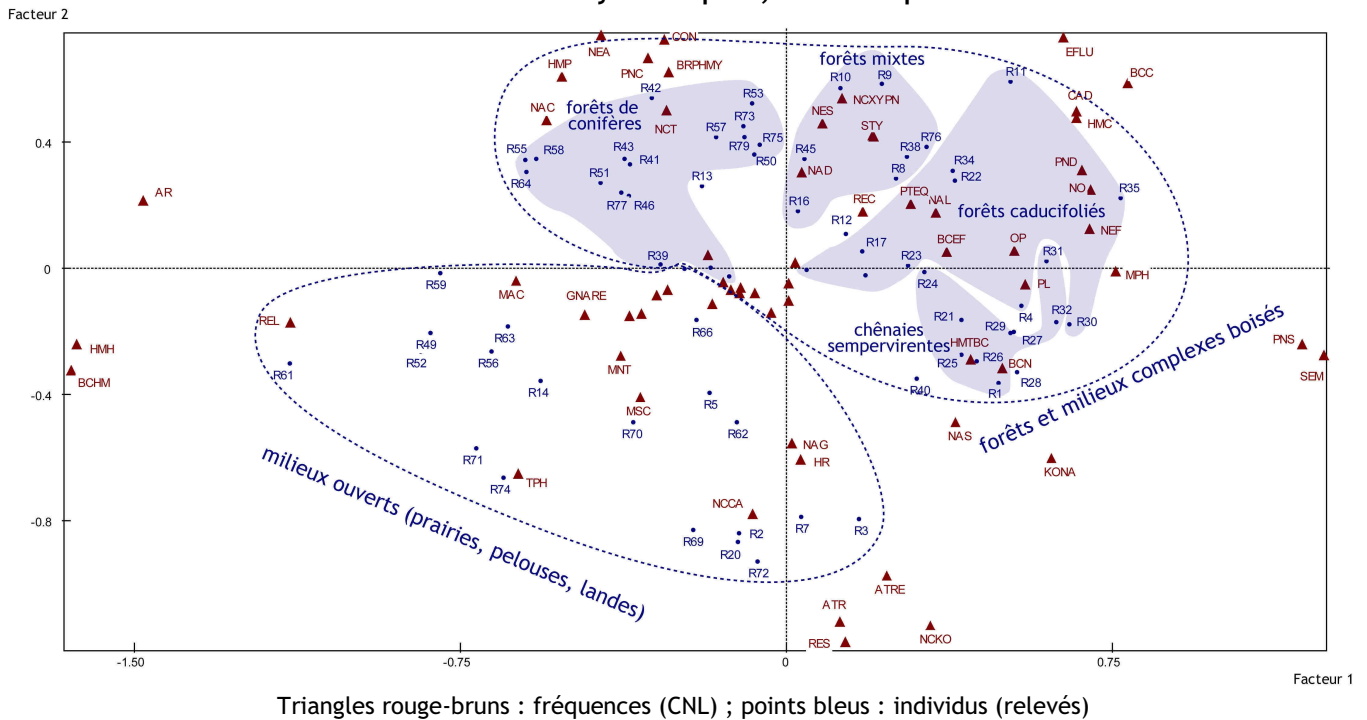
Tab. 4.25 : fréquences actives caractérisant les trois premiers axes et distance à l'origine pour les dix fréquences les plus extrêmes

Axe 1				Axe 2				Axe 3			
variable	COO	CTR	COS	variable	COO	CTR	COS	variable	COO	CTR	COS
SEM	1,24	5,49	0,40	NEA	0,74	5,38	0,45	HMH	1,48	12,93	0,33
PNS	1,19	6,74	0,52	EFLU	0,73	2,07	0,09	BCHM	1,29	9,87	0,29
BCC	0,79	2,41	0,16	CON	0,73	5,36	0,47	BCEF	1,15	7,25	0,23
MPH	0,76	3,95	0,34	PNC	0,67	4,53	0,38	REC	1,00	4,47	0,13
NO	0,70	3,23	0,29	BRPHMY	0,62	4,18	0,36	HMC	0,64	3,20	0,13
NEF	0,70	1,91	0,33	HMP	0,61	0,91	0,04	BCC	0,63	2,56	0,10
PND	0,68	4,15	0,43	BCC	0,59	1,57	0,09	PNS	0,54	2,33	0,13
CAD	0,67	2,94	0,25	NCXYPN	0,54	3,77	0,44	RES	-0,81	5,52	0,23
HMC	0,67	2,13	0,14	NCT	0,50	2,73	0,22	ATR	-0,82	6,35	0,23
KONA	0,61	2,89	0,24	CAD	0,50	1,91	0,14	ATRE	-0,85	6,39	0,28
PL	0,55	2,53	0,26	HMC	0,48	1,27	0,07	HMP	-0,88	2,67	0,08
OP	0,52	1,64	0,14	NAC	0,47	1,79	0,12	BCPD	-0,91	9,83	0,46
NEA	-0,43	4,38	0,44	NES	0,46	2,73	0,32	MNT	-0,99	7,27	0,29
GNARE	-0,46	2,32	0,23	STY	0,42	2,85	0,49				
NAC	-0,55	2,10	0,17	DN	0,42	2,81	0,49				
MAC	-0,62	3,23	0,25	MSC	-0,41	1,47	0,09				
REL	-1,14	1,56	0,15	NAS	-0,49	2,40	0,20				
AR	-1,48	5,24	0,28	NAG	-0,55	2,36	0,15				
HMH	-1,63	9,57	0,40	KONA	-0,60	3,31	0,23				
BCHM	-1,65	9,74	0,47	HR	-0,61	2,69	0,15				
				TPH	-0,65	0,59	0,03				
				NCCA	-0,78	4,45	0,28				
				ATRE	-0,97	5,98	0,37				
				ATR	-1,12	8,31	0,43				
				NCKO	-1,13	6,75	0,34				
				RES	-1,19	8,37	0,48				

variable	distance à l'origine
TPH	16,4
REL	15,3
HMP	9,9
REC	8,0
AR	7,7
HMH	6,7
BCN	6,2
EFLU	5,8
BCHM	5,8
BCEF	5,7

COO Coordonnées
CTR Contributions
COS Cosinus carrés

Fig. 4.21 : plan factoriel F1F2 de l'AFC réalisé sur la matrice de présence - absence après écart des trois variables hydromorphes, avec interprétation



Le deuxième axe se caractérise également par les coordonnées négatives des matériaux du métaplexion inférieur, à savoir des CNL associés le plus souvent aux substrats schisteux comme les altérites (ATR) et régo-altérites (ATRE) et bien évidemment le régolite schisteux (RES) lui-même. Nécrocauligé (NCCA), nanophyse spinescent et glaucescent (NAS et NAG) signalent la présence de landes ou de landes à genêt, et l'hypsorégolite, la roche affleurante caractérise également les milieux ouverts. Un cas particulier est la position démarquée du téphralite (TPH, charbons), matériau relevé que très occasionnellement, surtout dans les landes soumises au brûlage dirigé comme le relevé R71. Le mésocoprinite (MSC), déjection animale caractéristique des ovins marque également ces formations parcourues par les troupeaux. On peut ajouter le nano-kortode (KONA) qu'on trouve le plus souvent dans les milieux secs et méditerranéens tout comme le nanophyse spinescent (NAS). Les coordonnées positives du deuxième axe signalent l'importance des matériaux typiquement rencontrés en milieu forestier comme les troncs et branches maîtresses (STY, DN), le nécrophyton sporoiide ou semencier (NES) que constituent glands et cônes, les branches et troncs d'arbres morts sur place (NCXYPN), les fougères, prêles, mousses, lichens et champignons plus abondants que dans les milieux ouverts (PTEQ et BRPHMY), le nécrumite caractérisant les moders (NCT) et les matériaux associés aux conifères (PNC, CON) comme la litière constituée d'aiguilles, le nécrophyton acifolié (NEA). Enfin, parmi les coordonnées positives associées aux matériaux du métaplexion inférieur, il reste à mentionner le luérite (EFLU), le plus souvent constaté sous forme d'entaféron de type alluvial ou colluvial : en occurrence ils ont été le plus souvent constatés sous milieux forestier même si on peut tout autant les rencontrer ailleurs, par exemple sous les prés de fauche et prairies dans les vallées.

Le poids des matériaux pédologiques apparaît de façon plus accentuée sur le troisième axe où s'opposent les minérumites, brunichrons psammitiques ou dyscrophes (BCPD, MNT), caractéristiques des sols acides sur substrat siliceux assez pauvres en matière organique, ainsi que les altérites et substrats schisteux (RES, ATR, ATRE) aux sols colluviaux caractérisés par les enta-brunichrons (BCEF), aux substrats calcaires et aux humites hémi-organiques et brunichrons humitiques (HMH et BCHM) déjà mis en évidence par le premier axe. La qualité de représentation des ces contributions reste cependant relativement faible comme le montrent les cosinus carrés.

Si on considère les trois premiers axes simultanément, le nuage des points résultant met en évidence une structure assez aérée dans le secteur des relevés de milieux ouverts et une plus grande densité dans le secteur concerné par les individus « forestiers ». Cette densité différentielle peut s'observer sur le plan présenté ci-dessous et met en évidence une plus grande diversité des milieux ouverts, très variées au niveau de leur composition matérielle par rapport aux milieux forestiers qui ont pu être décrits assez aisément avec la typologie des CNL adoptée.

Une classification ascendante hiérarchique réalisée avec SPAD (RECIP), en utilisant pour l'agrégation seulement les 33 premières coordonnées de l'analyse factorielle afin de « lisser » le résultat de la classification, permet de mettre en évidence des classes sur le plan factoriel (cf. figure ci-dessus). Après avoir réalisé de très nombreuses classifications, on a pu constater que les résultats varient très fortement en fonction des variables actives et des tableaux utilisés. A titre d'exemple on peut comparer les arbres hiérarchiques pour les 68 relevés non-hydromorphes établis à partir de 33 coordonnées issues des AFC sur la matrice des présences (à gauche) et la matrice des données recodées (cf. figure ci-dessous). La première classification est plus pertinente, surtout si on effectue une coupure de l'arbre en 6 classes aboutissant à une répartition assez équilibrée des

relevés (cf. tab. ci-dessus). On peut toutefois constater quelques regroupements curieux comme le pré de R47 associé aux pinèdes de la classe 4 et les relevés des milieux rocheux (R23, R13, R62 et R63) dispersés entre différentes classes et brouillant l'interprétation sinon assez aisée de ces six classes. L'attribution des milieux rocheux aux différentes classes va de pair avec la mauvaise prise en compte de ces relevés de milieu rocheux par les premiers axes factoriels.

Tab. 4.26 : classes issues de la classification ascendante hiérarchique se fondant sur l'analyse factorielle de la matrice de « présence absence »

CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3	CLASSE 4	CLASSE 5	CLASSE 6
R1, R4, R17, R18, R21, R25, R26, R27, R28, R30, R32, R35, R40, R62, R67	R8, R13, R22, R23, R24, R29, R31, R50, R63, R66	R9, R10, R11, R12, R38, R45, R53, R57, R73, R75, R76, R79	R6, R16, R34, R39, R41, R42, R43, R44, R46, R47, R51, R55, R58, R64, R77	R2, R3, R5, R7, R20, R69, R70, R72	R14, R49, R52, R56, R59, R61, R71, R74

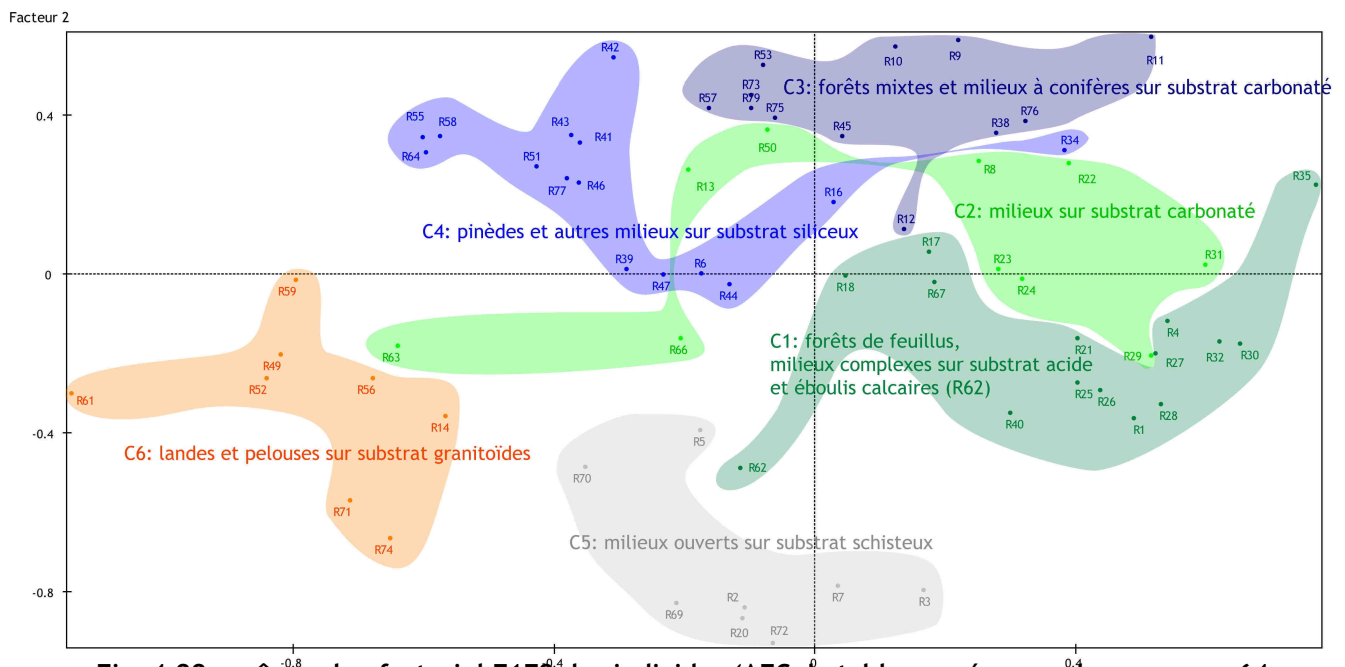


Fig. 4.22 : même plan factoriel F1F2 des individus (AFC du tableau présence-absence pour 64 variables actives) avec attribution des individus aux 6 classes de la CAH

Les classifications issues des matrices holoplexions/CNL sont en conséquence à utiliser avec prudence. La diversité des milieux relevés ne permet pas un regroupement automatique en quelques classes sans procéder à un contrôle, par exemple avant d'associer ces groupes à des types de géons. Aussi, le petit nombre de relevés forts divergents ne permet pas de créer des « types » d'holoplexions artificiels établis à partir de moyennes qu'on pourrait associer à un type de géon. L'association des relevés aux unités spatiales cartographiées s'effectue dans le cas de notre étude de façon manuelle, s'inspirant certes des classes proposés par les CAH, mais faisant appel à « l'expérience et le bon sens » (Filleron, 1995 :322).

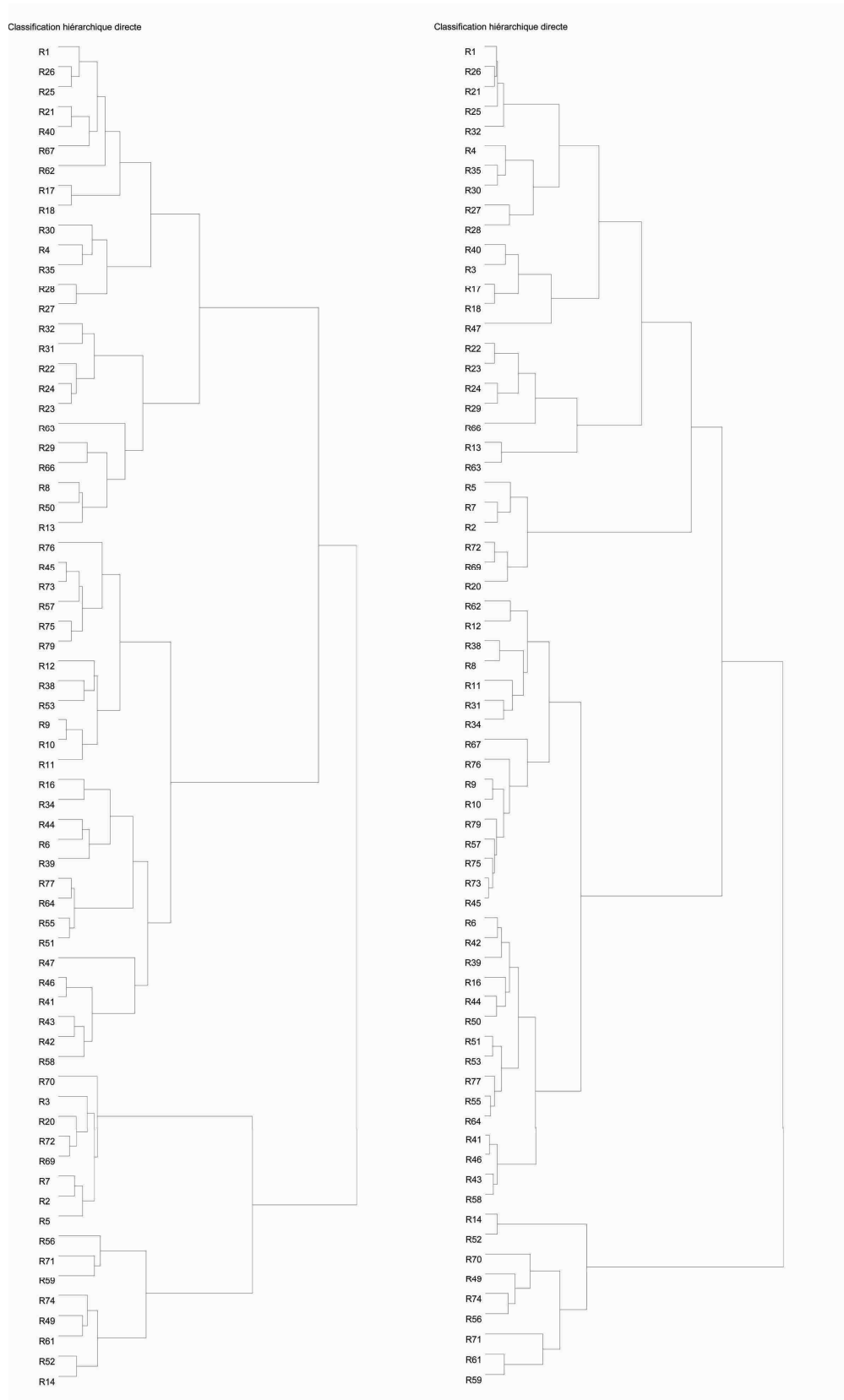


Fig. 4.23 : deux exemples de classification hiérarchique (CAH) réalisés à partir des coordonnées factorielles de l'AFC

A gauche : arbre issu de la matrice « présence absence » ; à droite arbre issu du tableau « recodé des pourcentages ». Les deux arbres ont été réalisés à partir des 33 premières coordonnées des analyses factorielles respectives. L'arbre de gauche, plus régulier a été retenu avec une coupure à 6 classes.

4.3.1.3. L'analyse des hoplexions

L'analyse des hoplexions

Nous nous sommes limités jusqu'ici à l'interprétation des holoplexions à travers la somme des volumes des CNL relevés par hoplexols et à travers leur simple présence dans l'holoplexion. Nous avons vu que l'analyse des holoplexions nécessitait une condensation des informations fournies par les CNL qui est susceptible de « cacher » des informations sur la diversité entre les relevés. En même temps l'addition de très nombreuses composantes dans un seul holoplexion crée une diversité plus forte de matériaux que si on se limite seulement aux composantes typiques d'un des cinq hoplexions primaires.

L'avantage d'une analyse des hoplexions, plus précisément de leur contenu, les CNL, réside dans le fait qu'il est possible de regrouper plus facilement différents types de relevés avec les mêmes caractéristiques. Il a déjà été mentionné que seulement deux types d'hoplexions, le métaplexion supérieur et le métaplexion strict étaient présents dans tous les relevés. Pour mettre en évidence des différences dans l'ensemble des relevés il faut ainsi considérer surtout ces deux hoplexions qui contiennent pour l'ensemble des relevés 58 CNL différents. L'analyse des trois autres hoplexions se limite aux relevés dans lesquels ils sont présents, et permet d'analyser séparément les milieux boisés (supraplexion), les milieux avec un sol bien développé (métaplexion inférieur) et les milieux avec des sols plus ou moins superficiels ou les formations superficielles où la roche-mère apparaît à moins d'un mètre de profondeur. L'étude porte ainsi sur 360 hoplexions (72*5) dont 21 n'ont pas de contenu et ont été écartés de l'analyse.

Ici encore se pose la question des priorités d'analyse et l'adéquation des données aux méthodes d'analyse. Des AFC permettraient de mettre au mieux en évidence, en fonction des matrices utilisées, différentes façons d'évaluer la diversité des matériaux qui composent les milieux. Des ACP permettraient à leur tour de distinguer les milieux par des différences de volumes, mais demandent des interprétations prudentes en raison du nombre de valeurs nulles.

Aperçu sur l'ensemble des hoplexions

Une analyse conjointe de tous les types d'hoplexions assemblés dans une même matrice à 339 lignes correspondants aux cinq différents types d'hoplexions par relevé et à 103 colonnes correspondantes aux matériaux permet de vérifier si l'attribution des hoplexions a été correcte et si elle met en même temps en évidence la différence de nature de différents hoplexions.

Une AFC de la matrice binaire (présence- absence des 103 matériaux) illustre parfaitement le contraste qu'existe entre les hoplexions inférieurs (infraplexion et métaplexion inférieur) qu'on peut aussi qualifier de métainfraplexions¹²⁴ et les hoplexions de surface et supérieurs. Les 339 hoplexions (individus) relevés se disposent le long du premier axe factoriel dans l'ordre correct, de

¹²⁴ Ce regroupement des deux *hoplexions primaires* inférieurs peut être considéré comme un *hoplexion supérieur* au sens de Filleron, 1995. Il est possible de regrouper ainsi également les deux hoplexions primaires supérieurs (supraplexion et métaplexion supérieur) en un seul hoplexion supérieur, le *métasupraplexion*. Les six hoplexions primaires constituent alors trois hoplexions supérieurs.

l'infraplexion au supraplexion (cf. 1^{er} plan factoriel ci-dessous), avec des coordonnées positives pour les hoplexions supérieurs et strict (S, U, T) et des coordonnées négatives pour les hoplexions inférieurs (F, I). Ainsi la coordonnée moyenne sur le premiers axe est de 0,63 pour les 59 supraplexions relevés (S ; écart-type 0,019, coefficient de variation 1,8%), de 0,58 pour les 72 métaplexions supérieurs (U ; écart-type 0,019, coefficient de variation 3,2%), de 0,47 pour les 72 métaplexions stricts (T ; écart-type 0,078, coefficient de variation 16,3%) de -1,63 pour les 69 métaplexions inférieurs (F ; écart-type 0,089, coefficient de variation 5,5%) et de -1,85 pour les 67 infraplexions (I ; écart-type 0,10, coefficient de variation 5,6%). Ce premier axe avec une valeur propre de 0,47 exprime presque un dixième (9,43%) de l'information représentée par les 102 axes. Le tableau ci-dessous présente un extrait des coordonnées, contributions et cosinus carrés pour les quatre premiers axes et fait apparaître les 62 matériaux (sur 103) les plus caractéristiques quant à leur contribution à la différenciation des hoplexions.

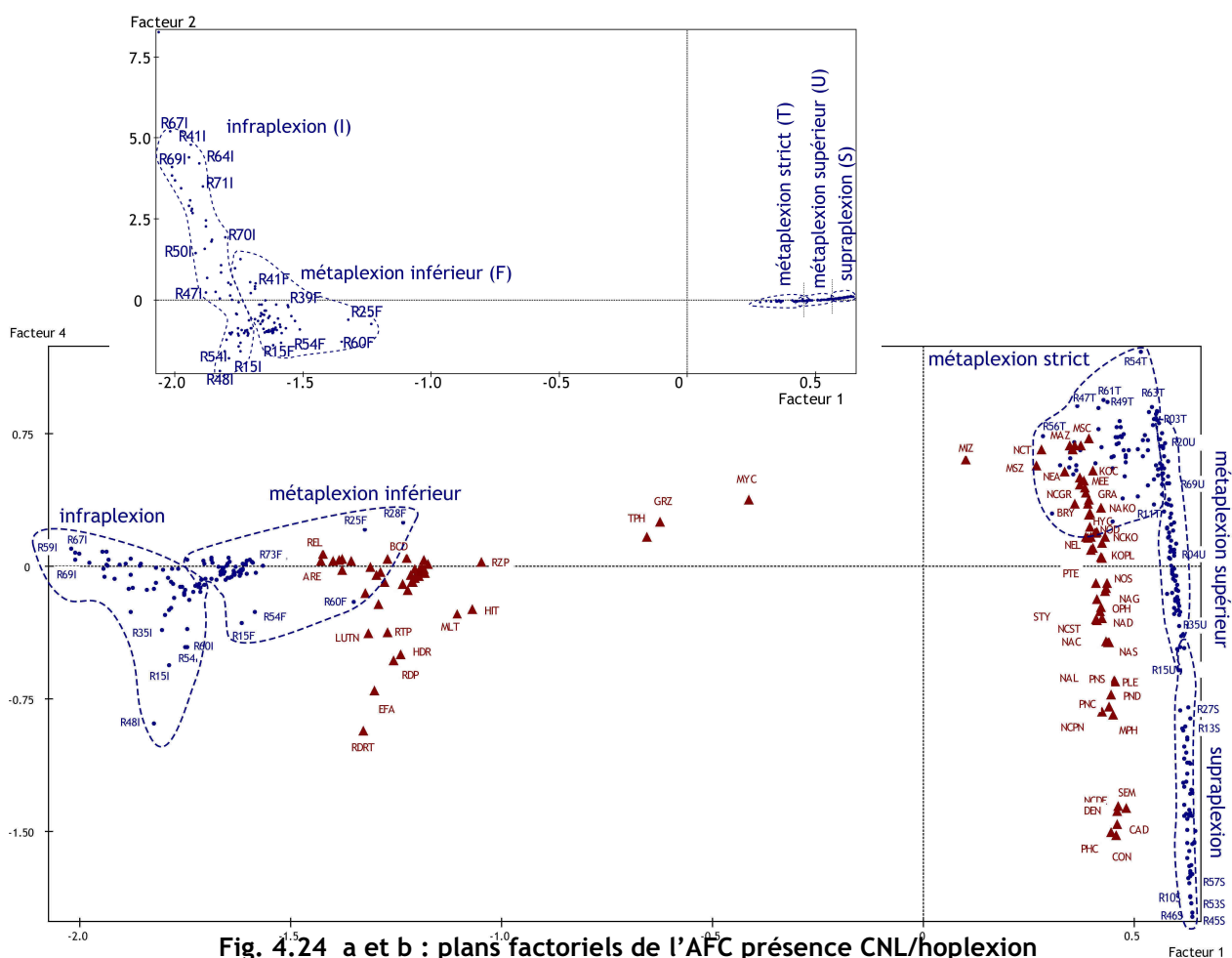


Fig. 4.24 a et b : plans factoriels de l'AFC présence CNL/hoplexion

a (en haut) : premier plan factoriel F1F2 : individus (hoplexions des relevés)

b (en bas) : plan factoriel F1F4 avec individus et fréquences (hoplexions : points bleu ; CNL : triangles rouges)

Individus : points bleus (hoplexions : R(xx)-S, -U -T -F -I) ; fréquences: triangles (CNL)

Tab. 4.27 : les 62 matériaux contribuant à l'identification des 4 premiers axes de l'AFC
« hoplexions »

variable	Poids relatif	Distance à l'origine	Coordonnées des fréquences				Contributions				Cosinus carrés			
			Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4
1 AER	5,40	0,3	0,41	0,02	0,01	-0,10	1,91	0,01	0	0,23	0,51	0	0	0,03
2 HDR	0,22	35,2	-1,24	-1,45	-0,42	-0,50	0,70	1,45	0,14	0,23	0,04	0,06	0,01	0,01
3 DEN	1,41	3,0	0,46	0,07	0,02	-1,39	0,63	0,02	0	11,91	0,07	0	0	0,63
4 NCDE	0,93	4,4	0,46	0,07	0,02	-1,36	0,42	0,01	0	7,48	0,05	0	0	0,42
5 STY	3,81	0,5	0,41	0,03	0,01	-0,31	1,37	0,01	0	1,56	0,35	0	0	0,19
6 NCST	2,99	0,7	0,41	0,03	0,01	-0,30	1,07	0,01	0	1,19	0,24	0	0	0,13
7 CON	0,81	5,6	0,46	0,07	0,02	-1,53	0,36	0,01	0	8,21	0,04	0	0	0,42
8 SEM	0,34	11,4	0,48	0,08	0,03	-1,37	0,17	0,01	0	2,75	0,02	0	0	0,16
9 CAD	0,70	6,2	0,46	0,07	0,02	-1,46	0,31	0,01	0	6,53	0,03	0	0	0,34
10 PNC	1,44	2,7	0,44	0,05	0,02	-0,79	0,59	0,01	0	3,98	0,07	0	0	0,23
12 PND	1,48	2,0	0,45	0,05	0,02	-0,73	0,62	0,01	0	3,45	0,10	0	0	0,27
23 MPH	1,02	3,4	0,45	0,06	0,02	-0,84	0,44	0,01	0	3,16	0,06	0	0	0,21
24 CLG	3,39	0,5	0,40	0,01	0,0	0,17	1,14	0	0	2,42	0,30	0	0	0,05
33 KOR	3,58	0,5	0,39	0,01	0	0,38	1,17	0	0	2,21	0,30	0	0	0,27
34 KOC	0,38	9,6	0,40	0,01	0	0,54	0,13	0	0	0,48	0,02	0	0	0,03
37 GRA	3,63	0,5	0,39	0	0	0,42	1,15	0	0	2,76	0,32	0	0	0,37
38 NCGR	1,94	1,2	0,38	0	0	0,44	0,60	0	0	1,65	0,13	0	0	0,17
40 PHC	0,54	8,1	0,44	0,07	0,02	-1,51	0,23	0,01	0	5,34	0,02	0	0	0,28
42 NEA	0,94	2,4	0,34	-0,02	-0,01	0,53	0,23	0	0	1,16	0,05	0	0	0,12
44 NEG	1,96	1,3	0,35	-0,02	-0,01	0,66	0,52	0	0	3,75	0,10	0	0	0,34
45 NEL	3,77	0,4	0,39	0	0	0,17	1,18	0	0	0,46	0,36	0	0	0,07
46 NES	1,53	1,5	0,37	0	0	0,46	0,45	0	0	1,41	0,09	0	0	0,14
47 NCNT	1,91	1,3	0,35	-0,02	-0,01	0,68	0,49	0	0	3,92	0,09	0	0	0,37
48 NCT	0,86	3,3	0,28	-0,05	-0,01	0,66	0,14	0,01	0	1,65	0,02	0	0	0,13
50 HIT	0,05	109,2	-1,07	-1,18	-0,36	-0,24	0,13	0,24	0,02	0,01	0,01	0,01	0	0
51 MIZ	0,43	7,4	0,10	-0,15	-0,03	0,60	0,01	0,03	0	0,68	0	0	0	0,05
52 MSZ	0,35	8,0	0,27	-0,07	-0,02	0,57	0,05	0,01	0	0,49	0,01	0	0	0,04
53 MSC	0,97	3,1	0,37	-0,01	-0,01	0,68	0,29	0	0	1,97	0,05	0	0	0,15
54 MAZ	0,22	15,7	0,39	0,00	-0,01	0,72	0,07	0	0	0,49	0,01	0	0	0,03
55 MAC	1,37	1,9	0,37	-0,01	-0,01	0,50	0,40	0	0	1,51	0,07	0	0	0,13
57 PEE	3,34	0,5	0,39	0,01	0,00	0,29	1,09	0	0	1,22	0,28	0	0	0,15
58 MEE	2,72	0,8	0,38	0,00	0,00	0,49	0,84	0	0	2,80	0,18	0	0	0,30
59 MAE	1,67	1,5	0,36	-0,02	-0,01	0,68	0,46	0	0	3,41	0,09	0	0	0,32
60 EPAN	0,48	6,2	0,42	0,04	0,01	-0,24	0,18	0	0	0,12	0,03	0	0	0,01
61 RZP	2,99	1,7	-1,05	-0,20	-0,11	0,02	6,93	0,40	0,12	0,01	0,66	0,03	0,01	0
62 RZG	2,56	2,2	-1,18	-0,22	-0,06	-0,04	7,57	0,40	0,04	0,02	0,62	0,02	0	0
63 GRZ	2,45	1,4	-0,62	-0,36	-0,08	0,25	2,02	1,00	0,05	0,68	0,27	0,09	0	0,04
69 MLT	0,08	74,0	-1,10	-1,21	-0,36	-0,27	0,21	0,38	0,04	0,03	0,02	0,02	0	0
74 BCD	0,51	12,9	-1,22	0,30	1,14	0,05	1,62	0,15	2,41	0,01	0,12	0,01	0,10	0
77 BCAT	0,38	23,4	-1,30	0,43	1,00	-0,05	1,34	0,23	1,37	0	0,07	0,01	0,04	0
79 RTP	0,03	264,9	-1,27	-1,19	-0,34	-0,37	0,09	0,12	0,01	0,02	0,01	0,01	0	0
80 RDRT	0,03	264,9	-1,33	-2,01	-0,61	-0,93	0,10	0,35	0,04	0,10	0,01	0,02	0	0
81 RDP	0,16	49,0	-1,25	-1,53	-0,45	-0,53	0,54	1,20	0,12	0,20	0,03	0,05	0	0,01
83 EFAT	0,46	28,0	-1,38	2,58	-0,84	-0,02	1,84	9,71	1,17	0	0,07	0,24	0,03	0
84 GNAN	0,05	167,2	-1,32	0,30	-0,62	-0,15	0,20	0,02	0,07	0,01	0,01	0,00	0,00	0
85 GNAR	0,32	26,7	-1,31	1,84	-2,13	0	1,17	3,48	5,29	0,00	0,06	0,13	0,17	0
86 GNRE	1,21	7,4	-1,29	0,85	-0,38	-0,03	4,25	2,80	0,62	0,01	0,22	0,10	0,02	0
87 PEG	1,67	3,8	-1,22	-0,84	-0,19	-0,13	5,27	3,73	0,21	0,13	0,40	0,19	0,01	0
88 MEG	2,45	2,3	-1,21	-0,65	-0,10	-0,09	7,63	3,35	0,09	0,09	0,65	0,19	0	0
89 MAG	2,40	2,2	-1,21	-0,66	-0,11	-0,09	7,43	3,35	0,11	0,09	0,65	0,20	0,01	0
90 EFA	0,05	132,2	-1,30	-1,65	-0,50	-0,70	0,19	0,47	0,05	0,12	0,01	0,02	0	0
92 LUTN	0,03	463,9	-1,31	-1,43	-0,33	-0,38	0,10	0,18	0,01	0,02	0	0	0	0
93 ATGN	0,03	168,4	-1,27	1,12	0,73	0,04	0,09	0,11	0,05	0	0,01	0,01	0	0
94 ATRE	0,62	18,0	-1,38	2,12	3,10	0,04	2,49	8,91	21,35	0	0,10	0,25	0,53	0
95 ATR	0,59	16,3	-1,36	1,89	2,48	0,03	2,31	6,77	13,15	0	0,11	0,22	0,38	0
96 ARE	0,19	60,8	-1,43	4,88	-4,69	0,03	0,81	14,33	14,89	0	0,03	0,39	0,36	0
97 ARRE	0,24	41,7	-1,40	4,19	-3,99	0,03	1,01	13,60	13,86	0	0,05	0,42	0,38	0
98 HYC	0,40	12,8	0,41	0,02	0	0,19	0,14	0	0	0,06	0,01	0	0	0
100 HYL	0,19	15,9	0,40	0,01	0	0,09	0,06	0	0	0,01	0,01	0	0	0
101 REC	0,30	36,7	-1,28	-0,16	0,42	-0,09	1,02	0,02	0,19	0,01	0,04	0	0	0
102 RES	0,51	22,3	-1,38	2,16	3,30	0,03	2,08	7,63	20,10	0	0,09	0,21	0,49	0
103 REL	0,13	89,9	-1,42	4,71	-2,51	0,07	0,58	9,55	3,04	0	0,02	0,25	0,07	0

coordonnées positives en gris

contributions >2,0 en caractères gras

cosinus carrés >0,4 en caractères gras

Tandis que le premier axe différencie nettement les 49 matériaux inféodés au sol et aux formations superficielles des 54 matériaux caractéristiques des hoplexions supérieurs (cf. coordonnées négatives et positives du premier axe), le deuxième et le troisième axe caractérisent les différences entre les hoplexions inférieurs. Sur le premier axe les plus fortes contributions proviennent ainsi des matériaux « typiques » inféodés aux sols, le gravelon (MAG, MEG, PEG) et le rhizophyton (RZP, RZG, GRZ). Au dessus de la surface du sol les matériaux typiquement rencontrés comme le kortode, (KOR), gramen (GRA), l'aérophyse (AER) et le stylagé (STY) , autrement dit les

herbacées, troncs d'arbres et l'air montrent également une relativement bonne contribution. Le poids relativement faible des matériaux des hoplexols inférieurs (moins d'hoplexols inférieurs que supérieurs, moins de matériaux qui les caractérisent) et en partie leur rareté (tano-luérite (LUTN), histites et rétichrons...), provoquant les plus grandes distances à l'origine expliquent la dominance de leur contribution sur le deuxième et troisième facteur. Le deuxième axe met en évidence le contraste entre les hoplexions hydromorphes d'un côté (coordonnées négatives) avec comme matériaux caractéristiques les réductons et rétichrons (RDRT, RDP, RTP), l'histite (HIT) et l'hydrophyse (HDR) et des matériaux typiques des formations superficielles, leucocrates et arénitiques (ARRE, REL, ARE), schisteux (RES, ATR, REL, ATRE) voire colluviaux (EFAT, ATGN) de l'autre côté. Le troisième facteur permet de différencier les substrats avec une dominance des matériaux associés aux schistes (RES, ATRE, ATR, BCD) aux coordonnées positives et des matériaux associés aux formations superficielles granitoïdes (ARRE, ARE, GNAR, REL) aux coordonnées négatives. C'est seulement le quatrième facteur qui permet enfin de bien différencier les trois hoplexols supérieurs (cf. plan factoriel fig. 4.24) et les matériaux qui leur sont associés : Les coordonnées négatives désignent les CNL de la strate ligneuse, le supraplexion, allant du feuillage (CAD, CON, SEM) aux branches (DEN) incluant le phycophytion (lichens, PHC). Les coordonnées positives s'associent aux matériaux de surface comme les déjections animales, coprumites et zoolites (MIZ, MASZ, MAS, MSC), les éléments de la litière, nécrophytton et nécrumite (NEA, NEL, NCNT, NCT) et les épilites (PEE, MAE, MEA, EPAN).

Cette répartition des matériaux peut paraître évidente, mais elle nous permettra de ne pas revenir sur des banalités quand on décrira par la suite les particularités des hoplexions pour la contribution à la différenciation des milieux (ou relevés). En outre elle illustre assez bien l'efficacité et la cohérence de l'approche par hoplexions : les matériaux permettent une différenciation très satisfaisante des hoplexions dans le nuage des points.

L'analyse du supraplexion

Pour l'analyse du supraplexion nous n'avons seulement retenu que 51 relevés disposant d'une strate arborescente, c'est-à-dire caractérisés notamment par la présence de phyllophytton (semperphyse, coniphyse, caduphyse), de xylophytton (dendrigé, stylagé), le feuillage et la partie ligneuses des arbres, voire par du pénephytton dépassant le métaplexion supérieur, c'est à dire des jeunes arbres s'élevant au-dessus de la strate des buissons et des herbacées.

Ici encore, nous avons privilégié l'utilisation des matrices binaires et des matrices des volumes pour comparer les résultats respectifs. Les premiers mettent en évidence les différences des milieux par la diversité de leur contenu plutôt que par la composition quantitative des CNL, les seconds ont pour avantage de rendre la différenciation des milieux plus aisée et plus efficace avec des classifications associées plus « propres ». Pour certains des hoplexions l'utilisation des matrices d'effectifs donne des résultats assez comparables, mais en ce qui concerne le supraplexion, les interprétations diffèrent considérablement entre la matrice « présence », la matrice « effectifs » et la matrice « volumes » en raison du volume important occupé par certains matériaux.

Dans l'analyse factorielle des correspondances des supraplexions recensés pour les 59 relevés disposant d'un supraplexion, nous avons retenu 31 variables (CNL) en écartant notamment

la variable « hypsolite carbonaté » (HYC), perturbant l'analyse par une très forte contribution au premier axe.

En comparant les histogrammes des valeurs propres des 10 premiers axes pour les matrices « volumes » et « présence » les pourcentages cumulés pour les trois premiers axes nous amènent à préférer l'interprétation et l'exploitation des données volumiques (pourcentage cumulé des trois premiers axes : 66,43%) pour différencier et classer les relevés. En effet, le premier axe de l'AFC du tableau « volumes » indique un premier axe à forte valeur explicative (22,71%) et un palier assez marqué entre le quatrième et cinquième axe, qui nous amène à retenir les quatre premiers axes pour l'interprétation des supraplexions.

Tab. 4.28 : comparaison des histogrammes de valeurs propres issus des AFC pour les supraplexions des tableaux « volumes » (en haut) et « présences » (en bas)

ANALYSE DES CORRESPONDANCES BINAIRES			
SOMME DES VALEURS PROPRES ... 0.8056			
HISTOGRAMME DES 10 PREMIERES VALEURS PROPRES			
NUMERO	VALEUR PROPRE	POURCENTAGE	POURCENTAGE CUMULE
1	0.1830	22.71	22.71
2	0.1431	17.76	40.48
3	0.1322	16.41	56.89
4	0.1247	15.47	72.36
5	0.0630	7.82	80.18
6	0.0442	5.48	85.66
7	0.0337	4.18	89.85
8	0.0169	2.09	91.94
9	0.0122	1.51	93.46
10	0.0103	1.27	94.73

SOMME DES VALEURS PROPRES ... 1.9745			
HISTOGRAMME DES 10 PREMIERES VALEURS PROPRES			
SUPRAPLEXION - TABLEAU "PRESENCES" - 59 individus 31 fréquences]			
NUMERO	VALEUR PROPRE	POURCENTAGE	POURCENTAGE CUMULE
1	0.3654	18.51	18.51
2	0.2043	10.35	28.85
3	0.1526	7.73	36.59
4	0.1389	7.04	43.62
5	0.1289	6.53	50.15
6	0.1164	5.89	56.04
7	0.1086	5.50	61.54
8	0.0998	5.05	66.59
9	0.0851	4.31	70.90
10	0.0749	3.79	74.69

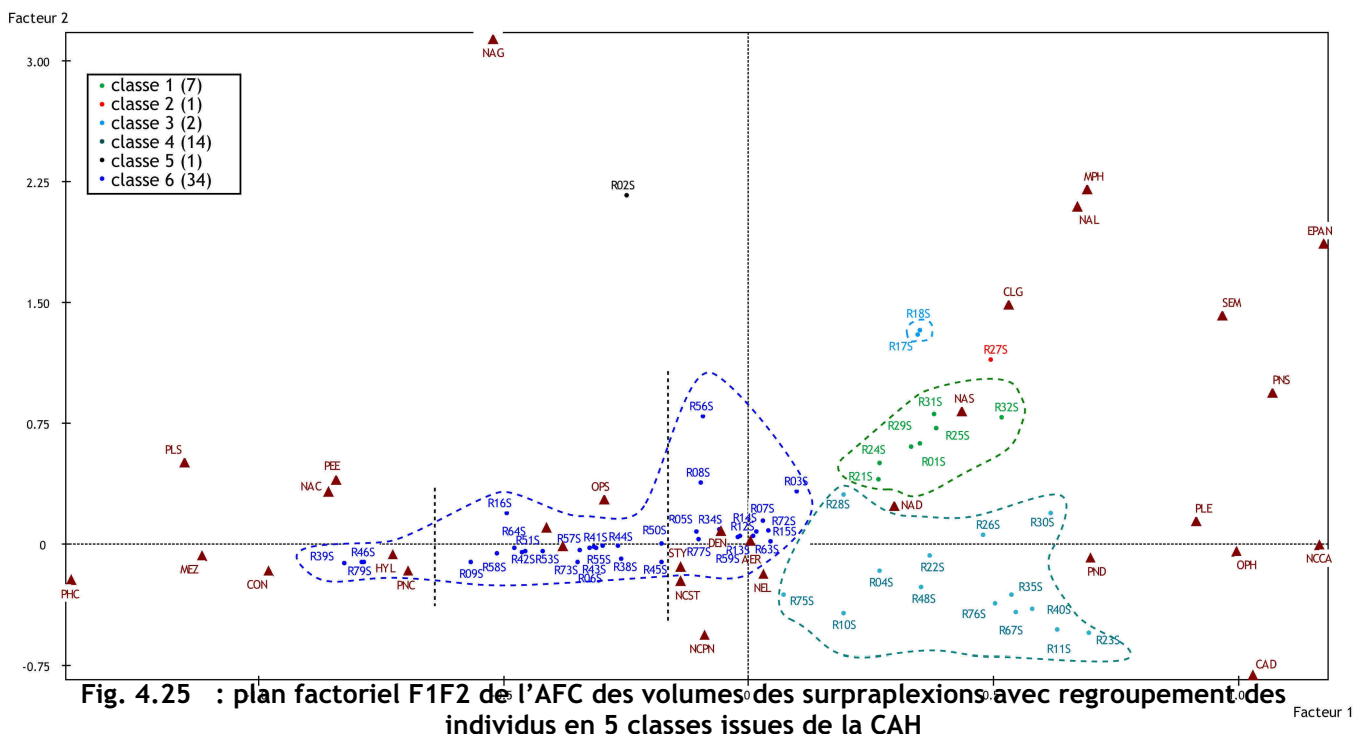
L'utilisation de la matrice des volumes pour l'analyse des supraplexions nécessite de rappeler que le supraplexion concerne tous les hoplexols au-delà de la strate herbacée. Or, l'extension verticale diffère fortement entre une lande et une sapinière. Avec une extension verticale moyenne de 8,59 m elle peut varier alors entre 60 cm et 24,5 m. Si on retient l'ensemble des 59 relevés disposant d'un supraplexion le résultat est assez comparable à une AFC de 51 relevés qui disposent réellement d'une composante arborée (identifiée par la présence des xylophytion, phyllophytions ou pénéphytion). Les relevés R2, R3, R7, R14, R15, R56, R63 et R72 ne comportent pas ces matériaux et caractérisent des milieux qui comportent toutefois une strate arbustive ou des arbrisseaux. A l'exception de R2 et R56 (voir plus loin) les six autres relevés montrent des coordonnées très peu prononcées sur les quatre premiers axes avec des contributions et cosinus carrés nuls ou proche de zéro (0,01). Ces relevés ne contribuent alors pas à la différenciation des milieux et l'interprétation du supraplexion permet notamment de différencier les milieux boisés.

Tab. 4.29: les 31 fréquences actives caractérisant les trois premiers axes de l'AFC des volumes des supraplexions avec distance à l'origine, poids relatif, coordonnées, contributions et cosinus carrés

variable	Poids relatif	Distance à l'origine	Coordonnées				Contributions				Cosinus carrés			
			Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4
AER	76,61	0,01	0	0,02	0,01	-0,02	0,01	0,21	0,03	0,30	0	0,03	0	0,04
DEN	1,65	0,31	-0,06	0,08	0,09	0,27	0,03	0,08	0,11	0,98	0,01	0,02	0,03	0,24
NCDE	0,32	1,43	-0,38	-0,02	0,15	0,05	0,25	0	0,05	0,01	0,10	0	0,01	0
STY	1,35	0,19	-0,14	-0,14	0,05	-0,01	0,14	0,20	0,02	0	0,10	0,11	0,01	0
NCST	0,23	1,15	-0,14	-0,23	-0,11	0,01	0,02	0,08	0,02	0	0,02	0,05	0,01	0
CON	8,80	1,18	-0,98	-0,17	0,06	0,03	46,26	1,69	0,23	0,06	0,82	0,02	0	0
SEM	1,50	7,37	0,97	1,42	0,85	-1,74	7,68	21,16	8,19	36,34	0,13	0,27	0,10	0,41
CAD	6,22	1,96	1,03	-0,81	-0,26	0,18	36,10	28,76	3,29	1,64	0,54	0,34	0,04	0,02
PNC	0,74	4,55	-0,70	-0,16	0,07	0,12	1,95	0,14	0,02	0,08	0,11	0,01	0	0
PNS	0,23	6,31	1,07	0,94	0,33	-0,54	1,46	1,44	0,19	0,55	0,18	0,14	0,02	0,05
PND	0,44	2,97	0,70	-0,09	-0,16	0,30	1,16	0,02	0,09	0,32	0,16	0	0,01	0,03
NCPN	0,03	12,70	-0,09	-0,56	-0,07	0,18	0	0,07	0	0,01	0	0,03	0	0
NAC	0,07	15,98	-0,86	0,33	-0,76	0,00	0,28	0,05	0,30	0	0,05	0,01	0,04	0
NAD	0,15	6,03	0,30	0,24	0,09	0,41	0,07	0,06	0,01	0,20	0,01	0,01	0	0,03
NAG	0,16	81,72	-0,52	3,14	-8,36	-0,99	0,23	10,79	82,65	1,23	0	0,12	0,85	0,01
NAS	0,09	11,72	0,44	0,83	-1,80	-0,14	0,10	0,44	2,28	0,02	0,02	0,06	0,28	0
NAL	0,15	35,47	0,67	2,10	0,52	-0,40	0,37	4,60	0,30	0,19	0,01	0,12	0,01	0
MPH	0,83	14,64	0,69	2,20	0,54	2,93	2,16	28,02	1,82	56,95	0,03	0,33	0,02	0,59
CLG	0,10	11,73	0,53	1,49	-0,49	0,94	0,15	1,55	0,18	0,71	0,02	0,19	0,02	0,08
NCCA	0,01	15,77	1,16	0,00	-0,12	0,02	0,11	0	0	0	0,09	0	0	0
OPH	0,03	8,35	1,00	-0,05	-0,10	0,20	0,16	0	0	0,01	0,12	0	0	0
OPS	0	48,21	-0,29	0,28	-0,16	0,03	0	0	0	0	0	0	0	0
PLE	0,14	6,06	0,91	0,14	-0,05	0,11	0,65	0,02	0	0,01	0,14	0	0	0
PLS	0	43,84	-1,15	0,51	-1,24	0,05	0,02	0,01	0,04	0	0,03	0,01	0,04	0
PHC	0,04	20,05	-1,38	-0,22	0,20	0,06	0,40	0,01	0,01	0	0,10	0	0	0
NEL	0,05	3,78	0,03	-0,19	-0,16	0,18	0	0,01	0,01	0,01	0	0,01	0,01	0,01
MEZ	0	41,08	-1,11	-0,07	0,19	-0,04	0,01	0	0	0	0,03	0	0	0
PEE	0,01	11,03	-0,84	0,40	-0,33	0,18	0,04	0,01	0,01	0,00	0,06	0,01	0,01	0
EPAN	0,02	18,71	1,17	1,87	0,82	-1,38	0,18	0,57	0,12	0,36	0,07	0,19	0,04	0,10
HYS	0	29,65	-0,41	0,10	0,07	-0,01	0	0	0	0	0,01	0	0	0
HYL	0	38,52	-0,73	-0,06	0,13	-0,08	0,01	0	0	0	0,01	0	0	0

Effectivement le premier plan factoriel de l'AFC de la matrice des « volumes » des supraplexions pour 59 relevés (cf. fig. ci-dessous) permet d'identifier aisément les différents types de forêts en fonction des matériaux dominants de leur canopée. En retenant six classes proposées par la classification ascendante hiérarchique, les différences s'interprètent très clairement. Le premier axe met en évidence la différence entre milieux boisés et arbustifs à feuillus (coordonnées positives) et à conifères (coordonnées négatives), caractérisé notamment par le phyllophytion et le pénephytion : caduphyse, pénephytion caducifolié, nanophyse caducifolié, pénephytion sempervirent et semperphyse (CAD, PND, NAD, PNS et SEM) d'un côté (coordonnées positives), coniphyse, pénephytion conifère et nanophyse conifère (CON, PNC et NAC), de l'autre (coordonnées négatives). Une lecture des contributions et cosinus carrés des fréquences du premier axe (cf. tableau ci-dessus) permet d'identifier les matériaux les plus souvent associés aux résineux (pinèdes et sapinières), notamment les lichens (phycophyton PHC), mais aussi les grandes fourmilières (mégazoolite). En outre, on constate ici des plus grandes quantités de bois morts sur pied (NCDE, NCST, NCPN) que dans les forêts et milieux boisés à feuillus. A cela on peut ajouter une présence

plus fréquente de ronces et autre plantes rampantes spinescentes (OPS). La dominance des forêts de résineux dans la partie occidentale du massif permet d'associer les forêts de résineux également aux matériaux granitoïdes (hypsoégolite, HYL) et plus généralement aux blocs rocheux (PEE). Les milieux à faible taux de conifère comme les forêts mixtes (R08, R75, R10, R38), les milieux à dominante rocheuse (R12, R13, R63), les landes boisées ou non (R05, 56, R72, R59, R77) et les prairies un peu enrichies (R3, R7, R14, R15) apparaissent plus proche de l'origine du plan factoriel avec des coordonnées faibles, mais ont été toutefois associés à la classe n°6 marquée par la présence de résineux. Les matériaux typiques de tous les types de forêts comme l'aérophysse, les branches (DEN), les troncs (STY, NCSTY) et le bois mort à terre (NEL) contribuent peu ou pas aux trois premiers axes.



Individus : points (surraplexions de 59 relevés noté R (xx) U) ; fréquences : triangles (CNL)

Sur le deuxième axe, les relevés dominés par les feuillus peuvent être plus facilement différenciés et on remarque là la disposition ordonnée de quatre des six classes mises en évidence par la CAH. Les relevés associés à la classe n°3 (R17, R18) et n°2 (un seul relevé : R27) se caractérisent par une présence dominante de la mésophyse, c'est-à-dire des arbustes ne dépassant pas 7 m de hauteur (mésophanérophytes pour la plupart), qui dominent ces friches montagnardes de Montaila (classe 3) et la terrasse enrichie mésoméditerranéenne de Villefranche -de Lauragais (R27). Enfin les coordonnées permettent de nettement distinguer les relevés à dominance de chêne vert (classe 1) des autres forêts de feuillus par les coordonnées positives de la semperphyse et du pénéphytion sempervirent (SEM, PNS) d'une part et de la caduphyse (CAD) d'autre part. Les relevés R28, R26, R30 de la classe 4 avec des faibles coordonnées positives constituent effectivement des milieux boisés où l'on trouve des feuillus méditerranéens sempervirents (*Quercus ilex*) et caducifoliés (*Quercus pubescens* etc.). Le deuxième facteur met également en évidence la classe n°5 : Ici apparaît le rôle de R2 et dans une moindre mesure R56, des relevés effectués dans des landes denses et assez hautes à genêts : ils contribuent fortement au deuxième et troisième facteur

avec un cosinus carré de respectivement 0,80 et 0,78 concernant le troisième axe. La contribution de R2 au troisième axe est de 77,5%, au deuxième axe elle atteint encore 10,3%. Le rôle du nanophyse géniscent (NAG) - les branches vertes du genêt - s'exprime autant par la distance à l'origine extrême (81,72), que par des contributions importantes au deuxième et troisième axe (respectivement de 10,79 et 82,65%). Contrairement à la mésophyse la position de NAG sur le plan factoriel F1F2 semble suggérer que les genêts non spinescents (NAG) soient plus souvent associé aux résineux, ce que l'on peut interpréter comme une répartition conjointe des pins et du genêt purgatif dans l'étage montagnard et subalpin, illustré par l'exemple de R16 et R5. Les lianes et plantes rampantes non explicitement spinescentes (PLE, OPH), les arbrisseaux et les arbustes à feuillage sempervirent et caducifolié (NAL, NAD) ainsi que leur tiges (CLG, NCCA) sont plus fortement liés aux milieux dominés par les feuillus.

Les plans factoriels F1F3 et F2F3 sont peu intéressants en raison de la dominance de la contribution quasi-exclusive du genêt au troisième axe (NAG; R2). La forme triangulaire du plan factoriel F1F2 se reproduit sur le plan factoriel F1F4, le quatrième axe factoriel est assez semblable au deuxième axe factoriel, à l'exception toutefois de l'opposition des relevés (et matériaux) associés aux classes n°1 et n°3. C'est-à-dire la mésophyse et la semperphyse contribuent fortement au quatrième axe, ils ont les cosinus carrés les plus élevés (de 0,5) et aident à différencier (par des coordonnées opposées) les milieux à chêne vert et des milieux à arbustes caducs (R17 et R18).

On peut remarquer sur le plan factoriel F1F2 la densité des points de la sixième classe. Ces « milieux à résineux » ne se différencient presque pas sur les axes 2 à 4. Sur le premier axe ils se distinguent surtout grâce au volume de la coniphyse (forte contribution de 46,26% avec un cosinus carré de 0,82), ce que suggère aussi la position rapprochée des pinèdes plus denses ou élevés (R09, R58, R79, R46, R39) à l'extrémité du premier axe factoriel avec des coordonnées négatives. Une différenciation des relevés « résineux » de la sixième classe est encore possible sur le sixième facteur, où s'opposent enfin pénéphytion conifère et coniphyse (PNC, CON), mettant en évidence les milieux qui sont en cours de reboisement (spontané) par les résineux (R12, R13, R05, R59, R77, R50), disposant de faibles coordonnées sur le premier facteur. La densité du « noyau » des pinèdes (R06, R41, R42, R43, R44, R51, R53, R55, R64) et sapinières (R57, R73) (pas de différenciation par la coniphyse), même sur les axes 1 et 5 reflète une certaine monotonie de la composition matérielle et volumique des forêts de résineux dans le supraplexion. Celle-ci apparaît davantage dans le métaplexion supérieur.

L'analyse du métaplexion supérieur

Cette analyse du métaplexion supérieur rend compte des volumes de ce qu'on pourra appeler la strate herbacée. Issus des hoplexions délimités (conformément au tab. 2.15) grâce à la présence du kortophytion (gramen et kortode), mais aussi du ptéridophytion, ils se distinguent de l'hoplexion sous-jacent par l'absence de nécrumites ou de nécrophytion non ligneux. Autrement dit, il s'agit de la strate herbacée sans tenir compte de la litière proprement dite, même si on peut constater parfois des branches ou des troncs d'arbres morts. D'une épaisseur moyenne de 62 cm (médiane : 58, écart-type 28) pour l'ensemble des 72 relevés retenus l'extension verticale peut varier toutefois entre 14 et 156 cm provoquant là encore des volumes assez différents. Elle tient aussi compte de la majeure partie des ligneux bas, moins bien pris en compte dans le supraplexion.

Tout en écartant l'aérophysse en raison de son poids effectif dominant (au point de rendre une AFC impossible), et en retirant également l'hypsoréolite carbonaté (HYC) et deux variantes majeures du nécrophytion (NCNT et NEF) perturbant fortement l'interprétation des deux premiers axes, le résultat de l'AFC avec 54 variables se présente toujours de façon assez complexe plus difficile à interpréter que les relevés de supraplexion. Le plan factoriel F1F2 qui se présente en ne tenant compte que des 54 matériaux restant correspond approximativement au plan factoriel F1F4 avant écart des ces quatre matériaux. Les valeurs propres des axes factoriels montrent deux paliers entre le 2^{ème} et 3^{ème} axe et entre le 4^{ème} et 5^{ème} axe, qui nous amènent à discuter surtout les deux premiers axes, tout en renvoyant également aux données du troisième et quatrième facteur.

Tab. 4.30 : histogramme de valeurs propres issus de l'AFC des métaplexions supérieurs

SOMME DES VALEURS PROPRES : 4.0291
HISTOGRAMME DES 10 PREMIERES VALEURS PROPRES
METAPLEXION SUPERIEUR - 72 individus 54 fréquences

NUMERO	VALEUR PROPRE	POURCENTAGE	POURCENTAGE CUMULE
1	0.4845	12.02	12.02
2	0.4647	11.53	23.56
3	0.3359	8.34	31.89
4	0.2970	7.37	39.27
5	0.2406	5.97	45.24
6	0.2239	5.56	50.79
7	0.2153	5.34	56.14
8	0.2029	5.04	61.17
9	0.1645	4.08	65.26
10	0.1455	3.61	68.87

En retenant ces 54 fréquences, les plus fortes contributions sur le premier axe proviennent des matériaux associés aux arbustes et arbrisseaux caractérisant les relevés à genêts (nanophytions geniscents, NAG) et), cistes, rhododendrons et callunes (nanophytions laurifoliés et sempervirents, NAL), ainsi que leur tiges (CLG). Ils s'opposent sur ce premier axe aux herbacées (GRA, KOR). Les « traces » (ou stigmes) de matériaux typiques pour le supraplexion sus-jacent, comme les phyllophytions (CAD, SEM, CON) et xylophytions (STY, NECST, DEN, NCDE) contribuent assez peu aux premiers quatre axes (cf. tableau), contrairement à ce que pourrait laisser croire leur position sur le premier plan factoriel. Ces matériaux interviennent assez modestement seulement sur les septième à neuvième axe. Nous avons ici une fois de plus utilisés les résultats d'une classification ascendante hiérarchique avec une partition proposée à 9 classes, pour permettre une description visuelle et une interprétation plus facilement assimilable (cf. tableau).

Le premier axe permet de différencier le métaplexion inférieur en fonction de la présence de différents types de nanophyton et la dominance de la strate herbacée. Les milieux avec une importante couverture de nanophyton laurifolié (NAL ; entre autre R25 marqué par *Cistus laurifolius*, R29 marqué par *Buxus sempervirens*, R64, R77 et R79 par *Rhododendron ferrugineum* et R59 par *Calluna vulgaris*), ou de nanophyton géniscent (NAG ; R02, R05, R07, R056, R74) et par une faible couverture de graminées et autres herbacées présentent des coordonnées positives sur le premier axe et constituent deux principales classes (classe n°6 et classe n°9) mises en évidence par le premier axe. A l'opposé les relevés associés aux classes n°2, n°3 et n°4 sont difficile à différencier car ils regroupent des milieux très différents, allant des pelouses, zones humides et forêts de pins, hêtraies et sapinières jusqu'aux types de végétation complexes des friches. Leur point commun est une strate herbacée plus ou moins développée, avec une tendance au boisement en ce qui concerne la classe n°2 et n°4 et une faible représentation du xylophytion dans la classe n°3. Même si on peut trouver des pinèdes (R42, R10, R55, R09) dans la classe n°3, les coordonnées

négatives les plus extrêmes (<-0.8) sur le premier axe désignent les relevés des pelouses et prairies avec une strate herbacée fermée, dont les trois zones à hydrisme accentué (R48, R54, R60).

Tab. 4.31: les 54 fréquences actives caractérisant les quatre premiers axes de l'AFC des volumes des métaplexions supérieur (U) avec distance à l'origine, poids relatif, coordonnées, contributions et cosinus carrés

variable	Poids relatif	Distance à l'origine	Coordonnées				Contributions				Cosinus carrés			
			Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4
DEN	0,36	40,3	-0,62	0,57	-0,95	0,28	0,28	0,25	0,97	0,09	0,01	0,01	0,02	0,00
NCDE	0,16	25,8	-0,61	0,44	-0,91	0,04	0,12	0,07	0,40	0	0,01	0,01	0,03	0,00
STY	3,89	1,4	-0,39	0,35	0,07	0,16	1,24	1,00	0,05	0,33	0,11	0,09	0,00	0,02
NCST	1,21	2,1	-0,49	0,32	0,14	0,25	0,60	0,26	0,07	0,26	0,12	0,05	0,01	0,03
CON	0,03	21,5	1,81	1,77	0,83	0,79	0,18	0,18	0,06	0,06	0,15	0,15	0,03	0,03
SEM	0,02	135,0	0,30	0,31	-0,08	-1,22	0	0	0	0,10	0	0	0,00	0,01
CAD	0,08	19,1	-1,24	-0,25	0,55	-0,24	0,25	0,01	0,07	0,02	0,08	0	0,02	0,00
PNC	1,59	8,6	-0,52	0,48	-0,29	0,38	0,87	0,79	0,39	0,75	0,03	0,03	0,01	0,02
PNS	1,20	6,4	-0,09	0,26	0,27	-0,49	0,02	0,18	0,25	0,95	0	0,01	0,01	0,04
PND	1,89	5,8	-0,70	0,05	0,09	-0,13	1,91	0,01	0,04	0,11	0,08	0	0,00	0,00
NCPN	0,17	29,4	-0,52	0,47	0,39	0,18	0,09	0,08	0,07	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00
NOC	0,03	14,6	-0,65	0,33	-0,04	0,27	0,03	0,01	0	0,01	0,03	0,01	0,00	0,01
NOD	0,12	8,4	-0,51	0,24	-0,31	0,14	0,06	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01	0,01	0,00
NOS	0,03	14,6	-0,09	0,21	0,11	-0,17	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
NAC	0,49	9,1	-0,10	0,45	0	0,46	0,01	0,21	0	0,34	0	0,02	0,00	0,02
NAD	4,35	3,0	-0,23	0,43	0,01	0,43	0,47	1,74	0	2,67	0,02	0,06	0,00	0,06
NAG	8,05	3,9	1,00	-1,53	-0,18	0,37	16,64	40,47	0,78	3,68	0,25	0,59	0,01	0,03
NAS	2,86	4,6	-0,05	-0,11	0,16	-0,77	0,02	0,07	0,22	5,64	0	0	0,01	0,13
NAL	7,41	4,8	1,32	1,50	0,65	0,20	26,67	35,68	9,41	1,04	0,37	0,47	0,09	0,01
KONA	2,82	9,7	1,10	-0,41	-0,24	-2,54	7,08	1,00	0,50	61,39	0,13	0,02	0,01	0,66
MPH	0,32	6,3	-0,34	0,22	0,02	-0,33	0,08	0,03	0	0,12	0,02	0,01	0,00	0,02
CLG	8,53	1,3	0,81	-0,09	0,17	0,24	11,45	0,16	0,77	1,63	0,50	0,01	0,02	0,04
NCCA	1,69	8,9	0,76	-1,23	-0,15	1,16	1,99	5,46	0,11	7,69	0,06	0,17	0,00	0,15
OPH	0,47	10,9	0,15	0,30	0,05	-0,47	0,02	0,09	0	0,34	0	0,01	0,00	0,02
OPS	0,11	12,8	-0,55	-0,27	0,16	-0,05	0,07	0,02	0,01	0	0,02	0,01	0,00	0,00
PLE	0,99	9,8	0,19	0,25	0,13	-0,54	0,08	0,13	0,05	0,97	0	0,01	0,00	0,03
PLS	0,24	15,3	-0,81	-0,09	0,22	-0,09	0,32	0	0,03	0,01	0,04	0	0,00	0,00
KOPL	0,03	45,2	-0,44	0,07	0,05	0,29	0,01	0	0	0,01	0	0	0,00	0,00
PTE	0,39	13,0	-0,39	0,55	-0,62	0,04	0,12	0,25	0,44	0	0,01	0,02	0,03	0,00
EQU	0,27	27,3	-1,31	-0,29	0,67	-0,26	0,96	0,05	0,36	0,06	0,06	0	0,02	0,00
KOR	9,86	1,3	-0,56	-0,08	0,14	-0,06	6,46	0,13	0,55	0,11	0,25	0	0,01	0,00
KOC	0,05	24,3	0,90	0,44	-0,02	-0,76	0,08	0,02	0	0,10	0,03	0,01	0,00	0,02
NCKO	0,48	6,3	-0,02	-0,13	-0,04	-0,60	0	0,02	0	0,58	0	0	0,00	0,06
NAKO	0,17	60,8	0,92	0,51	0,03	-2,11	0,30	0,10	0	2,57	0,01	0	0,00	0,07
GRA	26,56	0,7	-0,60	-0,17	0,23	-0,07	19,52	1,60	4,05	0,46	0,54	0,04	0,08	0,01
NCGR	1,16	3,8	-0,45	-0,25	0,05	-0,01	0,49	0,16	0,01	0	0,05	0,02	0,00	0,00
BRY	0,08	53,8	-0,63	0,24	0,33	0,22	0,06	0,01	0,03	0,01	0,01	0	0,00	0,00
PHC	0	38,6	1,33	1,64	0,91	0,70	0,01	0,02	0,01	0	0,05	0,07	0,02	0,01
NEA	0,05	10,2	0,68	1,08	0,48	0,59	0,05	0,14	0,04	0,06	0,05	0,11	0,02	0,03
NEG	0,11	13,8	-0,41	-0,23	0,21	-0,12	0,04	0,01	0,02	0,01	0,01	0	0,00	0,00
NEL	4,30	1,8	-0,22	0,37	0,04	0,31	0,43	1,26	0,02	1,41	0,03	0,08	0,00	0,06
NES	0,19	12,2	-0,45	0,42	0,26	0,50	0,08	0,07	0,04	0,15	0,02	0,01	0,01	0,02
TPH	0,05	123,6	0,86	-2,02	-0,87	3,39	0,07	0,41	0,10	1,79	0,01	0,03	0,01	0,09
MSZ	0	38,6	1,33	1,64	0,91	0,70	0	0	0	0	0,05	0,07	0,02	0,01
MSC	0,05	17,5	-0,65	-0,13	-0,07	0,06	0,04	0	0	0	0,02	0	0,00	0,00
MAZ	0,03	43,4	-0,63	0,36	0,17	0,68	0,02	0,01	0	0,04	0,01	0	0,00	0,01
MAC	0,12	14,3	-0,54	-0,21	0,12	0,04	0,07	0,01	0,01	0	0,02	0	0,00	0,00
MEZ	0,18	19,2	-0,66	0,03	0,36	0,41	0,16	0	0,07	0,10	0,02	0	0,01	0,01
PEE	4,67	5,8	0,04	0,71	-2,12	0,17	0,01	5,05	62,66	0,47	0	0,09	0,78	0,01
MEE	0,93	13,7	0,12	0,70	-2,36	-0,38	0,03	1,00	15,53	0,46	0	0,04	0,41	0,01
MAE	0,06	149,9	-0,02	0,83	-3,19	-0,26	0	0,08	1,71	0,01	0	0	0,07	0,00
EPAN	0,43	18,2	0,15	0,30	0,10	-0,74	0,02	0,08	0,01	0,80	0	0	0,00	0,03
HYS	0,50	6,2	0,60	-1,06	-0,16	-0,30	0,38	1,20	0,04	0,15	0,06	0,18	0,00	0,01
HYL	0,20	41,0	-0,09	-0,98	-0,23	1,88	0	0,41	0,03	2,38	0	0,02	0,00	0,09

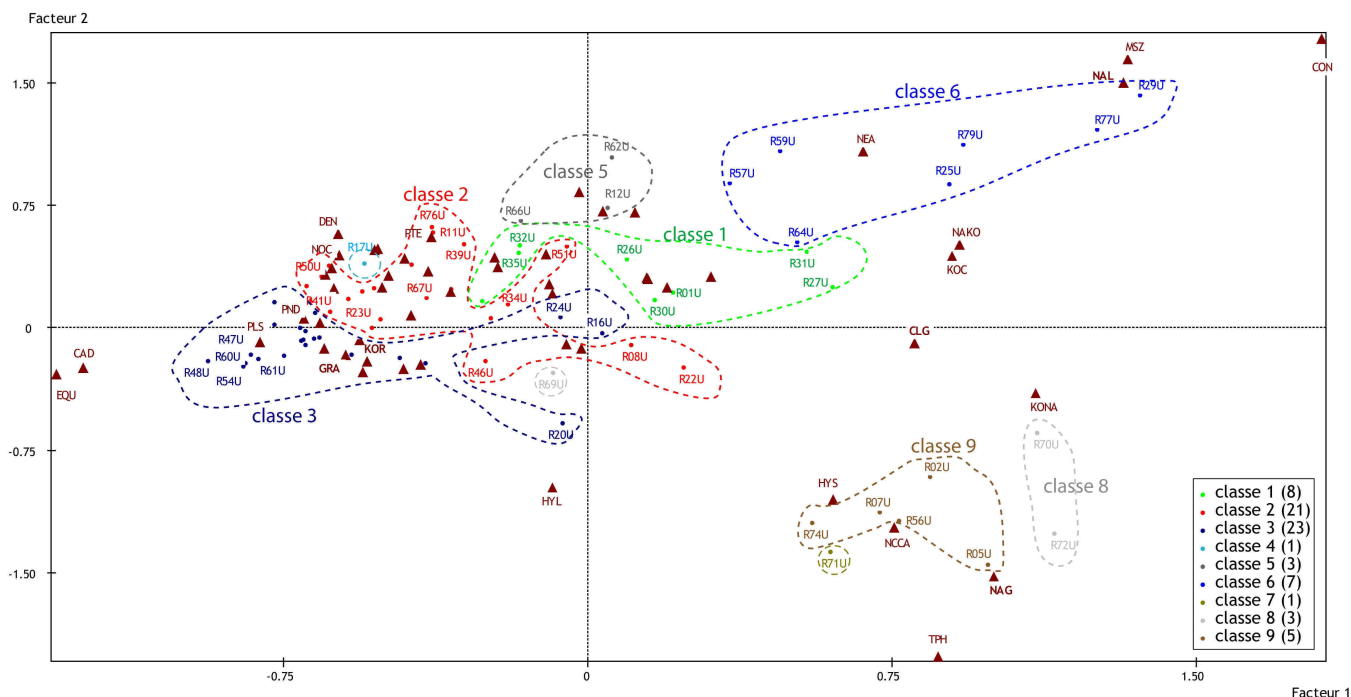


Fig. 4.26 : plan factoriel F1F2 de l'AFC des volumes des métaplexions supérieurs avec regroupement des individus en 9 classes issues de la CAH

Individus : points (supraplexions de 72 relevés notés R(xx)U) ; fréquences: triangles (CNL)

En effet les relevés avec des coordonnées négatives sur les deux premiers axes se caractérisent par une strate herbacée relativement continue, les relevés de métaplexions supérieurs avec les coordonnées positives les plus fortes sur le deuxième axe ont une couverture généralement plus discontinue. La classe n°1 issue de la CAH occupe une position intermédiaire en regroupant les relevés (R01, R06, R21, R26, R27, R30, R32, R35) où l'on note la présence d'arbres sempervirents (PNC, SEM) avec, comme conséquence de l'ombrage et d'un hydricisme peu favorable, une couverture herbacée moins dense et une présence marquée de nanophytions et de pléiophytion (PLS, OPH). La cinquième classe se différencie beaucoup plus sur le troisième axe où l'on note des contributions fortes et des coordonnées négatives pour les épilites, notamment en ce qui concerne pétaépilites (62,6%). Le sommet rocailleux du Pic de la Pelade (R66) et surtout les relevés d'éboulis carbonatés associés (R62, R12) se caractérisent par un très faible taux de nanophytion et de kortophytion. Enfin, le korto-nanophytion, le plus souvent sous forme de Sénéçon du cap (*Senecio inaequidens*) contribue fortement au 4^{ème} axe (61,34%) et mène à différencier la classe °8 avec les relevés N°70 et N°72 réalisés sur les soulanes supraméditerranéennes à montagnardes dans la vallée de la Castellane. La lande à brûlage dirigé récent constituait un cas à part dominé par le nécrocauligé et le téphralite, qui se manifesteront également sur le quatrième axe. On attirera l'attention sur le fait que le poids relatif des fréquences joue dans le métaplexion supérieur un rôle important pour la contribution aux des trois premiers axes, tandis que les matériaux à grande distance de l'origine (téphralite, semperphyse, macroépilite) se manifestent seulement assez modestement.

En conclusion on peut observer que la matrice des volumes permet de différencier les milieux en fonction de la présence d'une strate herbacée ou dominée par différents types

d'arbustes et d'arbrisseaux. Les coordonnées fortes constatées sur le plan factoriel et dans les tableaux pour la semperphyse et la coniphyse, ainsi que pour le mésozoolite et l'équisétophytion ne correspondent pas à des contributions notables. Différencier les relevés par la nature de la strate herbacée ne semble pas envisageable puisque les gramens et kortodes n'ont pas été différenciés outre mesure. Ce constat nous amène à mettre à la fois en garde par rapport à la mise en relation avec les relevés floristiques et à envisager un regroupement de cet hoplexion avec les hoplexions sous- ou sus-jacents sous forme d'un méta-supraplexion.

L'analyse du métaplexion strict

L'étude du métaplexion strict, revient *de facto* à étudier le métaplexion strict supérieur. (Nous avons différencié seulement dans un cas un véritable métaplexion strict inférieur avec dermilite, dans le cas de la lande à brûlage dirigé récent du relevé R71.) Le métaplexion strict, autrement dit la surface du sol, est constitué sous couvert forestier le plus souvent d'une litière plus ou moins épaisse qui ne permet pas le développement de dermilites. Une épaisse couverture de graminées, des pentes accentuées aux matériaux sableux, pierriques ou rocailloux de la plupart des autres types de milieux contribuent à cette rareté des dermilites. Dans les quelques milieux où ils étaient envisageables (R24, R29, R69) ils n'ont pas été différenciés. L'analyse du métaplexion strict porte donc essentiellement sur l'épaisseur et le type de litière (nécrophytion), la présence ou non de phorophytion (BRY, PHY), de téphralites (TPH), d'épilites (MAE, MEE, PEE) et de zoolites (MIZ, MAZ, MEZ, MSC, MAC), ainsi que sur la couverture végétale constituée essentiellement d'herbacées (KOR, GRA, NCGR, NCKO) et sur la régénération des arbres (NOS, NOD, NOC).

La (quasi-) absence de ces matériaux en ce qui concerne les abrupts rocheux (R13, et R163) nous amène une fois de plus à écarter l'hypsorégolite carbonaté et les deux relevés en question d'une AFC du métaplexion strict. L'AFC a été réalisée en conséquence avec 70 individus en tenant compte de 57 types de CNL. L'histogramme des valeurs propres est caractérisé par une décroissance assez régulière de l'inertie. Nous allons nous limiter à interpréter les grandes structures mises en évidence par les deux à trois premiers axes factoriels.

Tab. 4.33 : histogrammes de valeurs propres issues des AFC pour les métaplexions stricts

SOMME DES VALEURS PROPRES ... 2.7225
 HISTOGRAMME DES 10 PREMIERES VALEURS PROPRES
 METAPLEXION STRICT - 70 individus, 57 variables

NUMERO	VALEUR PROPRE	POURCENTAGE	POURCENTAGE CUMULE
1	0.4179	15.35	15.35
2	0.3505	12.87	28.22
3	0.2867	9.80	38.02
4	0.2104	7.73	45.75
5	0.1794	6.59	52.34
6	0.1625	5.97	58.31
7	0.1361	5.00	63.31
8	0.1250	4.59	67.90
9	0.1140	4.19	72.08
10	0.0969	3.56	75.64

Le nécrophytion foliacé (NEL) caractérisant les feuilles non décomposées des horizons OL fournit une contribution de 48,8% au premier axe avec un cosinus carré assez conséquent de 0,7. Les autres matériaux contribuant majoritairement au premier axe appartiennent également à l'ensemble des orthotypes du nécrophytion, comme le nécrumite (NCT), le nécrophytion acifolié (NEA) et le nécro-nécrumite (NCNT), qu'on peut « traduire » par matières organiques décomposées typiquement rencontrés dans les moders, accumulation d'aiguilles de conifères peu décomposées et de matières organiques peu à modérément décomposées. Le premier axe met en évidence une

opposition entre les milieux où dominent les feuilles dans les parties supérieures de la litière et les relevés caractérisés par la présence de nécromytes et de nécro-nécromytes, associés fréquemment aux litières à aiguilles.

Tab. 4.32: les 57 fréquences actives caractérisant les trois premiers axes de l'AFC des volumes des métaplexions strict (T) avec distance à l'origine, poids relatif, coordonnées, contributions et cosinus carrés

variable	Poids relatif	Distance à l'origine	Coordonnées			Contributions			Cosinus carrés		
			Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 1	Axe 2	Axe 3
AER	10,27	0,6	-0,35	0,27	0,03	2,93	2,15	0,04	0,20	0,12	0
DEN	0,05	114,5	-1,05	-0,21	-0,46	0,14	0,01	0,04	0,01	0	0
NCDE	0,02	114,5	-1,05	-0,21	-0,46	0,05	0	0,01	0,01	0	0
STY	1,49	0,5	-0,05	-0,22	-0,28	0,01	0,21	0,43	0	0,11	0,17
NCST	0,56	1,1	0,30	-0,10	-0,30	0,12	0,01	0,19	0,08	0,01	0,08
PNC	0,02	30,1	0,61	-0,41	0,18	0,02	0,01	0	0,01	0,01	0
PNS	0,01	57,2	-0,53	0,63	0,52	0,01	0,01	0,01	0	0,01	0
PND	0,04	11,5	-1,00	-0,22	-0,55	0,10	0,01	0,05	0,09	0	0,03
NCPN	0,01	32,6	0,50	-0,42	-0,57	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01
NOC	0,01	34,4	-0,08	0,81	-0,11	0	0,03	0	0	0,02	0
NOD	0,16	7,0	-1,03	-0,25	-0,66	0,40	0,03	0,26	0,15	0,01	0,06
NOS	0,03	37,5	-1,26	-0,20	-0,50	0,13	0	0,03	0,04	0	0,01
NAD	0,17	7,6	0,51	-0,07	0,07	0,11	0	0	0,03	0	0
NAG	0,05	50,6	-0,23	1,74	0,47	0,01	0,45	0,04	0	0,06	0
NAS	0,02	32,0	-1,12	0,09	-0,38	0,06	0	0,01	0,04	0	0
NAL	0,04	10,0	0,93	-0,91	0,41	0,08	0,09	0,02	0,09	0,08	0,02
KONA	0,50	29,3	-0,17	1,75	0,59	0,03	4,39	0,65	0	0,11	0,01
CLG	4,23	1,6	0,36	0,07	0,29	1,30	0,05	1,36	0,08	0	0,05
NCCA	0,97	8,8	0,75	0,02	0,12	1,32	0	0,05	0,06	0	0
OPH	0,10	10,8	-0,93	-0,01	-0,16	0,21	0	0,01	0,08	0	0
OPS	0,02	12,8	0,61	0,35	-0,43	0,02	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01
PLE	0,02	56,7	-2,32	-1,02	-1,14	0,22	0,05	0,08	0,09	0,02	0,02
KOPL	0,02	22,1	-0,92	-0,47	-0,80	0,04	0,01	0,05	0,04	0,01	0,03
PTE	0,06	12,0	-1,40	-0,60	-0,82	0,28	0,06	0,15	0,16	0,03	0,06
EQU	0,05	76,0	0,14	2,23	-0,50	0	0,74	0,05	0	0,07	0
KOR	3,18	4,1	-0,23	1,20	-0,10	0,41	13,09	0,12	0,01	0,35	0
KOC	0,07	22,7	-0,83	0,33	0,43	0,12	0,02	0,05	0,03	0	0,01
NCKO	0,08	49,9	-0,03	1,43	0,21	0	0,45	0,01	0	0,04	0
NAKO	0,05	46,9	-1,14	-0,02	1,22	0,17	0	0,29	0,03	0	0,03
GRA	10,81	1,1	0,22	0,80	-0,21	1,27	19,57	1,86	0,05	0,60	0,04
NCGR	1,63	2,8	0,39	0,40	-0,36	0,59	0,73	0,78	0,05	0,06	0,05
BRY	1,08	6,4	0,51	-0,31	-0,43	0,67	0,30	0,74	0,04	0,02	0,03
PHC	0	37,5	1,24	-1,16	-0,02	0,01	0,01	0	0,04	0,04	0
MYC	0,02	27,3	0,34	-0,28	-0,03	0,01	0,01	0	0	0	0
NEA	6,04	2,2	0,81	-0,39	-0,13	9,51	2,63	0,38	0,30	0,07	0,01
NEF	10,79	2,7	-1,37	-0,62	-0,55	48,80	11,98	12,36	0,71	0,15	0,11
NEG	4,95	2,1	0,27	0,93	-0,22	0,88	12,32	0,91	0,04	0,42	0,02
NEL	5,74	0,5	-0,06	-0,22	-0,20	0,05	0,78	0,83	0,01	0,10	0,08
NES	1,72	2,1	0,28	-0,25	-0,29	0,33	0,31	0,53	0,04	0,03	0,04
NCNT	12,96	0,7	0,44	-0,22	-0,20	5,96	1,74	1,88	0,29	0,07	0,06
NCT	5,32	4,9	1,15	-1,22	-0,11	16,91	22,76	0,25	0,27	0,31	0
TPH	0,06	229,9	-0,33	1,77	0,30	0,02	0,56	0,02	0	0,01	0
MIZ	0,18	6,9	-0,28	0,13	-0,02	0,03	0,01	0	0,01	0	0
MSZ	0,16	20,8	-0,68	0,28	-0,24	0,18	0,04	0,04	0,02	0	0
MSC	0,27	9,5	-0,30	0,80	0,48	0,06	0,49	0,24	0,01	0,07	0,02
MAZ	0,09	18,7	-0,67	0,51	-0,41	0,09	0,06	0,06	0,02	0,01	0,01
MAC	0,34	3,4	0,25	0,51	-0,18	0,05	0,25	0,04	0,02	0,08	0,01
MEZ	0,12	12,2	0,22	0,30	-0,36	0,01	0,03	0,06	0	0,01	0,01
PEE	5,23	3,5	-0,24	-0,41	1,61	0,70	2,52	50,65	0,02	0,05	0,75
MEE	4,90	1,9	-0,50	-0,03	1,07	2,92	0,01	21,15	0,13	0	0,60
MAE	3,19	1,7	-0,32	0,25	0,49	0,77	0,56	2,82	0,06	0,04	0,14
EPAN	0,22	10,8	-0,68	-0,06	-0,29	0,24	0	0,07	0,04	0	0,01
RZP	0,32	4,7	0,80	-0,50	0,24	0,50	0,23	0,07	0,14	0,05	0,01
RZG	0,05	11,3	0,92	-0,76	0,58	0,10	0,08	0,06	0,08	0,05	0,03
GRZ	1,04	2,6	0,57	-0,05	-0,14	0,81	0,01	0,08	0,13	0	0,01
HYS	0,34	8,6	-0,48	0,22	0,04	0,19	0,05	0	0,03	0,01	0
HYL	0,08	30,6	-0,33	0,45	-0,50	0,02	0,05	0,08	0	0,01	0,01

Les contributions des nécrophytions au deuxième axe factoriel sont toujours assez fortes mais on remarque alors l'intervention du gramen (CTR 19,6%) et du kortode (CTR 13,1%) pour la différenciation des milieux. Leur apparition coïncide en général avec l'apparition d'une composante de la litière qui leur est directement associée, le nécrophytion gramené (NEG, incluant le nécrophytion kortodé). Le nécrophytion gramené constitue en général des litières de plus faible

épaisseur sans nécrumite. Les épilites (PEEE, MEE, MAE) en tant que composantes caractéristiques de la surface du sol interviennent sur le troisième axe avec une contribution de 74,6% et sont surtout constatés quand le nécrophytion foliacé est absent.

Nous avons retenu huit classes issues de la CAH réalisée avec les coordonnées des 40 premiers facteurs pour commenter le plan factoriel F1F2. Il permet de différencier quatre grands ensembles (classes n° 1, n°5, n°6 et n°8) et quatre types de relevés particuliers. La classe n°7 ne comportant que deux relevés (R59 et R11) avec des fortes coordonnées positives sur le premier axe factoriel et des coordonnées négatives sur le deuxième se caractérise par un volume important de nécrumite (NCT), qui apparaît plus clairement sur le quatrième axe où la contribution du nécrumite et du relevé R11 sont respectivement de 47,6% et de 41,4%. Les autres relevés aux fortes coordonnées positives (>0,55) caractérisent des relevés dans les pinèdes rassemblées avec d'autres types de milieux dans la classe n°8. Ils se caractérisent par un important volume en nécro-nécrumite (NCNT), souvent associés aux litières d'aiguilles (NEA). A l'opposé sur le premier axe, les coordonnées factorielles négatives (< - 0,5) désignent, grâce à la contribution du nécrophytion ligneux (NEL) de 48,8%, les milieux avec une couche importante de feuilles mortes que l'on rencontre typiquement dans les forêts de chêne vert et de hêtre de la classe n°1 ou d'une partie de la classe n°5. La seule exception d'une surface des sols des forêts feuillus à coordonnées positives sur le premier axe est constituée par le relevé R11 (classe n°7 mentionnée ci-dessus) avec une accumulation importante de feuilles mortes de hêtre, mais où la contribution du nécrumite (NCT) prévaut.

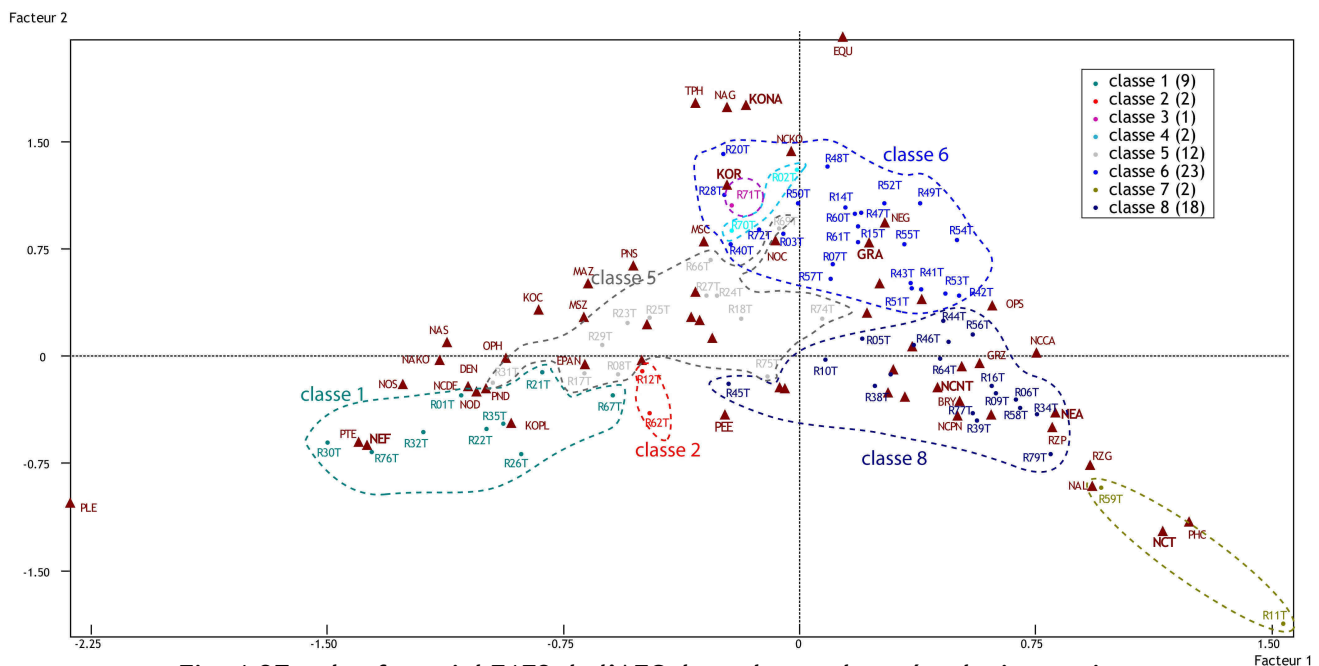


Fig. 4.27 : plan factoriel F1F2 de l'AFC des volumes des métaplexions stricts avec regroupement des individus en 8 classes issues de la CAH

Individus : points (métaplexions stricts de 70 relevés notés R (xx) T) ; fréquences : triangles (CNL)

Le deuxième axe met en évidence les milieux où la surface du sol est dominée par la présence d'herbacées et notamment de graminées (GRA), ainsi que d'une litière généralement fine issue de ces composantes. Les coordonnées positives concernent des milieux très divers, la classe n°6 étant particulièrement hétérogène avec des types de milieux très différents allant des pelouses

en passant par les zones humides et landes jusqu'aux forêts à fort recouvrement par les graminées. Toutefois, les relevés qui combinent les plus fortes coordonnées positives sur le deuxième axe et des coordonnées positives sur le premier axe (R14, R15, R47, R48, R49, R52, R54, R60, R61) désignent les prés et pelouses non boisés ou arborés. Parmi ces derniers on recense donc également les milieux hydromorphes (R15 R48, R54, R60). Les deux relevés R02 et R71, associés par la classe 4 en raison de la contribution de la nano-kortode (KONA), se caractérisent également par des coordonnées positives sur le deuxième axe, mais se manifestent surtout sur le 6^{ème} axe factoriel. Le relevé R71 constitue une fois de plus un cas à part (et la classe n°3 à part) en raison de l'absence complète de litière due au brûlage récent subi par cette lande à genêts. Ils subsistent là des tiges carbonisées sous forme de téphralite qui contribue davantage au 5^{ème} axe (CTR (TPH_{Axe5}) = 72,1%, CTR (R71_{Axe5}) = 89,9%). La quasi-absence d'une litière est aussi constatée concernant les relevés regroupés dans la classe n°2 avec les relevés R12 et R62, dominées par les épilites (PEE, MEE, MAE), puisqu'il s'agit d'éboulis carbonatés peu ou pas végétalisés. La contribution majeure des épilites se manifeste sur le troisième axe avec plus de 74%. La classe n°5 rassemble les relevés aux caractères intermédiaires marqués par une litière discontinue avec à la fois la présence d'herbacées, de feuilles mortes et d'épilites. Il s'agit alors de landes (R74), de pelouses sèches (R69) ou rocailleuses (R66) et de faciès ouverts de forêts et friches méditerranéennes (R23, R24, R25, R27, R29, R31) ou encore de forêts mixtes montagnardes et rocailleuses (R08, R75) et friches à merisiers et noisetiers (R17, R18).

Malgré les classes d'apparence très mixtes, l'interprétation de la surface du sol met assez bien en évidence le type de couverture majeure du sol : feuilles, aiguilles, épilites, blocs et cailloux. Cela permet indirectement de se situer par rapport aux « strates » sus-jacents. Les forêts des feuillus apparaissent sur le plan factoriel plutôt à gauche, les pinèdes à droite, les pelouses en haut et les landes (R02, R05, R07, R16, R28, R56, R72, R74, ...) occupent des positions intermédiaires en fonction de la présence d'épilites et d'herbacées.

L'analyse du métaplexion inférieur

L'analyse du métaplexion inférieur, pouvant être considéré comme le sol au sens restreint (sans humus et sans formations superficielles) se heurte en premier lieu une fois de plus aux matériaux atypiques qui dominent une AFC de l'ensemble des 69 individus disposant d'un métaplexion inférieur. Il fallait écarter l'histite et le mélanumite qui contribuent avec 88,0% et 77,9% au premier et troisième axe de l'analyse. En écartant ces deux CNL, on se trouve également dans l'obligation d'écarter les trois relevés marqués presque exclusivement par la présence de ces matériaux : R15, R54 et R60. Le deuxième axe est dominé par la contribution du relevé R67 (41,7%, cosinus carré 0,53) avec une combinaison particulière de matériaux (restes d'un filon de quartz ; ATGN) ce dernier a également été écarté. En considérant ces quatre cas à part, l'AFC des 65 relevés et des 35 fréquences restantes (l'exclusion des quatre relevés provoque des valeurs nulles pour HDR, NEL, RDP, ATGN et REL) présente une allure plus régulière se prêtant mieux à l'interprétation. L'histogramme des valeurs propres nous amène à considérer au moins les trois premiers axes peu différenciés et représentant 35,4% de l'inertie totale.

Tab. 4.34 : histogramme de valeurs propres issues des AFC pour les métaplexions inférieurs

SOMME DES VALEURS PROPRES 4.4535			
HISTOGRAMME DES 10 PREMIERES VALEURS PROPRES			
METAPLEXION INFÉRIEUR - 65 individus, 40 variables (exclusion de HIT, MLT; R15,R54,R60 et R67)			
NUMERO	VALEUR PROPRE	POURCENTAGE	POURCENTAGE CUMULE
1	0.5610	12.60	12.60
2	0.5184	11.64	24.24
3	0.4951	11.12	35.35
4	0.4404	9.89	45.24
5	0.3471	7.79	53.04
6	0.2548	5.72	58.76
7	0.2295	5.15	63.91
8	0.2020	4.53	68.45
9	0.1629	3.66	72.10
10	0.1532	3.44	75.54
11	0.1380	3.10	78.64

Les quatre premiers axes mettent en évidence la contribution de matériaux typiques du métaplexion inférieur : brunichrons dyscrophe, humitique, carbonaté, psammitique et orthique (BCD, BCHM, BCC, BCP, BCN) ainsi que les humites orthiques, carbonatés, psammitiques et humitiques et le minérumite (HMT, HMC, HMP, HMH, MNT) sont les seuls matériaux dont la contribution dépasse 5% sur un des quatre premiers axes (cf. tab. 4.35 ci-dessous). Les gravelons jouent un rôle assez faible malgré un poids relatif non négligeable puisque leur apparition est généralisée.

Une classification ascendante hiérarchique l'ensemble des coordonnées factoriels ce qui permet de reconnaître des groupes relativement homogènes et équilibrés (entre 5 et 16 individus par classe) si on retient une partition de l'arbre à six classes. Sur les plans factoriels F1F2, F1F3 et F2F4 elles sont assez bien reconnaissables (cf. fig.4.28 ci-dessous). Sur le premier axe se manifestent avec des coordonnées positives les relevés aux sols à forte teneur en matière organique de la classe n°5, caractérisé par la forte contribution de l'humite héli-organique et du brunichron humitique. Il peut s'agir de sols sous couvert forestier mais le plus souvent il s'agit des sols sous landes ou pelouses : il est toujours question de sols des milieux pastoraux montagnards à subalpins auxquels on associe les organumites. Du côté opposé du premier axe se manifestent les contributions des sols bruns et notamment des sols bruns acides caractérisés par le brunichron dyscrophe (CTR 27.87%).

Tab. 4.35 : les 57 fréquences actives caractérisant les trois premiers axes de l'AFC des volumes des métaplexions inférieurs (F) avec distance à l'origine, poids relatif, coordonnées, contributions et cosinus carrés

variable	Poids relatif	Distance à l'origine	Coordonnées				Contributions				Cosinus carrés			
			Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4
MYC	0,01	19,1	-0,84	0,09	0,79	-0,11	0,02	0	0,02	0	0,04	0	0,03	0
NCT	0	53,5	-1,13	0,08	0,46	-0,17	0,01	0	0	0,02	0	0	0	0
TPH	0,40	29,7	0,30	0,01	-0,87	-0,59	0,07	0	0,62	0,31	0	0	0,03	0,01
MIZ	0,07	22,1	-0,26	0,34	0,22	0,60	0,01	0,02	0,01	0,06	0	0,01	0	0,02
MSZ	0	44,6	-0,12	0,02	-1,42	-0,36	0	0	0	0	0	0	0,05	0
RZP	2,65	0,4	0,14	0,03	0,04	-0,12	0,09	0,01	0,01	0,09	0,05	0	0	0,04
RZG	1,48	0,4	-0,05	-0,14	-0,04	0,11	0,01	0,05	0,01	0,04	0,01	0,05	0	0,03
GRZ	0,88	1,7	0,14	0,30	-0,18	-0,22	0,03	0,16	0,06	0,10	0,01	0,05	0,02	0,03
HMT	3,31	4,8	-1,01	0,10	-1,38	-0,13	5,98	0,07	12,74	0,13	0,21	0	0,40	0
HMP	1,84	7,7	0,28	0,96	0,23	1,62	0,26	3,27	0,20	10,97	0,01	0,12	0,01	0,34
HMC	3,02	6,6	0,36	-1,75	0,32	-0,41	0,70	17,92	0,62	1,14	0,02	0,47	0,02	0,03
HMH	3,06	5,8	1,27	0,62	0,02	-1,47	8,78	2,25	0	15,07	0,28	0,07	0	0,38
HMBC	2,24	10,9	0,38	-1,22	0,26	-0,33	0,58	6,42	0,30	0,56	0,01	0,14	0,01	0,01
MNT	2,50	4,4	-0,66	0,50	0,58	0,03	1,95	1,22	1,67	0	0,10	0,06	0,08	0
BCN	5,85	5,7	-1,03	0,25	-1,92	0,09	11,15	0,70	43,81	0,12	0,19	0,01	0,64	0
BCC	4,55	5,7	0,28	-1,98	0,28	0,32	0,62	34,24	0,73	1,06	0,01	0,68	0,01	0,02
BCP	6,04	4,8	0,77	0,89	0,16	-1,68	6,35	9,33	0,33	38,64	0,12	0,17	0,01	0,59
BCD	6,86	4,8	-1,51	0,46	1,35	-0,32	27,87	2,84	25,21	1,62	0,47	0,04	0,38	0,02
BCHM	5,31	4,8	1,24	0,66	0,11	-1,37	14,62	4,43	0,13	22,60	0,32	0,09	0	0,39
BCEF	5,20	4,6	0,42	-0,06	-0,68	-0,42	1,62	0,03	4,84	2,13	0,04	0	0,10	0,04
BCAT	0,64	21,8	-0,59	-0,45	-0,66	-0,09	0,40	0,25	0,56	0,01	0,02	0,01	0,02	0
BCAR	2,28	7,0	0,96	1,01	0,35	0,55	3,73	4,51	0,57	1,59	0,13	0,15	0,02	0,04
EFBC	4,43	3,7	-0,57	-0,38	0,17	0	2,55	1,22	0,26	0	0,09	0,04	0,01	0
EFAT	0,10	65,4	-1,81	0,59	1,91	-0,55	0,61	0,07	0,77	0,07	0,05	0,01	0,06	0
GNAN	0,11	47,7	0,47	-1,73	-0,02	0,23	0,04	0,61	0	0,01	0	0,06	0	0
GNAR	0,53	13,5	1,07	1,15	0,37	0,46	1,09	1,36	0,15	0,26	0,08	0,10	0,01	0,02
GNRE	4,95	3,4	-0,04	-0,10	0,36	-0,30	0,02	0,10	1,31	1,00	0	0,00	0,04	0,03
PEG	5,57	1,8	0,43	0,01	0,04	0,20	1,88	0	0,02	0,52	0,10	0	0	0,02
MEG	11,41	0,4	0,07	-0,16	-0,04	0,03	0,11	0,54	0,04	0,02	0,01	0,06	0	0
MAG	12,86	0,2	-0,05	-0,02	-0,04	0,03	0,05	0,01	0,04	0,03	0,01	0	0,01	0
ATRE	0,65	21,2	-1,89	0,59	0,53	-0,44	4,12	0,44	0,36	0,29	0,17	0,02	0,01	0,01
ATR	0,61	15,3	-2,04	0,77	1,85	-0,42	4,48	0,69	4,20	0,24	0,27	0,04	0,22	0,01
ARRE	0,09	51,1	0,76	1,19	0,39	1,80	0,09	0,24	0,03	0,65	0,01	0,03	0	0,06
REC	0,31	69,8	0,48	-3,42	0,68	0,70	0,13	6,97	0,29	0,35	0	0,17	0,01	0,01
RES	0,16	33,2	-0,17	0,43	-0,54	-0,94	0,01	0,06	0,10	0,33	0	0,01	0,01	0,03

Les classes n°2 et n°3 caractérisées par les coordonnées négatives mais très enchevêtrées sur le premier plan factoriel se distinguent mieux sur le troisième axe (cf. petite figure du plan factoriel F1F3), qui permet de distinguer les brunichrons orthiques (BCN) des brunichrons dyscrophes (BCD) par des coordonnées opposées avec des contributions assez importantes de respectivement 43,81% et 25,21%. On peut déjà noter que les brunichrons dyscrophes ont été généralement constatés sur substrat schisteux de l'étage supraméditerranéen au montagnard supérieur.

Le deuxième axe met en évidence les sols sur roche carbonatée par les fortes contributions et cosinus carrés de l'humite carbonaté (HMC) et du brunichron carbonaté (BCC). Les relevés de la classe 4 avec des coordonnées négatives <-1 désignent en effet les relevés sur sols calcaires (R08, R09, R11, R22, R23, R24, R27). Les autres relevés, en partie carbonatés (R23, R29, R50) se différencient surtout par leur caractère relativement superficiel ou l'on rencontre rapidement des régolites ou alté-gravelons (R20, R51, R55). A l'opposé, des contributions assez modestes proviennent des sols sur substrats granitoïdes caractérisés par le brunichron psammitique et l'aréno-

brunichron. Ces matériaux se manifestent de façon plus significative sur le quatrième axe (cf. plan factoriel F2F4) ou ils permettent d'identifier les relevés associés à la classe n°6 (R41, R46, R49, R57, R58, R76...).

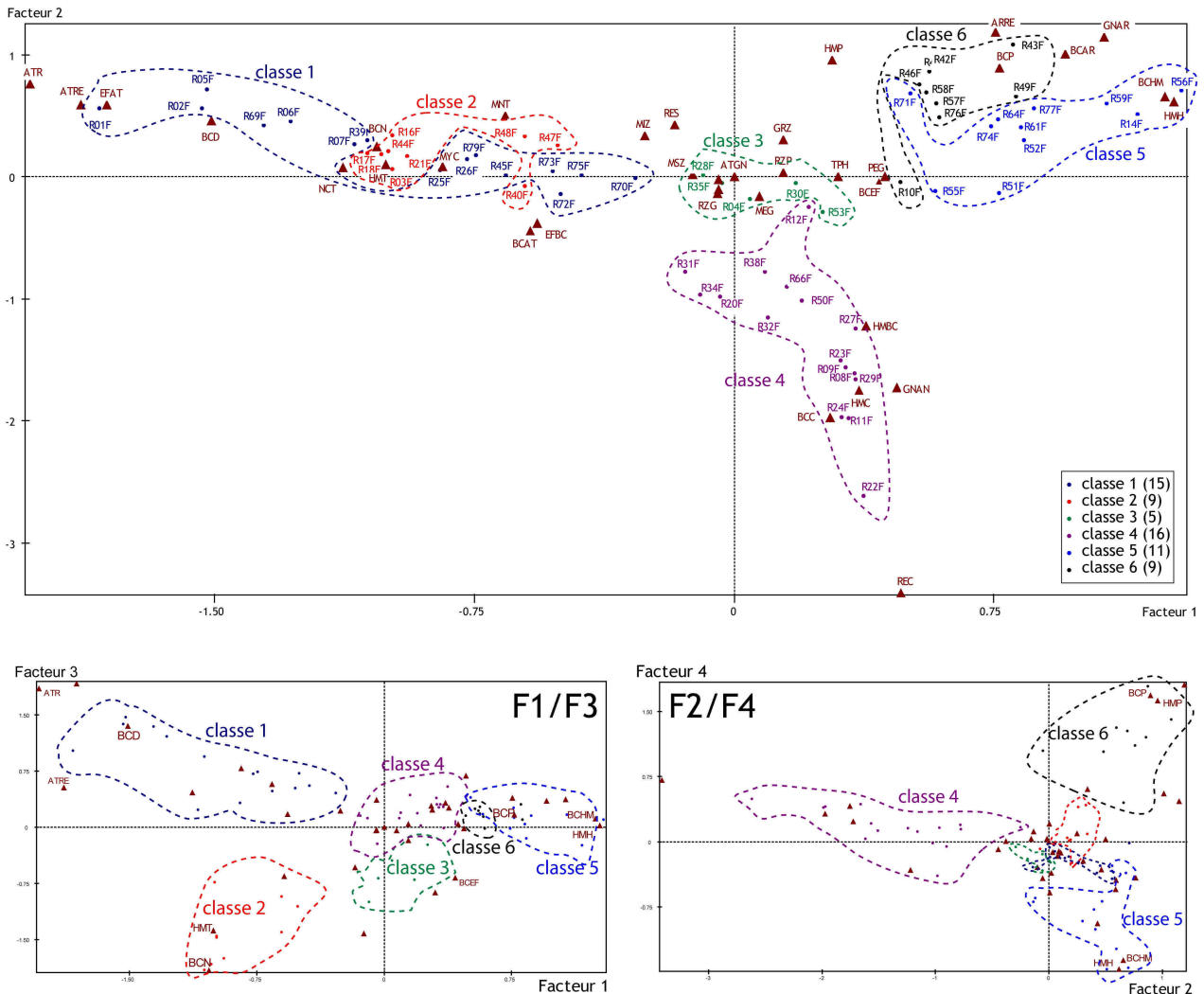


Fig. 4.28 a-c : plans factoriels de l'AFC des volumes des métaplexions inférieures avec regroupement des individus en 6 classes issues de la CAH

- a) plan factoriel F1F2 avec 65 individus (points) et 54 fréquences (triangles)
- b) plan factoriel F1/F3
- c) plan factoriel F2/F4

La classe n°3 ne s'identifie pas très bien par ces quatre premiers axes même si on peut clairement délimiter le groupe sur le plan factoriel F1F3 avec des coordonnées négatives sur F3. En effet il s'agit des sols colluviaux (R28, R30, R35 et R53) identifiables par la présence de l'entabrunichron (BCEF), souvent assez caillouteux (MAG, MEG).

En résumé, le premier axe met en évidence la différence entre les sols bruns sableux et les sols bruns assez riches en matière organique que l'on trouve surtout dans la partie occidentale du massif, fréquemment pâturés, sous couvert forestier ou non. Le deuxième axe permet d'identifier des sols superficiels et carbonatés aux coordonnées négatives et le troisième axe distingue finalement assez bien les sols très acides (avec des coordonnées positives sur F3 et négatives sur F1) par leurs caractéristiques physiologiques (BCD et MNT) des autres sols bruns. Il ne

faut toutefois pas oublier que les volumes du métaplexion inférieur varient en fonction du volume occupé par l'infraplexion.

L'analyse de l'infraplexion

L'infraplexion avec une extension verticale moyenne de 45 cm est constitué majoritairement de matériaux colluviaux, altéritiques et régolitiques. L'absence de matériaux véritablement atypiques permet de conserver l'ensemble des 64 infraplexions relevés, représentés par 34 différents CNL.

L'histogramme des valeurs propres amène à constater que les trois premiers axes ont des valeurs propres très proches et représentent seulement 28,6% de la somme des valeurs propres, mais se démarquent toutefois par un palier entre le 3^{ème} et 4^{ème} axe. Ils suffiront à caractériser les principales différences entre les infraplexions.

Tab. 4.36 : histogrammes de valeurs propres issues des AFC pour les métaplexions inférieurs

SOMME DES VALEURS PROPRES ... 8.9026			
HISTOGRAMME DES 33 PREMIERES VALEURS PROPRES			
INFRAPLEXION - 64 individus, 34 fréquences			
NUMERO	VALEUR PROPRE	POURCENTAGE	POURCENTAGE CUMULE
1	0.9256	10.40	10.40
2	0.8860	9.95	20.35
3	0.8220	9.23	29.58
4	0.6805	7.64	37.23
5	0.6528	7.33	44.56
6	0.5877	6.60	51.16
7	0.5746	6.45	57.61
8	0.5150	5.78	63.40
9	0.4155	4.67	68.07
10	0.3211	3.61	71.67

Concernant les trois premiers axes factoriels, les contributions dépassant la moyenne de 2,94% proviennent majoritairement des matériaux typiques des formations superficielles, comme le gravelon (PEG, MEG, MAG, GNRE, GNAR, GNAN) et les altérites (ATRE, ATR) et des roches peu ou pas altérées (REC, RES, REL). Sur le premier facteur on observe toutefois des contributions du brunichron (BCN : 5%) du réticron psammitiques (RTP : 4,37%) et du réducton psammitiques (RDP : 4,95%). Le deuxième axe met en évidence la différence majeure entre les régolites carbonatés et les régolites schisteux (REC, RES) avec une forte contribution de la part du régolite carbonaté de 51,06%. Le troisième facteur permet de différencier ce dernier des infraplexions avec une dominance de différents types d'altérites (ATR, ARRE) ayant parfois subi un transport (GNAR, GNRE, EFAT)

Sur le plan factoriel (cf. fig. ci-dessous) les principales différences de substrat apparaissent clairement. Une classification ascendante hiérarchique de l'ensemble des coordonnées factorielles permet davantage de différencier cinq classes qui correspondent à peu de choses près aux quatre types de substrats que nous avons différencié pour l'échantillonnage et lors des relevés : substrats calcaires, substrats carbonatés, substrats granitoïdes et plutoniques et sédiments récents. Quelques différences apparaissent dans le classement, on les regardera de plus près à l'aide du plan factoriel F1F2.

Tab. 4.37 : les 57 fréquences actives caractérisant les trois premiers axes de l'AFC des volumes des métaplexions inférieurs (F) avec distance à l'origine, poids relatif, coordonnées, contributions et cosinus carrés

variable	Poids relatif	Distance à l'origine	Coordonnées			Contributions			Cosinus carrés		
			Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 1	Axe 2	Axe 3
HDR	0,25	13,6	1,62	0,39	0,33	0,72	0,04	0,03	0,19	0,01	0,01
RZP	0,31	3,3	0,21	-0,07	-0,39	0,01	0	0,06	0,01	0	0,05
RZG	0,41	1,5	0,27	-0,19	0,12	0,03	0,02	0,01	0,05	0,02	0,01
GRZ	0,0	31,7	-0,52	-1,94	1,32	0	0,01	0	0,01	0,12	0,06
HMT	0,0	31,7	-0,52	-1,94	1,32	0	0,01	0	0,01	0,12	0,06
HMH	0,01	31,7	-0,52	-1,96	1,34	0	0,06	0,03	0,01	0,12	0,06
HMBC	0,27	17,8	-0,47	-1,35	0,42	0,06	0,56	0,06	0,01	0,10	0,01
BCN	1,70	33,7	1,65	0,40	0,36	5,00	0,31	0,27	0,08	0	0
BCC	0,34	35,6	0,39	-0,82	0,44	0,06	0,26	0,08	0	0,02	0,01
BCD	1,31	16,5	-0,98	1,32	0,63	1,35	2,56	0,63	0,06	0,10	0,02
BCEF	2,12	24,1	0,76	-0,20	-0,75	1,32	0,09	1,46	0,02	0	0,02
BCAT	1,56	7,1	-0,69	-0,56	0,67	0,79	0,56	0,85	0,07	0,04	0,06
BCAR	0,24	107,8	-0,35	-0,61	-1,42	0,03	0,10	0,58	0	0	0,02
RTP	1,30	51,7	1,74	0,45	0,46	4,27	0,30	0,33	0,06	0	0
RDRT	0,21	58,4	1,61	0,39	0,32	0,58	0,04	0,03	0,04	0	0
RDP	1,67	28,0	1,66	0,41	0,35	4,95	0,31	0,24	0,10	0,01	0
EFBC	0,94	42,9	1,56	0,37	0,30	2,47	0,14	0,10	0,06	0	0
EFAT	3,62	5,6	-0,46	-0,17	-1,30	0,84	0,12	7,40	0,04	0,01	0,30
GNAN	0,15	129,6	-0,40	-0,52	-1,37	0,03	0,05	0,35	0	0	0,01
GNAR	2,21	18,1	-0,13	-0,35	-1,97	0,04	0,30	10,46	0	0,01	0,22
GNRE	14,30	3,5	-0,34	-0,53	-1,02	1,75	4,61	17,92	0,03	0,08	0,30
PEG	5,45	7,6	1,42	0,28	0,24	11,84	0,48	0,39	0,27	0,01	0,01
MEG	7,67	2,8	1,39	0,30	0,21	15,91	0,78	0,43	0,69	0,03	0,02
MAG	5,48	3,3	1,36	0,31	0,20	11,03	0,61	0,25	0,56	0,03	0,01
EFA	0,66	40,8	1,52	0,35	0,27	1,63	0,09	0,06	0,06	0	0
EFC	3,70	8,6	1,06	0,10	-0,14	4,46	0,04	0,08	0,13	0	0
LUTN	0,13	162,3	1,53	0,35	0,28	0,34	0,02	0,01	0,01	0	0
ATRE	6,58	3,3	-0,99	1,08	0,47	6,96	8,63	1,79	0,30	0,35	0,07
ATR	3,92	4,4	-0,93	1,06	0,28	3,68	4,97	0,37	0,20	0,25	0,02
ARE	1,44	20,4	-0,48	-0,28	-2,49	0,35	0,13	10,89	0,01	0	0,30
ARRE	2,65	14,4	-0,49	-0,24	-2,28	0,69	0,17	16,83	0,02	0	0,36
REC	15,00	4,6	-0,48	-1,74	1,10	3,81	51,06	22,02	0,05	0,65	0,26
RES	13,73	3,1	-0,99	1,20	0,54	14,56	22,44	4,85	0,32	0,47	0,09
REL	0,67	37,9	-0,75	0,41	-1,17	0,40	0,12	1,11	0,01	0	0,04

La classe n°4 constituée par le seul relevé R42 est identifiée par la présence de matériaux hydromorphes rédoxiques qui apparaissent seulement ici. Comme les autres relevés aux coordonnées positives sur le premier axe il est dominé par la présence de gravelons, caractérisant les sédiments récents, colluvions et alluvions. Les autres types de milieux hydromorphes (R15, R48, R54, R60) caractérisés par des réductons (RDP, RDRT) sont classés avec les autres alluvions et colluvions dans la classe n°5. On y trouve également des infraplexions que nous avons associés aux substrats calcaires comme les éboulis calcaires (R12, R62) et les relevés situés sur des pentes végétalisées carbonatées où la roche-mère massive (REC) n'apparaît pas sur le premier mètre de profondeur (R08, R09, R10, R11, R31, R34). Nous avons différencié lors des relevés la taille des gravelons mais pas leur nature (granitoïde, carbonatée etc.). Tous les relevés effectués sur substrat morainique (R14 à R18, R54), quoique issus le plus souvent des granitoïdes surplombant la vallée se trouvent ainsi côte à côte avec les substrats calcaires. Les coordonnées négatives caractérisent en

revanche tous les relevés dans lesquels on peut observer des latérites et régolites et notamment les régolites schisteux.

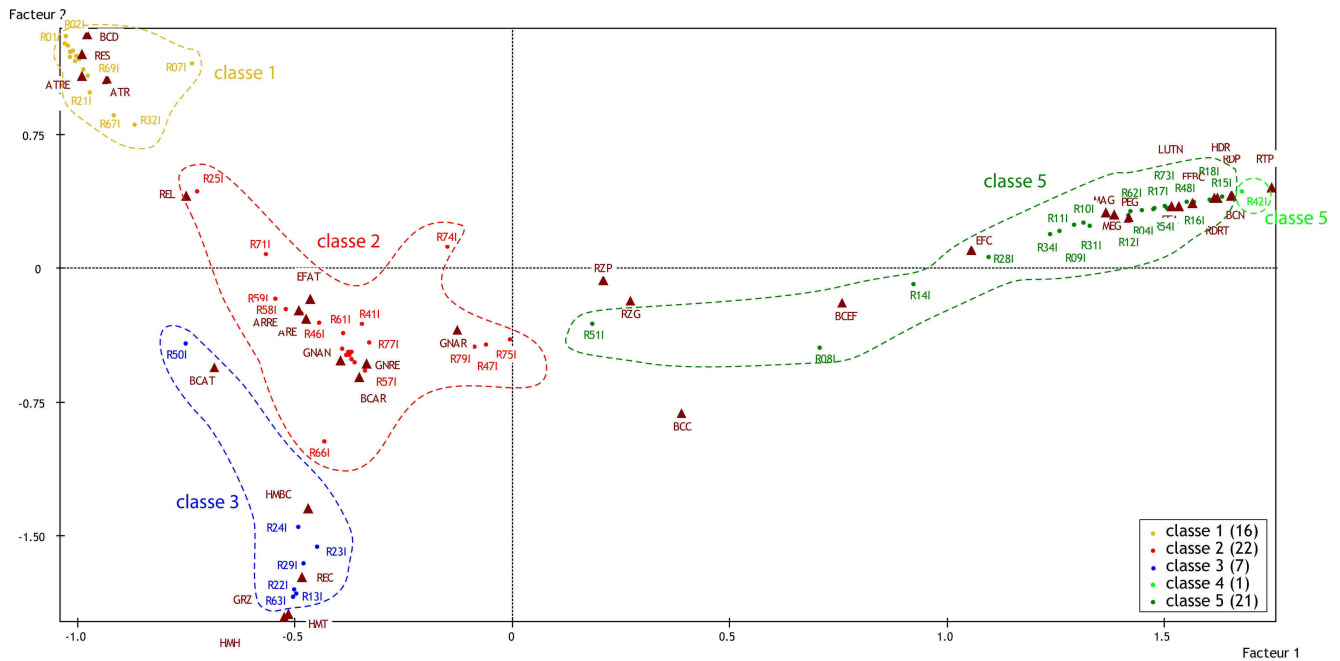


Fig. 4.29 a-c : plan factoriels de l'AFC des volumes des métaplexions inférieures avec regroupement des individus en 6 classes issus de la CAH

- a) plan factoriel F1F2 avec 65 individus (points) et 54 fréquences (triangles)
- b) plan factoriel F1/F3 c) plan factoriel F2/F4

Ces relevés se différencient mieux sur le deuxième axe qui met en évidence les relevés sur substrat schisteux dans la classe n°1 et les relevés sur substrat carbonaté dans la classe n°3. La classe n°2 regroupe en conséquence les relevés sur substrats granitoïdes mais on constate quelques exceptions, notamment R 25, 45, R70 et R75 issus de matériaux schisteux et R47, R49, R55, R74, et R79 de matériaux schisteux fortement métamorphisés, ainsi que R27 sur matériaux carbonatés. En effet, la classe n°2 ne se limite pas aux matériaux issus de substrats granitoïdes mais tient compte des régo-gravelons, alté-gravelons, alté-entaferons qui ne sont pas différenciés par rapport à leur nature rocheuse.

Quoique la classification ne « colle » pas tout à fait aux substrats attribués aux différents relevés sur le terrain, la distinction des relevés par l'infraplexion se fait toutefois remarquablement bien et permet de classer les différents relevés en fonction de leur nature.

4.3.1.4. Quantification de la diversité verticale mésologique

Des indices de diversité mésologique ?

Si l'on s'inspire des mesures de diversité utilisées notamment par les écologues, la mesure de la diversité verticale peut s'apprécier de différentes manières et en premier abord par la richesse des matériaux, c'est-à-dire leur nombre. On peut utiliser le nombre de matériaux différents au sein d'un hoplexol ou envisager de tenir compte du nombre totale de matériaux recensés en tenant indirectement compte de la complexité de la stratification et de l'étendu verticale des milieux. Cela revient cependant indirectement à accorder une plus grande diversité aux milieux forestiers. A la différence de la richesse spécifique (le nombre d'espèces) des biologiques le résultat dépend cependant très fortement de la typologie des matériaux retenus et plus précisément du niveau de regroupement des matériaux retenus. Il est donc nécessaire de se limiter à la comparaison des relevés effectués avec la même typologie.

Il est envisageable de qualifier la diversité ou plutôt la richesse structurelle en comparant le nombre d'hoplexols relevés, même s'il faut garder à l'esprit que celui-ci dépend fortement de la subjectivité de l'auteur, ce qui implique d'utiliser ces chiffres seulement avec prudence et concernant des relevés effectués par un même auteur.

On peut également envisager d'étudier la diversité avec les indices de diversité classiques (indice de Shannon ou de Simpson), tenant compte de la part respective de chaque matériau au sein d'un relevé. Pour déterminer la proportion de chaque type de matériau au sein d'un relevé on peut alors utiliser les volumes occupés par chaque matériau ou encore leur nombre d'occurrences dans un relevé. Dans le premier cas il peut être utile d'étudier les indices en omettant le volume de l'aérophysse habituellement fort dominant. Afin d'améliorer la comparaison entre relevés, on peut également envisager l'utilisation des pourcentages du volume.

Enfin, on peut envisager une combinaison de la richesse structurelle (le nombre d'hoplexols) et de la richesse matérielle (nombre de CNL) en combinant ces deux données à condition d'appliquer cette combinaison à une série de données issues des relevés par un même auteur et avec la même typologie. Nous avons proposé un exemple très simple en 2004 pour une telle combinaison ((Müller, 2003), il suffit de diviser le nombre de matériaux différents par le quotient du nombre total de matériaux relevés et du nombre d'hoplexols. De telles combinaisons ne sont pas des indices mathématiquement éprouvés mais font l'affaire pour comparer la complexité mésologique des milieux.

L'intérêt de calculer des indices de diversité et autres pour les relevés suit deux objectifs. Premièrement cela permet de directement comparer la diversité mésologique des différents types de milieux. Deuxièmement il est possible de tester si les indices de diversité mésologique sont en corrélation avec les indices de diversité floristique.

La richesse des matériaux

Il ne s'agit pas d'un véritable indice mais la richesse des CNL recensés dans un relevé (cf. chap. 3.3.1) est un élément permettant à la fois la comparaison des relevés et une meilleure

compréhension des indices de diversité. La figure ci-dessous illustre également le rapport entre le nombre de matériaux différents et le nombre de matériaux total, c'est-à-dire chaque occurrence de CNL enregistré dans un relevé, chiffre dépendant fortement du nombre d'hoplexols.

En moyenne nous avons constaté 33 matériaux différents par relevé, chiffre variant de 10 à 50 matériaux par relevé. On peut observer que la richesse des matériaux est particulièrement faible en ce qui concerne les relevés effectués dans des milieux rocheux (R12,R13, R62, R63), en particulier ce qui ne sont guère végétalisés : les milieux sont essentiellement constitués par quelques CNL typiques de l'infraflexion (régolite, gravelon). Une faible richesse des matériaux peut également être constatée en ce qui concerne les pelouses (R14, R47, R49, R52, R54, R61) où le métaplexion supérieur se réduit essentiellement à la présence de kortodes et gramens, ainsi que dans les hêtraies (R11, R76) sans couverture végétale dans les strates de végétation inférieures.

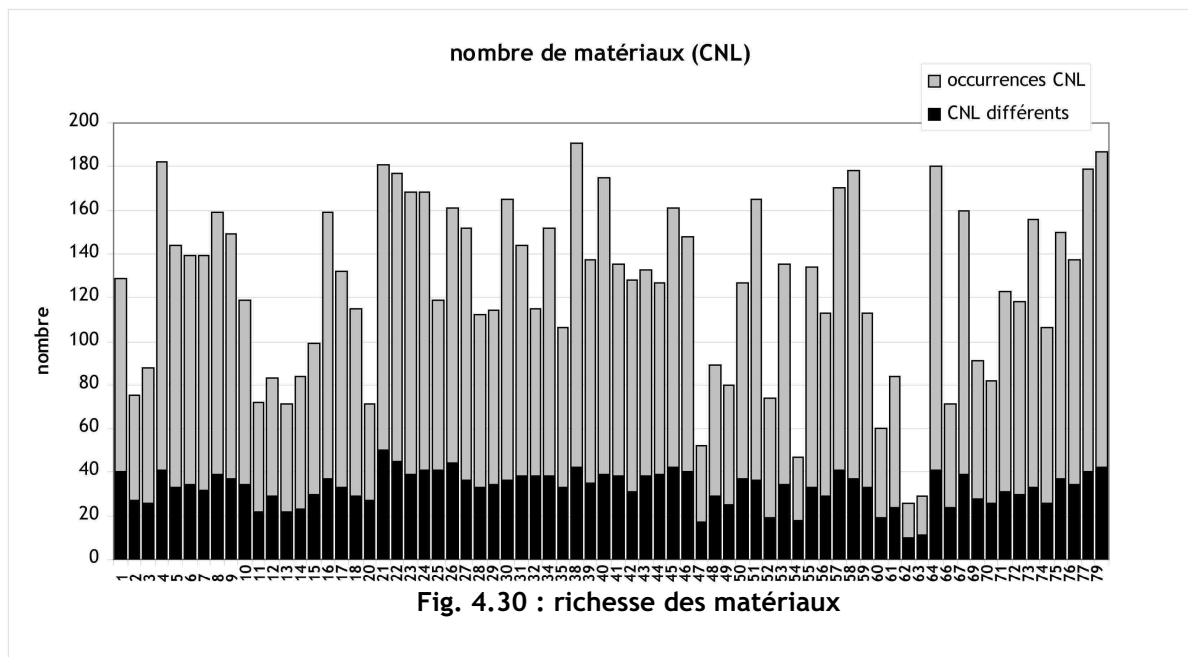


Fig. 4.30 : richesse des matériaux

La plus forte diversité des CNL est constatée dans trois relevés effectués dans des forêts méditerranéennes (R21, R22, 26), ainsi que dans des forêts mixtes (R38, R45). On y trouve la présence de plus de 40 matériaux (50 pour R21). Le nombre de CNL et encore davantage le nombre d'occurrences des CNL dans un holoplexion est évidemment plus important dans les milieux forestiers avec un supraplexion bien développé et de nombreux hoplexions. Cela apparaît surtout en comparant la richesse des matériaux avec le nombre d'hoplexions.

Le nombre d'hoplexions, délimité « à l'œil » selon un protocole précis reste toutefois bien plus subjectif que le nombre de matériaux clairement identifiable par leur présence dans le milieu. On peut observer que le nombre d'hoplexols varie peu, entre 8 et 23 hoplexols avec une moyenne de 16 hoplexols et un écart-type de 3. Même si les milieux à fort volume (ou extension verticale importante de l'holoplexion), autrement dit les forêts, offrent généralement un plus grand nombre d'hoplexols, les milieux à plus faible extension verticale montrent toutefois une stratification non négligeable.

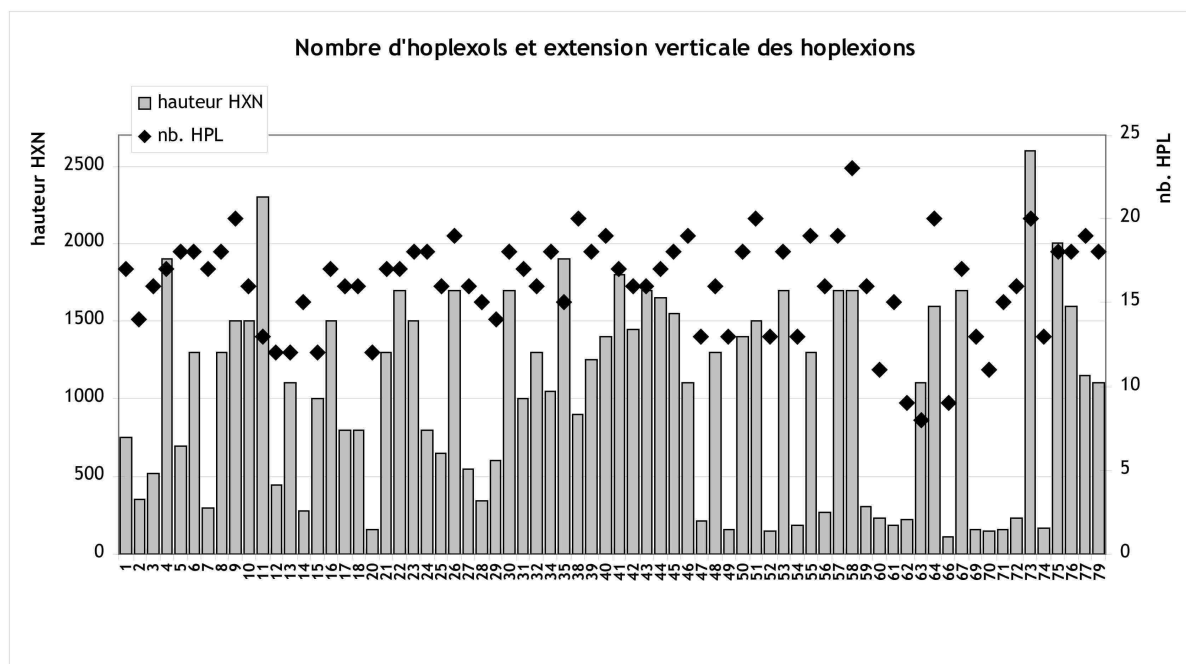


Fig. 4.31 : richesse des enceintes élémentaires (hoplexols) et volumes des relevés

En comparant le nombre d'hoplexols par grand type de milieu (niveau GEON25) la tendance se confirme. Les forêts de feuillus (FF), mixtes (FM) ou de résineux (RS) disposent potentiellement de plus d'hoplexols, même s'il semble qu'il y ait une tendance à chercher, à identifier plus d'hoplexols dans les milieux à faible extension verticale.

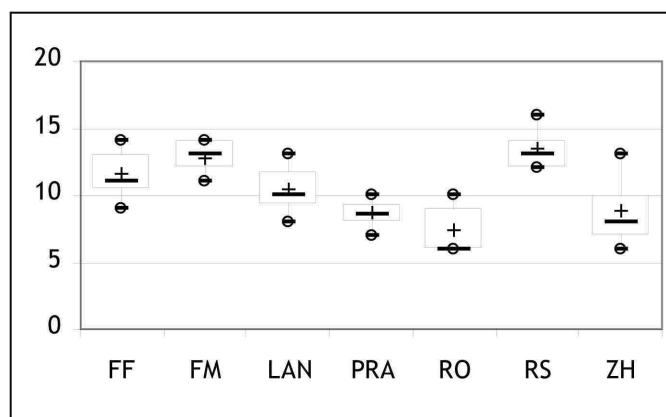


Fig. 4.32 : nombre d'hoplexols positifs (métaplexion strict, métaplexion supérieur et supraplexion) par type de milieu.

Abréviations : FF : forêts de feuillus, FM, forêts mixtes, LAN : landes, maquis et friches, PRA : prairies, pelouses et landes-pelouses, RO : milieux à sol nu affleurement rocheux dominants, RS : forêts de résineux, ZH : zones humides. Pour l'attribution des relevés aux types de milieux voir tab. A-4 dans les annexes
Symboles des « boîtes à moustaches » : carré : 1^{er} et 3^{ème} quartile, croix : moyenne ; barre horizontale : médiane, cercles : valeurs minimales et maximales

On note toutefois une relative faiblesse du nombre d'hoplexols en ce qui concerne les forêts de feuillus puisqu'il s'agit essentiellement de hêtraies structurellement assez pauvres et une relative richesse d'hoplexols en ce qui concerne les landes (incluant garrigues boisées, maquis et friches), à structure souvent assez complexe. Les valeurs élevées pour les zones humides s'expliquent par le fait qu'elles peuvent être arborées ou boisées (R48).

Comparaison des Indices et mesures de diversité appliqués aux relevés mésologiques

On peut appliquer les indices de diversité utilisés en écologie et écologie du paysage ou encore pour les unités cartographiques également aux données mésologiques. Plusieurs mesures se proposent. Les indices de Simpson et de Shannon présentés ci-dessous peuvent se compléter par l'indice de Brillouin globalement assez comparable à l'indice de Shannon (cf. chap. 2.3.x).

Il est possible de mesurer la diversité des hoplexols en tenant compte du nombre d'hoplexols par hoplexion ou le nombre de CNL par hoplexion. Pour le nombre de CNL par dans les cinq hoplexions on peut observer des indices de diversité globalement assez comparables. L'indice de Simpson varie assez peu entre 0,68 et à 0,82 pour les 72 relevés retenus.

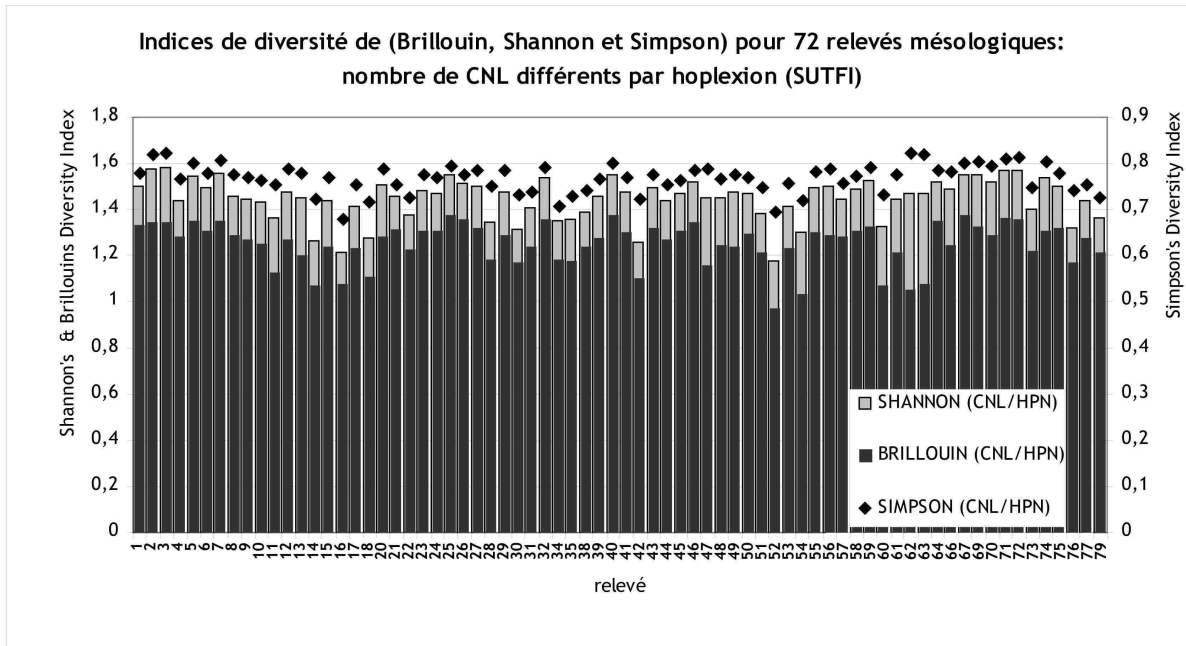


Fig. 4.33 : indices de diversité de Shannon, Brillouin et Simpson (1-D) pour le nombre de CNL dans les cinq hoplexions (SUTFI)

En effet, le nombre de différents matériaux dans les cinq hoplexions varie généralement assez peu entre les différents hoplexions. Dans un relevé à faible nombre de matériaux le nombre est généralement faible dans tous les hoplexols (R62), dans un relevé à grand nombre de matériaux (R21) ce nombre est généralement élevé dans tous les hoplexols, même si les différences entre la supraplexion et le métaplexion supérieur sont généralement plus accentuées et montrent alors des indices de diversité plus faible.

Le fait que l'équitabilité (evenness) est respectée dans le calcul de tous les indices de diversité est plus particulièrement visible en observant le volume des différents hoplexions d'un relevé. On constate alors que la tendance est inversée par rapport à l'extension verticale des hoplexions : les relevés à forte extension verticale montrent les plus faibles valeurs pour les trois indices de diversité, le volume du supraplexion domine dans ces cas les volumes des autres hoplexions. La diversité est ainsi plus grande entre hoplexions d'un relevé à faible volume.

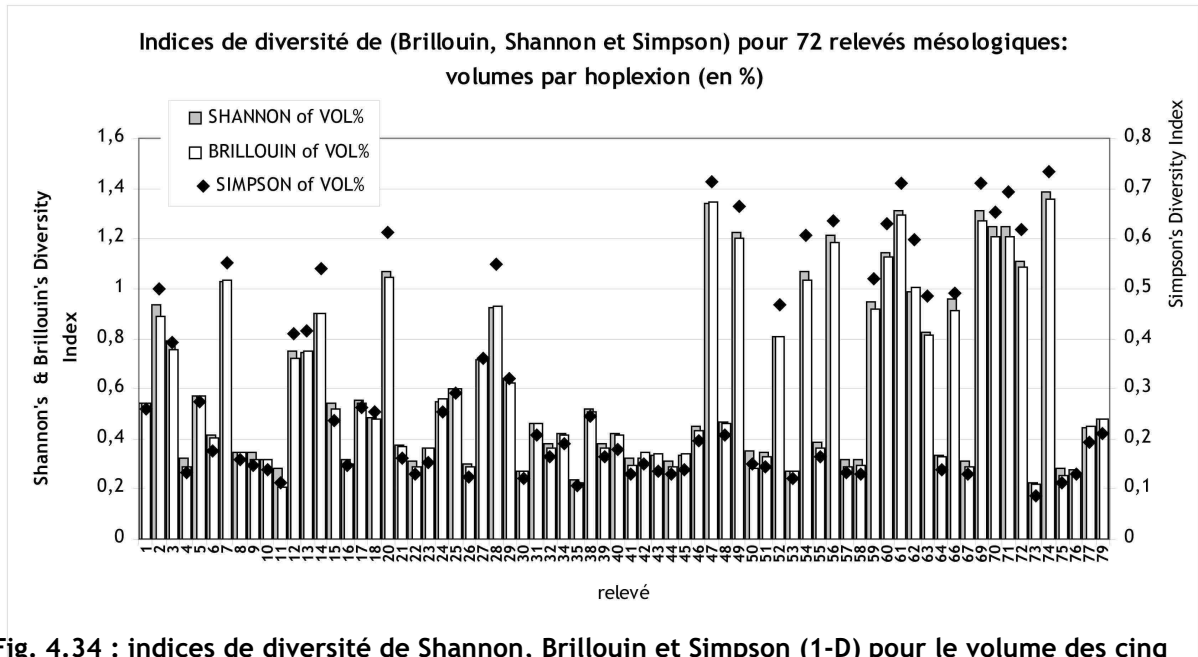


Fig. 4.34 : indices de diversité de Shannon, Brillouin et Simpson (1-D) pour le volume des cinq hoplexions (SUTFI)

Il est enfin particulièrement intéressant d'observer et comparer la diversité des matériaux dans les différents relevés. Pour cela il est utile de comparer le volume des 103 CNL relevés, mais on peut également envisager l'utilisation des volumes transformés en pourcentages ou le nombre d'occurrences d'un CNL par relevé et utiliser les matrices ou les CNL qui ont été regroupés par orthotypes (44 matériaux). La figure suivante permet de comparer les indices de diversité de Simpson pour les 72 relevés retenus en utilisant les volumes bruts (colonnes grises) et leur pourcentages (colonnes transparentes en arrière-plan) pour 102 CNL (en écartant l'aérophyse fort dominante), ainsi que pour le regroupement des CNL en 43 orthotypes (là encore en écartant l'aérophyse). On peut observer que les valeurs sont globalement comparables pour les volumes et les pourcentages des volumes, mais que le regroupement des CNL en orthotypes et variantes majeures provoque quelques différences qu'on peut observer notamment en comparant les relevés R12, R49 ou R62 (traits pointillés) : L'indice de diversité augmente sensiblement si on observe l'ensemble des 103 CNL cela vient du fait que l'on tient compte des variantes secondaires. A l'exemple R12 et R62 ceci s'explique par exemple par le regroupement des différentes qualités de gravelons (diagnostic secondaire par la taille) si on ne retient que 43 orthotypes.

Pour illustrer les différences apparentes entre les relevés, on peut là encore regrouper les relevés en 7 types des milieux. Les écarts de l'indice pour ces différents milieux sont illustrés dans la figure (boîte à moustaches) ci-dessous. Il apparaît ici que les landes, maquis et friches se caractérisent globalement par des indices de diversité plus importante que les forêts, même si les relevés des forêts mixtes s'en rapprochent. Les hêtraies et pinèdes peuvent dans certains cas manifester des indices de diversité assez faibles.

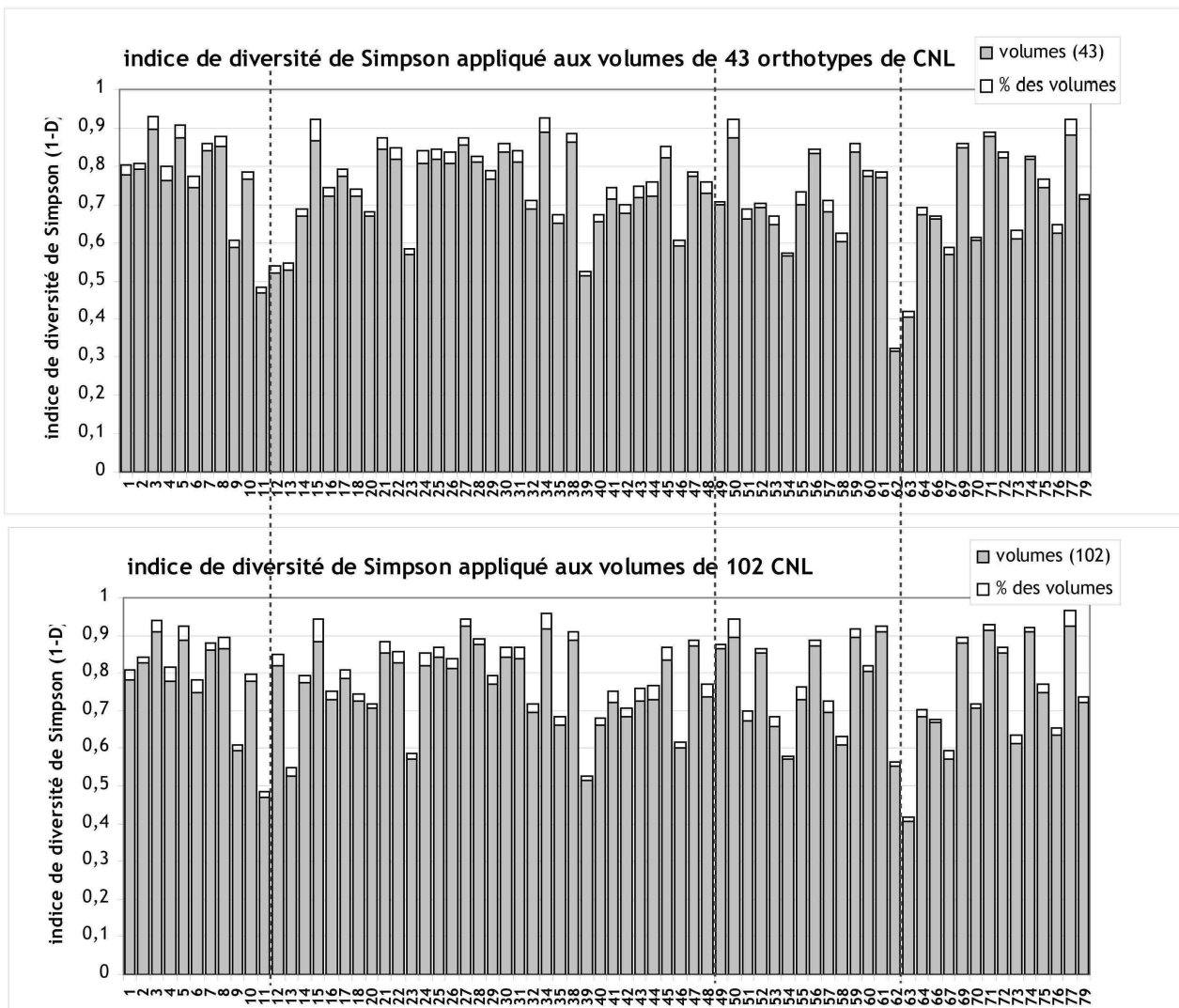


Fig. 4.35 : indices de diversité de Simpson (1-D) pour le volume et le pourcentage des volumes pour les 43 orthotypes de CNL (en haut) et les 102 CNL (en bas)

La diversité de la composition matérielle dans les hoplexions se manifeste ainsi par la richesse des matériaux dans les milieux forestiers et par une équitabilité plus importante dans les milieux complexes des landes et dans les milieux ouverts.

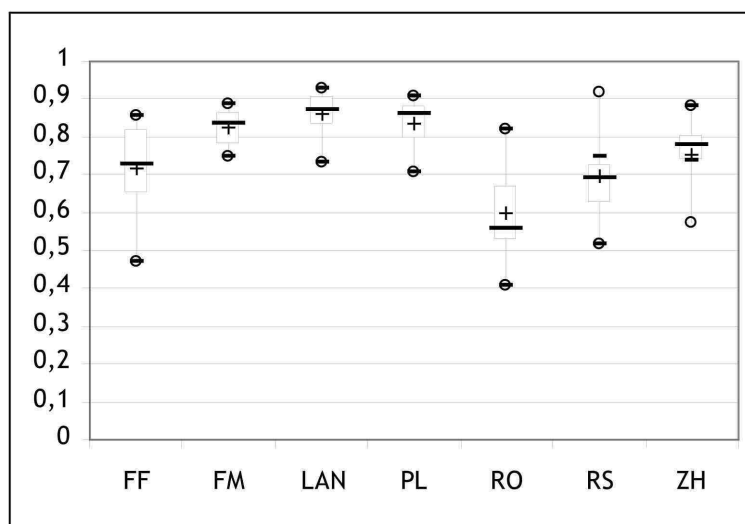


Fig. 4.36 : boxplot de l'indice de diversité de Simpson (1-D) pour le volume de 102 CNL (en bas) classés en 7 types de milieux

Abréviations : FF : forêts de feuillus, FM, forêt mixte, LAN : landes, maquis et friches, PRA : prairies, pelouses et landes-pelouses, RO : milieux à sol nu affleurements rocheux dominants, RS : forêts de résineux, ZH : zones humides

4.3.1.5. Description des relevés mésologiques à l'échelle du massif

Interprétation des ordinations dans leur ensemble

L'ordination exploratoire des volumes de CNL, étudiés par hoplexols, hoplexions ou holoplexions met en évidence le contraste existant entre milieux hydromorphes ou rocheux, entre milieux arborés, boisés ou ouverts, entre forêts de feuillus et de résineux, entre milieux sur roches siliceuses, cristallines et carbonatés, ou encore à sols superficiels ou profondément altérés. En fonction des enceintes du milieu observé (l'holoplexion dans son ensemble ou qu'un hoplexion), et du caractère des variables (quantitatives ou nominales) on obtient différents aspects de la diversité qu'induit la composition des matériaux dans un milieu. Nous n'avons pas fourni les tableaux des distances (khi-carré) bien trop exhaustifs pour trouver leur place ici, mais chaque distance entre deux objets retenus dans l'analyse factorielle fournit une mesure de la diversité qui existe parmi les relevés retenus.

On peut résumer les résultats de façon succincte en dégagant les grandes tendances comme celles-ci :

- Les milieux ouverts des landes et pelouses se différencient plus fortement dans leur composition matérielle que les milieux forestiers
- Les forêts de résineux et notamment les pinèdes se ressemblent davantage que les forêts caducifoliées, autant du point de vue leur composition matérielles que par rapport aux volumes qu'elles occupent
- Les milieux à forte composante rocheuse (éboulis, abrupts rocheux) et à composantes hydromorphes (tourbières, sources, bas-fonds) se distinguent nettement des autres milieux au point qu'ils ont dû être souvent écartés de l'analyse.

- Même si une distinction entre sols sur substrat granitoïdes et schisteux est évidente, les sols carbonatés se différencient davantage.

Schémas de répartition

Ayant identifié et comparé le contenu des relevés mésologiques, il est utile de revenir sur la répartition spatiale des différents types identifiés. Avant d'associer ces relevés à des unités surfaciques cartographiques, il est possible d'analyser le rapport entre la localisation des placettes et leur contenu. A l'échelle du massif ces placettes sont alors considérées comme des données ponctuelles.

Il n'y a pourtant pas besoin d'une analyse quantitative exhaustive de la répartition des matériaux par secteurs pour constater à l'évidence que certains matériaux ne se trouvent que dans certains secteurs du massif. On constatera sans surprise que la semperphyse n'apparaît pas dans la partie occidentale du massif dominée par les étages montagnards et subalpins. De même il est évident que le régolite leucocrate et l'arénite ne feront pas d'apparition dans la partie orientale du massif où on ne trouve exclusivement des roches sédimentaires ou métamorphisées paléozoïques ou des sédiments récents.

La difficulté de représenter les données ponctuelles dans l'espace est de disposer de relevés très fortement différenciés parfois peu éloignés les uns des autres. Dans ce sens la projection des résultats mésologiques ponctuels sur une carte n'a que peu de sens puisque la simple localisation ponctuelle des relevés sur le massif n'apporte pas d'information utile. Il est hors de question d'avoir recours à une interpolation abusive entre les points qui ne « colle » en aucun cas aux discontinuités multiples s'exprimant dans la réalité de terrain (ceci étant également valable pour les données pédologiques et floristiques).

La meilleure solution consiste encore à associer les relevés à une typologie relativement simplifiée des milieux cartographiés et à exploiter les données en tenant compte de la répartition réelle des milieux. D'autres difficultés se présentent alors, notamment en ce qui concerne la validité de cette association en ce qui concerne les caractéristiques des sols mises en évidence par les relevés mésologiques. Sous une couverture d'apparence homogène (la pinède) on peut effectivement rencontrer des sols et substrats forts différents qu'ignore la photo-interprétation mais qui se différencient dans es relevés. Un choix rigoureux des relevés à retenir pour la cartographie est le fait de privilégier les hoplexions supérieurs pour cette analyse spatiale, cela permet de réduire les erreurs potentielles et de projeter la diversité des relevés mésologiques sur le niveau paysager.

4.3.2. La mesure de la diversité paysagique (diversité latérale)

4.3.2.1. Résultats de la cartographie des géons

Considérations générales

La diversité paysagique, diversité matérielle, physionomique et structurelle paysagère se reflète sur la carte des géons de manière intuitive. Elle représente la mosaïque constituée par l'imbrication des unités paysagères que constituent les géons.

La carte des géons se construit par une légende qui se fonde sur la reconnaissance d'unités homogènes dans le paysage, lesquels se caractérisent le plus souvent par différents stades des principales formations végétales ou encore par la présence de sols dénudés, affleurements rocheux ou artifices anthropiques.

Proche de la carte des habitats elle s'en distingue toutefois par la nature des unités recensées. Il ne s'agit pas d'habitats mais d'unités paysagères physiologiquement plus ou moins homogènes. Une carte très détaillée de l'occupation des sols s'en rapprocherait probablement aussi, mais cette dernière (non existante) ne différencierait probablement pas les landes, landes-pelouses ou forêts claires en fonction du recouvrement de certaines espèces ou essences. C'est une carte assez proche des structures de la végétation établi par Inga Ertel et Nuria Roura i Pascual (Roura i Pascual, 2001; Ertel, 2003), mais avec une légende bien plus détaillée distinguant non seulement forêts, landes, milieux complexes et milieux ouverts mais aussi la prédominance de certaines espèces dans la physionomie du milieu.

Nomenclature des géons et attribution des relevés

Comme annoncé, nous avons retenu pour la cartographie des géons une typologie adaptée à la reconnaissance visuelle physionomique d'unités paysagiques plus ou moins homogènes à l'échelle de 1/5000 environ. Cette typologie comporte dans un premier niveau (GEON3C) 89 types de géons que l'on peut regrouper dans un deuxième niveau en 21 types (GEON3S) et progressivement en 8 (voir 9 ou 12) types dans un troisième niveau (GEON2S).

Ce dernier niveau de regroupement à 8 catégories permet de différencier les forêts de feuillus (FF), forêts mixtes (FM) ou forêts de résineux (RS) des milieux rocheux (RO), des milieux anthropisés (AT), des eaux de surface (EA), des zones humides (ZH) et des landes et pelouses (PL). On peut obtenir 9 groupes de géons si on considère ces derniers séparément. Les surfaces en eau et les milieux fortement anthropisés comme les habitations et jardins n'ont pas fait l'objet d'échantillonnage et de relevés, ils occupent des surfaces relativement restreintes (*cf.* fig. ci-dessous).

Taille des géons

La carte des unités paysagiques naturelles (Richard 1989:181) ou géons représente initialement un total de 4506 polygones (*patches*) dont 2592 dépassent 1 ha et 18 dépassent 1 km². Il

peut s'agir de polygones disjoints ou « troués » par d'autres polygones, il a été alors nécessaire de diviser certains polygones pour les analyses spatiales, provoquant une modification de ces chiffres en faveur d'un plus grand nombre de polygones. Le nombre de polygones dépassant 1ha est alors de 2364 sur un total de 4625 polygones dépassant 100m².

Le tableau dans les annexes recense la surface couverte par chacun des 89 types de géons, respectivement par les groupes correspondants. Nous proposons une comparaison des surfaces pour les regroupements du deuxième niveau (21 groupes) (cf. fig. 4.37), qui illustre la prédominance des forêts de résineux (RS) et notamment des pinèdes (PIN) sur le massif, occupant 7285ha, soit 34,19% de l'ensemble, plus d'un tiers de la surface du SIC Massif de Madres-Coronat. Parmi ces derniers on remarquera que les pinèdes claires et forêts de résineux ouvertes avec un recouvrement de la strate arborescente variant entre 25 et 50% occupent presque 10,1% de la surface du périmètre PNN.

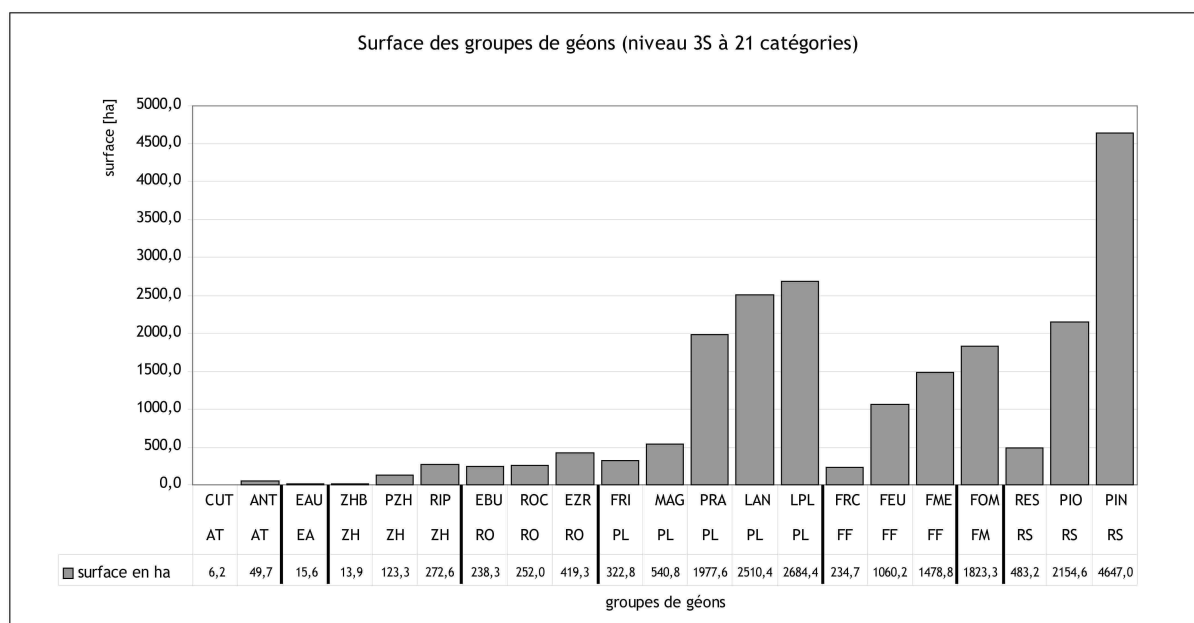


Fig. 4.37 : surfaces occupées par les différents groupes de géons (niveau 3S à 21 catégories)

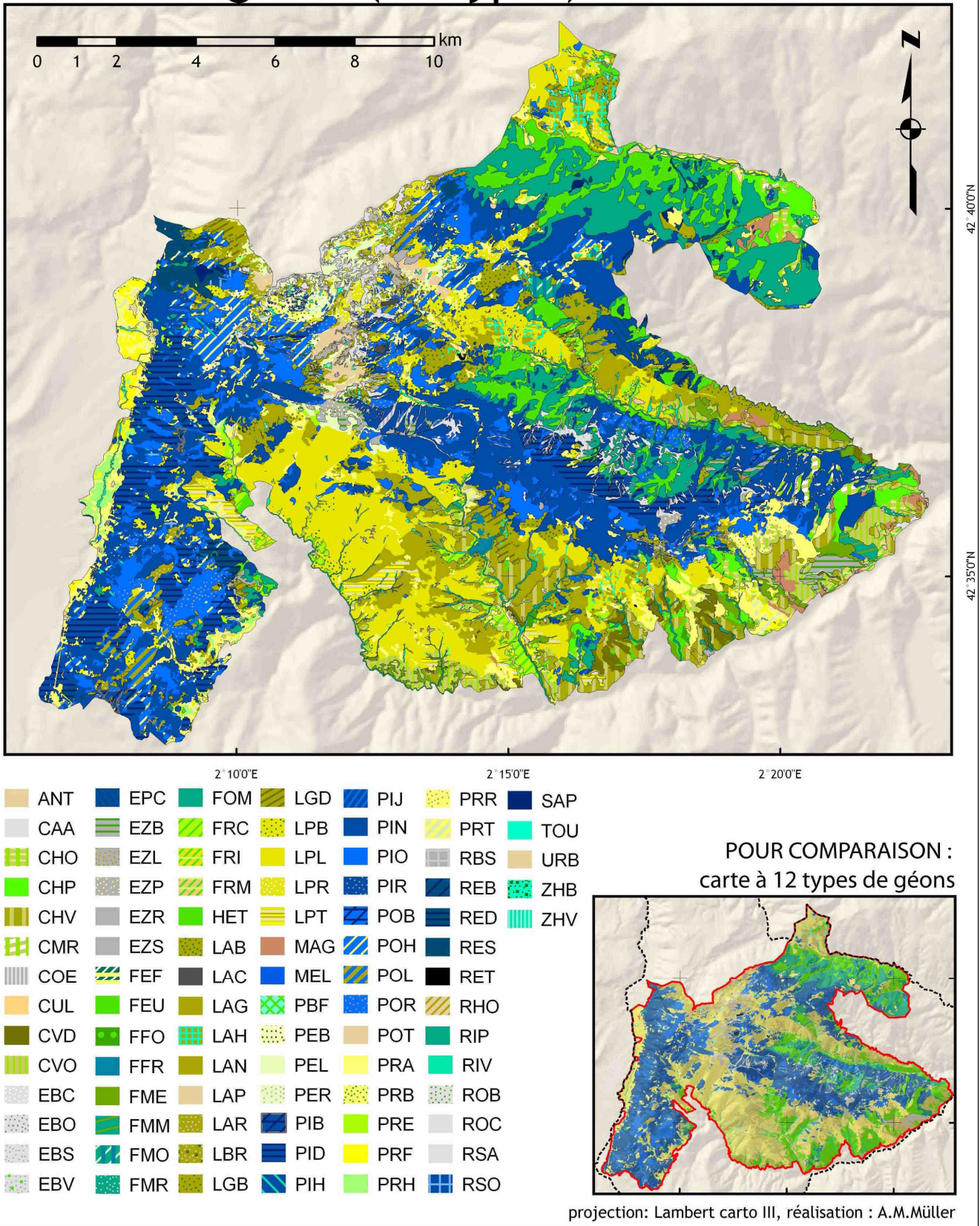
Les milieux complexes constitués par les landes, maquis, friches et landes-pelouses (LAN, MAG, FRI, LPL) couvrent aussi presque un tiers de la surface (6059ha, 28,43%), sans tenir compte des pelouses et prairies (PRA) (<25% de ligneux bas) occupant 9,3% de la surface du périmètre Natura2000. Les forêts de feuillus méditerranéennes et montagnardes (FME et FEU) en tenant également compte des zones de recolonisation de feuillus (FRC) plus basses et plus ouvertes sont un peu plus fréquentes que les forêts mixtes (FOM) avec respectivement 13,0% et 8,6% de surface occupée. Les milieux où le sol nu où les affleurements rocheux dominant (RO) occupent encore 910ha, soit 4,3% du terrain d'étude. La cartographie des ripisylves, de la végétation rivulaire (RIP) et des autres zones relativement humides, boisées ou non (ZHB et PZH) se limite à 410ha, soit 1,9% du terrain d'étude sans compter les lacs et retenues occupant 16ha supplémentaires (0,07%). Enfin, les habitations et cultures (AT) constituent avec une surface d'environ 56ha moins de 0,3% du terrain d'étude ce qui justifie qu'elles n'ont pas été prises en compte lors de l'échantillonnage.

4.3.2.2. La carte détaillée des géons

Description des géons du Massif de Madres-Coronat

La carte des géons qu'on reproduit ici (carte 4.2) dans un premier temps avec une légende assez détaillée à 89 types de géons (cf. légende tab. 3.30 chap. 3.2) met en évidence une variation importante de la physionomie du paysage selon les secteurs observés. Avec 89 types de géons, la lisibilité de la carte est restreinte, mais malgré une reproduction à petite échelle de cette carte établie initialement au 1/5000^{ème}, on peut observer sans difficultés que la mosaïque paysagère du massif se traduit par l'imbrication des forêts (couleurs bleues et vertes), landes (couleurs ocre-bruns), prairies (couleurs jaunes), et milieux rocheux (couleur grises). On peut déceler des structures qui suggèrent l'influence de la pente, de l'exposition des versants, des glaciations quaternaires dans la partie sommitale ou de la concentration des eaux dans les talwegs. Comme le suggèrent déjà la carte de la végétation et la carte des habitats, les forêts de résineux (couleurs bleues) dominent une large partie du massif, notamment les parties sommitales du Mont Coronat à l'est, ainsi que la façade ouest bordant le Capçir. Les forêts mixtes et feuillues se rencontrent surtout dans la vallée de la Castellane sur la commune de Mosset au nord-est du massif. Les landes dominent les soulans des communes de Nohèdes, Olette, Oreilla et Sansa. La partie sommitale du Madres se caractérise en revanche par une imbrication importante de milieux assez variés : landes, prairies, forêts claires de pin à crochet et milieux rocheux s'alternent sur une surface assez restreinte des parties supérieures des vallées et dans une moindre mesure sur les plas sommitaux. A l'étage montagnard on observe des secteurs plus homogènes dominés par les pinèdes en ce qui concerne le secteur à l'ouest du Mont Coronat, mais aussi par les forêts mixtes sur l'ombrée de Mosset dans la partie septentrionale du massif et par les landes-pelouses et landes sur les soulans des Garrotxes au sud. Malgré la prédominance de la pinède dans la partie sud-ouest du massif, le feu, les sols par endroits superficiels et les cycles de rotation de la gestion forestière provoquent une certaine diversité dans la mosaïque paysagère.

Carte des géons (89 types)



Carte 4.2 : Carte des géons à 89 types

Les contours se limitent au niveau de regroupement à 8 catégories,

Regroupements des géons

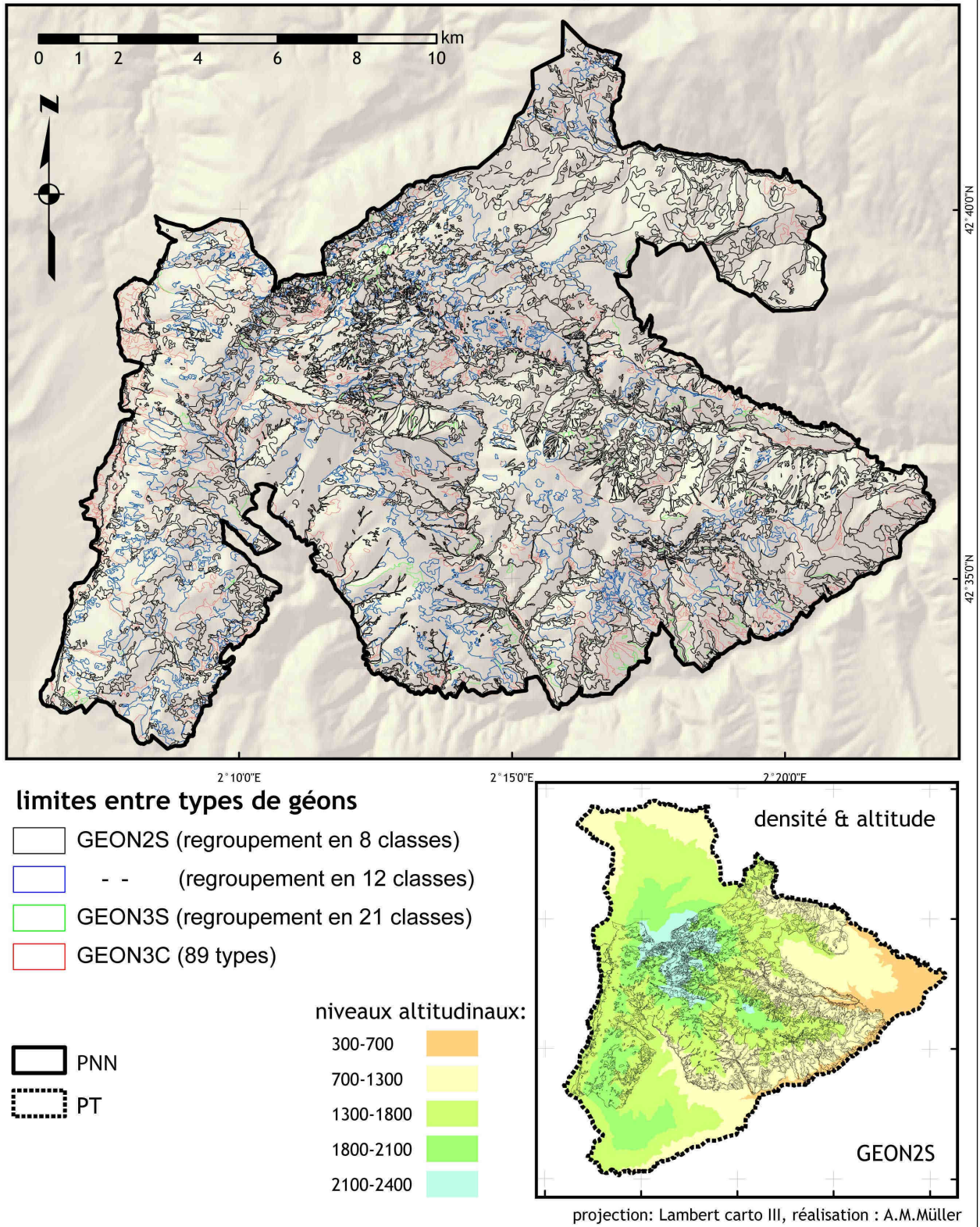
Pour des raisons de lisibilité, mais aussi pour évaluer l'influence du nombre de catégories sur les indices de diversité, les 89 types initiaux de géons déterminés sur le site NATURA2000 Massif de Madres-Coronat (PNN) ont été regroupés progressivement en 21 (niveau GEON3S), 12, 9 et 8 (niveau GEON2S) ensembles plus homogènes. A titre d'exemple, différents types de pinèdes identifiables sur les photo aériennes (pinèdes jeunes PIJ, denses PID, reboisements PIB, pinèdes claires à strate herbacée abondante POH, pinèdes claires sur sols superficiels et affleurement rocheux POR etc.) du niveau 3C (89types) ont été regroupés d'abord en pinèdes typiques (PIN) et pinèdes claires (PIO) du niveau 3S (21 types), ensuite en forêts de résineux (RS) du niveau 2S (8 ou 9 types).

Ces regroupements ont pour conséquence une réduction du nombre de limites entre géons, une augmentation de la surface moyenne des unités paysagères et une réduction de la densité de la mosaïque paysagère. Ceci est illustré par la carte suivante (carte 4.3.), exprimant par la densité des limites, déjà une certaine diversité paysagère. Mieux que sur la carte des géons, détaillée on peut observer ici l'imbrication importante des milieux dans la partie sommitale du Madres mais également sur le versant nord du Mont Coronat. L'alternance de milieux ouverts et boisés, de milieux rocheux et landes est particulièrement importante à l'étage subalpin et sur les pentes accentués. Afin d'illustrer cette augmentation de la densité des limite entre géons le carton (la petite carte) « densité et altitude » superpose le maillage des géons du niveau de regroupement 2S à 8 classes aux cinq niveaux altitudinaux illustrés ici par des plages de couleurs. Il faut ajouter une mosaïque plus dense proche des talwegs où dominant les corridors linéaires mais où l'on trouve également la plupart des parcelles cultivées, friches et zones urbanisées.

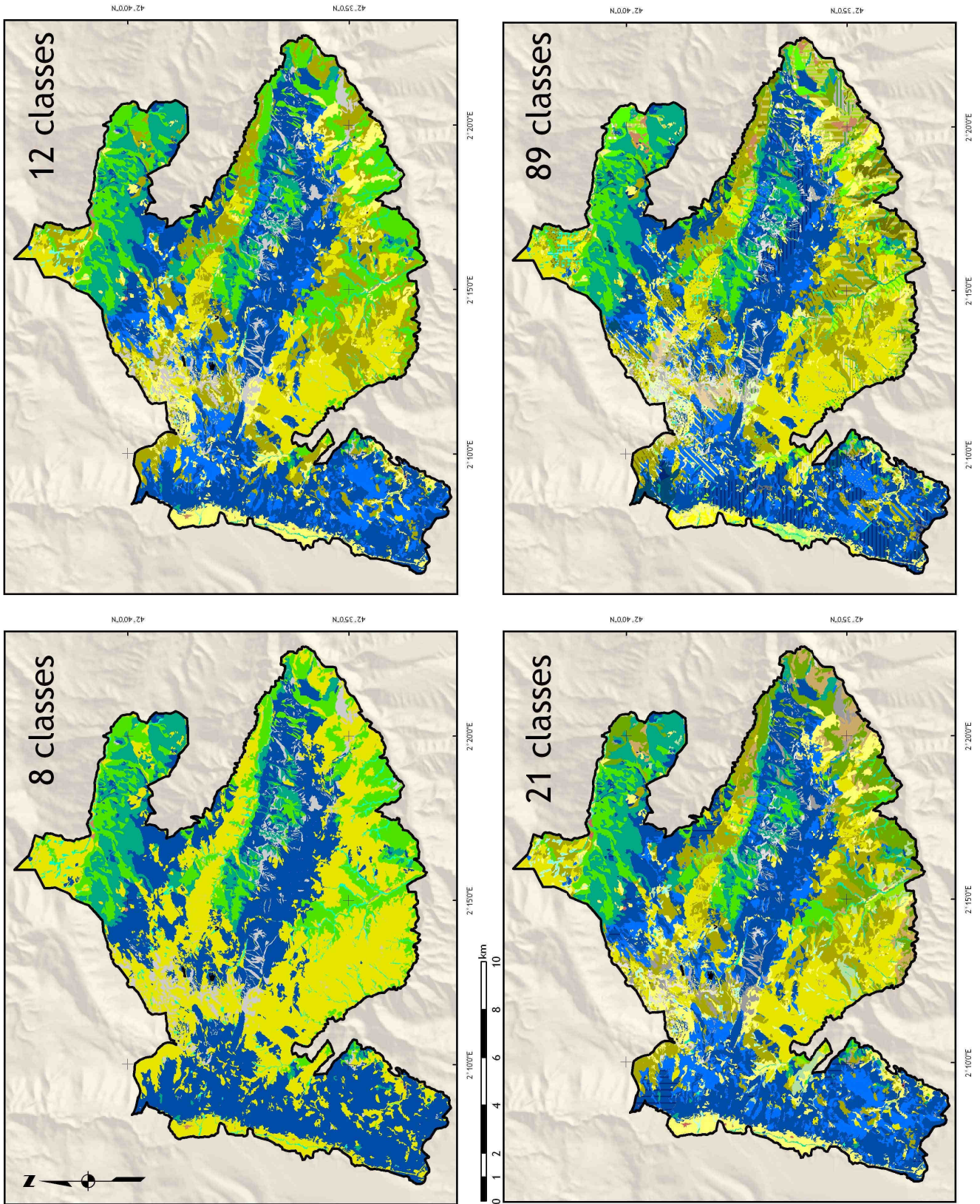
On peut observer qu'une augmentation de 8 (lignes noires) à 12 classes (lignes bleus et noires) ¹²⁵ amplifie la complexité de la mosaïque des milieux. En effet, la différenciation des landes, landes-pelouses et pelouses, des pinèdes claires et fermées et des ripisylves et zones humides fait accroître assez considérablement le nombre de limites entre géons (traits bleus). Le résultat cartographique des différents regroupements (8,12 et 21 classes) par rapport à la typologie initiale à 89 classes peut être évalué également en comparant visuellement les quatre cartes qui en sont issues (cartes 4.4.).

¹²⁵ La notion de classe est utilisée ici au sens large, désignant une catégorie ou un groupe de géons.

Densité des limites entre géons (4 niveaux)



Carte 4.3 : Limites entre géons selon le niveau de regroupement choisi



Carte 4.4 : comparaison des niveaux de regroupement des géons

4.3.2.3. Analyse de la diversité paysagique par la carte des géons

Cartographie de la richesse des géons

La richesse des géons, donc la « géodiversité paysagique alpha » est caractérisée par le nombre total de géons de types différents au sein du massif. Selon la clé d'interprétation retenue la richesse totale est ainsi de 89 types d'unités paysagiques élémentaires. La richesse totale des paysages du SIC Madres-Coronat (PNN) se réduit en conséquence avec chaque niveau de regroupement des géons à respectivement 21, 12, 9 et 8 groupes de géons. On peut une fois de plus constater que la richesse dépend entièrement de la typologie adoptée et que la mesure de la diversité n'a d'intérêt seulement dans une approche comparative. Dans un premier temps on peut comparer la richesse des géons, c'est-à-dire le nombre de géons par secteurs du massif. Les analyses par secteurs ont été réalisées avec l'extension « Patch Analyst » conçue par Rob Rempel pour une implémentation dans ArcGIS (Elkie, Rempel *et al.*, 1999)

Analyse de la diversité paysagique par bassins versants et secteurs

Dans un premier temps nous avons comparé la diversité des géons par bassins versants. Le nombre de géons différents rencontrés dans les six bassins versants touchés par le périmètre d'étude (PNN) varie entre 56 et 83 types de géons. Dans le bassin versant du Callau, de la vallée de Nohèdes on constate au sein du périmètre PNN 83 types de géons, dans les Garrotxes 78, dans la vallée d'Evol 76, dans la vallée de la Castellane 68, tandis que les sections des bassins versants de l'Aude en Capcir et de la Têt en Conflent se caractérisent « seulement » par respectivement 57 et 56 types de géons (*cf.* carte 4.5 ci-dessous). On en déduirait que la diversité paysagique est plus importante (en termes de nombre géons) dans la vallée de Nohèdes que sur les versants est du Capcir. Cependant il s'agit là surtout d'un effet de taille : une surface plus importante augmente potentiellement le nombre de géons que l'on peut rencontrer (*cf.* fig. 4.38 ci-dessous). La vallée de la Têt n'est pas forcément plus « pauvre » que les Garrotxes, mais on rencontre moins d'unités paysagères différentes sur les surfaces du SIC Madres-Coronat attribuées à la vallée de la Têt que sur la surface du plus ample des bassins versants concernés, la vallée du Cabrils (Garrotxes). La figure suivante laisse cependant remarquer que l'on peut rencontrer un plus grand nombre de géons dans la vallée de Nohèdes que dans les Garrotxes, alors que les Garrotxes disposent d'une surface plus importante au sein du SIC Madres-Coronat. Le même constat peut être fait en comparant la vallée de la Castellane avec la vallée d'Evol : La richesse paysagique est plus faible dans les parties concernées par le site Natura 2000 de la vallée de la Castellane disposant pourtant d'une surface plus importante que la vallée d'Evol.

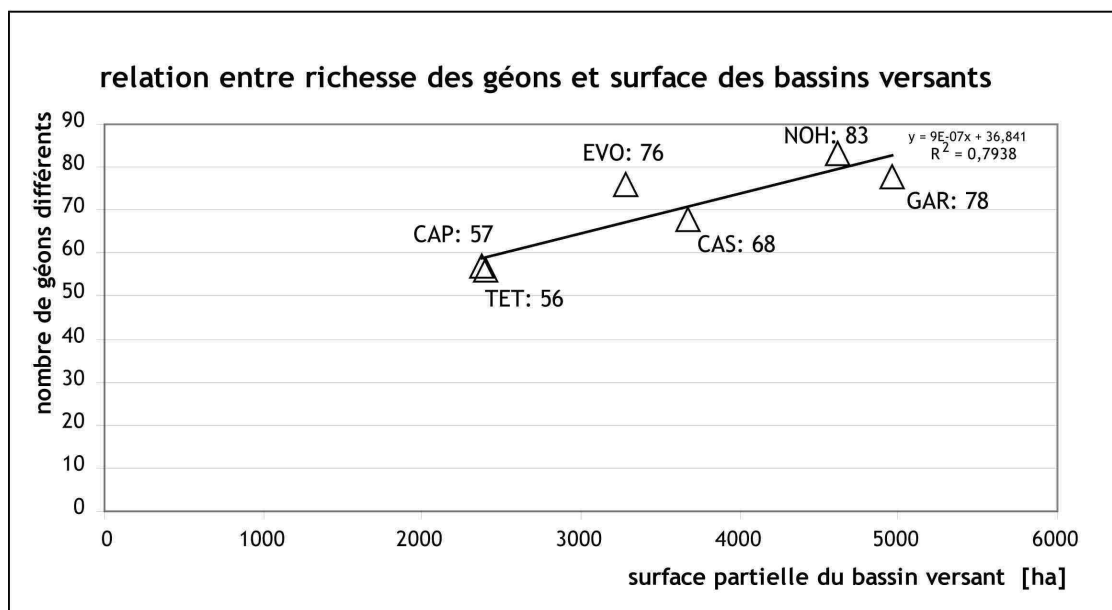


Fig. 4.38 : relation entre le nombre de géons par bassin versant et la surface du bassin versant

N.B. La surface des bassins versants se limite à leur surface dans le périmètre d'étude). EVO : vallée d'Evol, NOH : vallée de Nohèdes (Callau) ; GAR : Garrotxes (vallée de Cabrils incl. Coume de Pontetils), CAS : vallée de la Castellane, CAP : Capçir, secteur dans la vallée de l'Aude, TET : soulanes du Massif appartenant à la vallée de la Têt.

Analyse de la diversité paysagique par tranches altitudinales

Une analyse de la richesse des géons par tranches altitudinales qu'incitait la densité des limites entre géons dans la partie supérieure du massif (cf. carte 4.5 ci-dessous) montre, que le nombre de géons différent est avec 79 types le plus important entre 1300 et 1800m, niveau altitudinal correspondant approximativement à l'étage montagnard.

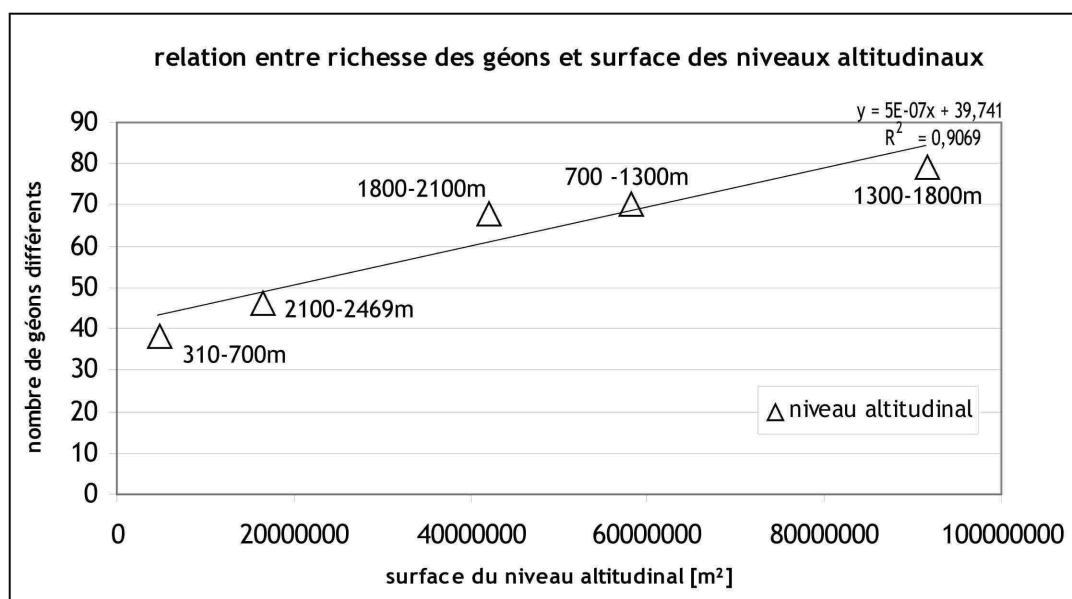


Fig. 4.39 : relation entre le nombre de géons par bassin versant et la surface du bassin versant

N.B. La surface des bassins versants se limite à leur surface dans le périmètre d'étude). EVO : vallée d'Evol, NOH : vallée de Nohèdes (Callau) ; GAR : Garrotxes (vallée de Cabrils incl. Coume de Pontetils), CAS : vallée de

la Castellane, CAP : Capçir, secteur dans la vallée de l'Aude, TET : soulanes du Massif appartenant à la vallée de la Têt.

Comme ce qui concerne l'approche par bassins versants, il faut mettre cette observation en corrélation avec la surface de ce niveau altitudinal dépassant 9000 ha, donc 43% de la surface du massif. Au sein des niveaux altitudinaux sous- et sus-jacents (700 à 1300m, 1800 à 2100m) on trouve toujours 70 respectivement 68 types de géons, tandis que les niveaux altitudinaux extrêmes supérieurs et inférieurs, faiblement représentés avec seulement 1650 et 480 ha présentent avec seulement 46 respectivement 38 différents types de milieux une richesse paysagique plus faible. La relation linéaire entre nombre de géons et surface du secteur est donc encore plus importante en analysant la richesse paysagique par niveaux altitudinaux (cf. fig. 4.40 ci-dessous) et suggère ainsi de procéder à une comparaison de secteurs à surfaces comparables.

Analyse de la diversité paysagique par secteurs (niveaux altitudinaux et bassins versants)

Toutefois nous avons d'abord analysé la carte des secteurs utilisée pour la répartition des relevés sur le terrain. Elle se prêtait également à une analyse paysagique, en raison d'un plus grand nombre d'unités spatiales. Même si on observe là encore une relation nombre de géons/ surface linéaire assez forte, les écarts positifs ou négatifs de la droite de régression permettent de constater que les surfaces généralement faibles des niveaux altitudinaux 4 et 5, correspondant approximativement à l'étage subalpin et alpin montrent une richesse de géons relativement plus importante que celle du niveau 3 (« montagnard »). Pour les trois secteurs inférieurs à 100ha (TET4, CAS1, EVO1) le nombre de géons est très faible en raison de la taille moyenne des géons dépassant 4ha.

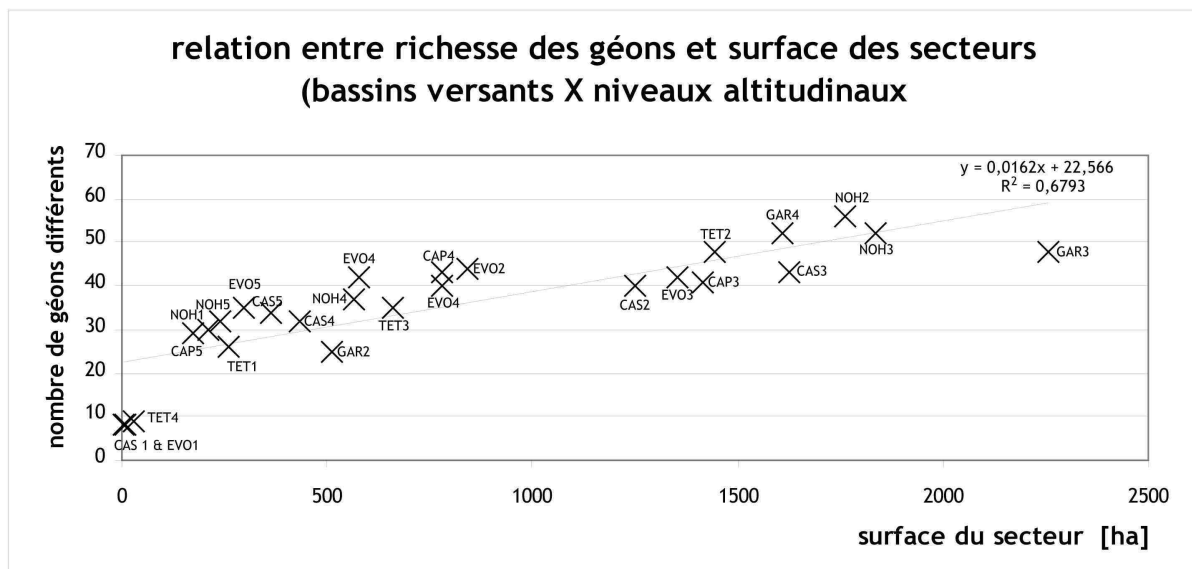
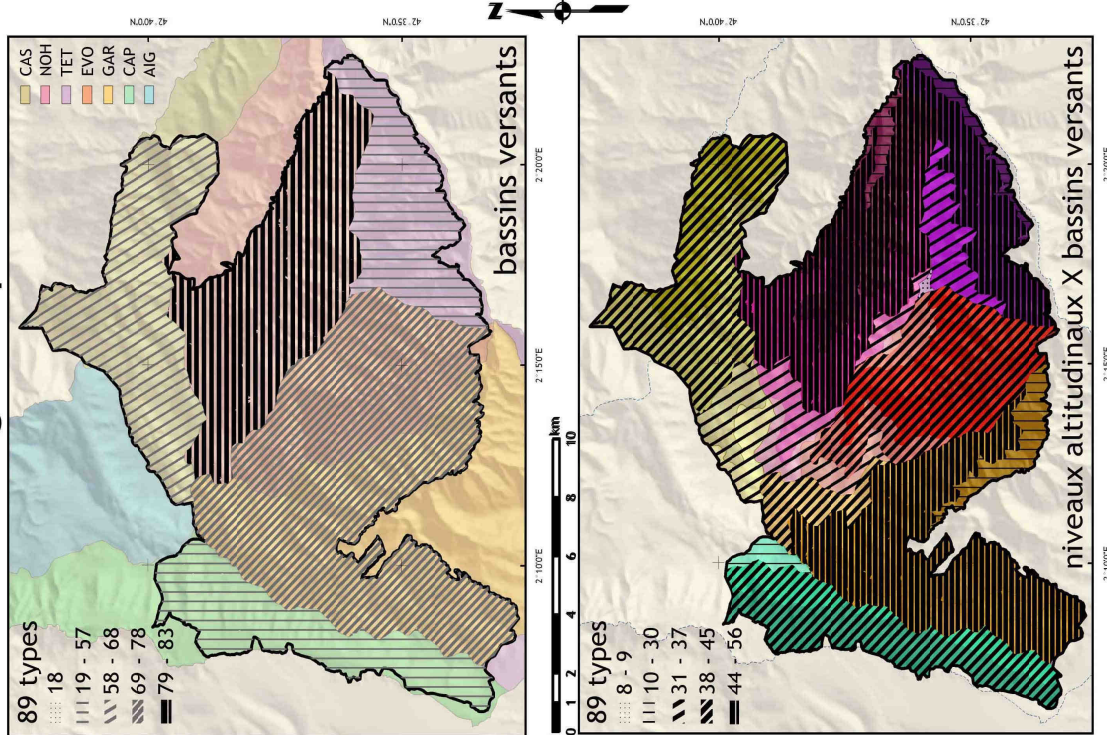


Fig. 4.40 : relation entre le nombre de géons (niveau 3C à 89 types) par surface des secteurs d'étude

N.B. La surface des bassins versants se limite à leur surface dans le périmètre d'étude). EVO : vallée d'Evol, NOH : vallée de Nohèdes (Callau) ; GAR : Garrotxes (vallée de Cabrils incl. Coume de Pontails), CAS : vallée de la Castellane, CAP : Capçir, secteur dans la vallée de l'Aude, TET : soulanes du Massif appartenant à la vallée de la Têt. 1 : niveau altitudinal <700m ; 2 : <1300m ; 3< 1800m ; 4<2100 m ; 5 : >2100 m

Richesse des géons par secteurs



Carte 4.5 a- d : Richesse des géons par secteurs

Richesse (nombre de géons différents, regroupés en cinq classes) par six bassins versants (en haut à gauche), par cinq niveaux altitudinaux (en haut à droite) et par 26 secteurs d'étude croisant niveaux altitudinaux et bassins versants en comparant les résultats pour 89 types de géons et 21 classes de géons (cartes du bas).
Cartographie : A Müller

Les deux cartes recensant le nombre de géons par secteur d'étude (niveau altitudinal X bassins versants) se différencient par le niveau de regroupement choisi : 89 types de géons (3C) ou 21 groupes de géons (3S) (cf. carte 4.5 ci-dessus). Les secteurs à faible surface recensent un plus faible nombre de géons sur les deux cartes, cependant on peut se rendre compte que le nombre de groupes de géons par secteur est généralement plus important pour un niveau altitudinal n°3 (« montagnard ») dans la partie orientale du massif. Malgré une surface deux fois plus réduite, on peut recenser dans le niveau altitudinal 2 (700-1300m) plus 19 groupes de géons sur 842ha alors qu'on trouve dans le plus vaste secteur des Garrotxes sur 2256 ha (niveau altitudinal 3 à 1300 - 1800m) seulement 16 types de géons. Autant de groupes de géons peuvent par ailleurs se rencontrer dans la partie inférieure de la vallée de Nohèdes (NOH1) sur seulement 210 ha.

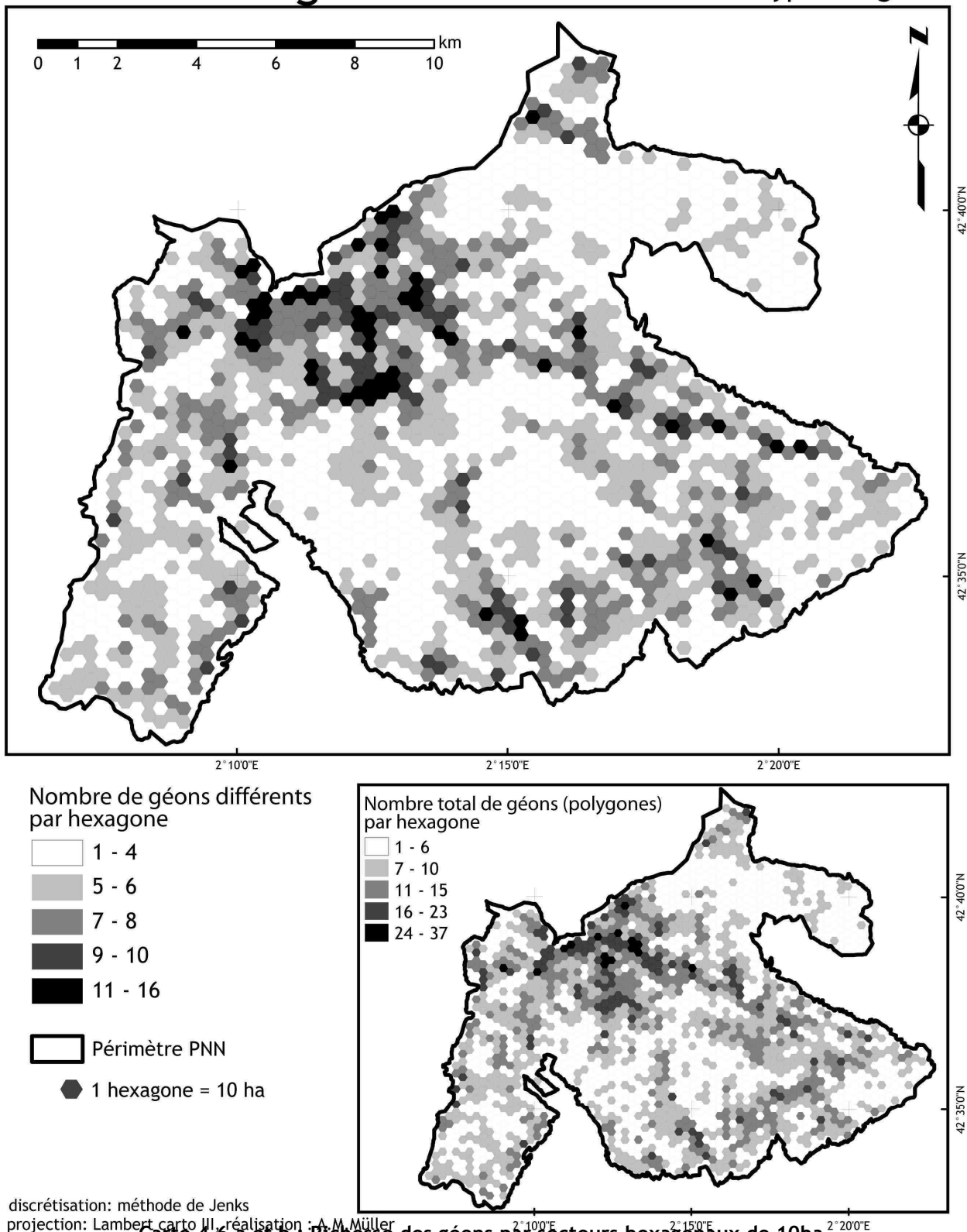
Même si le nombre de géons par secteur n'est donc pas comparable pour différents secteurs ayant une surface différente les cartes du nombre de géons par secteur permettent de qualifier une richesse paysagique par secteur

Analyse de la diversité paysagique par secteurs hexagonaux

En choisissant des secteurs à surface égale, par exemple en superposant une maille où grille ortho- ou hexagonale sur le périmètre d'étude on peut obtenir un aperçu plus parlant de la richesse des géons. Le résultat dépend fortement de la densité de la grille, et pour des mailles très espacées la position (ou le « point de départ » de la maille, son « offset ») joue un rôle important sur le résultat. En cherchant un compromis entre le temps de calcul nécessaire au logiciel « Patch Analyst » et la « résolution » du résultat cartographique, nous avons retenu ici des hexagones d'une surface de 10 ha pour une analyse fine de la richesse de géons (cf. carte 4.6 ci-dessus) et des hexagones de 50 ha pour une comparaison de la richesse des géons en fonction du niveau de regroupement des types de géons. Si on cherche à comparer des secteurs à surface comparable il en découle que les hexagones dépassant le périmètre du massif on été écartés.

Pour la carte de la richesse des géons analysés par une maille d'hexagones de 10 ha de surface, on obtient dans notre cas 1935 hexagones qui contiennent jusqu'à 16 et en moyenne 5 types de géons différents. En effectuant de nouveau un discrétisation à 5 classes selon la méthode de Jenks, se dessine enfin l'image d'une richesse des géons à l'échelle du massif. Les hexagones contenant 11 à 16 différents types de géons se concentrent dans la partie supérieure du Massif, notamment dans les secteurs des cirques glaciaires, ainsi que dans les fonds de vallée où l'on note une richesse plus importante surtout dans la partie inférieure de la vallée d'Evol et dans la vallée de Nohèdes. Le sommet du Mont Coronat se caractérise en revanche par une richesse paysagique relativement faible (moins de 5 différents types de géons par ha). Avec un richesse de géons égale ou supérieur à 7 géons différents, se démarquent également le secteur de Marignans au nord de Codalet et Serdinya à l'est du Massif (vallée de la Têt), les abords de Caudiès (Garrotxes) au sud-ouest, le fond de vallée en amont de Sansa (Garrotxes) et le secteur en aval du Col de Jau dans la commune de Mosset (vallée de la Castellane) au nord du Massif. En comparant la carte des géons avec la carte de la richesse des géons, il apparaît que les milieux forestiers assez fermés dans les parties orientales et septentrionales, mais aussi les vastes étendues de landes et pâtures sur la soulane de Garrotxes se caractérisent comme la partie occidentale du Mont Coronat par une relative pauvreté de géons différents.

Richesse des géons évaluée sur la base de 89 types de géons



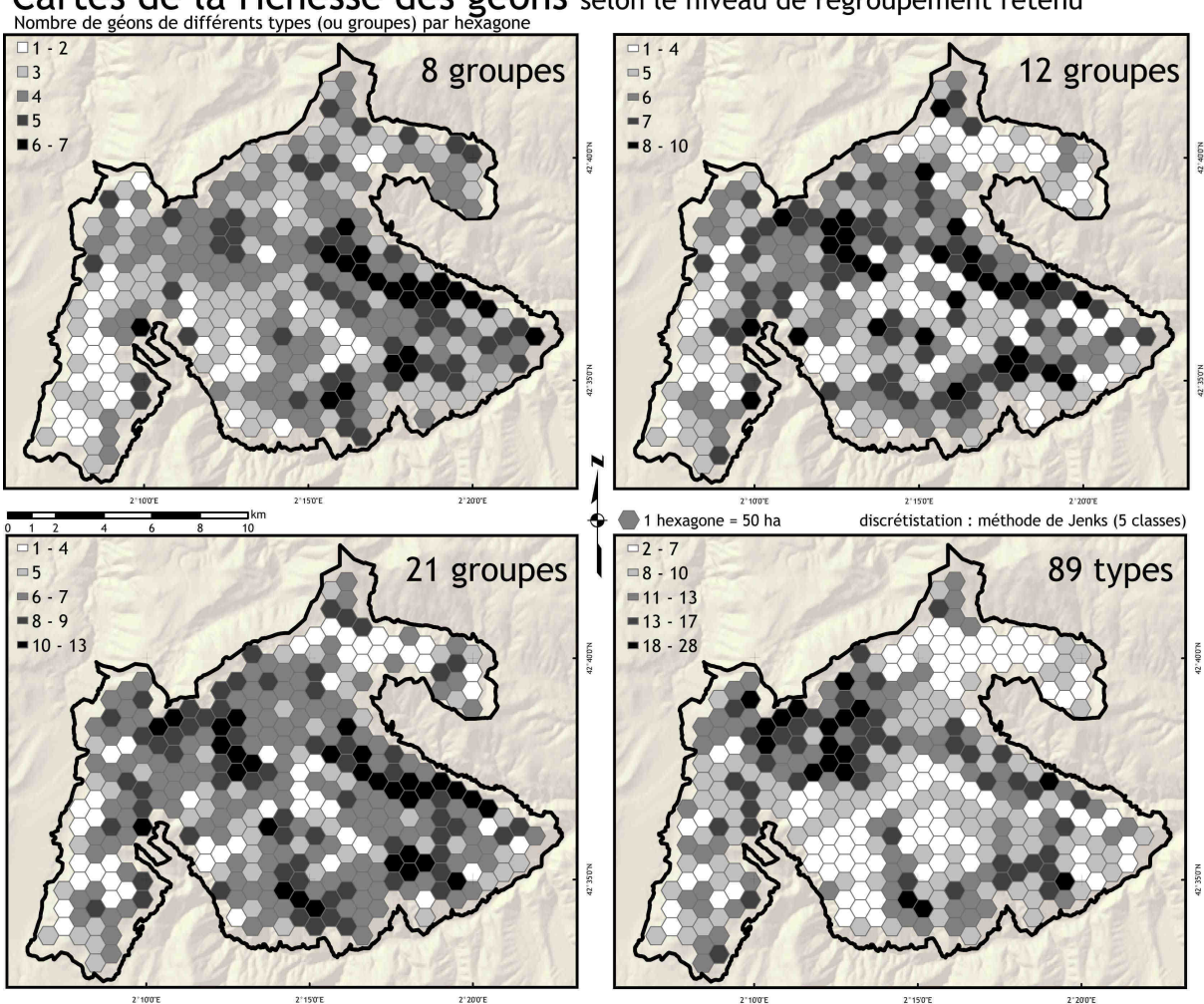
Carte 4.6 a et b : Richesse des géons par secteurs hexagonaux de 10ha

Richesse (nombre de géons différents par hexagone ; regroupés en cinq classes) pour 89 types de géons.
Cartographie : A Müller

On peut comparer cette carte de la richesse des géons évaluée sur la base de 89 types de géons pour des hexagones de 10ha avec la carte du nombre total de géons (petite carte en bas à gauche cf. carte 4.6 ci-dessus). Le nombre total de géons tient compte de l'imbrication des géons non adjacents du même type dans un hexagone. Ainsi on peut rencontrer en moyenne 8 et jusqu'à 37 « patchs » ou polygones différents dans un même hexagone. La carte résultante est sensiblement la même, les zones de la plus forte richesse de géons restent la partie sommitale du Madres, les vallées d'Evol et, dans une moindre mesure les versants abrupts du Mont Coronat.

Si on effectue une analyse spatiale de la carte des géons à 89 types par une grille à hexagones de 50ha (cf. carte 4.7 ci-dessus), le nombre moyen de géons différents atteint 10 géons par hexagone avec un maximum de 28 géons par hexagone. Malgré la ressemblance entre la carte à hexagones de 10 ha et à 50 ha, la carte à 50ha ne permet pas une analyse très détaillée et décrit davantage les tendances générales. On observe toujours les principaux secteurs de richesse et de pauvreté en unités paysagères différentes

Cartes de la richesse des géons selon le niveau de regroupement retenu



Carte 4.7 a-d : Richesse des géons par secteurs hexagonaux de 50ha

Richesse (nombre de géons différents par hexagone ; regroupés en cinq classes) pour respectivement 8, 12, 21 groupes et 89 types de géons. Cartographie : A Müller

L'influence du nombre de types de géons sur cette description de la richesse des géons s'illustre par la comparaison de cartes à hexagones de 50ha pour les différents niveaux de regroupement. En effet, si on ne distingue que 8 grands types de milieux (trois types de forêts, les zones humides, les pelouses et landes regroupées, les milieux rocheux, les lacs et les zones anthropisées) la plus grande diversité paysagère (avec au maximum 7 catégories de géons) peut être rencontrée dans les parties inférieures des vallées de Nohèdes et d'Evol. Dans la partie sommitale on ne rencontre plus que 4 ou 5 catégories de géons différents, la moyenne des différentes catégories de géons étant de 3,7.

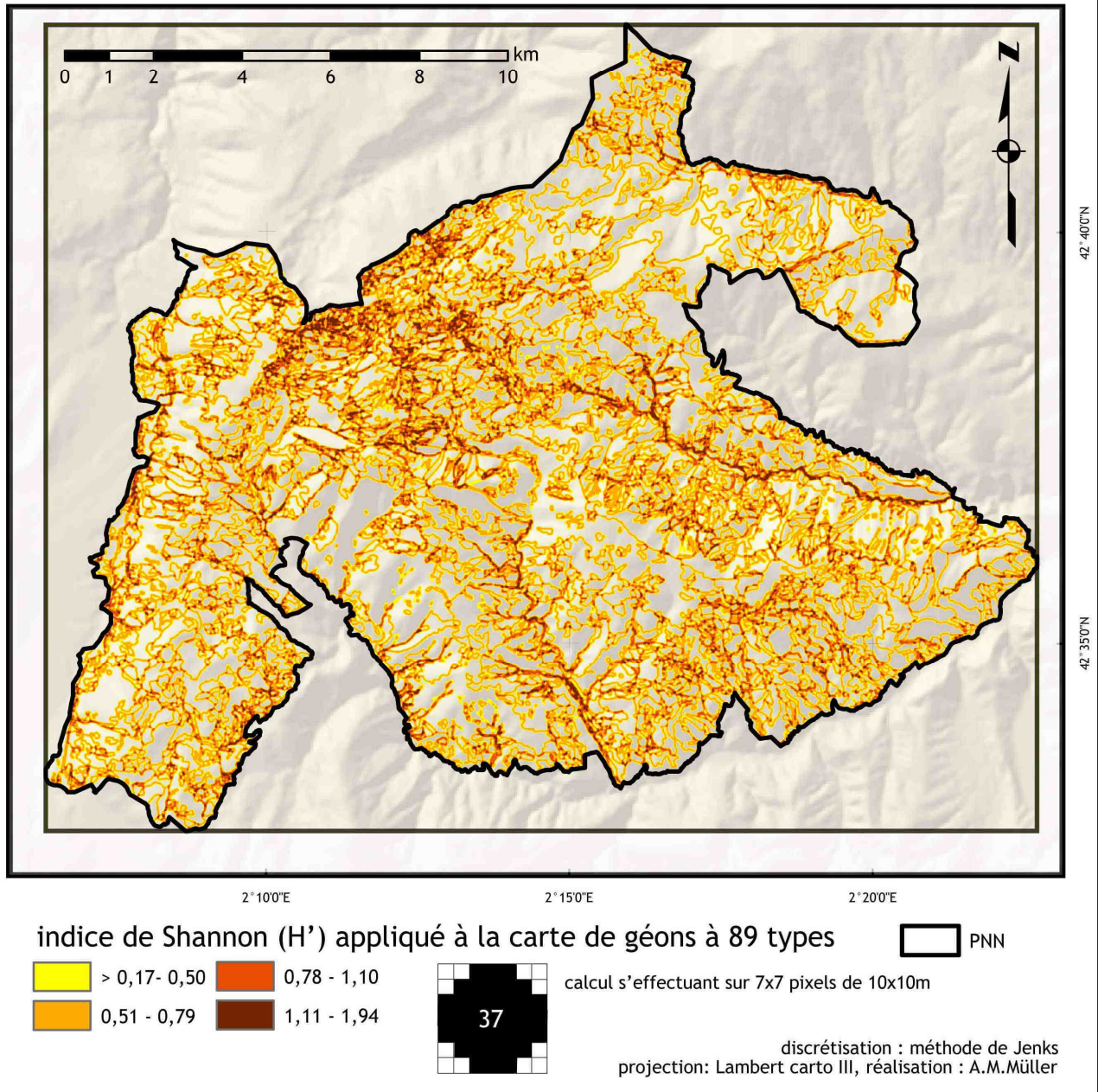
Les cartes à 12 et 21 catégories de géons reflètent déjà la richesse paysagique de la partie sommitale du Madres, entre autres par la distinction des landes, landes-pelouses et prairies. Par rapport à la carte à 89 Types de géons, on peut cependant remarquer que d'autres secteurs disposent d'une richesse comparable, comme les parties basses des vallées d'Evol et de Nohèdes ainsi que l'étage intermédiaire sur le flanc sud-est du Mont Coronat, entre Marignans, Jujols, voire Evol (carte à 12 groupes de géons). Le secteur relativement « monotone » de l'ombrée de Mosset au nord-est apparaît sur les trois cartes à 12, 21 et 89 types de géons, mais les secteurs plus pauvres en nombre de différentes unités paysagères sur la soulane de Garrotxes (entre Oreilla et Sansa) ainsi qu'au sud-est du Mont Coronat (rive gauche de la rivière d'Evol dans la partie intermédiaire de la vallée) apparaissent seulement sur la carte de la richesse à 89 types de géons.

Indices paysagers de diversité

Des indices comme la taille moyenne des polygones, la densité des bordures, ou des indices de formes par hexagone peuvent être extraits avec l'utilitaire « patch analyst », mais le découpage préalable de la carte des hexagones pour calculer ces indices les rend relativement difficile à interpréter puisque les bords des hexagones entrent dans le calcul. Il serait possible de calculer les indices de diversité de Simpson ou de Shannon pour chacun des 341 hexagones à 50 ha, mais la richesse en nombre de géons peut suffire pour ce type d'approche par hexagone. Les indices de diversité sont revanche plus intéressants si on les compare pour l'ensemble du massif pour les différents regroupements ou encore, si on les considère par type de milieu ou pour des secteurs plus « géographiques » comme les bassins versants.

En transformant la carte des géons de type vectoriel en image raster, il est possible de calculer avec le logiciel IDRISI l'indice de diversité de Shannon (H'). Pour ne pas perdre trop d'informations lors de la conversion de la couche vectorielle en image raster nous avons retenu une taille des pixels de 10 x 10 m permettant de reconnaître encore l'ensemble des géons cartographiés en ce qui concerne la carte à 89 types de géons. Le calcul s'effectue par chaque pixel en tenant compte de 7x7 pixels l'entourant. En résulte une carte d'aspect très proche de la carte des limites entre géons puisqu'elle exprime en raison de sa haute résolution les plus fortes diversités dans les zones de lisière (cf. carte 4.8 ci-dessous). L'indice de Shannon dépasse des valeurs de 0,78 surtout à proximité des talwegs et dans le secteur des crêtes sommitales et des vallées supérieures près du Madres. L'indice de diversité de Shannon peut s'appliquer aussi aux images satellites ou orthophotos mais ne reflète alors pas l'indice paysagique comme on l'entendra ici.

Indice de diversité de Shannon (H') pour la carte de géons à 89 types



Carte 4.8 : Indice de diversité de Shannon (H') appliqué à la carte de géons à 89 types

Carte des géons à résolution 10x10m ; Réalisé avec Idrisi et ArcGIS. Cartographie : A Müller

Enfin la transformation de la carte des géons en image raster a été nécessaire pour réaliser des calculs d'indices paysagers avec FRAGSTATS, logiciel développé pour la gestion de la faune sauvage en écologie du paysage par Kevin Mc Garigal (McGarigal et Marks, 1995).

Entre autre, il est possible de calculer les indices de diversité de Simpson et de Shannon pour l'ensemble de la mosaïque paysagère du Madres-Coronat (cf. fig. 4.41 ci-dessous). En fonction du niveau de regroupement de géons choisi, les indices de diversité décroissent. En raison du nombre de géons plus important, les indices de diversité sont plus élevés pour la carte à 89 types de géons (SHDI 3.56, SIDI 0.95). En comparant les indices de diversité de Shannon et de Simpson, on peut observer que l'indice de Shannon décroît plus rapidement : comme mentionné plus haut, le nombre de géons de types différents intervient davantage dans le calcul de l'indice de Shannon.

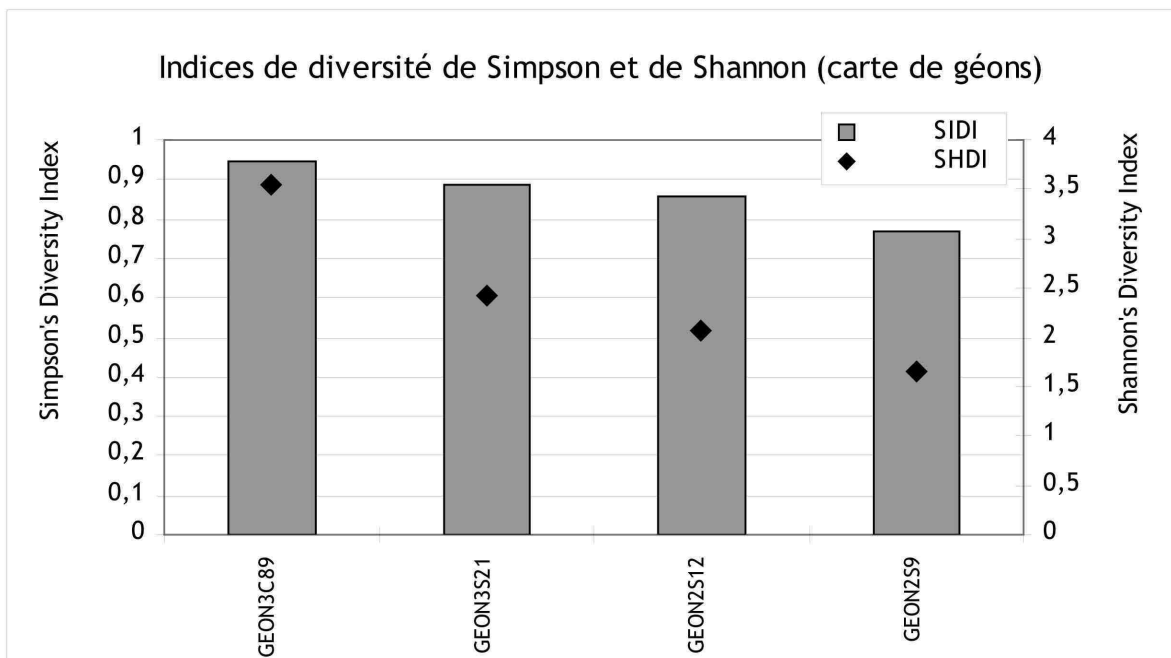


Fig. 4.41 : Indices de diversité pour la carte des géons en fonction du niveau de regroupement retenu

Indices de diversité de Shannon (SHDI=H') et de Simpson (SIDI = 1-D) pour les cartes des géons à 89 types (à gauche) , à 21 , 12 types et 9 groupes de géons; Calcul réalisé sur images raster à 10x10m avec FRAGSTATS.

L'indice de diversité tient compte de la surface relative de chaque type de géon dans un « paysage » qui correspond en occurrence au périmètre d'étude (PNN), le SIC Madres-Coronat. A la différence du critère de richesse, l'indice de diversité ne dépend moins de la surface considérée, il est de ce fait plus intéressant pour la comparaison des différents secteurs du massif. Les indices de Simpson et de Shannon ont ainsi été calculés pour chaque bassin versant à partir de la carte des géons à 21 groupes (cf. fig. 4.42 ci-dessous).

Indices paysagers par secteurs d'étude

Les valeurs des indices de diversité sont globalement assez comparables pour les bassins versants du massif, à l'exception du bassin versant audois (Capçir : CAP) où les indices de diversité sont relativement faibles malgré un nombre de géons différents comparable aux autres bassins versants. Dans les six bassins versants du périmètre d'étude PNN on trouve entre 19 et 21 groupes de géons différents en ce qui concerne la carte à 21 groupes de géons. Le faible indice de diversité en Capcir s'explique par la (pré-)dominance de deux types de géons : les forêts de résineux et les

prairies. On remarquera aussi, que la diversité est plus élevée dans le bassin versant de Nohèdes : on y trouve là également la valeur la plus élevée pour l'indice d'équitabilité de Simpson (0,91). La diversité paysagique la plus élevée dans le bassin versant de Nohèdes peut s'interpréter par une vallée supérieure fortement variée d'un point de vue paysagique et par un relatif équilibre entre les ombrées généralement boisées et les soulanes dominées par des landes et pâtures.

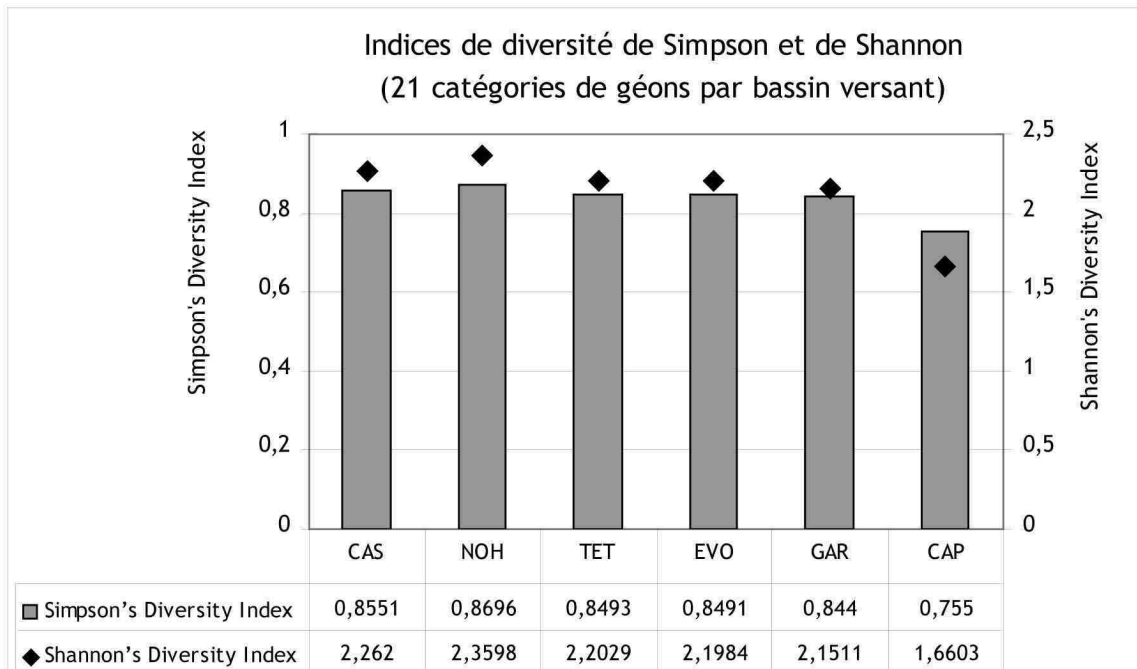


Fig. 4.42 : Indices de diversité par bassin versant pour la carte des géons à 21 groupes

Indices de diversité de Shannon (SHDI= H') et de Simpson (SIDI = $1-D$) appliqués au bassin versant de la Castellane (CAS) de Nohèdes (NOH), de la Têt (TET), d'Évol (EVO), des Garrotxes (GAR) et du Capcir (CAP)

On peut appliquer ces indices de la même manière sur les niveaux altitudinaux, on pourra alors constater (cf. fig. 4.43 ci-dessous) que le niveau altitudinal correspondant approximativement à l'étage supraméditerranéen (NIV2) se caractérise par la plus grande diversité : l'équitabilité y est particulièrement forte (indice d'équitabilité de Simpson 0,9337) et les 21 groupes de géons y sont représentés. Avec une équitabilité presque identique (indice d'équitabilité de Simpson 0,9345) le niveau altitudinal correspondant à l'étage alpin et subalpin supérieur (NIV5) dispose d'une diversité paysagique toutefois plus faible puisqu'on y trouve seulement 11 types de géons. On peut attirer l'attention sur le fait que la surface occupée par un étage altitudinal intervient encore indirectement dans la mesure par un nombre plus faible d'unités paysagères différentes.

Une façon de réduire le poids de la surface sur la mesure de la géodiversité peut être la considération de la densité des unités paysagères qui exprime indirectement la compacité de la mosaïque paysagère. Elle se mesure en divisant le nombre totale d'unités paysagères cartographiées par la surface totale du « paysage » considéré : La densité est ici représentée par le nombre d'unités paysagères par hectare. Il apparaît alors (cf. même fig. 4.43 ci-dessous), que les niveaux altitudinaux aux plus forts indices de diversité (NIV2 et NIV3) sont en fait aussi les plus monotones, mais ils sont les plus fortement représentés avec respectivement 5814 et 9154 ha.

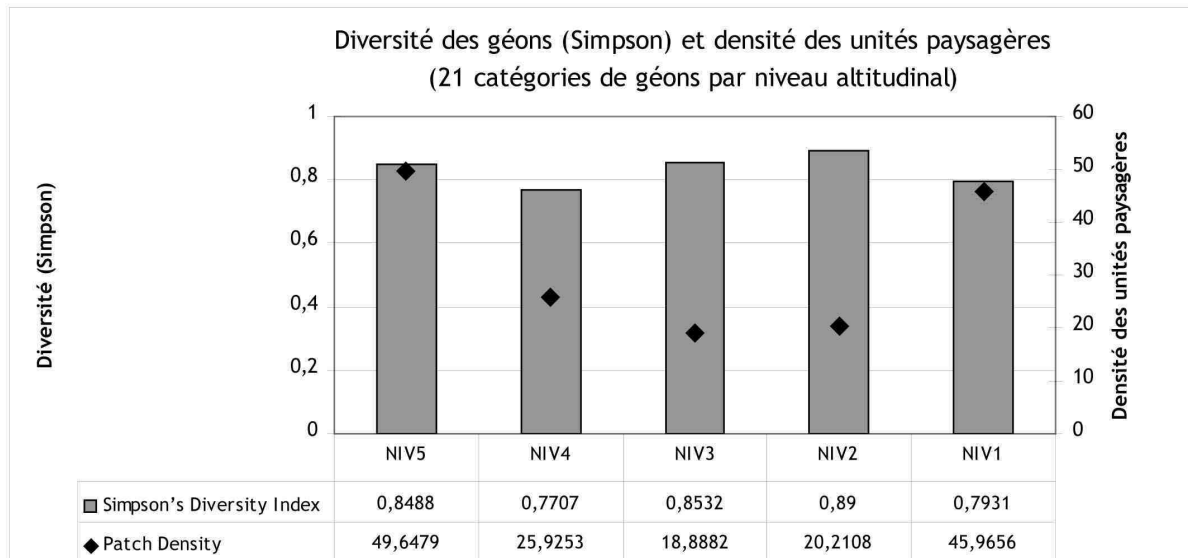


Fig. 4.43 : Indice de diversité et densité des unités paysagères par niveau altitudinal bassin

Indices de diversité de Simpson (SIDI = 1-D) appliqués sur la carte des géons à 21 groupes par niveau altitudinal : NIV <700m, NIV2 : <1300m, NIV3 : <1800m, NIV4<2100m, NIV5 >=2100m

4.3.3. Mise en relation de la diversité mésologique et paysagère

4.3.3.1. Mise en relation des données de relevés de terrain avec la carte des géons

Association des classes de milieu aux géons cartographiés

L'attribution des relevés aux géons cartographiés consiste en une application directe de la clé d'interprétation des géons (cf. tab. 3.30 chap. 3.2 et tab A-2, annexes) et ne pose pas de difficultés particulières.

Concernant les 89 types de géons cartographiés, nous avons effectué des relevés dans 35 de ces types et jusqu'à 8 relevés dans un même type de milieu (8 relevés dans la « pinède indifférenciée » PIN). L'attribution des relevés retenus aux différents types et groupes de géons peut être consultée dans le tableau A-4 (cf. annexes). Afin d'associer les relevés aux géons cartographiés, il faut se situer à un niveau de regroupement supérieur. En ce qui concerne les 21 catégories de géons du niveau de regroupement 3S, seulement les milieux anthropisés (URB, CUT) et les surfaces en eau (EAU) ne sont pas représentés par les milieux. Les relevés peuvent ainsi être associés à la carte à 21 groupes de géons, mais il est plus intéressant encore de les associer au niveau de regroupement à 12 ou à 9 catégories de géons, pour éviter que certains des milieux soient représentés par un seul relevé (par exemples RIP, ZHB, EZR et FRI). En retenant ici 9 catégories de géons, chaque type de milieu est représenté par au moins 3 relevés même si on tient compte seulement des 54 relevés réalisés en 2006 et 2007 avec un relevé floristique et pédologique complet. On peut ainsi mettre en évidence des caractéristiques « moyennes » des relevés mésologiques en fonction du niveau du regroupement et les associer à la cartographie de la diversité paysagique latérale.

4.3.3.2. Diversité des structures verticales et matériaux associés aux géons

En retenant l'ensemble des 72 relevés mésologiques complets on peut attribuer au minimum 5 relevés à chacun des sept groupes de milieux sur la carte à 9 groupes de géons, donc aux 7 groupes de milieux qui ont fait l'objet de relevés, excluant les zones artificialisées (notamment urbaines, AT) et les lacs (EA).

En associant les moyennes du nombre de matériaux différents et du nombre d'hoplexols aux sept principaux milieux (RO, FF, FM, L, P, RS, ZH) représentés par la carte des géons à 9 groupes, on obtient des cartes assez similaires (cf. carte 4.9 ci-dessous) reflétant deux aspects de la diversité paysagique en tenant compte d'éléments mésologiques. La richesse des matériaux et la richesse des hoplexols sont plus importantes dans les milieux forestiers que dans les milieux ouverts et rocheux.

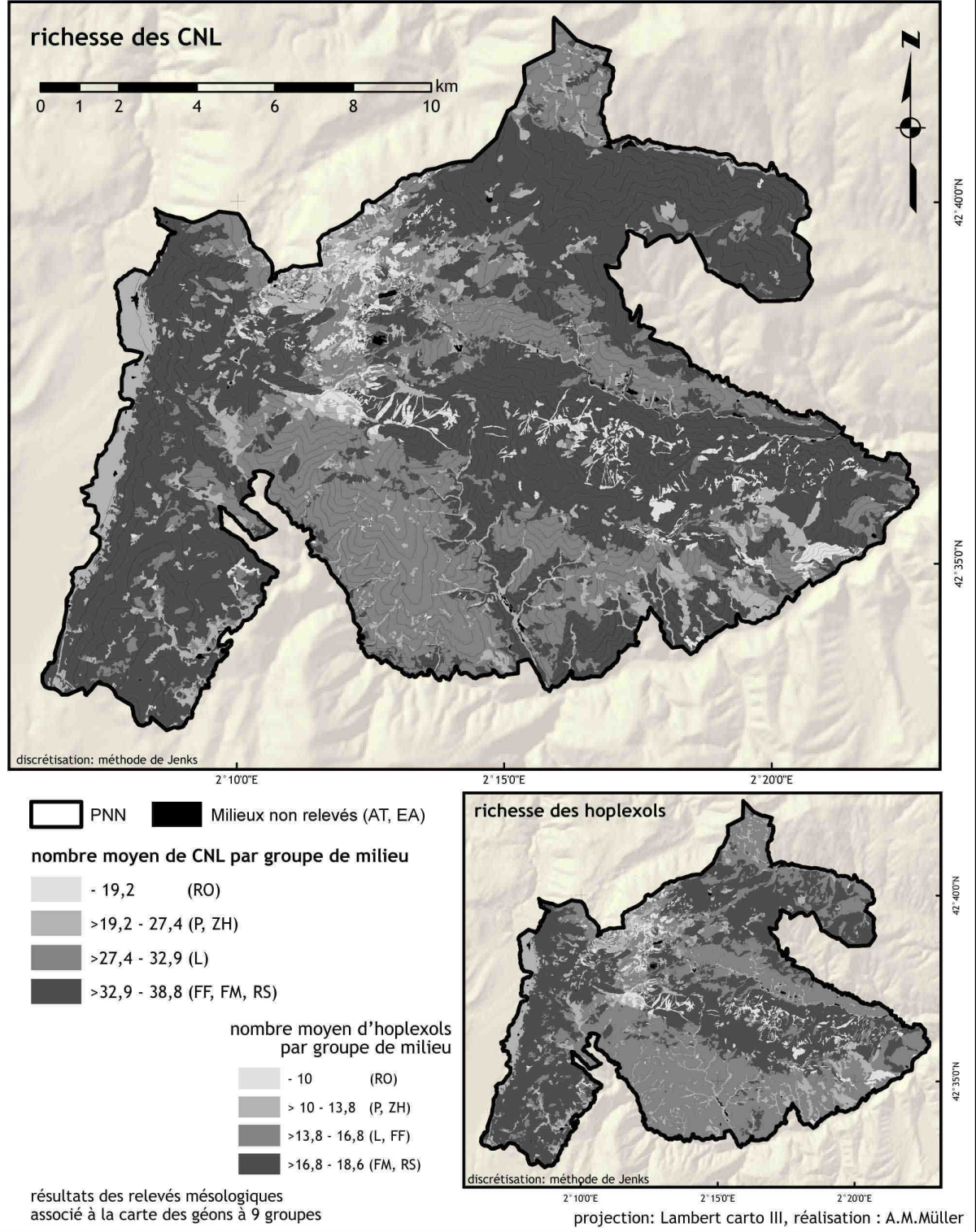
Il faut considérer ces cartes avec un certain recul puisque les relevés associés à un même groupe de géons ne se ressemblent pas toujours en ce qui concerne le nombre des CNL différents ou le nombre d'hoplexols recensés. Ceci est particulièrement le cas pour les relevés dans les milieux rocheux et les zones humides où le coefficient de variation pour le nombre de matériaux peut atteindre 0,47, respectivement 0,55. La variation du nombre d'hoplexols dans les différents relevés

associés à un des sept groupes de milieux est plus faible : le coefficient de corrélation ne dépasse jamais 0,19. Le nombre de CNL moyen est le plus élevé dans la forêt mixte où on peut s'attendre en moyenne à 39 différents types de matériaux, donc deux de plus que dans les forêts à feuillus ou à résineux. C'est également dans ces trois types de milieux qu'on recense en moyenne 17 à 19 « strates » ou hoplexols, les hoplexols inférieurs (sols & formations superficielles) étant bien évidemment compris. Dans les forêts de résineux nous avons constaté en moyenne une stratification un peu plus « riche » (18,6 hoplexols) que dans les forêts de feuillus (16,8 hoplexols)

Un autre aspect de la diversité paysagique, celui de l'équitabilité des matériaux rassemblés dans un milieu, pris en compte par les mesures de diversité (ici l'indice de diversité de Simpson cf. carte 4.10 ci-dessous). Il constitue en quelque sorte une inversion, un « négatif » des cartes de la richesse matérielle et structurelle. En tenant compte de tous les matériaux, dont l'aérophyse fort dominant, l'indice de diversité de Simpson calculé pour la diversité des CNL par relevé occupe des valeurs relativement faibles. Ils varient entre 0,47 et 0,76 si on tient compte du volume de l'ensemble des 103 matériaux relevés et entre 0,46 et 0,72 si on considère le pourcentage des volumes des 44 orthotypes de CNL. Les valeurs sont donc sensiblement égales pour ces deux mesures et se différencient tout au plus de 0,032 unités. Les deux cartes résultantes se ressemblent fortement avec comme seule différence un effet de discrétisation, regroupant les zones humides aux forêts de résineux dans la classe des plus faibles indices de diversité sur la carte tenant compte des orthotypes. L'attribution des forêts de résineux (les pinèdes) dans la classe de la plus faible diversité s'explique, comme le suggère la carte de la richesse matérielle, par la dominance de certains matériaux (coniphyse, aérophyse, ...) et non par une faible richesse. La valeur moyenne de l'indice d'équitabilité de Shannon (Shannon E) est en effet la plus faible pour les forêts de résineux elle atteint seulement 0,33 (pour les volumes de 103 matériaux) et pour les forêts en général, alors qu'elle est relativement importante pour les landes et pelouses avec respectivement 0,51 et 0,62. Ainsi il est compréhensible que les landes et pelouses manifestent des valeurs plus importantes de diversité. Les zones humides constituent un cas particulier avec un fort coefficient de variation en ce qui concerne les moyennes des indices de diversité et d'équitabilité. Ceci est dû au fait que les ripisylves, les zones humides boisées et les zones humides ouvertes sont rassemblées en un seul groupe. Pour les trois relevés des zones humides boisées et ripisylves (R4, R48 et R15) l'indice de diversité ne dépasse en effet pas 0,42 en raison de la dominance de l'aérophyse.

L'intervention de l'équitabilité des volumes des matériaux sur la mesure de la diversité constitue ainsi une façon de rendre compte de la composition des milieux : un meilleur équilibre des volumes des différents CNL réunis dans un milieu contribue à la diversité dans la mesure qu'une répartition équilibrée d'arbres, d'arbuste et d'herbacées contribue à l'impression structurelle de variété. Ces deux facettes de la diversité, l'équitabilité et la richesse se complètent et peuvent se reconnaître sur les cartes ci-dessous se fondant sur la carte des géons à 9 classes. Nous avons également réalisé des cartes reliant les données mésologiques à la carte à 21 groupes de géons. Les résultats sont assez similaires, mais les cartes sont moins bien lisibles à la petite échelle de reproduction retenue ici. De surcroît le classement de certaines classes de milieux à partir des données de terrain se fonde parfois sur un seul (ZHB, RIP, EZR, FRI) ou sur deux relevés (FEU, FRC, LPL, EBU, ROC) seulement. Dans l'esprit d'une généralisation des résultats de terrain, les cartes suivantes seront donc considérées comme le meilleur compromis.

Richesse mésologique matérielle et structurale

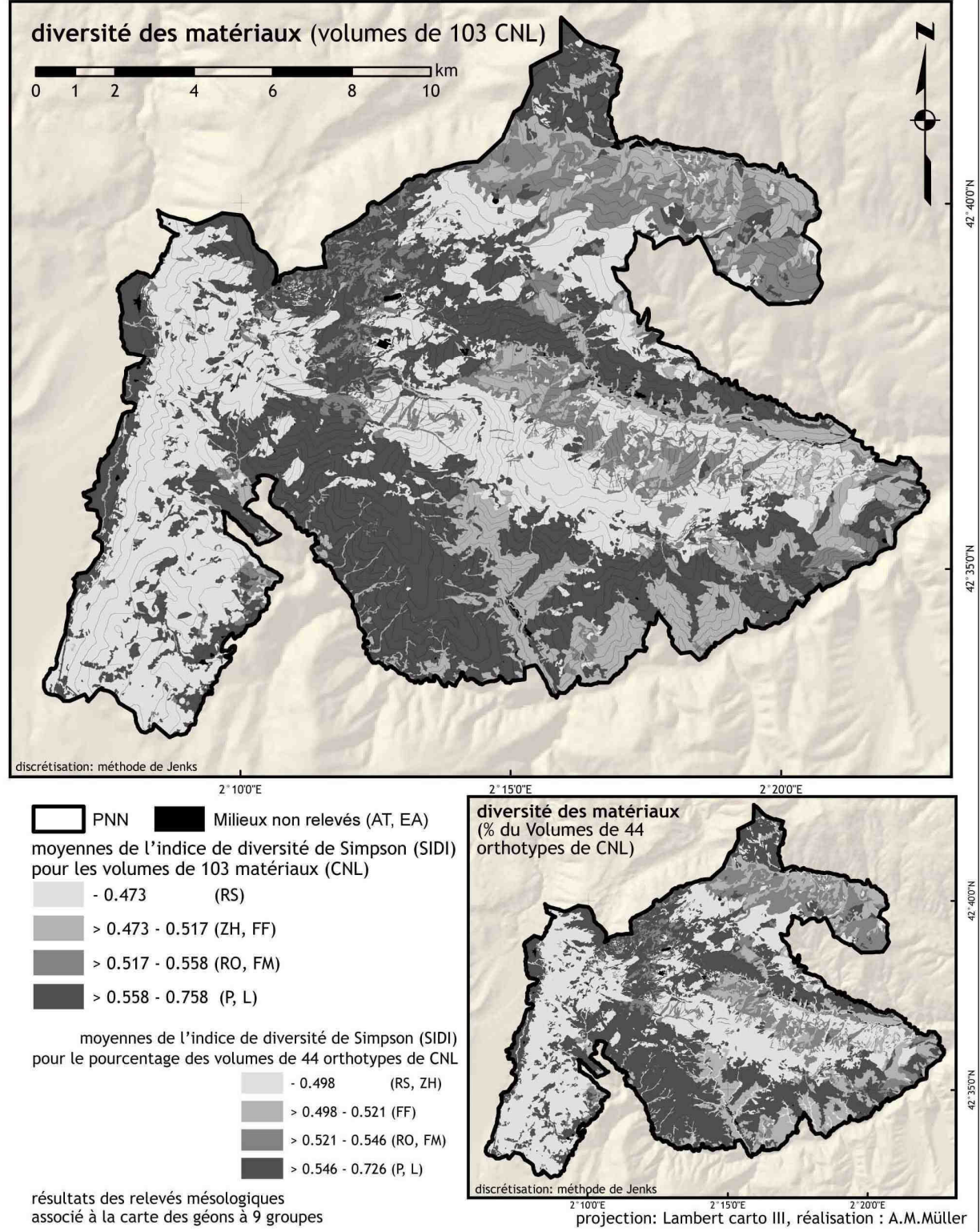


Carte 4.9 : Richesse en matériaux des structures verticales associées aux 7 groupes de milieux relevés de la carte de géons à 9 classes

Cartes de la richesse des CNL (en haut) et des hoplexols (en bas à droite) moyenne de 72 relevés, associés à la carte des géons à 9 groupes, dont 2 n'ont pas fait d'objets de relevés (AT, EA: plages noires)

Cartographie : A Müller

Diversité mésologique (matérielle) à l'échelle paysagique



Carte 4.10 : Diversité des matériaux associé aux 7 groupes de milieux relevés de la carte de géons à 9 classes

Carte des moyennes de l'indice de Simpson concernant la diversité des CNL de 7 différents groupes de milieux.

L'indice de diversité de Simpson a été évalué pour les volumes de 103 matériaux (en haut) et pour le pourcentage des volumes de 44 orthotypes de matériaux (en bas à droite) sur 72 relevés associés à la carte des géons à 9 groupes. Cartographie : A Müller

La mise en évidence de la diversité mésologique se fait essentiellement par la quantification des composantes qui composent le milieu naturel, les corps naturels localisés (CNL). Leur distribution s'exprime par les volumes qu'ils occupent au sein d'un milieu, plus précisément au sein d'un holoplexion. Une première mesure de la diversité mésologique passe ainsi par la quantification des différents types de CNL au sein d'un holoplexion. La diversité des milieux peut en outre se décrire par des analyses factorielles des CNL par holoplexion, permettant de différencier les milieux et de créer des classes de milieux de composition similaire ou proche. Les holoplexions, définis par l'extension verticale d'un milieu depuis les formations superficielles jusqu'à la cime des arbres peuvent se subdiviser en hoplexions, ces « strates » ou « géohorizons » regroupant des matériaux caractéristiques comme les végétaux arborés (supraplexion), les herbacées (métaflexion supérieur) ou les formations superficielles (infraplexion). Une description des hoplexions, toujours par volumes de CNL, met ainsi en évidence la structure verticale des milieux et permet une différenciation plus fine des milieux par des compositions caractéristiques des CNL dans chacun des cinq hoplexions. Enfin, dans chaque holoplexion, les CNL ont été décrits par « géohorizons » élémentaires, les hoplexols, au nombre variable en fonction des caractéristiques réelles du milieu. Le nombre d'hoplexols fournit ainsi une mesure de la richesse structurale des milieux, c'est-à-dire une mesure de l'intensité de la « stratification » des milieux.

La caractérisation de la diversité paysagique du massif se fonde sur la cartographie des géons, unités spatiales élémentaires représentant les « milieux ». Les cartes des géons et les cartes associées ont mis en évidence la mosaïque des milieux, sans qu'on se soit ici attardé sur la description des mosaïques par d'autres statistiques que le portrait des types, surfaces, de la densité, de la richesse et de la diversité des géons dans le périmètre d'étude. Il s'agit des paramètres essentiels pour la description de la diversité paysagique, même si de nombreux autres « indices paysagers » fournissent des informations intéressantes sur la structure des paysages (Lang, 1999; Walz, 1999; McGarigal, Cushman *et al.*, 2000; Walz, 2000; Walz, Lütze *et al.*, 2004; Botequilha Leitão, Miller *et al.*, 2006; Walz, 2006; Lang et Blaschke, 2007).

La carte des géons constitue ainsi le fondement pour une description de la diversité paysagique que l'on peut analyser par secteurs d'étude ou par une grille de secteurs de surface homogène, mieux adaptées à la mesure de la richesse des géons.

L'analyse spatiale de la diversité paysagique se complète enfin si on associe les relevés de terrain aux unités spatiales cartographiées. La richesse et la diversité des matériaux ainsi que la richesse structurale (nombre d'hoplexols) moyenne par type de milieu, rattachées à la cartographie des géons livrent un aperçu sur la géodiversité morphologique du massif.

4.4. Complémentarité des approches disciplinaires et intégrées

4.4.1. Diversité des sols et de la flore dans les milieux naturels

4.4.1.1. L'association des relevés pédologiques et floristiques aux relevés mésologiques

L'attribution des relevés aux géons permet d'associer les relevés pédologiques et les relevés floristiques aux différents types de milieux. Afin de conserver au minimum trois relevés par type de milieu, nous avons retenu pour l'association des relevés mésologiques aux relevés pédologiques et floristiques le niveau de regroupement à 9 classes. Deux classes, les zones fortement anthropisées et les surfaces en eau, occupant dans l'ensemble moins de 0,34% de la surface du terrain étudié n'ont pas fait l'objet de relevés. En conséquence on recense parmi les 54 relevés retenus 6 relevés de prairies (PL), 11 relevés de landes, maquis/garrigue et friches (LAN), 3 relevés de milieux à composante rocheuse dominante (RO), 3 zones humides (ZH), 12 forêts de feuillus tenant compte des forêts de type méditerranéen et ouvertes (FF), 3 relevés de forêts mixtes (FM), et 16 relevés de forêts de résineux (RS). Dans ce dernier groupe (RS) on peut par ailleurs, si on le souhaite, différencier 3 relevés dans les forêts de résineux (pinèdes) claires (RSO).

Il est alors possible de décrire pour chaque type de milieu les espèces qu'on y rencontre, les types de sols ou les caractéristiques pédologiques dominantes.

Il est théoriquement possible d'associer les relevés floristiques et pédologiques à la cartographie des milieux, mais à l'échelle du massif il s'agirait d'une simplification abusive de la spatialisation des données, surtout avant d'avoir mis en évidence si un type de sol s'associe bien à un type de milieu. Nous avons donc évité d'associer les résultats des analyses pédologiques et floristiques à la carte des géons.

4.4.1.2. La « diversité pédologique »

Contrairement au cas de la biodiversité, il n'existe pas une définition propre et (re-) connue d'une pédodiversité. Après des amples considérations sur la diversité paysagère et la géodiversité nous n'avons pas voulu encore entamer la question d'une diversité pédologique. Elle a donc été considérée tout simplement comme une diversité des sols sans s'étendre ici sur des précisions de la nature de cette diversité.

La diversité des sols peut sans doute se saisir par de nombreux paramètres de nature très différente métriques, ordinales ou nominales, nous en avons recensé quelques-uns mais il n'y a pas une mesure à l'image de la diversité spécifique permettant de qualifier de façon simple la diversité des sols dans un périmètre d'étude et encore moins de le différencier au sein d'un même milieu.

Si on envisagerait de caractériser la diversité des sols par une approche taxonomiste, on pourrait le faire par la richesse des types de sols que l'on peut rencontrer dans un secteur donnée. Or, se pose là le problème du caractère intrinsèquement continu des sols, rendant une délimitation,

comme réalisé pour les espèces impossible et nécessaire le choix d'un référentiel pédologique, autrement dit d'une classification des sols. En vue des différences entre les typologies mises en évidence dans le chapitre 3, ce choix est assez délicat pour une mesure de la diversité des sols. En outre se pose alors un problème pour la mesure de cette richesse taxonomique des sols : puisque les sols échappent au regard une délimitation des types dans l'espace nécessite de multiplier les échantillons et de les répartir de façon probabiliste ou systématique.

On pourrait également envisager la construction d'indices de diversité à partir de propriétés davantage « mesurables » comme les propriétés physiques ou chimiques des sols. S'offrent là de nombreuses possibilités, de nombreuses combinaisons possibles sans qu'un choix particulier plus ou moins idéal s'impose. Si on tient compte de paramètres continus, des classifications sont nécessaires pour une mesure de la diversité. Si on retient des caractères décrits de façon nominale ou ordinale, c'est les typologies qui vont imposer la diversité.

Une façon de décrire la diversité pédologique a été mise en évidence par l'analyse intégrée des milieux : la description des matériaux du métaplexion inférieur et dans une moindre mesure de l'infraplexion et du métaplexion strict sont une façon de décrire des nuances de la morphologie pédologique. On y constate des différences de volumes et de granulométrie, de la nature du substrat et de l'humidité, une stratification particulière des signes d'hydromorphie ou encore la présence de concrétions. Tous ces caractères peuvent être pris en compte simultanément.

Une autre façon plus classique de description consiste à l'étude des types de sols, et des paramètres physico-chimiques qui ont mis en évidence la variété des sols du massif. La différenciation peut là aussi s'apprécier à l'aide de méthodes d'analyses multivariées dont nous avons fourni un exemple.

Une mise en relation des paramètres physiques et chimiques avec les caractères morphologiques du milieu nécessite une transformation des données. Il est par exemple possible de créer des classes de valeurs métriques pour comparer les caractères physico-chimiques métriques comme descripteurs de la diversité des sols avec la typologie du métainfraplexion dans une analyse factorielle des correspondances multiples, ou d'analyser des paires de variables soigneusement choisies par une analyse exploratoire préalable. Étant donné que la caractérisation des sols par l'analyse intégrée des milieux livre une vue d'ensemble très satisfaisante complétée par les analyses physiques et chimiques, nous nous contentons ici de signaler la possibilité de combiner ces données. En vue de l'absence d'une définition claire de la pédodiversité qui ne semble en outre pas constituer un enjeu de gestion environnementale dans le périmètre d'étude, nous nous sommes concentré sur le rapport entre la géodiversité mésologique et la phytodiversité.

4.4.2. Relation entre diversité floristique et matérielle

4.4.2.1. Richesse et diversité spécifique par milieu

En attribuant les 54 relevés floristiques aux différents types de milieu, plus particulièrement aux 7 groupes de milieux ayant fait l'objet de relevés dans le niveau de regroupement à 9 classes, on peut comparer les indicateurs de tendance et de dispersion pour l'indice de diversité de Simpson la diversité et pour la richesse floristique (cf. figure 4.43 et 4.44 ci-dessous).

En ce qui concerne l'indice de Simpson, les plus fortes valeurs sont observées pour les pelouses, les plus faibles pour les milieux rocheux (valeur zéro de l'indice de Simpson en raison d'une seule espèce déterminée sur 25 m² d'éboulis dans R62). En comparant cette figure de boxplots de l'indice de diversité de Simpson (SIDI) de la richesse spécifique avec celle de la richesse des CNL, on peut observer des parallèles comme une large amplitude (variance) de l'indice de diversité parmi les forêts de feuillus et de résineux, les milieux rocheux et les zones humides, ainsi que des valeurs fortes pour les milieux de landes, prairies, forêts mixtes et zones humides. Puisque la figure dans le chapitre de la diversité mésologique se réfère à 72 relevés, il est plus intéressant encore de comparer la figure concernant la richesse spécifique par milieu avec les indices de diversité pour les volumes de CNL concernant seulement les 54 relevés retenus (cf. figure 4.45 et 4.46 ci-dessous).

En comparant les quatre figures ci-dessous on peut remarquer que la variabilité est généralement plus élevée en ce qui concerne la richesse et diversité végétale qu'en ce qui concerne la richesse et diversité des matériaux « mésologique ».

L'écart est particulièrement élevée en ce qui concerne la diversité (donc l'indice de Simpson) des relevés effectués dans le groupe des landes (LAN), des milieux rocheux (RO), des forêts de résineux et de feuillus (RS, FF). L'écart interquantile de l'indice de Simpson en ce qui concerne les milieux rocheux s'explique cependant par le faible nombre de relevés (3) avec un faible nombre d'espèces peu dominantes (1 à 7 espèces). L'étendu (maximum - minimum) des valeurs de la richesse spécifique explique cependant bien les écarts de diversité dans les trois autres groupes de milieux. Notamment le groupe des « landes » est très hétérogène et concerne des relevés dans les friches, dans les formations végétales arbustives méditerranéennes, dans les landes-pelouses montagnardes et les landines subalpines. Dans le groupe des forêts de feuillus on agglomère également les chênaies méditerranéennes et les hêtraies montagnardes forts différents dans leur richesse et composition floristique. Les forêts de résineux, notamment sapinières et pinèdes se différencient pas tant sur le plan floristique mais la présence d'un relevé floristiquement parlant fort appauvri dans une pinède à pin sylvestre (R39 à 6 espèces) explique l'écart important des mesures de richesse et de diversité.

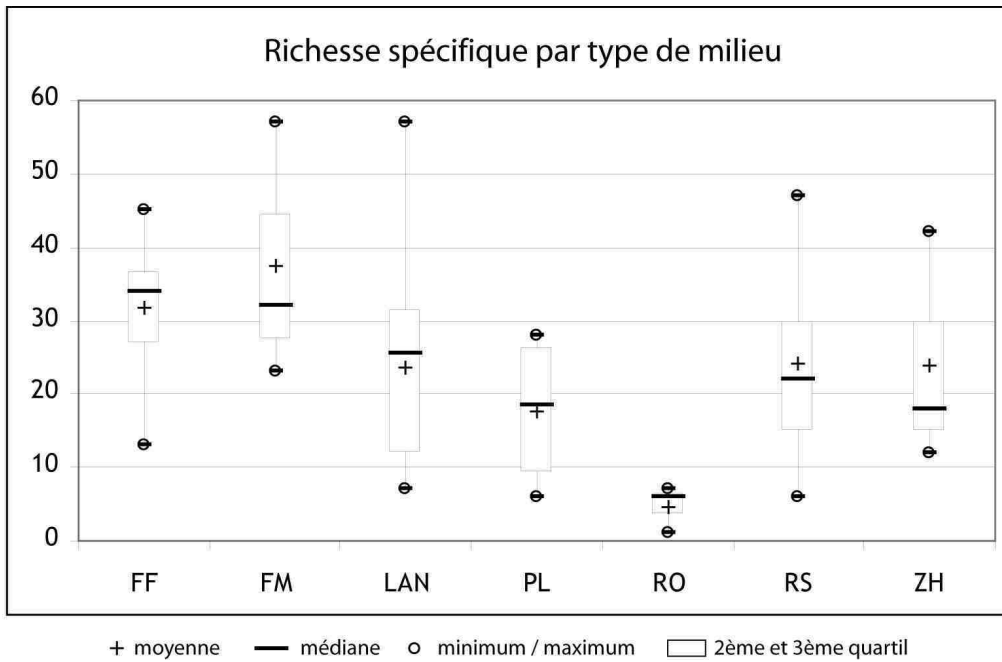


Fig. 4.43 : Richesse spécifique par type de milieu

Nombre d'espèces identifiées par milieux du niveau de regroupement des géons à 9classes ; FF : forêts de feuillus; FM : forêts mixtes ; LAN : landes, landes-pelouses, maquis/garrigues et friches ; PL : prairies et pelouses, RO : milieux rocheux ; RS : forêts de résineux (RS) ; ZH : zones humides

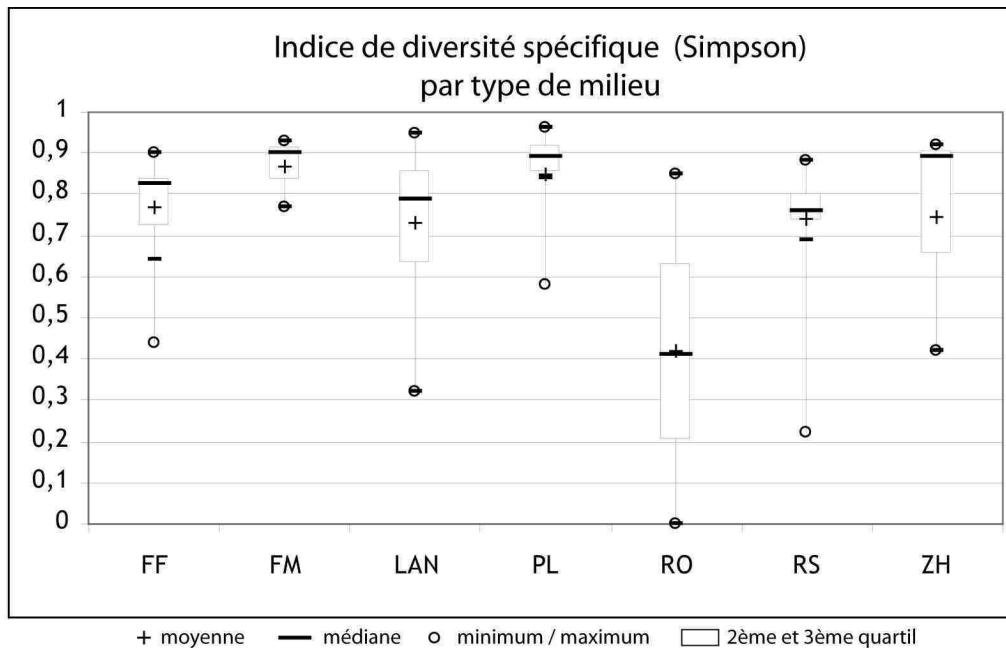


Fig. 4.44 Diversité spécifique par type de milieu

Indice de diversité de Simpson (1-D) aux milieux du niveau de regroupement des géons à 9classes. FF : forêts de feuillus; FM : forêts mixtes ; LAN : landes, landes-pelouses, maquis/garrigues et friches ; PL : prairies et pelouses, RO : milieux rocheux ; RS : forêts de résineux (RS) ; ZH : zones humides

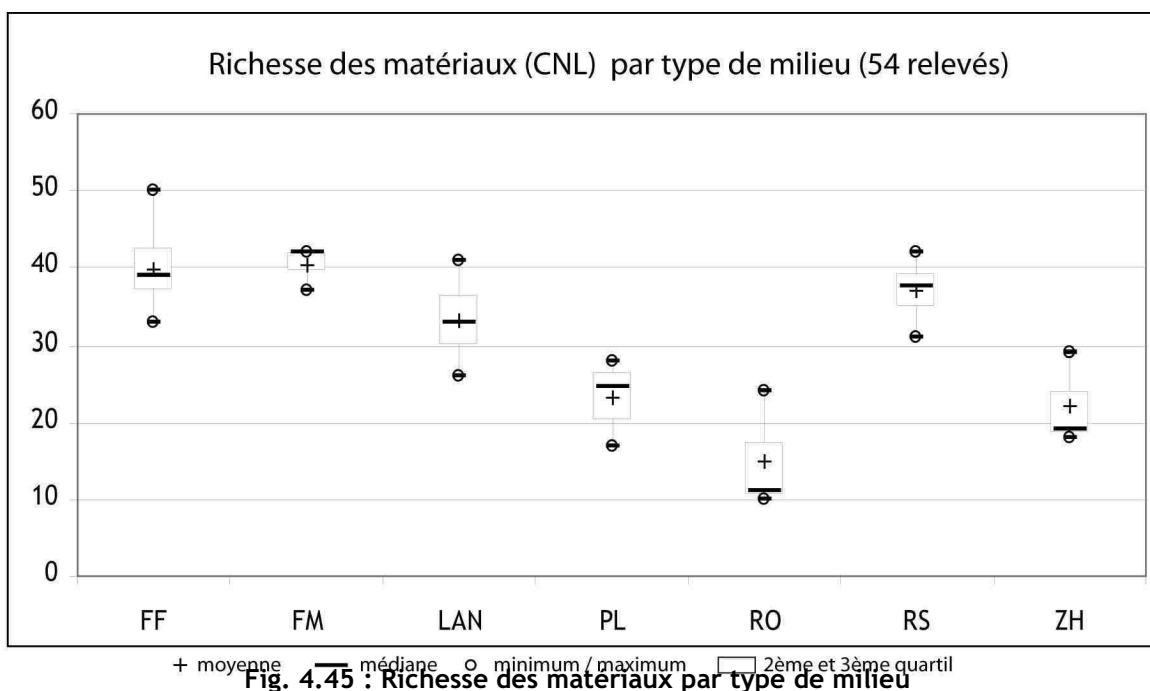


Fig. 4.45 : Richesse des matériaux par type de milieu

Nombre de CNL identifiées par milieux du niveau de regroupement des géons à 9classes. FF : forêts de feuillus; FM : forêts mixtes ; LAN : landes, landes-pelouses, maquis/garrigues et friches ; PL : prairies et pelouses, RO : milieux rocheux ; RS : forêts résineux (RS) ; ZH : zones humides

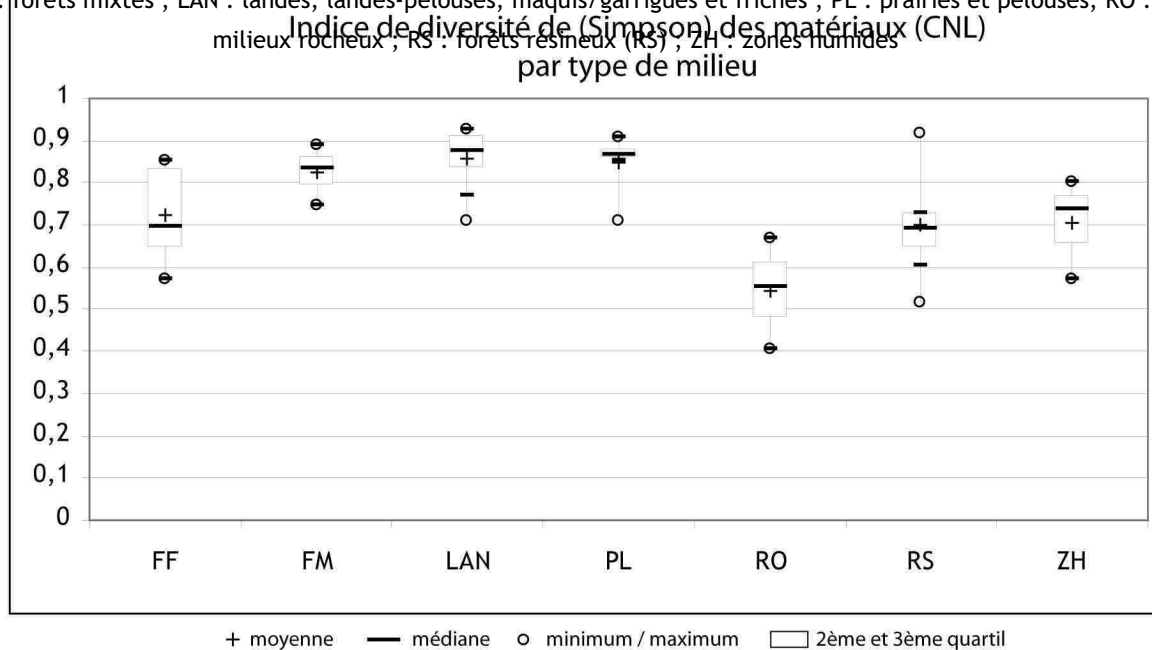


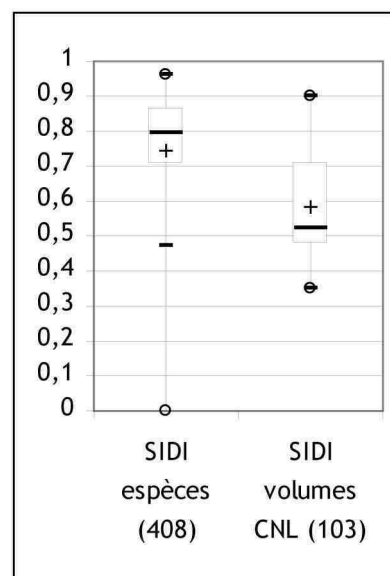
Fig. 4.46 : Diversité des matériaux par type de milieu

Indice de diversité de Simpson (1-D) appliqué aux volumes de 103 matériaux des 54 relevés retenus et classés par types de milieux du niveau de regroupement des géons à 9classes. FF : forêts de feuillus; FM : forêts mixtes ; LAN : landes, landes-pelouses, maquis/garrigues et friches ; PL : prairies et pelouses, RO : milieux rocheux ; RS : forêts résineux (RS) ; ZH : zones humides

On peut résumer que l'étendu plus importante de la richesse floristique (entre 1 et 57 espèces) que de la richesse des matériaux (10 à 50 CNL différents par relevé) influence aussi les écarts de diversité. Le nombre très variable d'espèces par type de milieu est par ailleurs la raison principale pourquoi nous nous sommes abstenus de tenter une cartographie, même ponctuelle de la phytodiversité à l'échelle des cartes reproduites ici. La généralisation par de la phytodiversité par types de milieu est rendu difficile par la forte variabilité des relevés floristiques.

Fig. 4.47 (ci-contre) : comparaison des indices de diversité pour les relevés floristiques et mésologiques.

Indices de diversité de Simpson (1-D) évalué sur 54 relevés d'espèces végétales et de volumes de matériaux selon la typologie à 103 types de CNL



4.4.2.2. Relation entre diversité floristique et matérielle

Une mise en relation des relevés floristiques et des relevés mésologiques, c'est-à-dire avec les données reflétant la morphologie des milieux par la structure et composition peut cependant s'envisager en comparant directement la richesse et la diversité des espèces avec le nombre et la diversité des matériaux. La distribution des deux variables de richesse sur un graphique de corrélation suggère une liaison qui fait l'objet d'une analyse bivariée.

La mise en relation directe de la richesse floristique et de la richesse des matériaux (CNL) pour les 54 relevés R20 à-R79 nécessite de préciser la distribution des données : Malgré un histogramme à l'aspect bimodal (cf. fig. 4.3 chap. 4.2.1.x) le test de normalité de Shapiro-Wilk confirme la distribution normale de la richesse spécifique pour ces 54 relevés retenus (niveau de signifiante 0.05). En revanche la richesse des matériaux ne suit pas une distribution normale mais montre une distribution dissymétrique à droite ayant pour conséquence la réfutation du test de Shapiro-Wilk. En raison du nombre de relevés (>50) et en raison de la normalité confirmée des résidus de la régression linéaire nous avons procédé à un test de corrélation selon Bravais-Pearson. La corrélation est de 0,5869, donc significative pour une probabilité $\alpha = 0,05$.

Nous avons également testé la corrélation pour les indices de diversité (de Simpson) pour les 408 espèces relevées et les volumes des matériaux. Le graphique de corrélation laisse suggérer

l'absence d'une relation significative pour les indices si on tient compte de l'aérophyse dans les volumes de CNL, ce qui se confirme par un coefficient de corrélation faible et négatif (t de Bravais-Pearson : - 0.1699). Si on écarte l'aérophyse la corrélation selon Pearson atteint 0,3465 (degré de liberté 52), signalant une faible relation linéaire mais significative avec $\alpha = 0.05$.

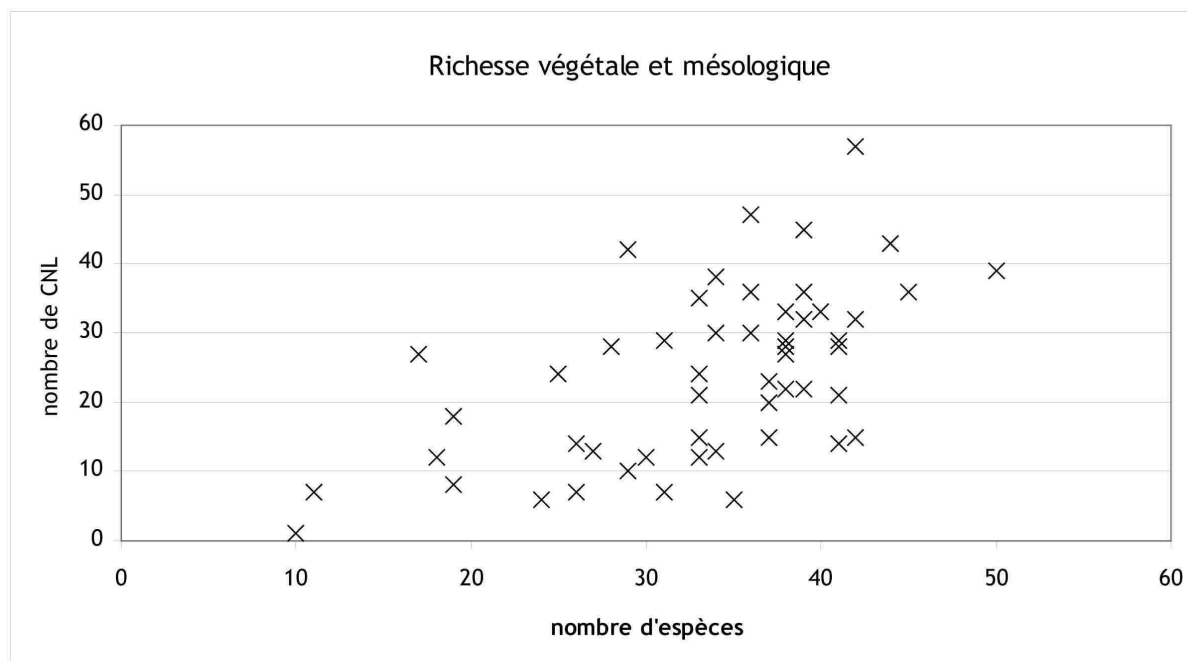


Fig. 4.48 : graphique de corrélation de la richesse spécifique et richesse des matériaux
 Indice de diversité de Simpson (1-D) pour 54 relevés : floristiques et volumes de 103 types de CNL

Tab 4.39 : statistiques de la régression linéaire richesse spécifique - richesse matérielle

Coefficient de détermination multiple (r de Pearson)	0,5870	
Coefficient de détermination R ²	0,3446	
Coefficient de détermination R ² ajusté	0,3319	
Erreur-type	6,93	
Observations	54	
Degré de liberté	52	
Intervalle de confiance	0.3788	0.7387

Bien que ces relations, soient peu accentuées, notamment en ce qui concerne les indices de diversité, elles traduisent toutefois un rapport entre la complexité matérielle des milieux et la richesse floristique. On peut en outre constater un rapport linéaire significatif entre la stratification des milieux, c'est-à-dire le nombre d'hoplexols et le nombre d'espèces. Il peut paraître surprenant que la corrélation soit un peu plus importante ($r = 0,497$) si on tient compte de l'ensemble des hoplexols que si on considère seulement les hoplexols « positifs » ($r = 0,480$), c'est-à-dire situés au-dessus de la surface du sol, mais un sol davantage stratifié, souvent plus profond est susceptible d'être lié à des milieux plus « développés » avec un plus grand nombre d'espèces.

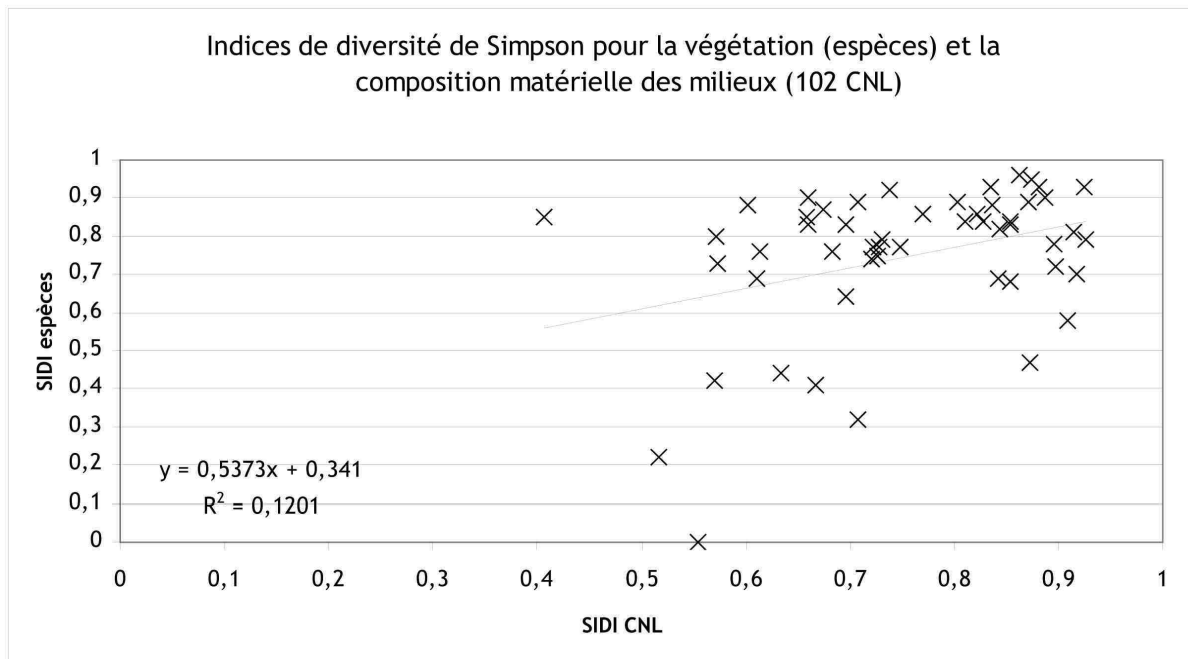


Fig. 4.49 : graphique de corrélation des indices de diversité spécifique et diversité des matériaux

Indice de diversité de Simpson (1-D) pour 54 relevés : floristiques et volumes de 103 types de CNL

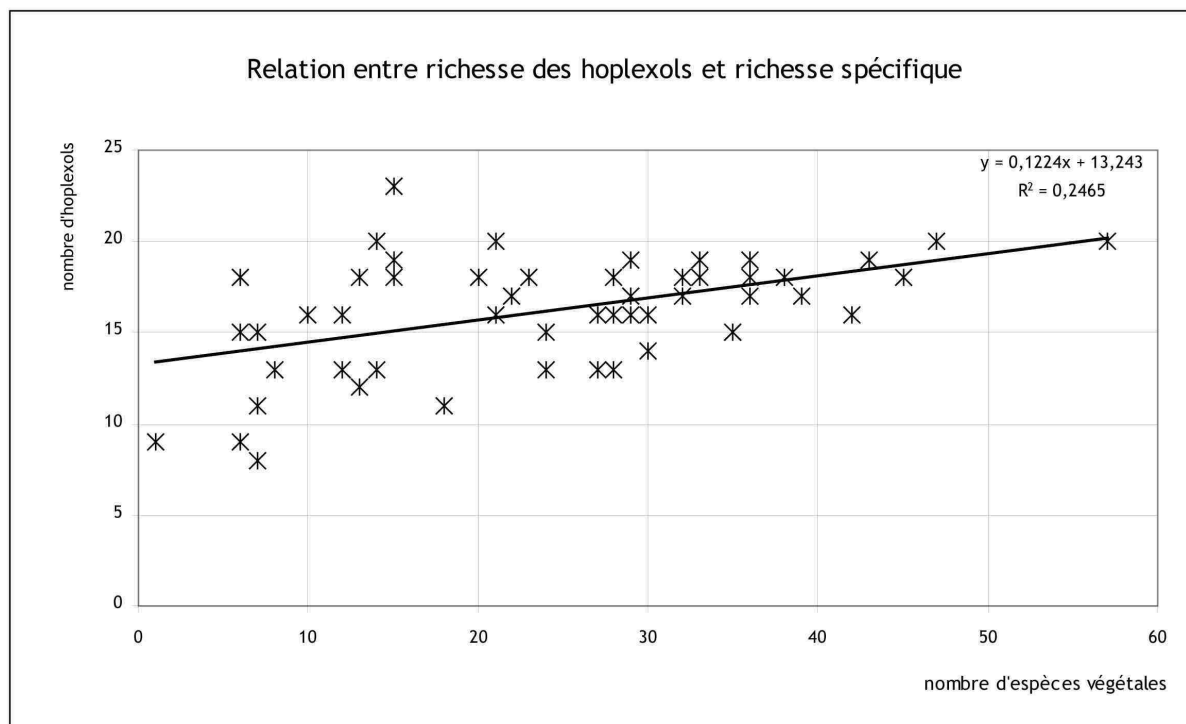


Fig. 4.50 : graphique de corrélation de la richesse spécifiques végétale et du nombre d'hoplexols

Concernant les 54 relevés retenus

Pour mettre en évidence la relation entre biodiversité et géodiversité, ou, dans notre cas, entre la diversité spécifique végétale et la diversité morphologique (physionomique) des milieux, il est naturellement nécessaire de se situer à une échelle qui permet de comparer ces « diversités ». La relation s'étudie donc d'abord à l'échelle de la station. La station est à l'échelle du botaniste, du forestier, de l'écologue plutôt que à celle du géographe habitué à cartographier à petite et moyenne échelle, mais la géographie peut se pratiquer aussi à très grande échelle, celle des relevés mésologiques où s'étudie la disposition des objets matériels de nature variée dans un espace à l'échelle de l'homme (le 1/1ème).

La variété des milieux du massif et la richesse inhérente à chaque type de milieu peuvent s'apprécier par différentes approches. Il a été possible de mettre en relation la géodiversité mésologique avec la phytodiversité spécifique puisqu'elles reflètent la richesse des milieux, quoique de façon différente puisqu'il s'agit d'éléments de nature différente. Les rapports entre la phytodiversité spécifique et la géodiversité morphologie sont manifestes : le nombre de matériaux incluant de nombreux matériaux inertes et ne distinguant les végétaux seulement par leur morphologie augmente en même temps que le nombre d'espèces. Un milieu fortement stratifié contient potentiellement plus d'espèces qu'un milieu peu stratifié.

La taxonomie naturaliste et l'inventaire morphologique intégré de composantes du milieu constituent deux approches différentes des milieux et représentent deux façons de décrire les milieux et leur diversité, ils se rejoignent jusqu'à un certain degré pour décrire la richesse des milieux.

Conclusion de la quatrième partie

Dans la deuxième partie nous avons traité de la description du terrain d'étude et livré un premier regard sur les caractéristiques de répartition des roches, du climat, de la flore et des hommes. On a beau affirmer que les Madres-Coronat soit un massif très diversifié floristiquement parlant ou d'un point de vue paysager : la description de la diversité du massif ne pouvait pas se passer d'une quantification de différents aspects de la diversité. Cette quantification avec les méthodes décrites dans la troisième partie se présente dans cette quatrième partie sous forme de résultats bruts issus des relevés de terrain, résultats statistiques des analyses descriptives exploratoires et résultats cartographiques mettant en évidence des éléments de diversité spatiale.

En premier lieu nous avons présenté les caractéristiques générales des relevés effectués. Ils sont le résultat direct du travail d'échantillonnage et mettent en évidence des « généralités » qu'on peut observer sur le massif. Il s'agit surtout de paramètres topographiques, hydriques, zoologiques et anthropiques qui ne feront pas l'objet de descriptions plus détaillées ultérieures.

La description de la flore est une affaire de botanistes, géobotanistes ou phytogéographes et s'apparente ainsi à des sous-disciplines s'intéressant à la végétation et à la flore. De même, la description des sols, affaire des pédologues s'attache à la pédologie. Ces approches qu'on peut qualifier ainsi de disciplinaires sont en mesure de décrire la diversité des sols et de la flore, donc des composantes essentielles des milieux par des méthodes relevant des disciplines respectives. Chaque discipline apporte des contributions très précises sur son objet d'étude et la description floristique et pédologique des caractéristiques du milieu, fourni dans le chapitre 4.2 n'est qu'un maigre aperçu de ce qu'aurait pu déduire de la phytodiversité ou de la pédodiversité un vrai spécialiste en la matière (les matières).

Ils servent surtout à fournir des éléments de compréhension complémentaires à l'analyse intégrée des milieux qui se focalise sur la description morphologique des milieux. Les relevés floristiques fournissent des connaissances sur la composition, richesse et diversité spécifique, les relevés pédologiques permettent de caractériser les sols non seulement par des aspects visuels (couleurs, horizons, ...), mais aussi physiques et chimiques (granulométrie, capacité au champ, ambiance chimique). Ces approches disciplinaires ont permis de rassembler des éléments de phyto- et de pédodiversité.

La description de la morphologie des milieux peut se suffire à elle-même, mais les descriptions floristiques et pédologiques permettent d'apprécier la contribution respective et les points forts de chacune des méthodes. Les analyses factorielles réalisées dans les trois cas mettent en évidence la différence de la nature des données et la différence des déductions quant à la diversité des milieux. Les espèces végétales permettent de classer les milieux en premier lieu en fonction de leur répartition dans les différents étages bioclimatiques auxquels elles sont (parfois plus, parfois moins) inféodées et permettent ensuite la différenciation des milieux en fonction des conditions hydriques et édaphiques. Les sols mettent en évidence la différenciation des milieux par le substrat sur lequel ils ont évolués et traduisent également des stades de développement en fonction de leur localisation. Enfin les relevés mésologiques permettent « d'intégrer » les différentes composantes des milieux et constituent une véritable description morphologique des milieux. On peut enfin différencier les milieux à la fois par les formations végétales et les substrats par un même type de relevé.

L'étude de la géodiversité par la morphologie peut être considérée comme une reconnaissance d'un « état des lieux matériel » de la diversité : Les matériaux et leur configuration « mésologique » dans la verticale et la distribution des géons surfacique,

latérale, « paysagique » permettent de caractériser la structure spatiale des milieux, dont la mosaïque représente un paysage. En ce sens il s'agit de la méthode, parmi les trois types d'inventaires présentés, qui peut être vraiment qualifiée d'approche spatiale de la diversité. La prise en compte intégrale des volumes d'un milieu en fournit la meilleure démonstration.

La diversité paysagique se manifeste sur la carte des géons qui constitue une carte des unités paysagères élémentaires. Ces unités peuvent être considérées comme une cartographie des milieux d'un point de vue physiognomique, comme le confirme la clé d'interprétation des géons, même si la typologie fournie ne peut que se fonder sur ce que l'on voit « d'en haut », donc essentiellement en se fondant sur les caractères physiognomiques des formations végétales. La carte des géons se distingue toutefois d'une carte d'occupation des sols dans le sens qu'elle cherche à différencier de la façon la plus détaillée possible des milieux par leur physiognomie et qu'elle les met en relation avec les données de terrain, des données qui concernent le contenu des milieux. Le fait que les milieux regroupés ressemblent à des types d'occupation du sol est essentiellement lié à la généralisation nécessaire du nombre des relevés retenus pour une surface d'étude très importante.

L'assemblage de ces milieux « physiques » cartographiés et décrits par des relevés constitue des paysages physiques, en ce sens la diversité paysagique décrit une diversité des paysages matériels. Toutefois la description de la diversité du « contenu » des milieux à l'échelle de la station peut difficilement être considérée comme une diversité paysagère et s'apparente alors davantage au concept multiscalaire de la géodiversité.

La géodiversité comprise dans son interprétation « généraliste », « holistique » ou « globale » d'une diversité à la surface de la terre n'est pas restrictive quant à la nature des objets considérés à la surface de la terre. En ce sens la phytodiversité et les éléments de pédodiversité décrites de façon disciplinaires peuvent être considérées comme des éléments de la géodiversité. L'approche intégrée n'est point exclusive, quoique très performante pour une description morphologique des milieux et paysages physiques. Le recensement de la géodiversité s'est fait alors par plusieurs entrées naturalistes et géographiques. Le fait que tous les types de relevés ont été effectués en un même lieu permettent de comparer les relevés et d'étudier aussi le rapport entre la richesse et la diversité morphologique des milieux et la phytodiversité. Cette relation illustre les multiples dimensions de la diversité des milieux et les façons d'explorer leur richesse.

Nous n'avons reproduit dans les pages de cette quatrième partie qu'un modeste échantillon des résultats et interprétations que l'on peut tirer des données relevées et cartographiées. Nous avons proposé un premier dépouillement des données, mesures et indices qui nous semblaient pertinents pour évaluer la diversité mésologique et paysagique mais de nombreuses pistes sont restées inexplorées et font appel à d'autres recherches. A titre d'exemple, on pourra se consacrer par exemple à l'étude de paramètres privilégiés en mesure « d'expliquer » la géodiversité d'un ou de plusieurs lieux donnés, au risque toutefois de négliger les paramètres non relevés, et en particulier en affrontant la difficulté d'intégrer l'action millénaire et souvent difficilement quantifiable de l'homme sur ces milieux.

5 - CONCLUSIONS

5.1. Géodiversité et diversité paysagère

5.1.1. La diversité des objets géographiques

Quel intérêt y aurait-il à faire des portraits de la terre si elle était uniforme ? La variabilité des aspects de sa surface, de ses constituants et de ses fonctions dans l'espace et dans le temps engendre des intérêts et des difficultés, des lieux uniques et ordinaires, des valeurs, qui peuvent faire le charme d'un paysage ou l'inverse. La recherche géographique en quête d'apports de connaissances sur la réalité de la surface terrestre cherche à décrire, à analyser et à comprendre, mais aussi à quantifier les phénomènes spatiaux à la surface de la terre et à l'interface nature - société. La variabilité des phénomènes dans l'espace et les disparités spatiales ont toujours constituées des thèmes géographiques par excellence sur un sujet pourtant loin d'être nouveau.

Il s'agit d'un véritable objet de recherche si l'on désire améliorer les conduites à tenir ayant un impact sur le paysage ou identifier des stratégies de mise en valeur de la diversité spatiale. Avant de pouvoir identifier de telles conduites ou stratégies, il serait cependant nécessaire de savoir de quelle diversité spatiale l'on parle. C'est dans cet objectif que s'inscrit cette recherche fondamentale. La recherche sur le thème de la diversité spatiale n'est toujours qu'à son début alors qu'elle a toujours constitué l'objet fondamental de la géographie. Cette thèse se veut être une approche générale de la géodiversité et de la diversité paysagère en explorant de nouvelles pistes d'approches globales par une étude empirique des formes.

L'étude proposée ne prétend ni avoir trouvé « la » méthode de mesure de la géodiversité, ni même avoir fait le tour des méthodes pour relever la géodiversité mésologique sur le terrain. En revanche, on espère inciter ou contribuer à un débat qui concerne la diversité spatiale et plus particulièrement la dimension matérielle de cette diversité. La dimension matérielle incite ainsi à s'interroger aussi sur la dimension sensible de la diversité, champ qui, à l'échelle du paysage mériterait davantage d'attention, mais qui n'a pas été traité ici.

5.1.2. Quelle géodiversité ?

La définition la plus fréquente de la géodiversité se limite à la diversité « abiotique », « physique », « inerte » ou encore « minérale » de la terre. Considérer la géodiversité autrement, dans un sens plus global, était un risque à prendre et constituait un défi pas toujours facile à affronter. Nous avons aussi pensé qu'il serait peut-être plus raisonnable de privilégier la notion de diversité paysagère, mais plus on avançait dans les recherches terminologiques plus il était difficile de concevoir, notamment en langue française une diversité paysagère se passant de la dimension sociale du paysage.

On aurait pu tout simplement ignorer les aspects culturels, subjectifs, la perception du paysage en précisant qu'on ne considérerait dans une étude de la diversité paysagère que le paysage matériel. Dans notre cas il est plus juste de parler d'une forme de géodiversité, puisqu'on ne se situe pas toujours à l'échelle, quoique mal définie, du paysage.

Comme nous l'avons montré dans la première partie, des conceptions globales, généralistes, voire holistiques de la géodiversité existent (James, 1972; Karjalainen, 1986; Grenier, 2000; Pourtier, 2003; Pourtier, 2004; Bertrand, 2005; Pumain, 2005; Métailié et Bertrand, 2006), et parfois depuis fort longtemps. Bien sûr on pourra reprocher à l'auteur de contribuer à la confusion terminologique, alors que l'objectif était bien le contraire : contribuer à comprendre la terminologie et ne pas toujours se fier à une seule définition trouvée au hasard sur la toile.

Toujours par analogie, on se limite souvent à décrire le nombre d'espèces (presque exclusivement végétales...) en traitant de biodiversité, alors que la biodiversité englobe dans une conception large la diversité écosystémique et les écosystèmes... et les écosystèmes tiennent compte du biotope, donc de l'environnement sans se limiter à la forme vivantes. Si on utilise de plus en plus souvent le terme de géodiversité dans la « géoconservation » se limitant souvent au monde minéral, de surcroît par opposition ou en tant que concept complémentaire de la biodiversité (là encore souvent limité au monde vivant), il est nécessaire d'insister sur le fait que la géodiversité peut être, elle aussi, conçue dans un sens large, tenant compte des aspects biotiques et anthropiques. Si certains excluent la géographie des géosciences il est aussi plus nécessaire d'insister sur le caractère géographique, c'est-à-dire spatial de la géodiversité. Ce caractère est moins bien représenté dans la diversité écosystémique, qui se conçoit surtout d'un point de vue écologique comme l'a déjà remarqué Tansley (*cf.* chap. 1.3.1.4) et justifie là encore l'existence d'un autre concept global que seulement celui du *Total Human Ecosystem*.

Une publication en anglais ou en allemand du présent travail aurait tout intérêt à utiliser davantage les termes de *landscape diversity / Landschaftsdiversität*, qui se rapprochent en effet davantage d'une interprétation « géographique » que les termes « *geodiversity / Geodiversität* ». Peu importe en fin de compte ce choix entre la géodiversité et la diversité paysagère : le principe de la diversité abordé dans ce travail reste donc ce qu'on pourrait qualifier de diversité spatiale globale, qui ne se limite pas à une conceptualisation géographique, mais qui est une réalité, abordable à de multiples échelles qui intéressent de ce fait le géographe.

5.1.3. La géodiversité, diversité des milieux et paysages ...

Nous convenons ainsi que la géodiversité peut s'utiliser en géographie bien au-delà d'une diversité des roches et du relief, même bien au-delà du monde abiotique, auquel Leser associe encore les composantes hydriques et climatiques (Leser, 1997a; Leser, 1997b; Leser, Haas *et al.*, 1997; Leser et Nagel, 1998). Une diversité géographique s'intéressant à la diversité à la surface de la terre ne peut exclure le monde vivant et l'influence de l'homme.

En ce sens la diversité paysagère est une géodiversité à l'échelle du paysage et son interprétation dépend entièrement de la conception que l'on a du paysage. S'il est bien possible pour un écologue du paysage de culture anglo-saxonne de concevoir un paysage « écologique », il n'a pourtant pas été possible pour un géographe de parler de diversité paysagère dans le cas de la présente étude, au moins en ce qui concerne sa partie empirique. L'évocation très fréquente de la diversité paysagère pour parler de façon très générale des *paysages variés*, ou de *la variété* ou du *nombre des paysages différents* rend également difficile le fait de considérer la diversité paysagère comme un concept bien précis. Si on cherche à quantifier cette diversité paysagère sensible, c'est la géodiversité ou plus précisément la géodiversité (à l'échelle) paysagère qui peut être mobilisée.

La géodiversité étudiée ici est, certes, une diversité qui se voit dans le paysage, mais c'est aussi, et surtout une diversité morphologique des milieux. En ce sens la définition d'une géodiversité « des milieux et paysages » (Métailié et Bertrand, 2006) convient à notre étude à condition de ne pas exclure la diversité peu influencée par l'anthropisation, mais elle s'avère encore trop restrictive pour une conception globale de la géodiversité (James, 1972; Karjalainen, 1986; Pumain, 1999; Grenier, 2000; Pourtier, 2004). Ce n'est pas parce que la diversité des milieux se voit dans le paysage que nous avons étudié LA diversité paysagère. Nous avons seulement étudié UNE diversité paysagère, celle du paysage-objet, nous nous sommes aussi intéressés à des aspects qui ne se situent plus franchement à l'échelle du paysage. Nous avons de ce fait distingué les diversités mésologique et paysagique en fonction de la dimension de leur objets. Il s'agit d'une diversité morphologique qui s'exprime par la différenciation des structures verticales visibles dans le milieu et des structures horizontales (quoi qu'il soit difficile de parler de structures « horizontales » en montagne) ou latérales, visibles à l'échelle du paysage.

5.2. Aspect méthodologiques

5.2.1. Bilan et possibilités associés à l'analyse intégrée des milieux

La méthode utilisée ne permet pas de caractériser la diversité des flux thermodynamiques, les échanges de matière et d'énergie entre les composantes. Pour une telle description des fonctions et de la structure fonctionnelle du géosystème, il est nécessaire d'adopter des protocoles à l'image de la « Landschaftsökologische Komplexanalyse » (Mosimann, 1984). Une caractérisation quantitative de la diversité des échanges de matière aurait été une alternative possible à la description de la diversité des formes et composantes, mais la méthode d'étude vise justement à réduire l'appareillage nécessaire.

La géodiversité évaluée dans le cadre de cette étude se conforme à une géodiversité physionomique des milieux avec une prise en compte de leur dimension à l'échelle paysagique. L'approche physionomique des milieux et paysages n'ignore pas pour autant l'existence d'interrelations fonctionnelles qui relient entre eux les corps naturels localisés ou les holoplexions. La présence conjointe et typique de certains matériaux suggère une interrelation entre ces matériaux comme par exemple les macrocoprumites et les bruniumichrons, autrement dit entre le pastoralisme de longue date et la constitution d'un sol à forte teneur en matière organique. Bien que l'étude des interrelations entre les objets matériels au sein des milieux n'ont pas fait l'objet de cette étude, ils sont potentiellement exploitables avec les données acquises.

Les interrelations entre les structures verticales et horizontales, donc entre les hoplexols ou hoplexions et les géons s'appréciant notamment sur des transects, car les relations fonctionnelles via des échanges de matières, d'énergie (et d'information) sont particulièrement fortes entre les géons en amont qui par les effets gravitationnels (transfert de matière, écoulement...) influencent les géons plus en aval. Bien évidemment toutes les autres directions de transferts sont envisageables, notamment par les effets climatiques (transport par voie aériennes), biotiques (par exemple déplacements des troupeaux) et anthropiques.

Tous les aspects possibles du traitement des données n'ont donc pas été abordés. C'est le cas également de l'exploitation cartographique des relevés mésologiques : En associant les différents types de matériaux aux géons correspondants, il est possible d'exploiter les données mésologiques à l'échelle paysagique par des analyses factorielles produisant directement des cartes (Müller, 2004). Si nous n'avons pas retenu cette possibilité c'est que les données de 72 relevés de terrain ne nous ont pas semblé suffisamment représentatives pour représenter la totalité de la surface du terrain d'étude avec une résolution suffisante.

La méthode des relevés mésologiques propose une prise en compte simultanée des composantes biotiques, abiotiques et anthropiques. Ainsi cette méthode dédiée à l'étude des milieux naturels ne se limite pas au « naturel ». Les murettes et terrasses contribuent à la géodiversité observée malgré leur caractère peu naturel. Il était question de leur « nature » lors de la constitution du lexique des Corps « Naturels » Localisés (CNL) utilisé pour les relevés mésologiques.

La morphologie des milieux se présente sous forme d'une combinaison caractéristique des composantes des milieux distribués au sein d'un milieu. Des multiples façons de décrire ces

ensembles se proposent (voir notamment Richard, 1989a), nous nous sommes limités ici essentiellement à caractériser la diversité des milieux par leur composantes et les différences de composition par hoplexions et par holoplexion. Les holoplexions peuvent ensuite être associés aux milieux, plus précisément aux géons cartographiés et définis ainsi comme des unités paysagères paraissant homogènes sur les photos aériennes à une résolution donnée (pour d'autres possibilités de concevoir des géons (voir aussi Filleron, 1995; Morschel, 2006; Khebour-Allouche, 2007). L'utilisation d'indices paysagers (landscape metrics) n'a rien d'original et fait partie des outils couramment utilisés notamment en écologie du paysage. Ils peuvent s'appliquer à n'importe quel type de *patch* ou unité paysagère. La diversité paysagère est paysagère seulement du fait qu'il s'agit d'unités délimitées par une interprétation morphologique du paysage. Autant une carte d'occupation des sols qu'une carte des habitats réalisées à la même échelle peut avoir des unités aux limites coïncidant avec cette carte. Les limites entre une forêt et une prairie seront les mêmes sur les trois cartes.

5.2.2. Adaptation des méthodes d'analyse de la géodiversité

Le chapitre 3 rassemble les éléments essentiels d'une description détaillée de la méthode de terrain dans laquelle se reflète l'ébauche d'un manuel de terrain pour un relevé exhaustif de la diversité mésologique. Cette méthode est adaptée à la problématique proposée et peut être modifiée selon les orientations de recherche de ceux qui s'intéresseront à la thématique de la géodiversité. Rendre transposable cette méthode à d'autres sites, à d'autres systèmes dits « naturels anthropisés » et - dans une certaine mesure - à d'autres problématiques constituait un des objectifs à atteindre pendant notre réflexion sur la méthode. Le protocole de terrain assez lourd conçu pour cette analyse exploratoire cherchant à mettre en évidence la diversité de la composition et des structures des milieux et du paysage nécessite d'être revu si l'on souhaite faire une étude aux objectifs plus appliqués.

Dans notre cas il s'agissait d'illustrer des méthodes pour décrire la géodiversité et d'exploiter les données en cherchant à comparer des méthodes et à identifier leur potentiel. Une étude cherchant à mettre en évidence la géodiversité dans un but précis relevant de l'application pratique dans une problématique de gestion environnementale doit être conçue très différemment. L'accent sera davantage mis sur les aspects pratiques, donc sur le relevé des informations réellement utiles pour l'étude envisagée et sur un protocole de terrain allégé permettant de recueillir davantage d'échantillons. En conséquence, l'échantillonnage ne tiendra pas forcément compte des mêmes critères. Une étude de la géodiversité pour la gestion des paysages avec des objectifs multifonctionnels incluant des aspects esthétiques ne coïncide pas forcément avec une étude cherchant à optimiser les structures paysagères en vue du maintien ou de la restauration de certains habitats naturels d'intérêt communautaire ou patrimonial.

Bien que la méthodologie appliquée nous a semblé appropriée pour une étude exploratoire de la géodiversité, elle n'a pas vocation universelle pour l'évaluation de la géodiversité. Cette étude ne propose pas de système d'évaluation « clé en main » de la géodiversité. Toutefois, les résultats peuvent contribuer à une réflexion sur les éléments de diversité spatiale ne se limitant pas seulement aux espèces et aux roches que l'on rencontre dans un milieu.

5.2.3. Autres pistes, possibilités et projets

Malgré une recherche menée sur plusieurs années, toutes les pistes n'ont bien évidemment pas été exploitées. Ainsi on aurait en particulier aimé approfondir deux autres volets de la recherche.: l'étude des relations de la géodiversité avec la diversité morphologique du relief, qui aurait profité notamment d'un MNT de plus haute résolution, et la mise en relation de la diversité mésologique avec les biovolumes que nous avons relevés selon la méthodologie proposée par Christophe Neff (Neff, 1995a) Ces volets pourront faire l'objet de publications ultérieures.

Il était possible de développer davantage l'étude de la diversité par les indices paysagers en fonction de problématiques plus concrètes. Elles ont été stimulées par les interprétations des données de terrain et cartographiques : interactions entre structure du paysage et faune sauvage, recolonisation et fermeture des milieux, mosaïque des milieux créés par les brûlages dirigés, rapport entre perception du paysage par les locaux et indices de structure pour ne citer que quelques applications possibles.

5.3. Évaluation et valorisation de la diversité paysagère et de la géodiversité

5.3.1. Fonctions du paysage et gestion du vivant

Enfin, se pose la question de l'utilité de l'étude de la diversité spatiale dans la gestion ou protection des paysages, des milieux, des espaces naturels. Comme l'a explicité Forman (1995) : *We are left with the paradox of management. One can more likely cause an effect on a fine scale, whereas success is more likely at a broad scale.* Une protection des espèces suggère de préserver également les espaces dans lesquelles elles s'épanouissent. Ce n'est pas une approche nouvelle comme l'illustre aussi la démarche de la mise en place du réseau Natura 2000 qui s'engage activement dans la voie de la protection des habitats naturels et des habitats d'espèces. C'est aussi une approche qui ne vise plus à mettre « sous cloche » des espaces protégés, à l'abri de l'homme mais de concilier la gestion de la biodiversité avec certaines activités humaines.

En citant l'exemple de certaines communautés des pays nordiques (Lehtinen, 2003) attire l'attention sur le fait que les programmes pour la protection de la biodiversité - qui peuvent être localement perçus comme des contraintes ou une « domination » par l'État - profiteront d'un point de vue plus large sur les relations homme - milieu, dépassant ainsi l'échelle des espèces. En se référant entre autre à (Karjalainen, 1986), il insiste: *“For people in the provinces, biodiversity programmes can appear strange means for promoting nature conservation, while the ‘lived diversity of land’ is based on inherited patterns of land use and topographic identifications, including e.g. the immediate experiences of seasonal changes - against which the viability of human existence is finally constructed. The multiple senses of snow hardly belong to the vocabularies of biodiversity programmes and might perhaps more easily be connected to notions of earthly sensitivity and geodiversity relations.”* (Öhman et Simonsen, 2003 : 244)

On ne peut plus envisager une gestion des espaces naturels sans accepter ou plutôt anticiper et influencer l'évolution des paysages en fonction des usages qui se transforment. Si on ne souhaite pas seulement tenir compte mais concilier le développement territorial avec la gestion de la biodiversité dans les secteurs ruraux, un rôle clé advient notamment aux Parc Naturels Régionaux. Le rôle multifonctionnel des paysages apparaît ici plus clairement.

En lui accordant à la fois des fonctions écologiques, économiques, sociales et culturelles, la gestion multifonctionnelle des paysages et de l'utilisation des sols peut contribuer à favoriser et à augmenter la biodiversité (Van Mansvelt et Van Der Lubbe, 1998 : 74). Que les intérêts économiques ou de développement (durable) territorial peuvent dans certains cas s'accorder avec la protection des espèces peut s'illustrer par de nombreux exemples, notamment en ce qui concerne les espèces ayant pour habitats les milieux ouverts, menacées par la fermeture des paysages (voir par exemple Blanc, 2008).

Un rôle important est dévolu dans la zone d'étude et dans les Pyrénées en général au pastoralisme et à la sylviculture comme principales activités intervenant sur le milieu naturel. Les pratiques pastorales et sylvicoles interviennent sur les milieux et laissent les principales traces (visibles) dans le paysage, d'où l'intérêt d'une coopération étroite et d'une compréhension mutuelle entre agriculteurs, forestiers, gestionnaires des espaces protégés et autres acteurs de

terrain si l'on souhaite concilier les objectifs des différentes activités et une gestion durable de la biodiversité et des paysages.

Le résultat de la gestion passée visible dans le paysage et donc dans la diversité paysagère est la condition, le point de départ de la gestion future. La prise en compte de la diversité paysagère fait aussi appel aux fonctions touristiques et esthétiques du paysage. Étroitement liée à la fonction touristique, la fonction esthétique ne se limite pas aux touristes. La perception et les représentations du paysage, l'attachement au paysage confèrent ainsi indirectement une valeur au paysage qui peut échapper aux différents acteurs intervenant sur l'environnement naturel.

5.3.2. Image et valorisation de la géodiversité / diversité paysagère

La valeur qu'on attribue à la géodiversité et plus particulièrement à la diversité paysagère dépend en grande partie des attentes et espoirs qu'on associe à ce concept. En effet, le paysage véhicule un certain nombre d'utopies, identifiées notamment par Hard (d'après Hard 1983) (dans Hard, 2002 :189) et celles-ci peuvent aussi se transposer aux espérances associées à la diversité paysagère et à la géodiversité. Il y a par exemple l'utopie d'un paysage esthétique qui soit aussi un paysage particulièrement favorable d'un point de vue écologique : un beau paysage diversifié suggèrera à l'observateur qu'il s'agit d'une configuration idéale d'écosystèmes ou habitats.

Pourtant, la relation aire - espèces déjà illustrée en 1807 par Humboldt (Décamps et Décamps, 2004) et décrite entre autre par la théorie des îles de (Mac Arthur et Wilson, 1971) démontre la relation qui existe entre la richesse spécifique, la taille de leur habitat (l'île) et l'éloignement des habitats les plus proches (les autres îles ou le continent). Une fragmentation trop importante des habitats, s'exprimant par une diversité paysagère élevée peut ainsi être nuisible à certaines espèces. De surcroît, toutes les espèces ne sont pas égales devant la réduction de leur aire (Décamps et Décamps, 2004) et l'attribution des valeurs écologiques à la mosaïque des milieux, donc à la fois des paysages et habitats est délicate car elle dépend des espèces considérées. Le rôle d'une diversité paysagère importante reste ainsi à nuancer face à la complexité des relations aire - espèces (voir par exemple Rosenzweig, 2000) et doit également tenir compte du rôle des lisières (écotones).

D'autres utopies identifiées par Hard peuvent être associées aux paysages, elles impliquent de relativiser les méthodes pour l'étude de la diversité paysagère :

- l'utopie de l'écologie du paysage suggère qu'il s'agirait de la seule discipline tenant compte de l'ensemble des éléments du paysage
- l'utopie de la cognition holistique, intégrante et globale d'observation du paysage serait l'entrée privilégiée pour la connaissance de la nature
- l'utopie que la physionomie du paysage serait une entrée privilégiée pour l'étude de la nature, de la culture et de la société.

Aucune de ces approches n'est exclusive, aucune ne prendra en compte toutes les facettes du paysage et de sa diversité. Il n'y a donc pas de réponses simples de type « diversité paysagère importante = biodiversité importante ». Le rôle, l'échelle, les fonctions, les valeurs de la diversité paysagère et de la géodiversité diffèrent, au moins en partie, de ceux de la biodiversité.

Malgré des interrelations certaines mais difficiles à quantifier, les questionnements que l'on se pose en ce qui concerne la biodiversité ne peuvent donc pas se résoudre automatiquement pour la géodiversité et vice-versa. On ne peut pas discuter de la banalisation et régression de la géodiversité en les mettant en lien direct avec celles de la biodiversité. On peut observer que l'anthropisation contribue à la géodiversité par le maintien de (ou l'intervention sur) la mosaïque paysagère mais l'influence sur la biodiversité reste à nuancer en fonction du type d'intervention et des espèces ou écosystèmes considérés.

La question de la préservation ou protection de la diversité paysagère et de la géodiversité se pose donc moins en termes de relations avec la gestion de la biodiversité que de la gestion des paysages et de leur multiples fonctions. Si on cherche à favoriser certaines espèces ou certains types d'habitats naturels on intervient sur la diversité paysagère mais ce n'est alors pas la diversité paysagère représente le centre d'intérêt. Si on cherche à valoriser la diversité paysagère ou la géodiversité pour elle-même, il reste à déterminer quelles sont les « valeurs » qu'on lui associe et qu'on cherche à privilégier. Entre la mise en valeur de type esthétique de la diversité paysagère et la défense de la biodiversité, ça sera, on l'espère, cette dernière qui sera privilégiée, mais dans la pratique on cherchera probablement à favoriser les deux.

On revient ainsi à notre objectif initial, celui de contribuer à la connaissance globale de la diversité spatiale par des aspects théoriques et pratiques en vue d'intégrer la géodiversité en tant que produit issu de processus conjoints physiques, biotiques et anthropiques, étudié sous l'appellation de *géodiversité* dans la gestion durable des habitats, des milieux et des paysages. Il est difficile d'estimer l'apport potentiel de la « géodiversité » dans la gestion des espaces naturels et la valorisation de paysages si on ne peut étudier son application sur le terrain et évaluer l'impact de la gestion dans le temps. La méthode intégrée utilisée parvient remarquablement bien à caractériser par un seul type de relevé le caractère hybride, à la fois abiotique et biotique des milieux, à les différencier et à les classer. Toutefois, pour une protection des espèces il est sans doute plus intéressant de recenser des espèces et de cartographier des habitats naturels que des géons. Néanmoins, il est envisageable d'attribuer des priorités aux différentes unités paysagères ou mésologiques pour tenir compte de la géodiversité dans l'élaboration de stratégies de conservation du patrimoine naturel ou d'actions territoriales. L'intérêt est alors essentiellement de décrire, classer, référencer les milieux (et paysages) dans le but de les valoriser en tant que patrimoine naturel et non de caractériser des habitats écologiques même si on peut attribuer des caractéristiques écologiques aux milieux. La géodiversité se propose ainsi pour étudier les milieux et paysages par de multiples aspects à la fois socio-économiques et écologiques.

Bibliographie

Bibliographie de référence ¹²⁶:

- A.G.R.N.N.; 1998. *Madres-Coronat - Programme LIFE "Document d'objectifs Natura 2000"*. Association Gestionnaire de la Réserve Naturelle de Nohèdes, Nohèdes.
- A.G.R.N.N.; 2005a. *Document d'Objectifs site Madres-Coronat*. Mangeot, A., A.G.R.N.N.,
- A.G.R.N.N.; 2005b. *Document d'Objectifs site Madres-Coronat - Description écologique et socioéconomique - Volume 1*. Mangeot, A., A.G.R.N.N., 67 p.
- A.G.R.N.N.; 2006. *Plan de Gestion de la Réserve Naturelle de Nohèdes 2006-2009*. Association Gestionnaire de la Réserve Naturelle de Nohèdes, Nohèdes.
- A.N.L; 1994. *Begriffe aus Ökologie, Umweltschutz und Landnutzung*. 3ème éd.; Laufen / Salzach, Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege; 45p.
- Ad-Hoc Arbeitsgruppe Boden; 2005. *Bodenkundliche Kartieranleitung*. Rohstoffe, B.f.G.u., éd.; 5ème éd.; Hannover, E. Schweitzbart'sche Verlagsbuchhandlung; 483p.
- Agence Paysages; 1996. *Mots, acteurs et outils du paysage*. Agence Paysages, 31 p.
- Alcaraz, F.; 1993. *La soulane du mont Coronat (P.O.)- Histoire et perspectives d'évolution d'un paysage (milieu XVIIIè siècle - au début du XXème)*. mémoire de maîtrise de géographie, Université de Toulouse, le Mirail, (non publié)
- Alcaraz, F.; 1999. *Les terrasses méditerranéennes, entre terroirs et paysages (nord-ouest du bassin méditerranéen)*. Thèse de doctorat; Université de Toulouse, le Mirail. 2 Vol.;
- Allix, A.; 1927. *Gausсен (H.). - Végétation de la moitié orientale des Pyrénées. Sol, climat, végétation*. *Revue de géographie alpine*; 15(4): pp. 641 - 646
- Amigo, J.-J.; 1980. *Éléments pour une flore bibliographique du Département des Pyrénées-Orientales (France) et de la Principauté d'Andorre* Laboratoire de Biologie Végétale, U.d.P., éd.; Association Charles Flahault & Muséum d'Histoire Naturelle; 283p.
- Angileri, V. et Toccolini, A.; 1993. *The assessment of visual quality as a tool for the conservation of rural landscape diversity*. *Landscape and Urban Planning*; 24(1-4): pp. 105-112
- Antrop, M.; 2005. *From holistic landscape synthesis to transdisciplinary landscape management*. In: Tress, B., Tress, G., Fry, G. et Opdam, P.; *From Landscape Research to Landscape Planning*. Springer; pp. 27-50.
- Armand, D.L., Preobraženskij, V.S. et Armand, A.D.; 1968. *Les complexes naturels et les méthodes actuelles de leur étude*. *Annales de Géographie*; 77(423): pp. 567-575
- Arnould, P.; 2006. *Biodiversité : la confusion des chiffres et des territoires*. *Annales de géographie*; 651(5): pp. 528-549
- Arnould, P. et Glon, E., éd.; 2005. *La nature a-t-elle encore une place dans les milieux géographiques*. Géographie. Publications de la Sorbonne. 272 p.
- Ascencio, L., Escarnot, C. et Gsenger, C.; 2003. *Cartographie du déficit hydrique pour une soulane des Pyrénées Orientales et scénario de réchauffement climatiques*. Rapport de projet dans le cadres du DESS SIGMA, sous la direction de Martin Paegelow, Université de Toulouse, le Mirail, 43 p. (non publié)
- Aurada, K.D.; 1999. *Logik und Logistik des Systemkonzepts der naturwissenschaftlichen Geographie*. In: Schneider-Sliwa, R., Schaub, D. et Gerold, G.; *Angewandte Landschaftsökologie - Grundlagen und Methoden*. Berlin, Springer;
- Aurada, K.D.; 2003. *Co-evolvierende + co-respondierende Systeme = co-operierendes System*. *Erdkunde*; 57(4): pp. 309-330
- Australian Heritage Commission; 2002. *Australian Natural Heritage Charter*. Australian Government - Australian Heritage Council, Canberra. 32 p.
- Bahrenberg, G., Giese, E. et Nipper, J.; 2008. *Statische Methoden in der Geographie - Band 2: Multivariate Statistik*. Studienbücher Geographie, Vol. 2 3éd.; Stuttgart, Gebrueder Borntraeger Verlagsbuchhandlung; 386p.
- Baize, D.; 1988. *Guide des analyses courantes en pédologie*. 1ère éd.; Paris, INRA; 172p.
- Baize, D.; 1992. *Référentiel pédologique- principaux sols d'Europe*. collections techniques et pratiques, éditions INRA; 222p.
- Baize, D.; 2000. *Guide des analyses en pédologie*. 2ème édition revue et augmentée éd.; Paris, INRA / QUAE; 257p.

¹²⁶ Tient uniquement compte des sources citées dans le texte.

- Baize, D.; 2004. *Petit lexique de pédologie*. INRA / Quae; 274p.
- Baize, D. et Girard, M.-C., eds.; 1995. *Référentiel pédologique*. techniques et pratiques. éditions INRA. 332 p.
- Baize, D. et Jabiol, B.; 1995. *Guide pour la description des sols -Techniques et pratiques*. Quae; 375p.
- Baize, D.G., M-C; 2009. *Référentiel pédologique 2008*. Savoir-faire, Quae;
- Bal, M.-C.; 2006. *Constructions et dynamiques des espaces et des terrasses agro-pastorales en zone intermédiaire des Pyrénées du Néolithique à nos jours (Cerdagne, Pays Basque et Pays de Sault) - Approche archéoenvironnementale par la pédoanthracologie*. sous la direction de Jean-Paul Métailié et Michel Thinon; Département de Géographie Université de Toulouse le Mirail. 275 p.
- Balent, G., éd.; 1996. *La forêt paysanne dans l'espace rural - biodiversité, paysages, produits*. Etudes & Recherches. Institut national de recherche agronomique - Département de recherche systèmes agraires et développement. 268 p.
- Balseinte, R.; 1955. *Une définition de l'année climatologique en montagne*. Revue de géographie alpine; 43(2): pp. 449-454
- Bang, P. et Dahlström, P.; 2006. *Guide des traces d'animaux : Les indices de présence de la faune sauvage*. Les guides du naturaliste, Delachaux et Niestlé 264p.
- Barbault, R.; 2000. *Écologie générale - structure et fonctionnement de la biosphère*. 5ème éd.; Paris, Dunod; 205p.
- Barkmann, J.; 2001. *Angewandte Ökosystemforschung zwischen Biodiversitäts-, Landschafts- und Ressourcenschutz*. Petermanns Geographische Mitteilungen; 145(2001/1): pp. 16-23
- Barnolas, A., Chiron, J.-C., Guérangé, B., Autran, A., Durand-Delga, M. et Fonboté, J.M.; 1996. *Synthèse géologique et géophysique des Pyrénées. Vol. I. Introduction, géophysique, cycle hercynien*. Orléans, Madrid, Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Instituto Tecnológico Geominero de España; 729p.
- Barrué-Pastor, M. et Muxart, T.; 1992. *Le géosystème : nature "naturelle" ou nature "anthropisée" ?*. In: JOLLIVET, M.; Sciences de la nature, sciences de la société, les passeurs de frontière. Paris, Edition du CNRS; pp. 259-266.
- Barsch, H.; 1978. *Landschaftskundliche Aspekte des Geosystem-Konzeptes*. Wissenschaftliche Zeitschrift der pädagogischen Hochschule Potsdam; 22(3)
- Barsch, H., Billwitz, K. et Bork, H.-R., eds.; 2000. *Arbeitsmethoden in Physiogeographie und Geoökologie*. Gotha, Klett-Perthes. 615 p.
- Barsch, H., Billwitz, K. et Reuter, B.; 1988. *Einführung in die Landschaftsökologie*. Potsdam, 286p.
- Bartels, D.; 1968. *Zum Landschaftsbegriff*. In: Zur wissenschaftlichen Grundlegung einer Geographie des Menschen; Erdkundliches Wissen Vol. 19. Wiesbaden, Franz-Steiner-Verlag; pp. 57-73.
- Barthel, H., éd.; 1968. *Landschaftsforschung : Beiträge zur Theorie und Anwendung*. 1ère éd.; Petermanns geographische Mitteilungen / Ergänzungsheft ; 271. Gotha, Haack. 279 p.
- Barthlott, W.; 2000. *Räumliche Muster der Biodiversität*. In: Barthlott, W. et Gutmann, M.; Biodiversitätsforschung in Deutschland. Europäische Akademie zur Erforschung von Folgen wissenschaftlich-technischer Entwicklungen Bad Neuenahr-Ahrweiler GmbH; pp. 17-22.
- Barthlott, W., Lauer, W. et Placke, A.; 1996. *Global distribution of species diversity in vascular plants: Towards a world map of phytodiversity*. Erdkunde; 50(4): pp. 317-327
- Bastian, O.; 2001a. *Landscape Ecology - towards a unified discipline?* Landscape Ecology; 16: pp. 757-766
- Bastian, O.; 2001b. *Landschaftsökologie- auf dem Wege zu einer einheitlichen Wissenschaftsdisziplin ?* Naturschutz und Landschaftsplanung; 33/2(2001): pp. 41-55
- Bastian, O., Beierkuhnlein, C., Klink, H.-J., Löffler, J., Steinhardt, U., Volk, M. et Wilmking, M.; 2002. *Landscape structures and processes*. In: Steinhardt, U. et Naveh, Z.; Development and perspectives of landscape ecology. Springer; pp. 48-112.
- Bastian, O. et Schreiber, K.-F., eds.; 1994. *Analyse und ökologische Bewertung der Landschaft*. Jena, Stuttgart, Gustav Fischer. 502 p.
- Baudière, A.; 1989. *Contribution à la flore de l'Aude et des Pyrénées-Orientales*. Le Monde des Plantes; 436: pp. 3-5
- Baudière, A., Jalut, G. et Turmel, A.; 1986. *La hêtraie du versant nord du Mont Coronat (Pyrénées-Orientales) - Evolution historique et contemporaine*. "Colloque international de botanique

- pyrénéenne". La Cabanasse, Pyrénées-Orientales: 3-5 juillet 1986; Société Botanique de France, Groupement scientifique ISARD.
- Baudière, A., Serve, L., Soutadé, G. et Sajus, J.G.; 1979. *Les milieux supra forestiers des Pyrénées-Orientales, écologie et végétation*. Toulouse: 16-23 juillet 1979;
- Baudry, J. et Burel-Baudry, F.; 1982. *La mesure de la diversité spatiale. Relations avec la diversité spécifique. Utilisation dans les évaluations d'impact*. Acta Oecologica (Oecologia applicata); 3: pp. 177-190
- Bavoux, J.-J.; 2002. *La géographie - Objets, méthodes, débats*. collection U 1ère éd.; Paris, Armand Colin;
- Beaudou, A., De Blic, P., Chatelin, Y., Collinet, J., Filleron, J.-C., Guillaumet, J.-L., Francis, K., Zueli, K.B. et Richard, J.-F. (1978). *Recherche d'un langage transdisciplinaire pour l'étude du milieu naturel (Tropiques humides)*. "Recherche d'un Langage Transdisciplinaire pour l'Etude du Milieu Naturel", Paris/Montpellier/Abidjan 13 septembre / 12 octobre 1977 & 6 février 1978;
- Bécat, J.; 1977. *Atlas de Catalunya-nord*. Vol. 2; Terra Nostra;
- Bécat, J.; 1992. *Geografia general dels paisos catalans*. Encyclopèdia catalana, Vol. 1; Barcelona, 393p.
- Bécat, J., Ponsich, P., Verdaguer, P., Jolis, A. et Simó, M.A., eds.; 1985. *Gran geografica comraçal de Catalunya - El Vallespir, el Conflent, el Capcir i la Cerdanya*. 445 p.
- Becher, G.; 1999. *Waldzustandsanalyse mit multivariaten Verfahren: Theoretische Grundlagen und Anwendungen*. Springer; 312p.
- Beierkuhnlein, C.; 1998. *Biodiversität und Raum*. Die Erde; 129(2): pp. 81-101
- Beierkuhnlein, C.; 1999. *Geoökologie - Stellung und Abgrenzung zu ihren Nachbardisziplinen*. Forum der Geoökologie; 10(1): pp. 29-31
- Beierkuhnlein, C.; 2001. *Die Vielfalt der Vielfalt - Ein Vorschlag zur konzeptionellen Klärung der Biodiversität*. Berichte der Reinhold-Tüxen-Gesellschaft; 13: pp. 103-118
- Beierkuhnlein, C.; 2003. *Der Begriff Biodiversität*. Biodiversität und Landschaftsnutzung in Mitteleuropa; Vol. Nova Acta Leopoldina 87 (328) Hempel, G., Wiss. Verlagsgesellschaft. Stuttgart. 51-71 p.
- Beierkuhnlein, C.; 2007. *Biogeographie - die räumliche Organisation des Lebens in einer sich verändernden Welt*. Stuttgart, Ulmer UTB; 397p.
- Benito-Calvo, A., Pérez-González, A., Magri, O. et Meza, P.; 2009. *Assessing regional geodiversity: the Iberian Peninsula*. Earth Surface Processes and Landforms; 34(10): pp. 1433-1445
- Bensettiti, F., Boullet, V., Chavaudret-Laborie, C. et Deniaud, J., eds.; 2005. *Cahiers d'habitats Natura 2000, Habitats agropastoraux, Tome 4*. Cahiers d'habitats Natura 2000. Paris, Documentation française. 445+487 p.
- Bensettiti, F., Gaudillat, V., Haury, J., Barbier, B. et Peschadour, F., eds.; 2002a. *Cahiers d'habitats Natura 2000, Habitats humides, Tome 3*. Cahiers d'habitats Natura 2000. Paris, Documentation française. 457 p.
- Bensettiti, F., Gaudillat, V., Malangreau, D. et Quéré, E., eds.; 2002b. *Cahiers d'habitats Natura 2000, Espèces végétales, Tome 6*. Cahiers d'habitats Natura 2000. Paris, Documentation française. 271 p.
- Bensettiti, F., Gaudillat, V., Roué, S.Y., Barbier, B., Guilbot, R., Dupont, P. et Dommange, J.L., eds.; 2002c. *Cahiers d'habitats Natura 2000, Espèces animales, Tome 7*. Cahiers d'habitats Natura 2000. Paris, Documentation française. 353 p.
- Bensettiti, F., Herard-Logereau, K., Van Es, J. et Balmain, C., eds.; 2004. *Cahiers d'habitats Natura 2000, Habitats rocheux, Tome 5*. Cahiers d'habitats Natura 2000. Paris, La documentation française. 379 p.
- Bensettiti, F., Rameau, J.-C., Chevallier, H., Bartoli, M. et Gourc, J., eds.; 2001a. *Cahiers d'habitats Natura 2000, Habitats forestiers, Tome 1, Vol 1*. Cahiers d'habitats Natura 2000. Paris, La documentation française. 339 p.
- Bensettiti, F., Rameau, J.-C., Chevallier, H., Bartoli, M. et Gourc, J., eds.; 2001b. *Cahiers d'habitats Natura 2000, Habitats forestiers, Tome 1, Vol. 2*. Cahiers d'habitats Natura 2000. Paris, La documentation française. 339 p.
- Berdoulay, V. et Phipps, M., eds.; 1985. *Paysage et système - de l'organisation écologique à l'organisation visuelle*. Ottawa, éditions de l'Université d'Ottawa. 195 p.
- Beroutchachvili, N. et Bertrand, G.; 1978a. *Le Géosystème ou "Système territorial naturel"*. Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest; 49(Fasc.2): pp. 167-180

- Beroutchachvili, N. et Bertrand, G.; 1978b. *Le Géosystème ou "Système territorial naturel"* Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest; **49**(Fasc.2): pp. 167-180
- Beroutchachvili, N. et Mathieu, J.L.; 1977. *L'éthologie des géosystèmes*. Espace géographique; **6**(2): pp. 73-84
- Berque, A.; 1990. *Médiance: de milieux en paysages*. Géographiques, 2ème éd.; Paris, Reclus; 156p.
- Berque, A.; 1992. *Espace, milieu, paysage, environnement*. In: Bailly, A.S., Ferras, R. et Pumain, D.; Encyclopédie de Géographie. Paris, Economica; pp. 1132.
- Berque, A.; 1993. *Environnement planétaire et paysage*. Nature, Sciences, Sociétés; **1**(3): pp. 194-199
- Berque, A., éd.; 1994. *Cinq propositions pour une théorie du paysage*. Champ vallon. 122 p.
- Berque, A.; 2000. *Écoumène: introduction à l'étude des milieux humains*. Bélin; 271p.
- Bertrand, C. et Bertrand, G. (2000). *Le géosystème: un espace-temps anthropisé. Esquisse d'une temporalité environnementale*. "Les temps de l'environnement", Toulouse; Vol. 1 /2; Presses Universitaires du Mirail.
- Bertrand, G.; 1968. *Paysage et géographie physique globale -esquisse méthodologique*. Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest; **39**(3): pp. 249-272
- Bertrand, G.; 1972. *La science du paysage*. Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest; **43**(avril 1972)
- Bertrand, G.; 1978. *Le paysage entre la Nature et la Société*. Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest; **49**(Fasc. 2): pp. 249-258
- Bertrand, G.; 1982. *Construire la géographie physique*. GEODOC N° 23, Documents de recherche de l'UFR Géographie et Aménagement; Vol. 23 PUM, Université de Toulouse, le Mirail.
- Bertrand, G.; 1984. *Les géographes français et leurs paysages* Annales de Géographie; **93**(516): pp. 218-229
- Bertrand, G.; 1991. *La nature en géographie - un paradigme d'interface*. GEODOC N° 34, Documents de recherche de l'UFR Géographie et Aménagement; Vol. 34 PUM, Université de Toulouse, le Mirail.
- Bertrand, G.; 1995. *Le paysage entre la Nature et la Société*. In: Roger, A.; La théorie du paysage en France (1974-1994). Seyssel, Champs Vallon; pp. 88-108.
- Bertrand, G.; 2002. *La discordance des temps*. In: Richard, H. et Vignot, A.; Equilibres et rupture dans les écosystèmes depuis 20000 ans en Europe de l'Ouest - Actes du colloque international de Besançon 18-22 septembre 2000; Annales littéraires N° 730 - Série environnement, Sociétés et Archéologie Vol. 3. Presses Universitaires de Franche-Comté; pp. 15-22.
- Bertrand, G.; 2005. *La géoagronomie, un nouveau territoire ?* In: Agronomes et territoires - biologie, écologie, agronomie. L'Harmattan; pp. 25-34.
- Bertrand, G.; 2009. *En passant par le paysage... parmi lieux et milieux, environnements et territoires*. GEODOC N° 56, Documents de recherche de l'UFR Géographie et Aménagement; Vol. 56 PUM, Université de Toulouse, le Mirail.
- Bertrand, G. et Bertrand, C.; 2002. *Une géographie traversière- l'environnement à travers territoires et temporalités*. arguments, Paris, ap; 311p.
- Bertrand, G. et Terrasson, D.; 2004. *Georges Bertrand, un géographe interroge l'agronomie - Propos recueillis par Daniel Terrasson*. Natures Sciences Sociétés; **12**: pp. 424-429
- Billwitz, K.; 1963. *Die sowjetische Landschaftsökologie*. Petermanns Geographische Mitteilungen; **107**: pp. 74-79
- Billwitz, K.; 1997. *Allgemeine Geoökologie*. In: HENDL, M. et LIEDTKE, H.; Lehrbuch der allgemeinen physischen Geographie. Justus Perthe; pp. 635-720.
- Biot, P.; 1937. *Recherches sur la morphologie des Pyrénées Orientales franco-espagnoles*. J.B. Baillière et Fils. 318 p.
- Bissardon, M. et Guibal, L.; 2003. *Corine Biotopes - Version originale, Types d'habitats français*. Rameau, J.-C., ENGREF, ATEN, 179 p.
- Blanc, F.; 2002. *Approche éco-éthologique d'un cortège d'oiseaux et évolution des dynamiques végétales de deux paysages agro-pastoraux : l'exemple des soulanes de Nohèdes et Jujols sur le site Natura 2000 "Madres-Coronat" (Pyrénées-Orientales)*. Mémoire du DEA "Environnement et paysage", Université de Toulouse Le Mirail / GEODE & Réserves Naturelles de Nohèdes et Jujols, 111 p. (non publié)
- Blanc, F.; 2003. *Étude de l'avifaune des milieux ouverts en relation avec la dynamique de végétation des paysages agropastoraux: L'exemple du site pilote NATURA 2000 "Madres-Coronat" (Pyrénées Orientales)*. Sud-ouest européen; **2003**(16): pp. 75-83

- Blanc, F.; 2008. *L'oiseau, la friche et le feu. Distribution et dynamique des passereaux nicheurs du site Natura 2000 "Madres-Coronat" (Pyrénées Orientales)*. 3ème cycle; sous la direction de Jean-Paul Métaillé et Roger Prodon; UFR "Sciences, Espaces, Sociétés" Département de Géographie, Université de Toulouse II - Le Mirail. 344 p.
- Blandin, P. et Lamotte, M.; 1988. *Recherche d'une entité écologique correspondant à l'étude des paysages : la notion d'écocomplexe*. Bulletin écologique; 19(4): pp. 547-555
- Blaschke, T. et Petch, J.; 1999. *Landscape Structures and Scale: comparative Studies on some landscape indices*. In: Maudsley, M. et Marshall, J.; Heterogeneity in landscape ecology: pattern and scale. Bristol, IALE UK; pp. 75-84.
- Blumenstein, O.; 1994. *Aspekte und Anwendung naturwissenschaftlicher Konzeptionen in der Geosystemforschung*. In: Brunner, H.; Festschrift für Heiner Barsch; Potsdamer Geographische Forschungen Vol. 9. Potsdam, Institut für Geographie und Geoökologie Potsdam; pp. 33-48.
- Blumenstein, O., Schachtzabel, H., Barsch, H., Bork, H.-R. et Küppers, U.; 2000. *Grundlagen der Geoökologie- Erscheinungen und Prozesse in unserer Umwelt*. Berlin, Springer; 260p.
- Bock, B. et Kerguelen, M.; 2005. *Index synonymique de la Flore de France, version 4.02*. TelaBotanica.
- Bonnier, G.; 1990. *La grande flore en couleurs de G. Bonnier - Tome 1*. Paris, Ed. Belin;
- Bonnier, G. et De Layens, G.; 1986. *Flore complète portative de la France de la Suisse et de la Belgique*. - réédition de la version originale de 1909, Bélin; 426p.
- Bordessoule, E.; 2001. *Les montagnes méditerranéennes*. In: Moriniaux, V.; La méditerranée - questions de géographie. Paris, éditions du Temps; pp. 173-191.
- Botequilha Leitão, A., Miller, J., Ahern, J. et McGarigal, K.; 2006. *Measuring Landscapes: A Planners Handbook*. Washington, D.C., Island Press; 245p.
- Brandt, J.; 1999. *Geography as "landscape ecology"*. Geografisk Tidsskrift, Danish Journal of Geography; I(special issue): pp. 21-32
- Braun-Blanquet, J.; 1948. *La végétation alpine des Pyrénées-Orientales*. Comm. S.I.G.M.A, Vol. 98; Barcelona, Consejo superior de investigaciones científicas; 307p.
- Bravard, J.-P.; 1995. *Deux ouvrages sur l'écogéographie des espaces ruraux: Jean Tricart et Conrad Kiewietdejonge: Ecogeography and rural management; Jean Tricart, Ecogéographie des espaces ruraux* Annales de Géographie; 104(583): pp. 320-321
- Brossard, T.; 1987. *Pratique des paysages en Baie du roi et sa région (Svalbard)*. EHESS. 759 p.
- Brossard, T. et Wieber, J.-C.; 1984. *Le paysage: trois définitions, un mode d'analyse et de cartographie*. Espace géographique; 1984(1): pp. 5-12
- Brossard, T. et Wieber, J.-C., eds.; 2008. *Paysage et information géographique*. Information géographique et Aménagement du Territoire. Paris, Hermes Science / Lavoisier. 414 p.
- Brunet, R., Feras, R. et Théry, H., eds.; 1992. *Les mots de la géographie - dictionnaire critique*. Paris, Reclus, la documentation française. 518 p.
- Brunotte, E., Gebhardt, H., Meurer, M., Meusburger, P. et Nipper, J.; 2002. *Lexikon der Geographie*. Heidelberg, Spektrum Akademischer Verlag;
- Buffaria, B., Willems, E., DeRoock, E. et de le Court, A. (05/2000). "Landscape and land cover diversity index." site web <http://ec.europa.eu/agriculture/publi/landscape/ch3.htm> ou www.associazionebartola.univpm.it/attivita/relazioni_fiastra_pdf/buffaria.pdf.
- Bund Deutscher Landschaftsarchitekten; 2007. *Memorandum zum Europäischen Landschaftsübereinkommen*. Berlin, BDLA. 2 p.
- Burek, C.V.; 2008. *History of RIGS in Wales: an example of successful cooperation for geoconservation*. In: Burek, C.V. et Prosser, C.D.; The history of geoconservation; Vol. 300 (special publication). London, Geological Society of London; pp. 147-172.
- Burek, C.V. et Prosser, C.D., eds.; 2008a. *The history of geoconservation*. special publication of the Geological Society. London, Geological Society of London. 312 p.
- Burek, C.V. et Prosser, C.D.; 2008b. *The history of geoconservation: an introduction*. In: Burek, C.V. et Prosser, C.D.; The history of geoconservation; Vol. 300 (special publication). London, Geological Society of London; pp. 1-5.
- Burel, F. et Baudry, J.; 1999. *Écologie du paysage - concepts, méthodes et applications*. Techniques et documentation, Paris, Techniques et documentation; 360p.
- Buttschardt, T.; 2009. *Erfassung und Darstellung von Biodiversität*. Geographische Rundschau; 61(4): pp. 12-15
- Cain, D.H., Riitters, K.H. et Orvis, K.; 1997. *A multi-scale analysis of landscape statistics*. Landscape Ecology; 12: pp. 199-212

- Calvet, M.; 1994. *Morphogénèse d'une montagne méditerranéenne - Les Pyrénées-Orientales*. Thèse d'Etat; Université der Paris I -Panthéon- Sorbonne. 3 Vol.; 1178 p.
- Calvet, M.; 1996. *Morphogénèse d'une montagne méditerranéenne : les Pyrénées orientales*. Orléans, BRGM; 1177p.
- Calvet, M.; 1999. *Régimes des contraintes et volumes de relief dans l'est des Pyrénées. Géomorphologie : relief, processus, environnement*; 5(3): pp. 253-278
- Calvet, M., Gunnell, Y. et Delmas, M.; 2008. *Géomorphogénèse des Pyrénées*. In: Canérot, J., Colin, J.-P., Platel, J.-P. et Bilotte, M.; Pyrénées d'Hier et d'Aujourd'hui; Vol. 1. Pau, atlantica; pp. 129-144.
- Calvet, R.; 2003. *Le sol: propriétés et fonctions, Volume 2*. France Agricole Editions, ; 511p.
- Canérot, J.; 2008. *Les Pyrénées alpines, histoire géologique et genèse de la chaîne*. In: Canérot, J., Colin, J.-P., Platel, J.-P. et Bilotte, M.; Pyrénées d'Hier et d'Aujourd'hui; Vol. 1. Pau, atlantica; pp. 37-54.
- Capel, H.; 1989. *The history of science and the history of the scientific disciplines. Goals and branching of a research program in the history of geography*. GEO CRITICA - Cuadernos Críticos de Geografía Humana; 84: pp. 64
- Carlson, B., Wang, D., Capen, D. et Thompson, E.; 2004. *An evaluation of GIS-derived landscape diversity units to guide landscape-level mapping of natural communities*. Journal for Nature Conservation; 12(1): pp. 15-23
- Carol, H.; 1956. *Zur Diskussion um Landschaft und Geographie*. Geographica Helvetica; 2: pp. 111-132
- Carol, H.; 1957. *Grundsätzliches zum Landschaftsbegriff*. Petermanns Geographische Mitteilungen; 101: pp. 93-97
- Carozza, J.-M.; 1998. *Évolution des systèmes géomorphologiques en contexte orogénique : l'exemple des bassins d'alimentation du Roussillon (Pyrénées Orientales). Approche morphotectonique*. Thèse de doctorat; sous la direction de Hubschmann, J.; Géographie, Toulouse 2. 1 Vol.; 381 p.
- Carozza, L., Galop, D., Marembert, F. et Monna, F.; 2005. *Quel statut pour les espaces de montagne durant l'âge du Bronze ? Regards croisés sur les approches sociétés-environnement dans les Pyrénées occidentales*. Documents d'Archéologie Méridionale; 28: pp. 7-23
- Carranza, M.L., Acosta, A. et Ricotta, C.; 2007. *Analyzing landscape diversity in time: The use of Rényi's generalized entropy function*. Ecological Indicators; 7(3): pp. 505-510
- Carroué, L., Renard, J.-P., Claval, P., Simon, L., Di Méo, G., Veyret, Y., Miossec, A. et Vigneau, J.-P.; 2002. *Limites et discontinuités en géographie*. SEDES;
- Cauwet-Marc, A.M. et Baudière, A.; 1988. *Apports récents à la connaissance de la flore et de la végétation de la partie orientale des Pyrénées*. In: Homenaje a Pedro Montserrat. pp. 483-490.
- Chamussy, H.; 2000. *Revisiter le concept de "montagne méditerranéenne"*. Montagnes méditerranéennes; 2000(12): pp. 37-47
- Chapin, F.S., Matson, P.A. et Mooney, H.A.; 2002. *Principles of terrestrial ecosystem ecology*. Birkhäuser; 436p.
- Chatelin, Y., Richard, J.-F. et Leneuf, N.; 1982a. *Modèles verbaux et transdisciplinarité dans l'étude des sols et paysages (tropiques humides) - 1. Essai critique en fonction de l'analyse de système*. Cahiers de l'ORSTOM - série pédologie co. XIX, N° 1: pp. 51-63
- Chatelin, Y., Richard, J.-F. et Leneuf, N.; 1982b. *Modèles verbaux et transdisciplinarité dans l'étude des sols et paysages (tropiques humides) - 2. Essai critique pour une approche matérialiste*. Cahiers de l'ORSTOM - série pédologie co. XIX, N° 1: pp. 65-78
- Chatelin, Y. et Riou, C., éd.; 1986. *Milieus et paysages - essai sur divers modalités de connaissances*. Recherches en géographie. Paris, Masson. 154 p.
- Chevallier, H.; 2003. *Forêt et milieux remarquables associés. Manuel pratique*. Projet de Parc naturel régional des Pyrénées Catalanes, H. Chevallier (consultant), AME; 370p.
- Chorley, R.J. et Kennedy, B.A.; 1971. *Physical geography: A systems approach*. London, Prentice-Hall; 370p.
- Ciattoni, A. et Veyret, Y.; 2007. *Les fondamentaux de la géographie*. Cursus, 2ème éd.; Paris, Armand Colin;
- Cibois, P.; 2000. *L'analyse factorielle*. QSJ, Paris, PUF; 128p.
- Claval, 1976. *Essai sur l'évolution de la géographie humaine*. Cahiers de géographie de Besançon, nouvelle éd.; Presses Universitaires de Franche-Comté; 204p.

- Claval, P.; 2001. *Epistémologie de la géographie*. fac géographie, Paris, Nathan Université;
- Clément, V.; 1994. *Contribution épistémologique à l'étude du paysage*. Mélanges de la Casa de Velázquez - Epoque contemporaine; 30(3): pp. 221-237
- Clément, V.; 2002. *De la marche-frontière au Pays-des-Bois - Forêts, sociétés paysannes et territoires en Vielle-Castille (XI-XXème siècle)*. Vol. 19; Bibliothèque de la Casa de Velázquez, 374p.
- COLLECTIF; 2003. *Charte du Parc Naturel Régional des Pyrénées Catalanes*. Agence Méditerranéenne de l'Environnement, Mont Louis. 171 p.
- Coste, H.; 1937. *Flore descriptive et illustrée de la France de la Corse et contrées limitrophes (3 tomes & index)*. Second Tirage éd.; Paris, Librairie des Sciences et des Arts;
- Council of Europe; 1979. *Directive 79/409/CEE du Conseil du 2 avril 1979 concernant la conservation des oiseaux sauvages* Conseil des Communautés Européennes, 02/04/1979.
- Council of Europe; 1992. *Directive 92/43/CEE du Conseil du 21 mai 1992 concernant la conservation des habitats naturels ainsi que de la faune et de la flore sauvages*; Conseil des Communautés Européennes, 21/05/1992.
- Council of Europe; 1996. *Stratégie paneuropéenne de la diversité biologique et paysagère*; éditions du Conseil de l'Europe, 23-25 october 1995. 74
- Council of Europe; 1999. *Vers une stratégie de développement territorial pour le continent européen - perspective d'évolution des zones rurales en Europe*. Conférence européenne des ministres responsables de l'aménagement du territoire (CEMAT), Editions du Conseil de l'Europe.
- Council of Europe; 2000. *Convention Européenne du Paysage / European Landscape Convention (ELC)*; Council of Europe, 20/10/2000.
- Council of Europe; 2006. *Paysage et développement durable - les enjeux de La Convention européenne du paysage*. Strasbourg, Editions du Conseil de l'Europe; 227p.
- Da Lage, A. et Metailié, G., éd.; 2000. *Dictionnaire de Biogéographie végétale*. Paris, CNRS éditions. 580 p.
- Dajoz, R.; 2003. *Précis d'écologie*. 7ème éd.; Paris, Dunod; 615p.
- Daumas, M.; 2000. *Une vocation nouvelle*. In: Taillefer, F.; Les Pyrénées - de la montagne à l'homme. Toulouse, Privat; pp. 393-422.
- Dauphiné, A.; 2003. *La théorie de la complexité chez les géographes*. Bailly, A.S., éd.; collection géographie, Paris, anthropos; 248p.
- Davasse, B.; 2000. *Forêts, charbonniers et paysans dans les Pyrénées de l'est du moyen âge à nos jours (une approche géographique de l'histoire de l'environnement)*. Thèse de doctorat; GEODE, Université de Toulouse - le Mirail.
- de Bolòs, O., Vigo, J., Masalles, R.M. et Ninot, J.M.; 1993. *Flora manual dels països catalans. conèixer la natura*, 2ème éd.; Editorial Pòrtic; 1248p.
- Dearden, P.; 1995. *Development and biocultural diversity in northern Thailand*. Applied Geography; 15(4): pp. 325-340
- Décamps, H. et Décamps, O.; 2004. *Au printemps des paysages*. collection Ecologie, Paris, éditions Buchet et Chastel; 232p.
- Deconchat, M. et Balent, G.; 1996. *Biodiversité et forêt dans un paysage agricole - Etude bibliographique*. In: Balent, G.; La forêt paysanne dans l'espace rural - Biodiversité, paysages, produits; Etudes et Recherches sur les Systèmes agraires et le Développement Vol. 29. INRA / Quae; pp. 15-36.
- Delmas, M.; 2009. *Chronologie et impact géomorphologique des glaciations quaternaires dans l'est des Pyrénées*. Thèse de doctorat; sous la direction de Charles Le Coeur; Université Panthéon-Sorbonne - Paris I.
- Delpoux, M.; 1972. *Écosystème et paysage*. Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest; 43(2): pp. 157-174
- Demangeot, J.; 2000. *Les milieux naturels du globe*. 8ème éd.; Paris, A. Colin; 364p.
- Depraz, S.; 2008. *Géographie des espaces naturels protégés : genèse, principes et enjeux territoriaux*. Paris, A. Colin;
- Desailly, B.; 1984. *Recherches géographiques sur les paysages et leur dynamique dans le massif du Madres - secteur de Sansa (Pyrénées Orientales)*. mémoire de maîtrise de géographie, sous la direction de G. SOUTADE, Université de Paris X - Nanterre, Centre de géographie Physique Henri ELHAI, (non publié)

- Desailly, B.; 1988. *Déprise pastorale et dynamiques des peuplements forestiers en montagne: l'exemple de Sansa, Pyrénées-Orientales*. Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest; 59(1): pp. 89-97
- Di Méo, G.; 1991. *L'homme, la société, l'espace*. Paris, anthropos :economica; 319p.
- Dierschke, H.; 1994. *Pflanzensoziologie - Grundlagen und Methoden*. UTB für Wissenschaft - Grosse Reihe, Ulmer UTB;
- Donadieu, P. et Périgord, M.; 2005. *Clés pour le paysage*. Géophrys; 368p.
- Doumenge, R.F.; 1984. *Unité et diversité des caractères naturels des îles tropicales*. Nature et Hommes dans les îles tropicales: réflexions et exemples; Vol. 3 CRET/CEGET, Université de Bordeaux III - Centre 'études de géographie tropicale (CEGET) / Centre de recherche sur les espaces tropicaux (CRET). 9-24 p.
- Droz, Y., Lavigne, J.-C., Massé, R. et Milbert, I.; 2006. *Ethique et développement durable*. Karthala éditions; 177p.
- Droz, Y., Miéville-Ott, V. et Chételat, J., éd.s.; 2005. *La polyphonie du paysage*. PPUR presses polytechniques. 225 p.
- Duchauffour, P.; 2001. *Introduction à la science du sol - Sol, végétation, environnement*. Sciences Sup, 6ème éd.; Paris, Dunod; 331p.
- Ducruc, J.-P.; 1985. *le "système écologique": un niveau privilégié du paysage*. In: Berdoulay, V. et Phipps, M.; *Paysage et Système*. Université d'Ottawa; pp. 23-32.
- Duhamel, G.; 1998. *Flore et cartographie des Carex de France*. Paris, Editions Boubée; 297p.
- Dupias, G.; 1985. *Végétation des Pyrénées - notice détaillée de la partie pyrénéenne des feuilles 69-72 et 76-78*. CNRS; 210p.
- Durand, C.; 2006. *Circulations fluides, transferts de matière et évolution minéralogique entre deux réservoirs à géochimie contrastée. Les septa carbonatés dans les granites du Quérizut (Pyrénées, France)*. sous la direction de Didier Marquer; UFR des sciences et techniques de l'Université de Franche Comté, Université de Franche-Comté 243 p.
- Eberhard, R., éd.; 1997. *Pattern and Process: Towards a Regional Approach to National Estate, Assessment of Geodiversity*. Technical Series No. 2 Canberra, Environment Australia;
- Eiden, G., Kayadjanian, M. et Vidal, C. (05/2000, 25/07/2009). "*Capturing Landscape structures: Tools*." From Land Cover to Landscape Diversity in the European Union, site web <http://europa.eu.int/comm/agriculture/publi/landscape/ch1.htm> ou <http://ec.europa.eu/agriculture/publi/landscape/index.htm>.
- Elkie, P.C., Rempel, R.S. et Carr, A.P.; 1999. *Patch Analyst User's Manual - A tool for quantifying landscape structure*. Northwest Science and Technology, Ontario, 22 p.
- Ertel, I.; 2003. *Étude diachronique de la physionomie végétale du Massif du Madres-Coronat - 1953-2000 - Élargissement de la zone étudiée par Núria Roura i Pascual aux communes de Serdinya, Sansa et Oreilla*. A.G.R.N.N / SIME / INRA / RNC, 45 p.
- Escofier, B. et Pagès, J.; 2008. *Analyse factorielles simples et multiples : objectifs, méthodes et interprétation*. coll. 2ème cycle école d'ingénieurs, 4ème éd.; Paris, Dunod; 316p.
- Espeut, M.; 1984. *Avifaune nicheuse du massif du Madres et du Mont-Coronat*. Université des Sciences et Techniques du Languedoc. 231 p.
- European Environment Agency; 2005. *Integration of environment into EU agriculture policy: The IRENA indicator-based assessment report*. EEA, Copenhagen.
- European Environment Agency; 2010. *Corine Land Cover 2006 seamless vector data - version 13 (02/2010)*.
- European Commission / E.E.A.; 2000. *From Land Cover to Landscape Diversity in the European Union*. European Environmental Agency, DG AGRI, EUROSTAT & Joint Research Centre (Ispra), 102 p.
- Farina, A.; 2000. *Landscape Ecology in Action*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers;
- Farina, A.; 2006. *Principles and Methods in Landscape Ecology - Towards a science of landscape*. Décamps, H., Tress, B. et Tress, G., éd.s.; Landscape Series, Vol. 3; 2ème éd.; Springer;
- Filleron, J.-C.; 1995. *Essai de géographie systématique : Les paysages du Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire*. Thèse d'État; Université de Toulouse - le Mirail. 2 Vol.;
- Filleron, J.-C.; 1998a. "*Le paysage, cela existe, même lorsque je ne le regarde pas*" ou quelques réflexions sur les pratiques paysagères des géographes. "Journée scientifique du Pôle Universitaire Européen de Montpellier « Le paysage entre culture et nature »". Université Paul Valéry Montpellier III; 23 janvier 1998;

- Filleron, J.-C.; 1998b. "Le paysage, cela existe, même lorsque je ne le regarde pas" ou quelques réflexions sur les pratiques paysagères des géographes. Revue de l'Economie Méditerranéenne; 46: pp. 275-287
- Filleron, J.-C.; 2005. *Pérennité du sens et diversité des pratiques*. "Paysages & valeurs - De la représentation à la simulation". Université de Limoges 24, 25, 26 novembre 2005;
- Filleron, J.-C. et Richard, J.-F.; 1974. *Recherches sur les paysages subsoudanais : les géosystèmes de la région d'Odienne (nord-ouest de la Côte d'Ivoire)* Annales de l'Université d'Abidjan - Série G : Géographie; 6: pp. 103-168
- Filleron, J.-C. et Waniez, P.; 2002. *Comment passer du stationnel au continu, puis du continu au discontinu, ou quelques réflexions sur la « petite dialectique » du naturaliste*. "Continu et discontinu dans l'espace géographique". Université Rabelais de Tours: 13-14 novembre 2002;
- Finke, L.; 1996. *Landschaftsökologie*. Das geographische Seminar, 3ème éd.; Braunschweig, Westermann; 245p.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO); 1998. *World Reference Base for Soil Resources 1998*. World Soil Resources Reports; Rome.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO); 2006. *World Reference Base for Soil Resources 2006 - A framework for international classification, correlation and communication*. World Soil Resources Reports; Rome. 145 p.
- Forman, R.T.; 1995. *Land Mosaics: The Ecology of Landscapes & Regions*. Cambridge, New York, Cambridge University Press;
- Forman, R.T. et Godron, M.; 1986. *Landscape ecology*. New York, John Wiley; 531p.
- Fournier, P.; 1990. *Les quatre flores de France. Corse comprise. Générale, Alpine, Méditerranéenne, Littorale*. 3ème éd.; Paris, Editions Lechevalier;
- Frémont, A.; 2009. *À la recherche du rural perdu*. Géographie Économie Société; 11(2009-1): pp. 39-45
- Frey, W. et Lösch, R.; 1998. *Lehrbuch der Geobotanik - Pflanze und Vegetation in Raum und Zeit*. 1ère éd.; Stuttgart, Gustav Fischer;
- Frontier, S.; 1999. *Les écosystèmes*. Que sais-je N° 3483, Paris, Presses Universitaires de France; 128p.
- Frontier, S., Pichod-Viale, D., Davoult, D., Leprêtre, A. et Luczak, C.; 1991. *Les écosystèmes - structure, fonctionnement, évolution*. collection d'écologie, Vol. 21; Paris, Masson; 392p.
- Fry, G.L.A.; 2001. *Multifunctional landscapes—towards transdisciplinary research*. Landscape and Urban Planning; 57(3-4): pp. 159-168
- Gallego, J.F., Escriabno, P. et Christensen, S. (05/2000). "Comparability of landscape diversity indicators in the European Union." site web <http://ec.europa.eu/agriculture/publi/landscape/ch4.htm> ou http://agrienv.jrc.ec.europa.eu/publications/pdfs/diversityCORINE_MARS.pdf.
- Gallego, J.F. et Escriabno, P.; 2000. *Landscape diversity indices from CORINE Land Cover and point observations*. In: Heuvelink, G.B.M. et Lemmens, M.J.P.; Accuracy 2000. Delft, Delft University Press; pp. 233-236.
- Galochet, M., Godard, V. et Hotyat, M.; 2002. *Unités paysagères et biodiversité des îlots boisés : De l'image satellitale à l'analyse de terrain*. In: Ryszkowski, L.; Landscape Ecology in Agroecosystems Management. Boca Raton, CRC Press; pp. 317-330.
- Galop, D.; 1998. *La forêt, l'homme et le troupeau dans le Pyrénées, 6000 ans d'histoire de l'environnement entre la Garonne et la méditerranée: contribution palynologique*. Thèse de doctorat; GEODE, laboratoire d'écologie terrestre, FRAMESPA, Université de Toulouse - le Mirail & Université Paul Sabatier. 286 p.
- Galop, D., Cugny, C. et Ruis, D.; 2008. *Rythmes et ruptures dans l'histoire de l'anthropisation du massif pyrénéen à partir des données polliniques*. In: Canérot, J., Colin, J.-P., Platel, J.-P. et Bilotte, M.; Pyrénées d'Hier et d'Aujourd'hui; Vol. 1. Pau, atlantica; pp. 181-189.
- Galop, D. et Vaquer, J.; 2004. *Regards croisés sur les premiers indices d'anthropisation en domaine pyrénéen*. In: Richard, H.; Néolithisation précoce. Premières traces d'anthropisation du couvert végétal à partir de données polliniques; Environnement, sociétés et archéologies Vol. 7. Presses Universitaires Franc-Comtoises; pp. 179-194.
- Gauquelin, T., Delpoux, M., Durrieu, G., Fabre, A., Fontès, J., Gouaux, P., Le Caro, P. et O'Donoghue, M.-H. (2005). "Histoire du Service de la carte de la végétation de la France." La revue pour l'histoire du CNRS, 13, site web <http://histoire-cnrs.revues.org/1697>.

- Gaussen, H.; 1926. *Végétation de la moitié orientale des Pyrénées. Sol. Climat. Végétation.* Gaussen, H., éd.; Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse, Vol. LV; Paris; 560p.
- Gaussen, H.; 1930. *La carte des productions végétales.* Annales de Géographie; **39**(220): pp. 337-358
- Gaussen, H.; 1938. *Étages et zones de végétation de la France* Annales de Géographie; **47**(269): pp. 463-464
- Gaussen, H.; 1947. *La carte de la végétation de la France. L'emploi des couleurs en cartographie* Les Études rhodaniennes; **22**(22-1): pp. 253-254
- Carte de la végétation de la France - feuille "Perpignan" - N° 78* Echelle: 1/200 000; Gaussen, H. - CNRS; 2ème éd., 1972.
- George, P. et Verger, F., éd.; 2006. *Dictionnaire de la géographie.* 2ème éd.; Paris, PUF;
- Gerling, W.; 1965. *Der Landschaftsbegriff in der Geographie - Kritik einer Methode.* Würzburg, Stahle'sche Universitätsbuchhandlung; 43p.
- Germaine, M.-A. et Puissant, A.; 2008. *Extraction d'indices paysagers et analyse quantitative des paysages de « vallées ordinaires » à partir de données images : L'exemple de la Seulles (Calvados, France)* Cybergeo; pp. 14
- Ginn, F. et Demeritt, D.; 2009. *Nature: A Contested Concept.* In: Valentine, G., Holloway, S.L., Clifford, N. et Rice, S.P.; *Key Concepts in Geography.* SAGE Publications; pp. 300-311.
- Glavac, V.; 1996. *Vegetationsökologie - Grundfragen, Aufgaben, Methoden.* Jena, Fischer;
- Godron, M., Daget, P., Long, G., Sauvage, C., Le Floc'h, E., Emberger, L., Poissonet, J. et Wacquand, J.-P.; 1983. *Code pour le Relevé Méthodique de la Végétation et du Milieu.* Emberger, L., éd.; Paris, Editions du Centre national de Recherche Scientifique;
- Godron, M. et Joly, H.; 2008. *Dictionnaire du paysage* Paris, Puf, Conseil international de la langue française; 287p.
- Gosselin, M. et Laroussinie, O., éd.; 2004. *Biodiversité et gestion forestière, connaître pour préserver. Synthèse bibliographique.* Paris, Cemagref, Gip-Ecofor. 320 p.
- Gray, M.; 2003. *Geodiversity: Valuing and Conserving Abiotic Nature.* John Wiley & Sons; 443p.
- Gray, M.; 2008. *Geodiversity: the origin and evolution of a paradigm.* In: Burek, C.V. et Prosser, C.D.; *The history of geoconservation*; Vol. 300 (special publication). London, Geological Society of London; pp. 31-36.
- Gray, M.; 2009. *Landscape: The Physical Layer.* In: Valentine, G., Holloway, S.L. et Clifford, N.; *Key Concepts in Geography.* SAGE Publications; pp. 265-285.
- Gregory, K.; 2009. *Place: The Management of Sustainable Physical Environments.* In: Valentine, G., Holloway, S.L., Clifford, N. et Rice, S.P.; *Key Concepts in Geography.* SAGE Publications; pp. 173-198.
- Grenier, C.; 2000. *Conservation contre nature, les îles Galapagos.* collection Latitudes, Vol. 23; Paris, IRD; 375p.
- Grenier, C.; 2006. *Entre les mailles du filet. Une approche géographique pour la conservation de la biodiversité.* "Le réveil du Dodo II - Journées francophones des sciences de la conservation de la biodiversité - " Arrêter l'érosion de la biodiversité en 2010"". Paris: 08/03/2006; Musée National d'Histoire Naturelle.
- Groupe CHADULE; 1997. *Initiation aux pratiques statistiques en géographie.* 4ème éd.; Paris, Armand Colin; 204p.
- Gruber, M.; 1973. *Les hêtraies et les Sapinières des Pyrénées ariégeoises.* Pirineos; **109**: pp. 51-62
- Gruber, M.; 1974. *Les forêts de Quercus pubescens Willd., de Q. rotundifolia Lam. et les garrigues à Q. coccifera L. des Pyrénées catalanes.* Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle; **110**((1-2)): pp. 141-156
- Gruber, M.; 1975a. *Contribution à la flore des Pyrénées ariégeoises et catalanes.* Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle; **111**(1-2): pp. 49-63
- Gruber, M.; 1975b. *Contribution à la flore des Pyrénées ariégeoises et catalanes : 2ème note.* Bull. Soc. Bot. Fr.; **124**: pp. 93-104
- Gruber, M.; 1975c. *Les associations du Nardion Br.-Bl. 1926 en Pyrénées ariégeoises et catalanes.* Bull. Soc. Bot. Fr.; **122**: pp. 401-416
- Gruber, M.; 1975d. *Les groupements des combes à neige des Pyrénées ariégeoises et catalanes.* Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle; **111**(1-2): pp. 49-63
- Gruber, M.; 1975e. *Les groupements végétaux rupicoles calcicoles des Pyrénées ariégeoises et catalanes.* Bull. Soc. Bot. Fr.; **123**(1-2): pp. 61-78

- Gruber, M.; 1975f. *Les pelouses de Festucion eskiae et du Festucion supinae de Pyrénées ariégeoises et catalanes*. Ecologia Mediterranea; 1: pp. 79-91
- Gruber, M.; 1978. *La végétation des Pyrénées Ariégeoises et Catalanes Occidentales*. Thèse de doctorat; Faculté des Sciences et Techniques St. Jérôme, Université de Droit, d'Economie et des Sciences Aix-Marseille III. 1 (& Annexes) Vol.; 306 p.
- Gruber, M.; 1980. *Etages et séries de végétation de la chaîne pyrénéenne*. Ecologia Mediterranea; 5(anno1979): pp. 147-177
- Guitard, G., Laumonier, B., Autran, A., Bandet, Y. et Berger, G.M.; 1998. *Notice explicative, Carte géologique France (1/50 000), feuille Prades (1095)*. Orléans, B.R.G.M.; 198p.
- Gumuchian, H.; 1995. *Sens et enjeux dans la montagne méditerranéenne*. Montagnes méditerranéennes; 1995(2): pp. 9-12
- Gumuchian, H. et Marois, C.; 2000. *Initiation à la recherche en géographie - Aménagement, développement territorial, environnement*. Bailly, A.S., éd.; collection Géographie, Montréal, les Presses de l'Université de Montréal, Anthropos;
- Gunnell, Y., Calvet, M., Brichau, S., Carter, A., Aguilar, J.-P. et Zeyen, H.; 2009. *Low long-term erosion rates in high-energy mountain belts: Insights from thermo- and biochronology in the Eastern Pyrenees*. Earth and Planetary Science Letters 278: pp. 208-218
- Gunnell, Y., Zeyen, H. et Calvet, M.; 2008. *Geophysical evidence of a missing lithospheric root beneath the Eastern Pyrenees: Consequences for post-orogenic uplift and associated geomorphic signatures* Earth and Planetary Science Letters 276: pp. 302-313
- Haase, G.; 1973. *Zur Ausgliederung von Raumeinheiten der chorischen und regionischen Dimension - dargestellt an Beispielen aus der Bodengeographie* Petermanns Geographische Mitteilungen; 117(2): pp. 81-90
- Haase, G.; 1976. *Die Arealstruktur chorischer Naturräume*. Petermanns Geographische Mitteilungen; 1976(2): pp. 130-135
- Haase, G.; 1977. *Ziele und Aufgaben der geographischen Landschaftsforschung in der DDR*. Geographische Berichte; 82: pp. 1-19
- Haase, G.; 1978. *Struktur und Gliederung der Pedosphäre in der regionischen Dimension*. Akademie der Wissenschaften, éd.; Beiträge zur Geographie - Arbeiten zur Bodengeographie, Vol. 29; Berlin, Akademie Verlag; 250p.
- Haase, G.; 1979. *Entwicklungstendenzen in der geotopologischen und geochorologischen Naturraumerkundung*. Petermanns Geographische Mitteilungen; 1979(1): pp. 7-18
- Haase, G.; 1989. *Medium scale landscape classification in the German Democratic Republic*. Landscape Ecology; 3(1): pp. 29-41
- Haase, G.; 1991. *Naturraumerkundung & Landnutzung: geochorologische Verfahren zur Analyse, Kartierung und Bewertung von Naturräumen*. Akademie der Wissenschaften, éd.; Beiträge zur Geographie, Vol. 34; Berlin, Akademie Verlag; 373p.
- Haase, G.; 1999. *Beiträge zur Landschaftsanalyse und Landschaftsdiagnose*. Abhandlungen der Sächsischen Akademie de Wissenschaften, Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse; Vol. 59 Sächsische Akademie de Wissenschaften, Leipzig/ Stuttgart. 203 p.
- Haber, W.; 1999. *Conservation of biodiversity - scientific standards and practical realization*. In: Kratochwil, A.; *Biodiversity in Ecosystems: Principles and Case Studies of Different Complexity Levels; Tasks of Vegetation Science* Vol. 34. Springer;
- Hard, G.; 1970a. *Die Landschaft der Sprache und die Landschaft der Geographen: semantische Studien zu einigen zentralen Denkfiguren in der Deutschen geographischen Literatur*. Colloquium Geographicum Vol. 11; Bonn, Dümmler; 278p.
- Hard, G.; 1970b. *"Was ist eine Landschaft?" über Etymologie als Denkform in der geographischen Literatur*. In: Bartels, D.; *Wirtschafts- und Sozialgeographie*. Köln & Berlin, pp. 66-84.
- Hard, G.; 1983. *Zu Begriff und Geschichte von "Natur" und "Landschaft" in der Geographie des 19. und 20. Jahrhunderts*. In: Grossklaus, G. et Oldemeyer, E.; *Natur als Gegenwelt*. Beiträge zur Kulturgeschichte der Natur. Karlsruhe, pp. 139-167.
- Hard, G.; 2002. *Landschaft und Raum*. Osnabrücker Studien zur Geographie - Aufsätze zur Theorie der Geographie Band 1; Vol. 22 Universität Osnabrück. Osnabrück. 328 p.
- Hargis, C.D., Bissonette, J.A. et David, J.L.; 1997. *Understanding the Measures of Landscape Pattern*. In: Bissonette, J.A.; *Wildlife and Landscape Ecology*. New York, Springer-Verlag; pp. 231-259.
- Hartge, K.-H. et Horn, R.; 2009. *Die physikalische Untersuchung von Böden*. 4ème éd.; Stuttgart, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung; 178p.

- Hawksworth, D.L.; 1996. *Biodiversity: measurement and estimation*. Volume 345 de Royal Society: Philosophical transactions. Series B, Springer; 140p.
- Hennekens, S.M. et Schaminée, J.H.J.; 2001. *Turboveg, a comprehensive database management system for vegetation data*. *Journal of Vegetation Science*; **12**: pp. 589-591
- Herbst, H., Förster, M. et Kleinschmit, B.; 2009. *Contribution of landscape metrics to the assessment of scenic quality - the example of the landscape structure plan Havelland/Germany*. *Landscape Online*; **10**, 1-17 p; <http://www.landscapeonline.de/archive/2009/10/>
- Hertig, J.-A. et Fallot, J.-M.; 2006. *Études d'impact sur l'environnement*. Traité de Génie Civil - Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, Vol. 23; 2 éd.; Lausanne, Presses polytechniques et universitaires romandes (PPUR); 544p.
- Herzog, F., Lausch, A., Müller, E. et Thulke, H.-H.; 1999. *Das Monitoring von Landschaftsveränderungen mit Landschaftsstrukturmaßen - Fallstudie Espenhain (pdf)*. *IÖR Schriften*; **29**: pp. 93-107
- Herzog, F., Lausch, A., Müller, E., Thulke, H.-H., Steinhardt, U. et Lehmann, S.; 2001. *Landscape metrics for assessment of landscape destruction and rehabilitation*. *Environmental Management*; **27**(1): pp. 91-107
- Hobohm, C.; 2000. *Biodiversität*. Uni - Taschenbücher 1ère éd.; Wiebelsheim, Quelle & Meyer, Humanitas Buchversand; 214p.
- Holzhammer, A., Seppelt, R. et Lausch, A.; 2005. *How do Changes in Land Use Patterns Affect Species Diversity? an Approach for Optimizing Landscape Configuration*. in: ERSA Conference Papers: 08/2005;
- Huc, S.; 2010. *Éboulis mobiles et marqueurs biogéographiques: les cas de la haute montagne des Pyrénées Orientales*. Thèse de doctorat; sous la direction de Marc Calvet; Université de Perpignan. 643 p.
- Huggett, R.; 1980. *Systems Analysis in Geography*. Contemporary Problems in Geography, Oxford, Clarendon PRESS;
- Huggett, R.J.; 1995. *Geoecology - An evolutionary approach*. Routledge; 320p.
- Huggett, R.J.; 2007. *A history of the systems approach in geomorphology*. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*; **2007**(2): pp. 145-158
- Huggett, R.J. et Cheesman, J.; 2002. *Topography and the environment*. Pearson Education 274p.
- International Association of Geomorphologists. (2004). "European Manifesto on Earth Heritage and Geodiversity." site web http://www.progeo.pt/pdfs/Manifesto_EH.pdf.
- Isnard, H., Racine, J.-P., Reymond, H. et George, P.; 1981. *Problématiques de la géographie*. Collection Sup, Paris, Presses universitaires de France; 262p.
- Ivits-Wasser, E.; 2004. *Potential of Remote Sensing and GIS as Landscape Structure and Biodiversity Indicators - Methodological Study Relating Field Data to Visually Interpreted and Segmented Landscape Objects and Image Grey Values*. sous la direction de Hildebrand, P.D.E.; Fakultät für Forst- und Umweltwissenschaften, Albert-Ludwigs-Universität. 232 p.
- Ivits, E. et Koch, B.; 2003. *Optimierung der Erfassung von Landschaftsdiversität auf der Basis von Satelliten- und Luftbildern: Ein Europäisches Landschaftskonzept*. In: Bastian, O., Grunewald, Schanze, J., et al.; Bewertung und Entwicklung der Landschaft; IÖR-Schriften Vol. 40. Institut für ökologische Raumentwicklung;
- Ivits, E., Koch, B., Blaschke, T. et Waser, L.; 2002. *Landscape connectivity studies on segmentation based classification and manual interpretation of remote sensing data*. "eCognition User-meeting". München, Germany: octobre 2002;
- Izard, V.; 1999. *Les montagnes du fer- Eco-histoire de la métallurgie et des forêts dans les Pyrénées méditerranéennes (de l'Antiquité à nos jours)*. Thèse de doctorat; sous la direction de BERTRAND, G.; Université de Toulouse, le Mirail.
- Jambu, M.; 1999. *Méthodes de base de l'analyse des données*. Collection technique et scientifique des télécommunications, Eyrolles; 412p.
- James, P.E.; 1971. *On geography, selected writings of Preston E. James*. Meinig, D.W., éd.; Syracuse geographical series, Vol. 3; New York, Syracuse University Press; 407p.
- James, P.E.; 1972. *All Possible Worlds. A History of Geographical Ideas*. Indianapolis, New York, Odyssey Press; 622p.
- Jedicke, E.; 2000. *Biodiversitätsindikatoren zur Bewertung von Nachhaltigkeit in Baden-Württemberg*. 7 p.

- Jedicke, E.; 2001. *Biodiversität, Geodiversität, Ökodiversität*. Naturschutz und Landschaftsplanung; 33: pp. 59-68
- Jessel, B.; 2006. *Elements, characteristics and character - Information functions of landscapes in terms of indicators*. Ecological Indicators; 6(1): pp. 153-167
- Joint Nature Conservation Committee. (2009, 20/7/2009). "Concepts of Geodiversity." site web http://www.ukglobalinfluence.org/Backgrounders/Geodiversity_A.pdf.
- Jollivet, M., éd.; 2001. *le développement durable, de l'utopie au concept - De nouveaux chantiers pour la recherche*. Paris, Elsevier. 288 p.
- Jongman, R.H.B.; 2000. *The difficult relationship between Biodiversity and Landscape diversity*. In: Brandt, J., Tress, B. et Tress, G.; Conference material for the international conference on Multifunctional Landscapes: Interdisciplinary Approaches to Landscape Research and Management. Roskilde, Centre for Landscape Research; pp. 72-83.
- Jongman, R.H.B., Ter Braak, C.J.F. et Van Tongeren, O.F.R., éd.; 1995. *Data analysis in community and landscape ecology*. nouvelle éd.; Cambridge, Cambridge University Press;
- Jonin, M. et Graviou, P.; 2008. *géodiversité en Bretagne, un patrimoine remarquable*. Geosciences. Vol. 7/8 56-63 p.
- Julve, P.; 1998a. *Baseflor. Index botanique, écologique et chorologique de la flore de France*.
- Julve, P.; 1998b. *Baseveg. Répertoire synonymique des groupements végétaux de France*. Dernière version consulté: 30 décembre 2010
- Karjalainen, P.T.; 1986. *Geodiversity as a lived world : on the Geography of Existence (Joensuun yliopiston yhteiskuntatieteellisiä julkaisuja)*. Publications in Social Sciences, University of Joensuu. 190 p.
- Khebour-Allouche, F.; 2007. *Éthologie du paysage - Contribution à l'étude des changement d'états des paysages de la dorsale tunisienne et du Cap Bon*. Thèse de doctorat; sous la direction de Filleron, J.-C. et Richard, J.-F.; UFR Sciences, Espaces, Sociétés, Université de Toulouse II - le Mirail. 2 Vol.; 510 p.
- King, D. et Saby, N.; 2001. *Analyse de la représentativité des cartes pédologiques de France au 1/100000 pour la connaissance des sols du territoire*. Etude et Gestion des Sols; 8(4): pp. 247-267
- Kleinschmit, B. et Walz, U.; 2006. *Landschaftsstrukturmaße in der Umweltplanung - Beiträge zum Workshop de IALE-AG Landschaftsstruktur- Berlin 2006*. Landschaftsentwicklung und Umweltforschung - Schriftenreihe der Fakultät Architektur Umwelt Gesellschaft; Vol. 519 Technische Universität Berlin. 180 p.
- Klug, H. et Lang, R.; 1983. *Einführung in die Geosystemlehre* Darmstadt, Wissenschaftliche Buchgesellschaft; 188p.
- Koffi, K.J., Deblauwe, V., Sibomana, S., Neuba, D.F.R., Champluvier, D., et al.; 2008. *Spatial pattern analysis as a focus of landscape ecology to support evaluation of human impact on landscapes and diversity*. In: Hong, S.-K., Nakagoshi, N., Fu, B. et Morimoto, Y.; Landscape Ecological Applications in Man-Influenced Areas: Linking Man and Nature Systems. Springer;
- Kotliar, N.B. et Wiens, J.A.; 1990. *Multiple scales of patchiness and patch structure: a hierarchical framework for the study of heterogeneity*. Oikos; 59: pp. 253-260
- Krishnamurthy, K.V.; 2003. *Textbook of biodiversity*. Science Publishers; 260p.
- Kull, M.; 2004. *Laborskript für das Bodenkunde-Laborpraktikum 2004*. Skriptum - support de TD, Institut für Géographie und Geoökologie 1 - Universität Karlsruhe 21 p. (non publié)
- Lacoste, A. et Salanon, R.; 2000. *Éléments de biogéographie & écologie*. Université, 2ème éd.; Nathan; 318p.
- Lacoste, Y.; 1977. *A quoi sert le paysage ?* Hérodote; 7: pp. 3-41
- Ladrière, J.; 1996. *Système (Epistémologie)*. In: Encyclopaedia Universalis; Vol. 21. Paris, pp. 1029-1032.
- Lamotte, M.; 1995. *A propos de la biodiversité*. Le courrier de l'environnement de l'INRA; N°24(avril 1995): pp. 5-12
- Lamotte, M., Blandin, P. et Sacchi, C.; 1996. *Écologie*. In: Universalis, E.; Encyclopaedia Universalis; Vol. 7. pp. 861-875.
- Lamotte, M. et Duvigneaud, P.; 1996. *Écosystèmes*. In: Universalis, E.; Encyclopaedia Universalis; Vol. 7. pp. 902-908.
- Lang, S.; 1999. *Aspekte und Spezifika der nordamerikanischen landscape metrics in der Landschaftsökologie und experimentelle Untersuchungen zum Proximity Index*. Naturwissenschaftliche Universität Salzburg (non publié)

- Lang, S. et Blaschke, T.; 2007. *Landschaftsanalyse mit GIS*. UTB, Stuttgart, Eugen Ulmer; 404p.
- Langlois, P.; 2001. *Formalisation des structures géographiques de base. De l'espace-temps-matière au géosystème*. In: Laboratoire THMEA, U.C.; Quatrièmes rencontres de THEO QUANT février 1999. Besançon, Presses Universitaires Franc-Comtoises Université de Franche-Comté; pp. 27-40.
- Lauber, K. et Wagner, G.; 2001. *Flora Helvetica*. 3ème éd.; Bern, Paul Haupt; 1615p.
- Laumonier, B.; 2008. *Les Pyrénées pré-hercyniennes et hercyniennes*. In: Canérot, J., Colin, J.-P., Platel, J.-P. et Bilotte, M.; Pyrénées d'Hier et d'Aujourd'hui; Vol. 1. Pau, atlantica; pp. 23-36.
- Lausch, A.; 1998. *Raumstrukturmaße in der Tagebaufolgelandschaft "Südraum Leipzig" - Monitoring und Bewertungsansätze*. in: Erfassung und Bewertung der Landschaftsstruktur (IÖR-Schriften N° 28); "IALE-Workshop 1998 - Erfassung und Bewertung der Landschaftsstruktur für Umweltmonitoring und Raumplanung". Dresden; Institut für ökologische Raumentwicklung e.V. (IÖR).
- Lautensach, H.; 1952. *Methodische Grundgedanken zum Geographischen Formenwandel*. Colloquium Geographicum Vol. 3 Geographisches Institut Bonn. 1-16 p.
- Lavorel, S.; 1999. *Ecological Diversity and Resilience of Mediterranean Vegetation to Disturbance. Diversity and Distributions*; 5(1/2 (Special Issue: Diversity, Stability and Conservation of Mediterranean-Type Ecosystems in a Changing World)); pp. 3-13
- Le Guyader, H.; 2008. *la biodiversité: un concept flou ou une réalité scientifique ? Le courrier de l'environnement de l'INRA*; 55(février 2008): pp. 7-26
- Le Moigne, J.-L.; 1990. *La théorie du Système en général - théorie de la modélisation* 3ème éd.; Paris, Presses universitaires de France; 330p.
- Le Moigne, J.-L.; 1996. *Science des systèmes*. In: Universalis, E.; Encyclopaedia Universalis.corpus.vol.21.silice-tabou; Vol. 21. pp. 1032-1037.
- Lebart, L., Morineau, A. et Piron, M.; 1995. *Statistique exploratoire multidimensionnelle*. Paris, DUNOD; 439p.
- Lebart, L., Morineau, A. et Piron, M.; 2004. *Statistique exploratoire multidimensionnelle*. 3ème éd.; Paris, DUNOD; 439p.
- Legros, J.-P.; 1996. *Cartographies des sols: de l'analyse spatiale à la gestion des territoires*. Gérer l'environnement, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes (PPUR); 321p.
- Legros, J.-P.; 2007. *Les grands sols du monde*. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes (PPUR); 574p.
- Lehtinen, A.A.; 2003. *Samhällsgeografi and the politics of nature*. In: Öhman, J. et Simonsen, K.; Voices from the north - New Trends in Nordic Human Geography. Aldershot, Ashgate; pp. 233-259.
- Lelli, L. et Paradis, S.; 2005. *Analyse critique d'un dispositif méthodologique de diagnostic paysager : le cas du bassin versant du Cérou (Tarn, Midi-Pyrénées)*. *Géocarrefour*,
- Lenz, R.J.M. et Stary, R.; 1998. *Landscape diversity and land use planning: a case study in Bavaria*. *Landscape and Urban Planning*; 31(1-3): pp. 387-398
- Lepart, J. et Marty, P.; 2006. *Des réserves de nature aux territoires de la biodiversité L'exemple de la France*. *Annales de géographie*; 651(5): pp. 485-507
- Lepš, J. et Šmilauer, P.; 2003. *Multivariate analysis of ecological data using CANOCO*. Cambridge University Press; 269p.
- Leser, H.; 1994. *Räumliche Vielfalt als methodische Hürde der Geo- und Biowissenschaften*. In: Brunner, H.; Festschrift für Heiner Barsch; Potsdamer Geographische Forschungen Vol. 9. Potsdam, Institut für Geographie und Geoökologie Potsdam; pp. 7-22.
- Leser, H.; 1997a. *Landschaftsökologie- Ansatz, Modelle, Methodik, Anwendung*. Uni-Taschenbücher 521, 4ème éd.; Stuttgart, UTB/Ulmer; 646p.
- Leser, H.; 1997b. *Von der Biodiversität zur Landschaftsdiversität. Das Ende des disziplinären Ansatzes der Diversitätsproblematik*. In: Erdmann, K.-H.; Internationaler Naturschutz. Berlin, pp. 145 - 175.
- Leser, H.; 1999. *Das landschaftsökologische Konzept als interdisziplinärer Ansatz - Überlegungen zum Standort der Landschaftsökologie*. In: MANNFELD, K. et NEUMEISTER, H.; Ernst Neefs Landschaftslehre heute; Petermanns Geographische Mitteilungen (PGM) - Ergänzungsheft Vol. 294. Gotha/Stuttgart, Klett-Perthes pp. 65-88.
- Leser, H., Haas, H.D., Mosimann, T. et Paesler, R.; 1997. *DIERCKE-Wörterbuch Allgemeine Geographie*. Westermann, Deutscher Taschenbuch Verlag; 1038p.

- Leser, H. et Nagel, P.; 1998. *Landscape Diversity - A holistic approach*. In: Barthlott, W. et Winiger, M.; *Biodiversity - A challenge for Development Research and Policy*. Springer; pp. 129-143.
- Leser, H. et Schaub, D.; 1995. *Geoecosystems and Landscape Climate - The Approach to Biodiversity on Landscape Scale*. *Gaia*; 4(1995): pp. 212 - 220
- Lévêque, C.; 2001. *Écologie : de l'écosystème à la biosphère*. sciences, Paris, Masson, Dunod; 502p.
- Lévêque, C.; 2003. *Ecology from ecosystem to biosphere*. Science publishers; 472p.
- Lévêque, C. et Mounolou, J.-C.; 2008. *Biodiversité - Dynamique biologique et conservation*. UniverSciences, 2ème éd.; Paris, Dunod;
- Lévêque, C., Muxart, T., Abbadie, L., Weill, A. et van der Leeuw, S.; 2003. *L'anthroposystème : entité structurelle et fonctionnelle des interactions sociétés - milieux*. In: Lévêque, C. et van der Leeuw, S.; *Quelles natures voulons-nous ?* Paris, Elsevier; pp. 110-129.
- Levin, S.A.; 2001. *Encyclopedia of Biodiversity*. In: /5. Academic Press;
- Leyer, I. et Wesche, K.; 2007. *Multivariate Statistik in der Ökologie*. Berlin, Springer; 221p.
- Lhenaff, R.; 1997. *Géomorphologie et géosystème*. In: Tabeaud, M., Pech, P. et Simon, L.; *Géo - Méditer - géographie physique et méditerranéenne*. Université de Paris I, publications de la Sorbonne; pp. 290.
- Loh, J. et Harmon, D.; 2005. *A global index of biocultural diversity*. *Ecological Indicators*; 5(3): pp. 231-241
- Long, G.; 1974. *Diagnostic phyto-écologique et aménagement du territoire, I- Principes généraux et méthodes*. Paris, Masson; 252p.
- Lörzing, H.; 2001. *The nature of landscape: a personal quest*. 010 Publishers; 176p.
- Luder, P.; 1981. *The diversity of landscape ecology - Definition and attempt at empirical identification*. *Angewandte Botanik - Journal of Applied Botany*; 55: pp. 321-329
- Mac Arthur, R.H. et Wilson, E.O.; 1971. *Biogéographie der Inseln*. das wissenschaftliche Taschenbuch, Vol. 14; München, Wilhelm Goldmann Verlag; 208p.
- Maes, E.; 2001. *Réhabilitation des paysages ruraux suite à la déprise agricole : application de techniques de suivi de la végétation sur le site expérimental des prés de fauche de Nohèdes (66) dans le cadre du projet Natura 2000 Madres-Coronat*. Mémoire de DEA Environnement et Paysages. Université Toulouse Le Mirail, AGRNN, 165 p. (non publié)
- Magurran, A.E.; 2004. *Measuring Biological Diversity*. Wiley-Blackwell; 260p.
- Mangeot, A.; 2000. *Plan de gestion de la Réserve Naturelle de Nohèdes - Complément relatif à la prévention des troupeaux contre les grands prédateurs sauvages, à l'invasion de *Senecio inaequidens*, à la problématique "Forêt à caractère naturel"*. A.G.R.N.N., Nohèdes. 30 p.
- Mannsfeld, K. et Neumeister, H., eds.; 1999. *Ernst Neefs Landschaftslehre heute*. Petermanns Geographische Mitteilungen Ergänzungsheft. Gotha, Klett-Perthes. 152 p.
- Marcel, J.-F.; 1982. *Recherches sur les communautés orophytiques du Massif du Madres (Pyrénées Orientales) : Applications à la dynamique des versants et à la limite supérieure de la forêt*. Terre, Ocean, Espace, Université de Toulouse 3 - Paul Sabatier. 221 p.
- Marschall, I.; 2005. *Die Europäische Landschaftskonvention (ELC) - Statement zum Einstieg in die Diskussion*. Kassel. Diaporama présenté au "BBN - Arbeitskreis Landschaftsplanung" p.
- Marty, P., Vivien, F.-D., Lepart, J. et Larrère, R.; 2005. *les biodiversités - objets, théories, pratiques*. CNRS éditions; 262p.
- Mathevet, R.; 2007. *Les sciences de la conservation en pleine évolution*. *Espaces Naturels*; 20: pp. 24
- Mathevet, R. et Poulin, B.; 2006. *De la biologie à la géographie de la conservation* *Bulletin de l'Association de Géographes Français*; 83(3): pp. 341-354
- Mathieu, C. et Pieltain, F.; 2003. *Analyse chimique des sols - Méthodes choisies*. Paris, Tec & Doc; 388p.
- Maurel, O., Brunel, M. et Monié, P.; 2002. *L'exhumation cénozoïque des massifs du Canigou et de Mont Louis (Pyrénées Orientales, France)*. *Comptes Rendus Geoscience*; 334: pp. 941-948
- Mazùr, E.; 1983. *Landscape Syntheses - Objectives and Tasks*. *Geojournal*; 7(2): pp. 101-106
- McGarigal, K., Cushman, S.A., Neel, M.C. et Ene, E.; 2002. *FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps*. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst.
- McGarigal, K., Cushman, S.A. et Stafford, S.G.; 2000. *Multivariate Statistics for Wildlife and Ecology Research*. New York, Springer-Verlag;

- McGarigal, K. et Marks, B.J.; 1995. *FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Portland, Oregon. 122 p.
- Médail, F. et Quézel, P.; 1999. *Biodiversity Hotspots in the Mediterranean Basin: Setting Global Conservation Priorities*. *Conservation Biology*; **13**(6): pp. 1510-1513
- Messerli, B. et Ives, J.-D., éd.; 1999. *Les Montagnes dans le Monde - une priorité pour un développement durable*. Grenoble, Glénat. 480 p.
- Métaillié, J.-P.; 2005. *L'homme et la montagne : pastoralisme, métallurgie et forêts dans les Pyrénées*. In: Vergnolle-Mainar, C. et Desailly, B.; Environnement et sociétés - Territoires, risques, développement, éducation; collection scientifique Focus. Scéren - CRDP Midi-Pyrénées; pp. 65-73.
- Métaillié, J.-P.; 2006. *La "dégradation des montagnes" au XIXème siècle dans les Pyrénées*. In: Beck, C., Luginbühl, Y. et Muxart, T.; Temps et espaces des crises de l'environnement. Quae; pp. 191-210.
- Métaillié, J.-P. et Bertrand, G.; 2006. *Les mots de l'environnement*. Presses Universitaires du Mirail; 128p.
- Métaillié, J.-P. et Paegelow, M.; 2003. *Land abandonment and the spreading of the forest in the eastern French Pyrenees*. In: Mazzoleni, S., Mulligan, M., Di Martino, P. et Rego, F.; Recent Dynamics of Mediterranean Vegetation and Landscape. Gordon and Breach; pp. 243-280
- Meunier, C.; 1999a. *Guide méthodologique de mise en oeuvre des actions Natura 2000*. Rapport d'étude, AGRNN, 74 p. (non publié)
- Meunier, C.; 1999b. *Mise en oeuvre de la Directive Habitats sur le site expérimental Madres-Coronat*. Association gestionnaire de la réserve naturelle de Nohèdes, Université de Toulouse, le Mirail, Toulouse. 75 p.
- Meynen, E., éd.; 1985. *International Geographical Glossary - Glossaire géographique international - Internationales geographisches Glossarium*. Wiesbaden, Franz Steiner. 1479 p.
- Milian, J.; 1998. *De la directive HABITATS à la mise en place du réseau NATURA 2000 -éléments d'approche épistémologique et méthodologique d'une nouvelle politique des espaces naturels*. mémoire de DEA « T.E.A.M : paysage», Université de Toulouse, le Mirail, (non publié)
- Milian, J.; 2001. *Le projet Natura 2000 et la protection du patrimoine naturel - l'exemple des sites expérimentaux pyrénéens*. études rurales; **157-158**, <http://etudesrurales.revues.org/document35.html>
- Milian, J.; 2003. *la construction du réseau NATURA 2000 dans les Pyrénées françaises et ses implications pour le pastoralisme*. Sud-ouest européen; **2003**(16): pp. 15-24
- Ministère de l'écologie et du développement durable; 2004. *Stratégie française pour la biodiversité*. Ministère de l'écologie et du développement durable - République Française. 48 p.;
- Moine, A.; 2006. *Le territoire comme un système complexe : un concept opératoire pour l'aménagement et la géographie*. Espace géographique; **35**(2): pp. 115 -132
- Moine, A.; 2007. *Le territoire : comment observer un système complexe*. itinéraires géographiques 1, L'Harmattan; 176p.
- Mora, O.; 2009. *Les nouvelles ruralités à l'horizon 2030*. collection Update, sciences & technologie, Paris, Lavoisier; 112p.
- Morin, E.; 2005. *Introduction à la pensée complexe*. 2ème éd.; éditions du Seuil; 158p.
- Morin, K.M.; 2009. *Landscape: Representing and Interpreting the world*. In: Valentine, G., Holloway, S.L. et Clifford, N.; Key Concepts in Geography. SAGE Publications; pp. 286-299.
- Morschel, J.; 2006. *L'eau et les paysages dans la Dorsale Tunisienne : expliquer le cheminement des flux hydriques en fonction des organisations présentes dans le milieu naturel*. Thèse de doctorat; sous la direction de Laborde, J.-P.; Université de Nice-Sophia Antipolis. 1 Vol.; 393 p.
- Mosimann, T.; 1984. *Landschaftsökologische Komplexanalyse*. Stäblein, G. et Windhorst, H.-W., éd.; Wissenschaftliche Paperbacks - Geographie, Stuttgart, Wiesbaden, Franz Steiner Verlag;
- Müller, A.M.; 2003. *Analyse d'un géosystème des Pyrénées Orientales - géodiversité des milieux dans un vallon du massif des Albères*. mémoire de maîtrise de géographie, Université de Toulouse 2 - le Mirail, 166 p. (non publié)
- Müller, A.M.; 2004. *La géodiversité du Mont Coronat (Haut Conflent, Pyrénées Orientales)- Analyse géosystémique et évaluation d'une nouvelle notion pour la protection des espaces pour les*

- espèces. mémoire de DEA, option "environnement et paysage", laboratoire GEODE UMR5602/CNRS; Université de Toulouse 2 - Le Mirail, 152 p. (non publié)
- Müller, P.; 1980. *Biogeographie*. Uni-Taschenbücher Biologie, Geographie, Ökologie, Stuttgart, Eugen Ulmer; 412p.
- Muséum National d'Histoire Naturelle; 2001. *Rapport Ourisson sur le Comité Scientifique d'Orientation Muséum national d'Histoire naturelle*. Museum National d'Histoire Naturelle, 31 p.
- Mutke, J. et Barthlott, W.; 2005. *Patterns of vascular plant diversity at continental to global scales*. Biologische Skrifter; **55**: pp. 521-531
- Muxart, T. et Lévêque, C.; 2004. *Anthroposystème*. Hypergéô, 3 p; <http://www.hypergeo.eu/spip.php?article270#>
- Muxart, T., Vivien, F.-D., Villalba, B. et Bournouf, J., éd.; 2003. *Des milieux et des hommes: fragments d'histoires croisées*. collection environnement. Paris, Elsevier;
- Nagaike, T. et Kamitani, T.; 1999. *Factors affecting changes in landscape diversity in rural areas of the Fagus crenata forest region of central Japan*. Landscape and Urban Planning; **43**(4): pp. 209-216
- Nagendra, H.; 2002. *Opposite trends in response for the Shannon and Simpson indices of landscape diversity*. Applied Geography; **22**(2): pp. 175-186
- Naveh, Z.; 1982. *Landscape ecology as an emerging branch of human ecosystem science*. Advances in Ecological research; **12**: pp. 189-237
- Naveh, Z.; 1994a. *Biodiversity & landscape management*. In: Kim, K.C. et Weaver, R.D.; Biodiversity and landscapes: a paradox of humanity. Cambridge, Cambridge University Press; pp. 187-207.
- Naveh, Z.; 1994b. *From Biodiversity to ecodiversity: a landscape-ecology approach to conservation and restoration*. Restoration Ecology; **2**(3): pp. 180-189
- Naveh, Z.; 2000. *What is holistic landscape ecology? A conceptual introduction*. Landscape and Urban Planning; **50**(1-3): pp. 7-26
- Naveh, Z.; 2007. *Transdisciplinary challenges in landscape ecology and restoration ecology: an anthology*. Springer; 423p.
- Naveh, Z. et Lieberman, A.; 1994. *Landscape Ecology- Theory and Application*. 2ème éd.; New York, Springer; 360p.
- Neef, E.; 1955. *Einige Grundfragen der Landschaftsforschung*. Wissenschaftliche Zeitschrift der Karl-Marx-Universität Leipzig; **5**: pp. 531-541
- Neef, E.; 1956a. *Axiomatische Grundlagen der Geographie*. Geographische Berichte; **2**: pp. 85-91
- Neef, E.; 1956b. *Das Gesicht der Erde (Physische Geographie)*. Brockhaus Nachschlagewerk, 3ème éd.; Leipzig, V.E.B Brockhaus Verlag; 627p.
- Neef, E.; 1963. *Topologische und chorologische Arbeitsweisen in der Landschaftsforschung*. Petermanns Geographische Mitteilungen; **107**(4)
- Neef, E.; 1964. *Zur grossmasstäbigen Landschaftsökologischen Forschung*. Petermanns Geographische Mitteilungen; **108**(1/2): pp. 9-29
- Neef, E.; 1967a. *Anwendung und Theorie in der Geographie*. Petermanns Geographische Mitteilungen; **111**(3): pp. 200-206
- Neef, E.; 1967b. *Die Theoretischen Grundlagen der Landschaftslehre*. Gotha-Leipzig, 152p.
- Neef, E.; 1968. *Über Geosysteme*. "Theoretische Konferenz der Fachsektion Physische Geographie". Dresden: 1997;
- Neef, E.; 1970. *Zu einigen Fragen der vergleichenden Landschaftsökologie*. Geographische Zeitschrift; **58** (1970): pp. 161-175
- Neef, E.; 1972a. *Geographie und Umweltwissenschaft*. Petermanns Geographische Mitteilungen; **116**(2): pp. 81-88
- Neef, E.; 1972b. *Topologie der Geosysteme*. Petermanns Geographische Mitteilungen; **116**(2): pp. 128-129
- Neef, E.; 1976. *Literaturbericht - Besprechungen : James, Preston E.: 1) On Geography - Selected Writings of Preston E. James, Ed. by D.W. Meinig; 2) All possible worlds. A history of geographical Ideas*. Petermanns Geographische Mitteilungen; **120**(1): pp. 50
- Neef, E.; 1983a. *Ausgewählte Schriften*. Barthel, H., éd.; Petermanns Geographische Mitteilungen Ergänzungsheft, Vol. 283; Gotha, Haack;
- Neef, E.; 1983b. *Über Geosysteme*. In: Barthel, H.; Ernst Neef - Ausgewählte Schriften. Gotha, August Bebel Druckerei; pp. 138-144.

- Neff, C.; 1995a. *Feux de forêts dans les paysages de Garrigues méditerranéennes méthodes d'évaluation des risques du potentiel dangereux exemple de la Vaunage (Midi Français)*. Bulletin de la Société d'études des sciences naturelles de Nîmes et du Gard; Vol. 60 58-65 p.
- Neff, C.; 1995b. *Waldbrandrisiken in den Garrigues de Nîmes (Südfrankreich) - eine geographische Analyse*. Materialien zur Geographie; Vol. 27 Universität Mannheim. Mannheim. 177 p.
- Neff, C.; 2000. *MEDGROW - Vegetationsdynamik und Kulturlandschaftswandel im Mittelmeerraum*. Mannheimer Geographische Arbeiten; Vol. 52 Dörrer, I., Frankenberg, P., Gans, P., et al., Universität Mannheim. Mannheim. 226 p.
- Neff, C. et Scheid, A.; 2003. *50 Jahre nach Gaussen: Bemerkungen zur Anwendung historischer Vegetationskarten in mediterranen Ökosystemen im Rahmen der Global Change Forschung*. IÖR-Schriften; **40**: pp. 211-224
- Nentwig, W.; 2004. *Ökologie*. Spektrum Lehrbuch, 1ère éd.; Heidelberg, Spektrum Akademischer Verlag; 466 p.
- Neumeister, H.; 1977. *Theoretische Fragen zur Landschaftsgenese*. Geographische Berichte; **82**(1): pp. 20-32
- Neumeister, H.; 1979a. *Das Schichtkonzept und einfache Algorithmen zur Vertikalverknüpfung von "Schichten" in der physischen Geographie*. Petermanns Geographische Mitteilungen; **123**(1): pp. 19-23
- Neumeister, H.; 1979b. *Zur Messung der "Leistung" des Geosystems - Forschungsansätze in der physisch-geographischen Prozessforschung* Petermanns Geographische Mitteilungen; **97**(2): pp. 101-107
- Neumeister, H.; 1981. *Schichten als Strukturelemente und das zeitliche Verhalten von Geosystemen*. Petermanns Geographische Mitteilungen; **125**(81/4): pp. 231-238
- Neumeister, H.; 1988. *Landschaftshaushalt & Geoökologie*. Petermanns Geographische Mitteilungen; **132**(2): pp. 101-108
- Neumeister, H.; 1999. *Heterogenität - Grundeigenschaft der räumlichen Differenzierung in der Landschaft* In: MANNSELD, K. et NEUMEISTER, H.; Ernst Neefs Landschaftslehre heute; Petermanns Geographische Mitteilungen: Ergänzungsheft 294. Gotha/Stuttgart, pp. 89-106.
- Nicol, A.; 1995. *Les Fleurs des Pyrénées -Tome V (Spécial "Endémiques")*. Pau, 219p.
- NIJOS/OECD (2003). *Proceedings of the NIJOS/OECD Expert meeting*,. "Agricultural Landscape Indicators", Oslo, Norway, 7th - 9th October, 2002;
- Nussbaum, F.; 1945. *Orographische und morphologische Untersuchungen in den östlichen Pyrenäen*. Jahresbericht der geographischen Gesellschaft von Bern; Vol. XXXV Kommissionsverlag von A. Francke AG. 148 p.
- O'Neill, R.V., Krummel, J.R., Gardner, R.H., Sugihira, G., Jackson, B., et al.; 1988. *Indices of Landscape Pattern*. Landscape Ecology; **1**(3): pp. 153-162
- Odum, E.-P.; 1999. *Ökologie : Grundlagen, Standorte, Anwendung*. 3ème éd.; Stuttgart, Thieme; 471p.
- OECD; 1999. *Indicateurs environnementaux pour l'agriculture - concepts et cadres d'analyse*. Vol. 1; OECD Publishing; 224p.
- OECD; 2001. *Indicateurs environnementaux pour l'agriculture: méthodes et résultats : résumé*,. Vol. 3; OECD Publishing; 444p.
- Öhman, J. et Simonsen, K., édés.; 2003. *Voices from the north - New Trends in Nordic Human Geography*. Aldershot, Ashgate. 314 p.
- Olwig, K.R.; 2009. *Landscape, Culture and Regional Studies: Connecting the Dots*. In: Castree, N., Demeritt, D., Liverman, D. et Rhoads, B.; A Companion to Environmental Geography. Wiley-Blackwell; pp. 238-252.
- Ozenda, P.; 1995. *Sur une définition biogéographique de la montagne méditerranéenne*. Montagnes méditerranéennes; **1995**(2): pp. 19-21
- Ozenda, P.; 2000. *Les végétaux- organisation et diversité biologique*. Paris, Dunod; 516p.
- Paegelow, M. et Camacho-Olmedo, M.-T.; 2003. *Processus d'abandon des cultures et dynamique de reconquête végétale en milieu méditerranéen: L'exemple des Garrotxes (P.-O., France) et de la Alta Alpujarra granadina (Sierra Nevada, Espagne)*. Sud-ouest européen; **2003**(16): pp. 113-130
- Paegelow, M. et Camacho-Olmedo, M.-T.; 2005. *Possibilities and limits of prospective GIS land cover modelling – a compared case study: Garrotxes (France) and Alta Alpujarra Granadina(Spain)*. International Journal of Geographical Information Science; **19**(6): pp. 697-722

- Paegelow, M., Villa, N., Cornez, L., Ferraty, F., Ferré, L. et Sarda, P.; 2004. *Modélisations prospectives de l'occupation du sol. Le cas d'une montagne méditerranéenne*. Cybergéogéographie; **document 295**, 19 p; <http://www.cybergeo.eu/index2811.html>
- Paffen, K.-H.; 1948. *Ökologische Landschaftsgliederung*. Erdkunde; **2**: pp. 167-173
- Paffen, K.; 1953. *Die natürliche Landschaft und ihre räumliche Gliederung - Eine methodische Untersuchung am Beispiel der Mittel- und Niederrheinlande*. Forschungen zur deutschen Landeskunde, Remagen, Verlag der Bundesanstalt für Landeskunde; 196p.
- Paffen, K.; 1973. *Das Wesen der Landschaft*. Wege der Forschung Vol. XXXIX; Darmstadt, Wissenschaftliche Buchgesellschaft Darmstadt; 514p.
- Palang, H., Mander, Ü. et Luud, A.; 1998. *Landscape diversity changes in Estonia*. Landscape and Urban Planning; **41**: pp. 163-169
- Pansu, M. et Gautheyrou, J.; 2006. *Handbook of soil analysis*. Springer; 993p.
- Parage, V.; 2005. *Études des dynamiques spatio-temporelles dans un paysage pastoral - L'apport des statistiques multidimensionnelles au sein d'un SIG*. mémoire de DEA "environnement et paysage", GEODE UMR5602/CNRS, Institut de Géographie Daniel FAUCHER, 132 p. (non publié)
- Parresol, B.R. et McCollum, J.; 1997. *Characterizing and comparing Landscape Diversity using GIS and contagion index*. Journal of Sustainable Forestry; **5**(1/2): pp. 249-261
- Parsons, H.; 2000. *An Analysis of Landscape Diversity on the Floodplain of a Scottish Wandering Gravel-bed River*. Department of Environmental Science, University of Stirling. 467 p.
- Pearson, G.; 1996. *La diversité des paysages : une chance pour un avenir durable du monde rural* Rapport du 2e Séminaire paneuropéen sur les paysages ruraux - Poznan (Pologne), 25-30 septembre 1995 - Collection Rencontres Environnement; l'Europe, C.d., Conseil de l'Europe, 47 p.
- Pedroli, B., Pinto Correai, T. et Cornish, P.; 2004. *European landscape diversity, or how to turn scattered remains into a major asset*. "De la connaissance des paysages à l'action paysagère". Bordeaux, France: 2/12/2004 - 4/12/2004;
- Péguy, C.-P.; 2001. *Espace, Temps, Complexité - vers une métagéographie*. Géographiques Reclus, Paris, Bélin; 283p.
- Peters, D.P. et Goslee, S.C.; 2001. *Landscape Diversity*. In: Levin, S.A.; *Encyclopedia of Biodiversity*; Vol. 3 /5. Academic Press; pp. 645-658.
- Peters, W.; 1998. *Zur Theorie der Modellierung von Natur und Umwelt* Dissertation Dr.-Ing; sous la direction de Scharpf, H., Bechmann, A. et Wiegler, G.; Fachbereich 7 - Umwelt und Gesellschaft Technische Universität Berlin. 240 p.
- Pickett, S.T.A. et Grove, J.M.; 2009. *Urban ecosystems: What would Tansley do?* Urban Ecosystems; **12**: pp. 1-8
- Pignatti, G. et Pignatti, S.; 2001. *Biodiversity in mediterranean ecosystems*. In: Kratochwil, A.; *Biodiversity in ecosystems - Principles and case studies of different complexity levels*; TIVS Vol. 34. Kluwer Academic Publishers; pp. 59-74.
- Pinchemel, P. et Pinchemel, G.; 1997a. *Description et typologie des milieux naturels*. In: Pinchemel, P. et Pinchemel, G.; *La face de la terre*. Paris, Armand Colin, Masson; pp. 288-303.
- Pinchemel, P. et Pinchemel, G.; 1997b. *Les Milieux naturels*. In: Pinchemel, P. et Pinchemel, G.; *La face de la terre*. Paris, Armand Colin, Masson; pp. 218-230.
- Pinto Correai, T. et Vos, W.; 2004. *Chapter 10: Multifunctionality in mediterranean landscapes - past and future*. In: Jongman, R.H.B.; *The new dimensions of the European Landscape*. Springer; pp. 135-163.
- Pitte, J.-R. et de Planhol, X.; 1995. *Géographie historique et culturelle de l'Europe: hommage au professeur Xavier de Planhol*. Presses Paris Sorbonne; 423p.
- Pourtier, R.; 2003. *Développement « rural » au Sud, géodiversité et dynamiques territoriales*. in: Actes du colloque international sur l'organisation spatiale et gestion des ressources et des territoires ruraux; "Colloque international sur l'organisation spatiale et gestion des ressources et des territoires ruraux". Montpellier, France: 25-27 février 2003; UMR Sagert.
- Pourtier, R.; 2004. *Développement « rural » au Sud, géodiversité et dynamiques territoriales*. Historiens et Géographes; **187**: pp. 217-230
- Preobrazhenskiy, V.S.; 1983. *Geosystem as an Object of Landscape Study*. GeoJournal; **7**(2): pp. 131-134
- Prieur, M.; 2001. *Droit de l'environnement*. 4ème éd.; Dalloz; 944p.

- Pumain, D.; 1999. *Réinventer la géodiversité - Editorial*. 1 p;
<http://www.cybergegeo.eu/index605.html>
- Pumain, D.; 2005. *Synthèse de la journée de la population européenne - L'urbanisation européenne est-elle un modèle durable ?* "Journée de la population européenne / European Population Day". Tours, France: 21/07/2005;
- Quézel, P. et Barbero, M.; 1985. *Carte de la végétation potentielle de la région méditerranéenne - Feuille N° 1 : Méditerranée orientales*. CNRS, Paris. 69 p.
- Quézel, P. et Médail, F.; 2004. *Écologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen*. Environnement, Elsevier; 572p.
- Raffin, J.-P.; 2000. *De la protection de la nature à la biodiversité*. In: THEYS, J.; L'environnement au XXIe siècle : visions du futur; Les Cahiers du Germes n° 16 Vol. 2 /3. GERMES; pp. 267-286.
- Ramade, F.; 1999. *Dictionnaire d'Écologie*. Universalis, E., éd.; Albin Michel; 1399p.
- Ramade, F.; 2003. *Éléments d'écologie- écologie fondamentale*. Sciences Sup, 3ème éd.; Paris DUNOD; 690p.
- Ramade, F.; 2009. *Éléments d'écologie- écologie fondamentale*. Sciences Sup, 4ème éd.; Paris DUNOD; 690p.
- Rambaud, D. et Waechter, F.; 2001. *Lexique des matériaux - Essai d'un lexique du langage du paysage adapté au milieu méditerranéen*. CD-Rom, Université de Montpellier, (non publié)
- Rameau, J.-C., Gauberville, C. et Drapier, N.; 2000a. *Gestion forestière et diversité biologique, identification et gestion intégrée des habitats et espèces d'intérêt communautaire - domaine atlantique*. ENGREF / ONF / IDF, Paris.
- Rameau, J.-C., Gauberville, C. et Drapier, N.; 2000b. *Gestion forestière et diversité biologique, identification et gestion intégrée des habitats et espèces d'intérêt communautaire - domaine continental*. ENGREF / ONF / IDF, Paris.
- Rameau, J.-C., Mansion, D., Dume, G., Gauberville, C., Bardat, J., Bruno, E. et Keller, R.; 2008. *Flore forestière française, guide écologique illustré, 3. Région méditerranéenne*. IDF, éd.; Vol. 3; Paris, Institut pour le développement forestier, Ministère de l'agriculture et de la forêt, direction de l'espace rural et de la forêt, Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et des Forêts; 2436p.
- Rameau, J.-C., Mansion, D., Dumé, G., Timbal, J., Lecoïnte, A., Dupont, P. et Keller, R.; 1994. *Flore forestière française, guide écologique illustré, 2. Montagnes*. Vol. 2; Paris, Institut pour le développement forestier, Ministère de l'agriculture et de la forêt, direction de l'espace rural et de la forêt, Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et des Forêts; 2422p.
- Rautenberg, M.; 1994. *Éléments pour une politique culturelle de la diversité paysagère dans la Région Rhône-Alpes*. *Revue de géographie alpine*; 69(4): pp. 319-324
- Ravail, D. et Braun, G.; 2004. *le vocabulaire géographique en français, anglais, allemand*. Publibook; 310p.
- Reille, M.; 1990. *Recherches pollenanalytiques dans l'extrémité orientale des Pyrénées: données nouvelles de la fin du glaciaire à l'actuel*. *Ecologia Mediterranea*; 14: pp. 317-357
- Rendu, C.; 2003. *La Montagne d'Enveig. Une estive pyrénéenne dans la longue durée*. Perpignan, éditions du Trabucaire; 606p.
- Rey, P.; 2009. *Histoire de la cartographie de la végétation en France*. *La lettre du CFC*; 199: pp. 105-115
- Richard, J.-F.; 1975. *Paysages, Écosystèmes, Environnement : une approche géographique*. *Espace Géographique*; 2(1975): pp. 81-92
- Richard, J.-F.; 1985. *Le paysage, analyse et synthèse. Contribution méthodologique à l'étude des milieux tropicaux*. sous la direction de Chatelin, Y.; Unité d'enseignement et de recherche en géographie, histoire et sciences de la société, Université de Paris VII. 438 p.
- Richard, J.-F.; 1989a. *Le paysage, un nouveau langage pour l'étude des milieux tropicaux*. Paris, éd. de l'ORSTOM; 210p.
- Richard, J.-F.; 1989b. *Méthode d'analyse des paysages - un système d'informations géographiques*. Paris, éditions de l'ORSTOM; 68p.
- Richard, J.-F. et Filleron, J.-C.; 1974. *Description méthodique du paysage - Formulaires simplifiés de relevé du géofaciès et des géosystèmes*. Vol. ORSTOM, ORSTOM, centre d'Adiopodoumé. Abidjan, Côte d'Ivoire. 31 p.
- Richard, J.-F., Kahn, F. et Chatelin, Y.; 1977. *Vocabulaire pour l'étude du milieu naturel (Tropiques humides)*. *Cahiers de l'ORSTOM, série Pédologie XV(1)*: pp. 43-62

- Richard, J.-F., Khebour-Allouche, F., Labiadh, M. et Morschel, J.; 2005a. *L'eau et le paysage dans la Dorsale Tunisienne et au Cap Bon. chapitre 13 : Note sur les composantes du milieu physique (identification et diagnostics typologiques. Révision)*. 62 p;
- Richard, J.-F., Khebour-Allouche, F., Labiadh, M., Morschel, J., Riahi, O., Temple-Boyer, E., Gallardo, S., Rebaï, H. et Richard-Schott, F.; 2005b. *L'eau et le paysage dans la Dorsale tunisienne et au Cap Bon*. DVD-Rom. Tunis, Institut de Recherche pour le Développement, UMR LISAH. 870 p.
- Richer de Forges, A., Feller, C., Jamagne, M. et Arrouays, D.; 2008. *Perdus dans le triangle des textures. Etude et Gestion des Sols*; **15**(2): pp. 97-111
- Richter, H.; 1968. *Beitrag zum Modell des Geokomplexes*. In: Barthel, H.; *Landschaftsforschung; Ergänzungsheft Nr. 271 zu Petermanns Geographischen Mitteilungen (Festschrift Ernst Neef)* Vol. 112. Gotha/Leipzig, pp. 39-48.
- Richter, M.; 1998. *Zonal features of phytodiversity under natural conditions and under human impact - a comparative survey*. In: Barthlott, W. et Winiger, M.; *Biodiversity - A challenge for Development Research and Policy*. Springer; pp. 83-107.
- Riitters, K.H., O'Neill, R.V., Hunsacker, C.T., Wickham, J.D., Yankee, D.H., Timminis, S.P., Jones, K.B. et Jackson, B.L.; 1995. *A factor analysis of landscape pattern and structure metrics. Landscape Ecology*; **10**(1): pp. 23-39
- Risser, P.G., Karr, J.R. et Forman, R.T.; 1984. *Landscape Ecology - Directions and Approaches*. Allerton Park, Piatt County, Illinois; Illinois Natural History Survey.
- Ritter, K.; 1837. *Géographie générale comparée ou Etude de la terre dans ses rapports avec la nature et l'histoire de l'homme*. Bruxelles, Etablissement Encyclographique; 638p.
- Robic, M.-C., éd.; 1992a. *Du milieu à l'environnement - pratiques et représentations du rapport homme/nature depuis la Renaissance*. Paris, Economica. 344 p.
- Robic, M.-C.; 1992b. *Milieu, région et paysage géographiques: la synthèse en miettes*. In: Robic, M.-C.; *Du milieu à l'environnement - pratiques et représentations du rapport homme/nature depuis la Renaissance*. Paris, Economica; pp. 167-243.
- Robic, M.-C. et Mathieu, N.; 2001. *Géographie et durabilité: redéployer une expérience et mobiliser un savoir-faire*. In: Jollivet, M.; *le développement durable, de l'utopie au concept*. Paris, Elsevier; pp. 167-190.
- Roger, A., éd.; 1995. *La théorie du paysage en France (1974-1994)*. pays/paysage. Seyssel, Champ Vallon. 464 p.
- Rolland-May, C.; 2003. *Limites, discontinuités, continu: le paradoxe du flou. L'information géographique*; **2003**(1): pp. 1-20
- Romme, W.H. et Knight, D.H.; 1982. *Landscape Diversity: The Concept applied to Yellowstone Park. BioScience*; **32**(8): pp. 664-670
- Ropivia, M.-L.; 2007. *Manuel d'épistémologie de la géographie : Ecocide et déterminisme anthropique*. L'Harmattan; 138p.
- Rosenzweig, M.L.; 2000. *Species Diversity in space and time*. Cambridge University Press; 436p.
- Rossi, G. et André, V.; 2006. *La biodiversité : questions de perspectives Annales de géographie*; **651**(5): pp. 468-484
- Rougerie, G.; 1988. *Géographie de la biosphère*. collection U - Série Géographie, Paris, Armand Colin; 287p.
- Rougerie, G. et Beroutchachvili, N.; 1991. *Géosystèmes et paysages - Bilan et méthodes*. collection U, Géographie, 1ère éd.; Paris, Armand Colin; 302p.
- Roura-Pascual, N., Pons, P., Etienne, M. et Lambert, B.; 2005. *Transformation of a Rural Landscape in the Eastern Pyrenees between 1953 and 2000. Mountain Research and Development*; **25**(3): pp. 252-261
- Roura i Pascual, N.; 2001. *Etude diachronique de la physionomie végétale du massif du Madres-Coronat - 1953 à 2000 : Le maintien des milieux ouverts, et plus particulièrement leurs modalités de gestion patrimoniale - Evolution de la végétation d'un paysage rural montagnard : Communes de Nohèdes, Jujols et Olette. Site pilote Natura 2000 "Madres-Coronat". Réserve Naturelle de Nohèdes / MEDD / DIREN Languedoc-Roussillon / SIME/ INRA Ecodéveloppement / CRNC, Nohèdes. 127 p.*
- Roura i Pascual, N.; 2002. *Evolucio de la vegetatio en un paisatge rural de muntanya : sud del massis de Madres i el Coronat, Pireneus orientals (1953-2000)*. Rapport de stage, Universitat de Girona, Réserve Naturelle de Nohèdes, 182 p. (non publié)

- Salvador, O.; 1995. *Historique et dynamique actuelle de la végétation du bac du Mont Coronat (Vallée de Nohèdes, Pyrénées-Orientales)*. Mémoire de maîtrise de Géographie, Univ. Toulouse-Le Mirail, 172 p. (non publié)
- Sanders, L.; 1990. *L'Analyse de données appliquées à la géographie*. Montpellier, GIP, Reclus; 267p.
- Saule, M.; 1991. *La grande Flore illustrée des Pyrénées*. Randonnées Pyrénéennes, Tarbes, Milan; 766p.
- Schama, S.; 1995. *Landscape and Memory*. Vintage; 652p.
- Schama, S.; 1999. *Le paysage et la mémoire*. Paris, éditions du Seuil; 720p.
- Scheffer, F., Schachtschabel, P., Blume, H.-P., Kandeler, E. et Stahr, K.; 2010. *Lehrbuch der Bodenkunde*. 16ème éd.; Heidelberg, Spektrum Akademischer Verlag; 569p.
- Scheiner, S.M.; 1992. *Measuring Pattern Diversity*. *Ecology*; **73**(5): pp. 1860-1867
- Schmithüsen, J.; 1959. *Allgemeine Vegetationsgeographie*. Obst, E., éd.; Lehrbuch der Allgemeinen Geographie, Vol. 12; Berlin, New York, de Gruyter; 261p.
- Schmithüsen, J.; 1963. *Der wissenschaftliche Landschaftsbegriff*. *Mitteilungen der Floristisch-soziologischen Arbeitsgemeinschaft*; **10**: pp. 9-19
- Schmithüsen, J.; 1964. *Was ist eine Landschaft ?* *Erdkundliches Wissen - Schriftenreihe für Forschung und Praxis*; **9**: pp. 1-24
- Schmithüsen, J.; 1974. *Landschaft und Vegetation*. *Gesammelte Aufsätze von 1934 bis 1971*. Arbeiten aus dem Geographischen Institut der Universität des Saarlandes, Vol. 18; Saarbrücken Universität des Saarlandes; 543p.
- Schmithüsen, J.; 1976. *Allgemeine Geosynergetik. Grundlagen der Landschaftskunde*. Lehrbuch der Allgemeinen Geographie, Vol. 12; Berlin, New York, de Gruyter; 349p.
- Schneider-Sliwa, R., Schaub, D. et Gerold, G., eds.; 1999. *Angewandte Landschaftsökologie - Grundlagen und Methoden*. Berlin, Springer. 560 p.
- Schnitzler-Lenoble, A.; 2002. *Écologie des forêts naturelles d'Europe - Biodiversité, sylvigénèse, valeur patrimoniale des forêts primaires*. Tec & Doc, Lavoisier; 271p.
- Schulze, E.-D., Beck, E. et Müller-Hohenstein, K.; 2002. *Pflanzenökologie*. Spektrum-Lehrbuch, Heidelberg ; Berlin Spektrum Akademischer Verlag; 846p.
- Schulze, E.-D., Beck, E. et Müller-Hohenstein, K.; 2005. *Plant Ecology*. Springer; 702p.
- Schwabe, A.; 1999. *Spatial arrangements of habitats and biodiversity: an approach to sigmasociological view*. In: Kratochwil, A.; Biodiversity in ecosystems: principles and case studies of different complexity levels. Springer; pp. 75-106.
- Schwahn, C.; 2001. *Skandal oder Bagatelle? Deutschland unterzeichnet Landschaftskonvention nicht*. *Naturschutz und Landschaftsplanung*; **33** pp. 105 - 106
- Servant, J. et Servat, E.; 1972. *La carte pédologique au 1/100 000. Feuille de Perpignan - Argeles-Sur-Mer*. *Bulletin de l'Association française pour l'étude du quaternaire*; **9**(3): pp. 219-220
- Sharples, C.; 1995. *géoconservation in forest management - principles and procedures*. Tasforests; Vol. 7 Forestry Tasmania. 37-50 p.
- Simmoneau, P.; 1985. *Les sols des Pyrénées Orientales - étude agro-pédologique*. SAFER (Société d'aménagement foncier et d'établissement rural) du Languedoc-Roussillon
- Simon, L.; 2002. *De la plante à la formation végétale : les limites des découpages*. In: Carroué, L., Renard, J.-P., Claval, P., et al.; Limites et discontinuités en géographie; Dossiers des images économiques du monde (DIEM). SEDES;
- Simon, L.; 2006. *De la biodiversité à la diversité : les biodiversités au regard des territoires*. *Annales de géographie*; **651**(5): pp. 451-467
- Sklenicka, P. et Lhota, T.; 2002. *Landscape heterogeneity - a quantitative criterion for landscape reconstruction*. *Landscape and Urban Planning*; **58**: pp. 147-156
- Sočava, V.B.; 1963. *Opriedielieniie niekotorych ponyatii i terminov fizicheskoi gheographii*. *Doklady In-ta ghepgraphii Sibiri i DaF niego Vostoka*; **3**: pp. 50-59
- Sočava, V.B.; 1972. *Geographie und Ökologie*. *Petermanns Geographische Mitteilungen*; **116**(2): pp. 89-98
- Sočava, V.B.; 1974. *Das Systemparadigma in der Geographie*. *Petermanns Geographische Mitteilungen*; **3**(1974): pp. 161-164
- Société Forestière de Franche-Comté; 2006. *Vade-mecum du forestier*. 8ème éd.; Besançon, Société Forestière de Franche-Comté et des Provinces de l'Est;
- Solon, J.; 2005. *Incorporating geographical (biophysical) principles in studies of landscape systems*. In: Wiens, J. et Moss, M.; Issues and Perspectives in Landscape Ecology. Cambridge University Press; pp. 11-20.

- Sorre, M.; 1913. *Les Pyrénées méditerranéennes, étude de géographie biologique*. Colin, A.; 508 p.
- Soutadé, G.; 1973. *Aspects du modelé périglaciaire supra-forestiers des Pyrénées Orientales*. Bulletin de l'Association française pour l'étude du quaternaire; 10(4): pp. 239-254
- Spedding, N.; 2003. *Landscape and environment: biophysical processes, biophysical forms*. In: Holloway, S.L., Rice, S.P. et Valentine, G.; *Key concepts in geography*. SAGE; pp. 281-304.
- Spichiger, R. et Forney, J.; 2005. *Indéfinissables paysages helvétiques*. In: Droz, Y., Miéville-Ott, V. et Chételat, J.; *La polyphonie du paysage*. PPUR presses polytechniques; pp. 53-71.
- Steinhardt, U.; 1994. *Gedanken zur (Neu)Orientierung in der Landschaftsökologie*. In: Brunner, H.; *Festschrift für Heiner Barsch*; Potsdamer Geographische Forschungen Vol. 9. Potsdam, Institut für Geographie und Geoökologie Potsdam; pp. 109-119.
- Steinhardt, U.; 1999. *Die Theorie der geographischen Dimensionen*. In: Schneider-Sliwa, R., Schaub, D. et Gerold, G.; *Angewandte Landschaftsökologie*. Springer; pp. 47-64.
- Steinhardt, U., Blumenstein, O. et Barsch, H.; 2005. *Lehrbuch der Landschaftsökologie*. Heidelberg, Spektrum Akademischer Verlag; 294p.
- Steinhardt, U. et Volk, M.; 2001. *Scales and spatio-temporal dimensions in landscape research*. In: Krönert, R., Steinhardt, U. et Volk, M.; *Landscape balance and landscape assessment*. Springer; pp. 137-162.
- Strohmayr, U.; 1994. *Old and New Disputes within German Geography: A Review Essay*. GeoJournal; 33(4): pp. 486-494
- Taillefer, F., éd.; 2000. *Les Pyrénées - de la montagne à l'homme*. nouvelle éd.; Univers de France - Histoire des Provinces.
- Tansley, A.G.; 1935. *The use and abuse of vegetational concepts and terms*. Ecology; 16(3): pp. 284-307
- Teysède, A.; 2004. *Vers une sixième grande crise d'extinctions*. In: Barbault, R., Chevassus-au-Louis, B. et Teysède, A.; *Biodiversité et changements globaux : enjeux de société et défis pour la recherche*. Paris, ADPF (Association pour la diffusion de la pensée française); pp. 24-49.
- Theurillat, J.-P.; 1992. *L'analyse du paysage végétal en symphytocœnologie : ses niveaux et leurs domaines spatiaux*. Bulletin d'écologie; 23(1-2): pp. 83-92
- Thompson, R. et Starzomski, B.M.; 2006. *What does biodiversity actually do ? A review for managers and policy makers*. Biodiversity and Conservation; 16(5): pp. 1359-1378
- Tissier, J.-L.; 1992. *La géographie dans le prisme de l'environnement (1970-1990)*. In: Robic, M.-C.; *Du milieu à l'environnement - pratiques et représentations du rapport homme/nature depuis la Renaissance*. Paris, Economica; pp. 201-243.
- Tissier, J.-L.; 1996. *Du milieu à l'environnement: l'émergence d'un concept dans le discours des géographes français*. In: Neboit-Guilhot, R. et Davy, L.; *Les Français dans leur environnement*. Paris, Nathan; pp. 11-39.
- Townsend, C.R., Begon, M. et Harper, J.L.; 2009. *Ökologie*. 2ème éd.; Springer; 622p.
- Traxler, A.; 1997. *Handbuch der vegetationsökologischen Monitorings*. Monographien; Umweltbundesamt, Federal Environment Agency Austria, Wien. 391 p.
- Tremp, H.; 2005. *Aufnahme und Analyse vegetationsökologischer Daten*. UTB, Stuttgart, Eugen Ulmer;
- Tress, B. et Tress, G.; 2001. *Begriff, Theorie und System der Landschaft*. Naturschutz und Landschaftsplanung; 33(2/3): pp. 52-57
- Tricart, J.; 1972. *Une feuille de la carte pédologique de la France au 1/100 000*. Annales de Géographie; 81(448): pp. 755
- Tricart, J.; 1985. *Paysage et télédétection*. In: Berdoulay, V. et Phipps, M.; *Paysage et Système*. Université d'Ottawa; pp. 113-124.
- Tricart, J.; 1994. *Écogéographie des espaces ruraux*. Nathan; 187p.
- Tricart, J. et Kilian; 1979. *L'éco-géographie et l'aménagement du milieu naturel*. Hérodote: pp. 326
- Troll, C.; 1950. *Die geographische Landschaft und ihre Erforschung*. Studium Generale; 4/5: pp. 163-181
- Troll, C.; 1966a. *Geo-ecology of the mountainous regions of the tropical Americas*. in: *Proceedings of the UNESCO Mexico symposium, August 1-3, 1966 "UNESCO Mexico symposium"*. August 1-3, 1966 UNESCO, natural resources research division (Organisateur de congrès).

- Troll, C.; 1966b. *Landschaftsökologie als geographische-synoptische Naturbetrachtung*. In: Troll, C.; Ökologische Landschaftsforschung und vergleichende Hochgebirgsforschung; Erdkundliches Wissen Vol. 11. Wiesbaden, Franz-Steiner-Verlag; pp. 1-13.
- Trouche, G. et Morlon, P.; 1999. *Comparaison de différentes méthodes d'estimation de la réserve en eau utile des sols (R.U.) dans le périmètre de l'O.G.A.F. Etude et Gestion des Sols*; 6(1): pp. 41-54
- Turba-Jurczyk, B.; 1990. *Geosystemforschung: eine disziplingeschichtliche Studie zur Mensch-Umwelt-Forschung in der Geographie*. Giessener Geographische Schriften; Vol. 67 Selbstverlag des Geographischen Instituts der Justus Liebig-Universität Giessen. 131 p.
- Turner, M.G., éd.; 1987. *Landscape heterogeneity and disturbance*. Springer. 239 p.
- Turner, M.G.; 1990. *Spatial and temporal analysis of landscape patterns*. *Landscape Ecology*; 4(1): pp. 21-30
- Turner, M.G., Gardner, R.H. et O'Neill, R.V.; 2001. *Landscape ecology in theory and practice: pattern and process*. Springer; 401p.
- Turner, M.G., O'Neill, R.V., Gardner, R.H. et Milne, B.T.; 1989. *Effects of changing scale on the analysis of landscape pattern*. *Landscape Ecology*; 3(3/4): pp. 153-162
- United Nations; 1992a. *Convention sur la diversité biologique / Convention on biological diversity (CBD)*; Nations Unies, 05/06/1992. 30619
- United Nations; 1992b. *Earth Summit Agenda 21 (Action 21)*; UN Department of Economic and Social Affairs - Division for Sustainable Development, A/CONF.151/26/Rev.1
- van der Maarel, E., éd.; 2006. *Vegetation ecology*. Malden, Wiley - Blackwell Publishing. 395 p.
- Van Mansvelt, J.D. et Van Der Lubbe, M.J.; 1998. *Checklist for sustainable landscape management: final report of the EU concerted action AIR3-CT93-1210: The landscape and nature production capacity of organic/sustainable types of agriculture*. Elsevier, 181 p.
- Vannière, B.; 2001. *Feu, agro-pastoralisme et dynamiques environnementales en France durant l'Holocène. Analyse du signal incendie, approches sédimentologiques et étude de cas en Berry, Pyrénées et Franche-Comté*. Institut national agronomique de Paris-Grignon. 329 p.
- Vannière, B., Galop, D., Rendu, C. et Davasse, B.; 2001. *Feu et pratiques agro-pastorales dans les Pyrénées Orientales : le cas de la montagne d'Enveig (Cerdagne, France)*. *Sud-ouest européen*; 11: pp. 29-42
- Vergnolle-Mainar, C.; 2007. *Notice « géosystème »*. *Hypergéô*, http://www.hypergeo.eu/article.php3?id_article=404
- Vergnolle-Mainar, C. et Desailly, B., éd.; 2005. *Environnement & sociétés - Territoires, risques, développement, éducation*. Focus, collection Scientifique. CRDP Midi-Pyrénées. 364 p.
- Vergnolle-Mainar, C. et Sourp, R.; 2006. *La difficile prise en charge de l'interface nature-société dans la géographie scolaire française : l'échec de l'introduction du concept de géosystème* *L'Information géographique*; 70(3): pp. 16-32
- Veyret, Y.; 1999. *Géo-environnement*. Campus Géographie, 1ère éd.; SEDES; 160p.
- Vié, J.-C., Hilton-Taylor, C. et Stuart, S.N.; 2009. *Wildlife in a changing world - An analysis of the 2008 IUCN Red List of Threatened Species*. IUCN, éd.; 184p.
- Carte du relief glaciaire des Pyrénées - feuille Mont Louis Est* - Supplément hors-texte au tome XXXIX de la Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest
- Echelle: 1/50 000; Viers, G. - CNRS / IGN; 1968.
- Vigneau, J.-P.; 1986. *Climat et climats des Pyrénées Orientales*. Thèse d'Etat; Université de Dijon. 619 p.
- Vinx, R.; 2008. *Gesteinsbestimmung im Gelände*. 2ème éd.; Spektrum (Springer) Verlag; 469p.
- Vogt, H.; 1973. *Résultats récents et tendances actuelles de la recherche en géographie physique "globale" à l'Institut de Géographie de Moscou de l'Académie des sciences d'U.R.S.S.* *Annales de Géographie*; 82(453): pp. 606 - 613
- von Bertalanffy, L.; 1968. *General System Theory - Foundations, Development, Applications*. Edition of Professional and Technical Programs, Inc., 1ère éd.; New York, Braziller
- Walz, U.; 1999. *Erfassung und Bewertung der Landschaftsstruktur*. IÖR-Schriften; Vol. 29 Institut für ökologische Raumentwicklung (IÖR). Dresden. 138 p.
- Walz, U.; 2000. *Charakterisierung der Landschaftsstruktur mit Methoden der Satelliten-Fernerkundung und der Geoinformatik*. Berlin, Logos-Verlag;
- Walz, U.; 2006. *Landschaftsstruktur - zwischen Theorie und Praxis*. In: Kleinschmit, B. et Walz, U.; *Landschaftsstrukturmaße in der Umweltplanung - Beiträge zum Workshop de IALE-AG*

- Landschaftsstruktur- Berlin 2006; Landschaftsentwicklung und Umweltforschung Vol. 19. Technische Universität Berlin; pp. 4-17.
- Walz, U., Lutze, G., Schultz, A. et Syrbe, R.-U., édés.; 2004. *Landschaftsstruktur im Kontext naturräumlicher Vorprägung und Nutzung - Datengrundlagen, Methoden und Anwendungen*. IÖR-Schriften. Dresden, Institut für ökologische Raumentwicklung (IÖR). 334 p.
- Wascher, D.M.; 2004. *Landscape-indicator development: steps towards a European approach*. In: Jongman, R.H.B.; *The New Dimensions of the European Landscapes*. Springer; pp. 237-258.
- Whittaker, R.; 1972. *Evolution and measurement of species diversity*. *Taxon*; **21**: pp. 213-251
- Whittaker, R.; 1977. *Evolution of species diversity in land communities*. . In: Hecht, M.K., Steere, W.C. et Wallace, B.; *Evolutionary Biology*; Vol. 10. pp. 1 - 67.
- Wieber, J.-C.; 1985. *Le paysage visible, un concept nécessaire*. In: Berdoulay, V. et Phipps, M.; *Paysage et système*. éditions de l'Université d'Ottawa; pp. 167-178.
- Wieber, J.-C.; 1995. *Le paysage visible, un concept nécessaire*. In: Roger, A.; *La théorie du paysage en France (1974-1994)*. Seyssel, Champ Vallon; pp. 182-193.
- Wieber, J.C., Griselin, M. et Ormaux, S.; 2008. *Le paysage, objet de recherche scientifique ?* In: Brossard, T. et Wieber, J.-C.; *Paysage et information géographique*. Paris, Hermes Science / Lavoisier; pp. 25-50.
- Wiens, J.A.; 2006. *Foundation papers in landscape ecology*. Columbia University Press; 582p.
- Wiens, J.A. et Moss, M.; 2005. *Issues and Perspectives in Landscape Ecology*. Cambridge University Press; 390p.
- Wilson, E.O. et Frances, P.M., édés.; 1988. *Biodiversity*. National Academies Press. 521 p.
- World Population Prospects; 2008. *Urban and Rural Areas 2007*. United Nations Department of Economic and Social Affairs - Population Division.
- Wu, J. et Hobbs, R.J.; 2007. *Key topics in landscape ecology*. Cambridge University Press; 297p.
- Wu, J., Jelinski, D.E., Luck, M. et Tueller, P.T.; 2000. *Multiscale Analysis of Landscape Heterogeneity: Scale Variance and Pattern Metrics*. *Geographic Information Science*; **6**(1): pp. 6-19
- Wu, J., Shen, W., Sun, W. et Tueller, P.T.; 2002. *Empirical patterns of the effect of changing scale on landscape metrics*. *Landscape Ecology*; **17**(8): pp. 761-782
- Wulf, A.; 2001. *Die Eignung Landschaftsökologischer Bewertungskriterien für die raumbezogene Umweltplanung*. Books on Demand; 576p.
- Wylie, J.W.; 2007. *Landscape*. Routledge; 246p.
- Xavier Da Silva, J.; 1999. *Geomorphology and geodiversity* in: Abstracts of the IAG 1999 Regional Conference on Geomorphology; "IAG 1999 Regional Conference on Geomorphology". Rio de Janeiro, Brasil, : 17-22/07/1999;
- Xavier Da Silva, J. et Mendes de Carvalho-Filho, L.; 2004. *Geodiversity: Some Simple Geoprocessing Indicators to Support Environmental Biodiversity Studies*. *Directions Mag*, http://www.directionsmag.com/printer.php?article_id=473
- Yeh, C.-T. et Huang, S.-L.; 2009. *Investigating spatiotemporal patterns of landscape diversity in response to urbanization*. *Landscape and Urban Planning*; **93**(3-4): pp. 151-162
- Yue, T.X., Liu, J.y., Chen, S.Q., Li, Z.Q., Tian, Y.Z. et Ge, F.; 2004. *Diversity Indices and spatial scales greatly effect the conclusions of relationships between biodiversity and the ecosystem functions*. "Bridging Scales and Epistemologies: Linking Local Knowledge and Global Science in Multi-Scale Assessments". Alexandria, Egypt; Millenium Ecosystem Assessment.
- Zebisch, M.; 2004. *Modellierung der Auswirkung von Landnutzungsänderungen auf Landschaftsmuster und Biodiversität*. PhD-thesis; sous la direction de Kenneweg, H. et Cramer, W.; Fakultät VII (Architektur, Umwelt, Gesellschaft), Technische Universität Berlin. 153 p.
- Zeide, B.; 1997. *Assessing Biodiversity*. *Environmental Monitoring and Assessment*; **48**: pp. 249-260
- Zepp, H. et Müller, M.J., édés.; 1999. *Landschaftsökologische Erfassungsstandards - Ein Methodenhandbuch*. Forschungen zur Deutschen Landschaftskunde. Flensburg, Deutsche Akademie für Landeskunde, Selbstverlag;
- Zinck, R.D., Johst, K. et Grimm, V.; 2010. *Wildfire, landscape diversity and the Drossel-Schwabl model*. *Ecological Modelling*; **221**(1): pp. 98-105
- Zonneveld, I.S.; 1983. *Some basic notions in geographical synthesis*. *GeoJournal*; **7**(2): pp. 121-129
- Zonneveld, I.S.; 1989. *The land unit - A fundamental concept in landscape ecology, and its applications*. *Landscape Ecology*; **3**(2): pp. 67-86

- Zonneveld, I.S.; 1995. *Land Ecology - An introduction to Landscape Ecology as a base for Land Evaluation, Land Management and Conservation*. Publishing, S.A., éd.; Amsterdam, 199p.
- Zuindeau, B.; 2003, mise en ligne le 27 septembre 2004. *Lectures, "Tatiana Muxart, Franck-Dominique Vivien, Bruno Villalba, Joëlle Burnouf (eds), 2003, Des milieux et des hommes: fragments d'histoires croisées, Paris, Elsevier, collection environnement". Développement durable et territoires; article 1275 4p;*
<http://developpementdurable.revues.org/index1275.html>

Bibliographie complémentaire¹²⁷

- A.G.R.N.N.; 2004. *La réserve naturelle de Nohèdes et le site Natura 2000 du Madres-Coronat. Forêt méditerranéenne*; 25(1): pp. 39-48
- Abellàn, J.A. et Fourneau, F., éd.; 1998. *El paisaje mediterráneo - le paysage méditerranéen*. Universidad de Granada. 350 p.
- Agence Méditerranéenne de l'Environnement, Conservatoire Botanique National Méditerranéen de Porquerolles; 2003. *Plantes envahissantes de la région méditerranéenne*. Agence Méditerranéenne de l'Environnement; Agence Régionale Pour l'Environnement Provence-Alpes-Côte d'Azur, 48 p.
- Alexandre, F.; 2003. *L'étagement de la végétation en montagne: un modèle à revisiter*. *L'information géographique*; 2003(1): pp. 45-59
- Alfred Töpfer Akademie für Naturschutz; 1997. *Bewerten im Naturschutz*. NNA-Berichte; Vol. 3 Alfred Töpfer Akademie für Naturschutz (NNA). Schneverdingen. 125 p.
- Amandier, L.; 1973. *Bases phyto-écologiques pour l'aménagement du paysage du massif des Albères (Pyrénées-Orientales)*. C.E.P.E./C.N.R.S., Montpellier. 144 p.
- Angileri, V. et Toccolini, A.; 1993. *The assessment of visual quality as a tool for the conservation of rural landscape diversity*. *Landscape and Urban Planning*; 24(1-4): pp. 105-112
- Antrop, M.; 2000. *Geography and landscape science*. *BELGEO 2000*; 1-4 9-36 p; http://geoweb.ugent.be/lr/publications/docs/Antrop2000_Geography_and_landscape_science_Belgeo2000.PDF
- Arbos, P.; 1914. M. Sorre. *Les Pyrénées méditerranéennes. Etude de géographie biologique*. *Recueil des travaux de l'institut de géographie alpine*; 2(2): pp. 265 - 278
- Arnaud, M.-T., Gamisans, J. et Gruber, M.; 1983. *Les groupements a Cytisus purgans (L.) Boiss. En Lozère (France) : étude phytosociologique*. *Anales Jard. Bot. Madrid*; 40(1): pp. 197-211
- Arnould, P., Hotyat, M. et Simon, L.; 1997. *Les forêts d'Europe*. Paris, Nathan; 413p.
- Arnould, P. et Simon, L.; 2007. *Géographie de l'environnement*. Paris, Bélin; 303p.
- Austin, M.P.; 2006. *Vegetation and environment : discontinuities and continuities*. In: van der Maarel, E.; *Vegetation ecology*. Malden, Wiley - Blackwell Publishing; pp. 52-84.
- Auvray, F. et Jappiot, M.; 1990. *Typologie forestière du Conflent*. Inventaire forestier national,
- Baatz, M. et Schäpe, A. (2000). *Multiresolution Segmentation: an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation*. "Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg 2000"; Herbert Wichmann Verlag
- Badeau, V., Dambrine, E. et Walter, C.; 1999. *Propriétés des sols forestiers français: Résultats du premier inventaire systématique*. *Etude et Gestion des Sols*; 6(3): pp. 165-180
- Bähr, H.-P. et Vögtle, T., éd.; 2005. *Digitale Bildverarbeitung - Anwendungen in Photogrammetrie, Fernerkundung und GIS*. 4ème éd.; Herbert Wichmann Verlag. 325 p.
- Bahrenberg, G., Giese, E. et Nipper, J.; 1999. *Statische Methoden in der Geographie - Band 1: Univariate und bivariate Statistik*. Studienbücher Geographie, Vol. 1; 4ème éd.; Stuttgart, Gebrueder Borntraeger Verlagsbuchhandlung;
- Bahrenberg, G., Giese, E. et Nipper, J.; 2008. *Statische Methoden in der Geographie - Band 2: Multivariate Statistik*. Studienbücher Geographie, Vol. 2 3éd.; Stuttgart, Gebrueder Borntraeger Verlagsbuchhandlung; 386p.
- Bailly, A.S., Ferras, R. et Pumain, D., éd.; 1992. *Encyclopédie de Géographie*. Economica. 1132 p.
- Bakker, J.P.; 2006. *Vegetation conservation, management and restoration*. In: van der Maarel, E.; *Vegetation ecology*. Malden, Wiley - Blackwell Publishing; pp. 309-331.
- Bal, M.-C. et Métailié, J.-P.; 2005. *Propositions méthodologiques pour l'étude des feux agro-sylvo-pastoraux en montagne pyrénéenne. Évaluation qualitative et quantitative des résidus d'incendies à partir des analyses pédo-anthracologiques*. *Anthropozoologica*; 40(1): pp. 81-93
- Batazy, S. et Ryszkowski, L.; 1999. *Protection de la diversité biologique et paysagère dans les paysages d'Europe centrale et orientale*. Europe, C.o., Council of Europe. 50 p.;

¹²⁷ Tient compte des ouvrages principales et autres sources consultés, non explicitement cités dans le texte

- Banko, G., Zethner, G., Wrбка, T. et Schmitzberger, I.; 2003. *Landscape Types as the Optimal Spatial Domain for Developing Landscape Indicators*. "NIJOS/OECD Expert Meeting on Agricultural Landscape indicators". Oslo, Norway;
- Bariteau, M., Afxantidis, D. et Bonnier, J.; 2008. *La forêt méditerranéenne : un modèle pour comprendre la place et l'usage de la forêt dans les territoires*. Revue forestière française; LV(5): pp. 563-570
- Barrué-Pastor, M.; 2000. *Avant-Propos: L'environnement entre nature et paysage : propositions pour une approche géographique*. Sud-ouest européen; 7
- Barrué-Pastor, M. et Bertrand, G., éd.; 2000. *Les temps de l'environnement*. Paysages & Environnement. Toulouse, Presses Universitaires du Mirail;
- Barthlott, W. et Gutmann, M.; 2000. *Biodiversitätsforschung in Deutschland. Potentiale und Perspektiven*. Graue Reihe; Vol. 11 Europäische Akademie zur Erforschung von Folgen wissenschaftlich-technischer Entwicklungen. Bad Neuenahr-Ahrweiler.
- Bartoli, M. et Largier, G.; 1997. *les arbres pyrénéens en questions*. Le courrier de l'environnement de l'INRA; 32(décembre 1997): pp. 29-32
- Bastian, O.; 1997. *Gedanken zur Bewertung von Landschaftsfunktionen - unter besonderer Berücksichtigung der Habitatfunktion*. NNA-Berichte; 10(3): pp. 106-125
- Bastian, O.; 1999. *Geographie und Landschaftsplanung - Gedanken von Ernst NEEF im Spiegel der modernen Landschaftsplanung*. In: Mannsfeld, K. et Neumeister, H.; Ernst Neefs Landschaftslehre heute; Petermanns Geographische Mitteilungen (PGM), Ergänzungsheft Vol. 294. Gotha/Stuttgart, Klett-Perthes; pp. 13-35.
- Bastian, O.; 2000. *Landscape classification in Saxony (Germany) – a tool for holistic regional planning* Landscape and Urban Planning; 50(1-3): pp. 145-155
- Bastian, O., Grunewald, K., Schanze, J., Syrbe, R.-U. et Walz, U.; 2003. *Bewertung und Entwicklung der Landschaft - Ergebnisse der Jahrestagung IALE Deutschland 2002*. IÖR-Schriften; Vol. 40 Raumentwicklung, I.f.ö., Institut für ökologische Raumentwicklung (IÖR). Dresden. 266 p.
- Bastian, O., Krönert, R. et Lipsky, Z.; 2006. *Landscape Diagnosis on Different Space and Time Scales - A Challenge for Landscape Planning* Landscape Ecology; 21(3): pp. 359-374
- Bastian, O. et Steinhardt, U.; 2002. *Development and perspectives of landscape ecology*. Kluwer Academic Publ.; 498p.
- Baudière, A., Marcel, J.-F. et Pons, D.; 1985. *Place et rôle de la Dryade polaire (Dryas octopetala L.) dans la colonisation ou la recolonisation par la forêt de substrats dénudés*. In: Toulouse, U.P.S.d.; Dynamique et régénération forestières dans les forêts de montagne. pp. 386 - 420.
- Bayer, E., Buttler, K., Finkenzeller, X. et Grau, J.; 1990. *Guide de la flore méditerranéenne*. Les compagnons du naturaliste, Paris, Délachaux & Niestlé; 288p.
- Beaudou, A.G.; 1982. *The typological language : a new methodology for soil and environmental study in: Proceedings of the South Pacific regional forum on soil taxonomy; "South Pacific Regional Forum on Soil Taxonomy"*. Suva: 02-13/11/1981; Institute of Natural Resources.
- Bécat, J.; 1974. *La vallée d'Evol, Haut Conflent*. Conflent; 67: pp. 7-57
- Beck, C., Luginbühl, Y. et Muxart, T.; 2006. *Temps et espaces des crises de l'environnement*. Indisciplines, Quae; 410p.
- Beltrami, M.-A.; 1996. *Évolution d'un milieu montagnard méditerranéen par système d'information géographique - Les Garrotxes (Pyrénées-Orientales)*. Mémoire de Maîtrise de Géographie, GEODE CNRS URA 366, Université Toulouse Le Mirail, 90 p. (non publié)
- Bergeron, Y., Bouchard, A., Camiré, C. et Gangloff, P.; 1985. *Les types et les phases écologiques: relations fonctionnelles sol - végétation*. In: Berdoulay, V. et Phipps, M.; Paysage et Système. Université d'Ottawa; pp. 41-55.
- Beroutchachvili, N. et Radvanyi, J.; 1978. *Les structures verticales des géosystèmes*. Révue Géographique des Pyrénées et du Sud-ouest; 49(2): pp. 181-198
- Bertrand, G.; 1972. *Les structures naturelles de l'espace géographique. L'exemple des Montagnes Cantabriques centrales (nord-ouest de l'Espagne)*. Révue Géographique des Pyrénées et du Sud-ouest; 43(Fasc.2): pp. 175-206
- Bertrand, G.; 1992. *Territorialiser l'environnement. Un objectif pour la géographie*. Géodoc; 37: pp. 2-17
- Bertrand, G. et Bertrand, C.; 1986. *La végétation dans le géosystème. Phytogéographie des montagnes cantabriques centrales (Espagne)*. Révue Géographique des Pyrénées et du Sud-ouest; 57(3): pp. 291-312
- Bertrand, G. et Dollfus, O.; 1973. *Essai d'analyse écologique de l'espace montagnard*. Espace géographique; 3: pp. 165-170

- Bishop, M.P. et Shroder, J.F., éd.; 2004. *Geographic Information Science and mountain geomorphology*. Springer. 486 p.
- Bissonette, J.A., éd.; 1997. *Wildlife and Landscape Ecology: Effects of Pattern and Scale*. New York, Springer. 428p.
- Bissonette, J.A. et Storch, I., éd.; 2002. *Landscape Ecology and Resource Management: Linking Theory With Practice*. Island Press. 480 p.
- Blanc, C. et Sigé, B.; 2002. *Dynamiques forestières dans le massif du Madres-Coronat, site Natura 2000*. Mémoire du DEA "Environnement et paysage", Univ. Toulouse Le Mirail - Géode, 162 p. (non publié)
- Blanc, F.; 2004. *Les pratiques pastorales ont un impact sur l'avifaune*. *Espaces Naturels*; 8: pp. 9-11
- Blandin, P.; 1992. *De l'écosystème à l'écocomplexe*. In: Jollivet, M.; *Entre Nature et Société, les passeurs de frontière*. Paris, Editions du C.N.R.S.; pp. 267-279.
- Blandin, P., Barbault, R. et Lecordier, C.; 1976. *Reflexions sur la notion d'écosystème: le concept de stratégie cénotique*. *Bulletin écologique*; 7(4): pp. 391-410
- Blandin, P. et Lamotte, M.; 1985. *Écologie des systèmes et aménagement: fondement théoriques et principes méthodologiques*. In: Lamotte, M.; *Fondements rationnels de l'aménagement d'un territoire*. Paris, Masson; pp. 139-162.
- Blandin, P. et Lamotte, M.; 1989. *L'organisation hiérarchique des systèmes écologiques*. in: Atti del 3° Congresso Nazionale della Societa Italiana di Ecologia (Siena, 21-24 ottobre 1987);
- Blandin, P. et Lamotte, M.; 1996. *Paysage (environnement)*. In: *Encyclopaedia Universalis*; Vol. 17.
- Blaschke, T.; 1999. *Quantifizierung von Fragmentierung, Konnektivität und Biotopverbund mit GIS*. In: STROBL, J. et BLASCHKE, T.; *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XI*. Heidelberg, Wichmann Verlag; pp. 60-73.
- Blaschke, T., Tiede, D. et Heurich, M.; 2004. *3D landscape metrics to modelling forest structure and diversity based on Laser Scanning Data*. "Laser-Scanners for Forest and Landscape Assessment ". Freiburg; International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences.
- Blondel, J.; 2000. *Biogéographie : approche écologique et évolutive*. Paris, Masson; 297p.
- Bobek, H. et Schmithüsen, J.; 1949. *Die Landschaft im logischen System der Geographie*. *Erdkunde*; 2/3: pp. 112-120
- Borcard, D. et Buttler, A.; 2001. *Ecologie numérique*. Script de cours. Manuel à l'usage des participants au cours d'écologie numérique, Instituts de Zoologie et de Botanique de l'Université de Neuchâtel, 250 p. (non publié)
- Bordessoule, E.; 2001. *Les montagnes méditerranéennes*. In: Moriniaux, V.; *La méditerranée - questions de géographie*. Paris, éditions du Temps; pp. 173-191.
- Bourbouze, A. et Donadieu, P.; 1987. *L'élevage sur parcours en régions méditerranéennes*. options méditerranéennes; CIHEAM / IAM, Montpellier. 104 p.
- Bousquet, J.-C.; 1997. *Géologie du Languedoc-Roussillon*. Montpellier, Les Presses du Languedoc, Editions du B.R.G.M.; 142p.
- Bouzellé, J.-B.; 2007. *Gestion des habitats naturels et biodiversité - Concepts, méthodes et démarches*. Lavoisier; 331p.
- Brandt, J.; 1999. *Geography as "landscape ecology"*. *Geografisk Tidsskrift, Danish Journal of Geography*; 1(special issue): pp. 21-32
- Brandt, J., Tress, B. et Tress, G. (2000). *Multifunctional Landscapes: Interdisciplinary Approaches to Landscape Research and Management*. "Multifunctional Landscapes: Interdisciplinary Approaches to Landscape Research and Management", Centre for Landscape Research, University of Roskilde, Denmark, October 18-21, 2000; Centre for Landscape Research Roskilde.
- Bras, C., Le Berre, M. et Sgard, A.; 1984. *La montagne, les géographes et la géographie*. *Revue de géographie alpine*; LXXII(2-3-4): pp. 141-153
- Braun-Blanquet, J.; 1952. *Les groupements végétaux de la France méditerranéenne*. Vaison-la-Romaine, Vaucluse, impr. de Macabet frères; 297p.
- Broc, N., Brunet, M., Caucanas, S., Desailly, B. et Vigneau, J.; 1992. *De l'eau et des hommes en terre catalane*. Perpinyà, Llibres des Trabucaire; 268p.
- Broll, G. et Bernhardt, K.-G., éd.; 1996. *Aspekte der Angewandten Landschaftsökologie* Arbeiten aus dem Institut für Landschaftsökologie. Münster, Westfälische Wilhelms Universität. 356 p.
- Brossard, T.; 1987. *Pratique des paysages en Baie du roi et sa région (Svalbard)*. EHESS. 759 p.
- Bruand, A., Duval, O. et Cousin, I.; 2004. *Estimation des propriétés de rétention en eau des sols à partir de la base de données SOLHYDRO*. *Etude et Gestion des Sols*; 11(3): pp. 323-332
- Bruand, A., Duval, O., Gaillard, H., Darthoud, R. et Jamagne, M.; 1996. *Varabilité des propriétés de rétention en eau des sols: importance de la densité apparente*. *Etude et Gestion des Sols*; 3(1): pp. 27-40

- Brundtland, G.H.; 1987. *Notre avenir à tous (Rapport Brundtland)*. Rapport de la Commission mondiale sur l'environnement et le développement de l'ONU; UNO (ONU), Nairobi. 394 p.
- Brunet, R.; 1979. *Systèmes et approche systémique en géographie*. Bulletin de l'Association de Géographes Français; **465**
- Burel, F. et Baudry, J.; 2003. *Landscape Ecology: Concepts, Methods, and Applications*. Science Publishers; 362p.
- Burger, D.; 1989. *Dolomite weathering and micromorphology of paleosols in the Franconian Jura*. Catena; Sammelband 15: pp. 261-267
- Buttschardt, T.; 2001. *Wofür steht Geoökologie?* Forum der Geoökologie; **12(1)**: pp. 38-41
- C.R.P.F.; 2001. *Forêts privées du Conflent: orientations de gestion, Tome 2 - Orientations régionales de production & Schéma régional de gestion sylvicole*. Centre Régional de la Propriété Forestière du Languedoc-Roussillon, 24 p.
- Calvet, M.; 2000. *Milieu naturel; Pays et paysages*. In: Bonneton, C.; Pyrénées Orientales, Rousillon. pp. 211-255.
- Calvet, M.; 2004. *the quaternary glaciation of the Pyrenees*. In: Ehlers, J. et Gibbard, P.L.; Quaternary glaciations: extent and chronology, Volume 2, part 1. Elsevier; pp. 119-128.
- Canérot, J.; 2008. *Les Pyrénées - Histoire géologique*. atlantica - brgm éditions; 516p.
- Canérot, J., Colin, J.-P., Platel, J.-P. et Bilotte, M. (2008). *Pyrénées d'Hier et d'Aujourd'hui*. Pau; atlantica.
- Caroll, S.P. et Fox, C.W., éd.; 2008. *Conservation Biology - Evolution in Action*. Oxford University Press. 380 p.
- Carozza, J.-M. et Delcaillau, B.; 2000. *Réponse des bassins versants à l'activité tectonique: l'exemple de la terminaison orientale de la chaîne pyrénéenne. Approche morphotectonique*. Géomorphologie : relief, processus, environnement; (1): pp. 45-60
- CEEWEB; 2003. *The role of the Pan-European Biological and Landscape Diversity Strategy - Analysis and Recommendations*. 16 p.
- Chabot, G.; 1973. *Un recueil des écrits de Preston James : On Geography. Selected Writings of Preston James, edited by D. W. Meinig*. Annales de Géographie; **82(452)**: pp. 477 - 478
- Chardon, M.; 1989. *Essai d'approche de la spécificité des milieux de la montagne alpine*. Revue de géographie alpine; **77(1)**: pp. 15 - 28
- Chemla, G.; 1995. *Statistique appliquée à la géographie : représentations graphiques, sources et méthodes*. Fac. Géographie, Paris, Nathan; 159p.
- Cheng, C.-C. et Jan, J.-F.; 2000. *Application of GIS to Measure and Evaluation Landscape Changes*. gisdevelopment.net, www.gisdevelopment.net/acrs/2000/ts7/gdi002a.shtml
- CIPRA; 2009. *Relevant instruments in the field of Ecological networks in the Alpine region* CIPRA, alpMedia, 52 p.
- Claustres, G. et Lemoine, C.; 1990. *Connaître la flore des Pyrénées*. éditions Sud-Ouest; 120p.
- Clément, V. et Gavaille, A.; 1994. *Gérer la nature ou gérer des paysages: enjeux scientifiques, politiques et sociaux*. Mélanges de la Casa de Velázquez - Epoque contemporaine; **30(3)**: pp. 239-262
- Colas, S. et Hebert, M.; 2000. *Le coût de la gestion courante des principaux milieux naturels ouverts*. Courrier de l'environnement; **39**: pp. 63-69
- Coleman, D.; 1993. *Landscape diversity in Europe: managing regional landscapes*. Landscape Research; **18(1)**: pp. 35-39
- COLLECTIF (1997). *Les temps de l'environnement*. "Journées du programme environnement, vie et sociétés", Toulouse - Centre des Congrès; /2; Presses Universitaires du Mirail.
- COLLECTIF; 1998. *Gestion forestière, écologie et paysage en Languedoc-Roussillon - première étape*. Agence méditerranéenne de l'Environnement, Direction régionale de l'agriculture et de la forêt, Direction régionale de l'environnement, 32 p.
- COLLECTIF; 2000. *Workshop 3 - Biodiversity and Landscape Diversity - Final Recommendations*. in: Multifunctional landscapes: Interdisciplinary approaches to landscape research and management: conference material; "Multifunctional Landscapes: Interdisciplinary Approaches to Landscape Research and Management". Roskilde, Denmark: 18-21/10/2000;
- COLLECTIF; 2006. *Vade-mecum du forestier*. 8ème éd.; Besançon, Société Forestière de Franche-Comté et des Provinces de l'Est;
- Conedera, M.; 2009. *Implementing fire history and fire ecology in fire risk assessment: the study case of Canton Ticino (southern Switzerland)*. sous la direction de Beierkuhnlein, P.D.C.K.P.C.; Fakultät für Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaften, Universität Fridericiana zu Karlsruhe (TH). 92 p.
- Corbonnois, J.d.; 2007. *Géoval. Géodiversité des vallées dans l'Ouest de la France : environnement, paysages et gestion durable*. projet de programme de recherche, PSDR GO; 85 p.

- Daget, P. et Godron, M.; 1982. *Analyse fréquentielle de l'écologie des espèces dans les communautés*. collection d'écologie, Vol. n°18; Paris, Masson; 164p.
- Daupley, S. et Petron, A. "Paysage et complexité." Un document du programme européen Modélisation de la complexité (M.C.X.) présidé par Jean-Louis Le Moigne / Association de la Pensée Complexe (A.P.C.) présidé par Edgar MORIN Dernière consultation 20/06/2005, site web http://www.mcxapc.org/docs/ateliers/15_doc2.htm.
- Davasse, B.; 2006. *La gestion sociale des ressources naturelles dans les espaces sylvo-pastoraux des Pyrénées de l'Est (du Moyen Âge au siècle actuel)*. In: Beck, C., Luginbühl, Y. et Muxart, T.; Temps et espaces des crises de l'environnement. Quae; pp. 214-225.
- Davy, L. et Neboit-Guilhot, R., éd.s.; 1996. *Les Français dans leur environnement*. Paris, Nathan;
- De Beaulieu, J.-L., Miras, Y., Andrieu-Ponel, V. et Guiter, F.; 2005. *Vegetation dynamics in north-western Mediterranean regions: Instability of the Mediterranean bioclimate*. *Plant Biosystems*; **139**(2): pp. 114-126
- de Martonne, E.; 1937. *La morphologie des Pyrénées orientales d'après Pierre Birot*. *Annales de Géographie*; **46**(246): pp. 616-619
- Delbaerea, B.; 2003. *Status of the Pan-European Biological and Landscape Diversity Strategy*. *Journal for Nature Conservation*; **11**(2): pp. 127-128
- Delcros, P.; 1993. *Écologie du paysage et dynamique végétale post-culturelle en zone de montagne*. Thèse de doctorat; Cemagref / Institut de biologie alpine, Université Joseph Fourier.
- Delmas, M.; 2005. *La déglaciation dans le Massif du Carlit (Pyrénées orientales) : APPROCHES GÉOMORPHOLOGIQUE ET GÉOCHRONOLOGIQUE NOUVELLES*. *Quaternaire*; **16**(1): pp. 45-55
- Delmas, M., Calvet, M. et Gunnell, Y.; 2009. *Variability of Quaternary glacial erosion rates - A global perspective with special reference to the Eastern Pyrenees*. *Quaternary Science Reviews*; **28**(5-6): pp. 484-498
- Delort, R. et Walter, F.; 2001. *Histoire de l'environnement européen*. Bély, L., Gauvard, C. et Sirinelli, J.-F., éd.s.; le noeud gordien, Paris, Presses Universitaires de France; 353p.
- Demek, J.; 1978. *The Landscape as a Geosystem*. *Geoforum*; **9**(1): pp. 29-34
- Dério, P.; 1999. *Un outil de gestion de l'espace ? un vieux débat, une question d'actualité*. *Montagnes méditerranéennes*; **1999**(10): pp. 53-55
- Dério, P.; 2008. *L'approche paysagère : un outil polyvalent au service de l'approche opérationnelle et interdisciplinaire des problématiques environnementales*. in: "L'approche paysagère : un outil polyvalent au service de l'approche opérationnelle et interdisciplinaire des problématiques environnementales, Nîmes : France (2008)"; "1ères Journées scientifiques ARPEnv - Interdisciplinarité et gestion environnementale : Partage d'expériences autour de la psychologie environnementale". Université de Nîmes: 6 juin 2008;
- Despin, L.; 1998. *Les mutations des territoires valléens pyrénéens: crises sociales et environnement*. *Sud-ouest européen*; **3**: pp. 67-78
- Direction régionale de l'Environnement du Languedoc-Roussillon. (sans date). "Atlas des paysages du Languedoc-Roussillon." site web <http://www.languedoc-roussillon.ecologie.gouv.fr/pyrenees-orientales/Default1.asp>. DIREN Languedoc-Roussillon; sans année. *ZPS du Languedoc-Roussillon*.
- Dorée, A.; 1995. *Flore pastorale de montagne - Tome 1 : les graminées*. Vol. 1; 1ère éd.; éditions Boubée / CEMAGREF éditions; 208p.
- Dorée, A.; 2000. *Flore pastorale de montagne - Tome 2 : Légumineuses et autres plantes fourragères*. Vol. 2; 1ère éd.; éditions Boubée / CEMAGREF éditions; 208p.
- Dragut, L. et Blaschke, T.; 2006. *Automated classification of landform elements using object-based image analysis*. *Geomorphology*; **81**: pp. 330-344
- Droz, Y., Miéville-Ott, V. et Chételat, J., éd.s.; 2005. *La polyphonie du paysage*. PPUR presses polytechniques. 225 p.
- Dubois, J.-J. et Amat, J.-P., éd.s.; 1999. *Les milieux forestiers - Aspects géographiques*. Dossiers des Images Economiques du Monde. SEDES. 336 p.
- Duchaufour, P.; 2001. *Introduction à la science du sol - Sol, végétation, environnement*. Sciences Sup, 6ème éd.; Paris, Dunod; 331p.
- Dudley, N., éd.; 2008. *Lignes directrices pour l'application des catégories de gestion aux aires protégées*. Gland (Suisse), Union internationale pour la conservation de la nature et de ses ressources. 116 p.
- Duhamel, G.; 1994. *Flore pratique illustrée des Carex de France*. Paris, Boubée; 174p.
- Elhäi, H.; 1978. *Biogéographie*. Série Géographie, Paris, A. Colin; 404p.
- Ellenberg, H.; 1982. *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen*. 3ème éd.; Stuttgart, Ulmer; 990p.

- Ellenberg, H., Weber, H.E., Düll, R., Wirth, V. et Werner, W.; 2001. *Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa*. Scripta geobotanica, Vol. 18; 3ème éd.; Göttingen, Goltze;
- Erdmann, K.-H.; 1996. *Der Beitrag der Biosphärenreservate zu Schutz, Pflege und Entwicklung von Natur- und Kulturlandschaften in Deutschland*. In: Kastenholz, H.G., Erdmann, K.-H. et Wolff, M.; Nachhaltige Entwicklung - Zukunftschancen für Mensch und Umwelt. Berlin, Springer; pp. 187-205.
- Erdmann, K.-H., éd.; 1997. *Internationaler Naturschutz*. Berlin, Springer. 329 p.
- Escofier, B. et Pagès, J.; 1998. *Analyse factorielles simples et multiples : objectifs, méthodes et interprétation*. coll. 2ème cycle école d'ingénieurs, 3ème éd.; Paris, Dunod; 248p.
- Escourrou, G.; 1981. *Climat et environnement - Les facteurs locaux du climat*. Collection Géographie, Paris, Masson;
- European Commission; 2006. *Stratégie thématique en faveur de la protection des sols*;
- European Commission; 2007. *Interpretation Manual of European Union Habitats, EU 27-version*. 144 p.;
- Eychenne, C.; 2005. *Les éleveurs et l'estive, un regard sur l'action collective. Le cas de la « montagne » ariégeoise*. Ruralia; 2004-14, <http://ruralia.revues.org/document977.html> p; <http://ruralia.revues.org/document977.html>
- Eychenne, C.; 2006. *Hommes et troupeaux en montagne - La question pastorale en Ariège*. Harmattan; 314p.
- Faerber, J.; 1995. *Le feu contre la friche - Dynamiques des milieux, maîtrise du feu et gestion de l'environnement dans les Pyrénées centrales et occidentales*. Thèse de doctorat; GEODE URA366/CNRS, Institut Géographique Daniel FAUCHER, Université de Toulouse - le Mirail.
- Feit, U. et Korn, H.; 2008. *Treffpunkt Biologische Vielfalt VIII - Interdisziplinärer Forschungsaustausch im Rahmen des übereinkommens über biologische Vielfalt*. BfN-Skripten; Bundesamt für Naturschutz, 192 p.
- Fischer, A.; 1995. *Forstliche Vegetationskunde*. Pareys Studentexte, Vol. 82; Berlin, Blackwell Wissenschaftsverlag; 316p.
- Fitter, R., Fitter, A. et Farrer, A.; 1991. *Guide des graminées, carex, joncs et fougères - toutes les herbes d'Europe*. Les guides du naturaliste, Paris, Délachaux et Niestlé;
- Flahault, C.; 1934. *La géographie botanique et agricole des pyrénées orientales, d'après H. Gaussen* Annales de Géographie; 43(246): pp. 642-648
- Foltête, J.-C. et Tolle, F.; 2008. *Caractérisation du paysage dans les approches écologiques*. In: Brossard, T. et Wieber, J.-C.; Paysage et information géographique. Paris, Hermes Science / Lavoisier; pp. 165-186.
- Forman, R.T.; 1995. *Some general principles of landscape and regional ecology*. Landscape Ecology; 10(3): pp. 133-142
- Förster, M.; 2008. *Integration of Geo-Information in Classification Processes of Satellite Imagery for NATURA 2000 Monitoring*. sous la direction de Kleinschmit, B.; Institut für Landschaftsarchitektur und Umweltplanung, Fakultät VI - Planen Bauen Umwelt, Technische Universität Berlin.
- Frey, W. et Lösch, R.; 2010. *Lehrbuch der Geobotanik - Pflanze und Vegetation in Raum und Zeit*. 3ème éd.; Stuttgart, Gustav Fischer; 538p.
- Frick, A.; 2007. *Beiträge höchstauflösender Satellitenfernerkundung zum FFH-Monitoring - Entwicklung eines wissensbasierten Klassifikationsverfahrens und Anwendung in Brandenburg*. Technische Universität Berlin.
- Friis, I. et Balslev, H. (2005). *Plant Diversity and Complexity Patterns - Local, Regional and Global Dimensions*. Royal Danish Academy of Sciences and Letters in Copenhagen, Denmark, 25 - 28 mai 2003; Vol. 55
- Funnell, D. et Parish, R.; 2001. *Mountain Environments and Communities*. London, Routledge; 430p.
- Gahsche, J. et Bens, P.; 2002. *Arc View Kochbuch - Praktische GIS-Anleitungen für Ökologie, Naturschutz und Landschaftsplanung*. 1ère éd.; Tauer, LUTRA;
- Galochet, M.; 2002. *Du dessus au dedans: une approche biogéographique emboîtée des îlots boisés*. L'information géographique; 2002(4): pp. 341-350
- Galochet, M.; 2006. *La forêt : ressource et patrimoine*. Paris, Ellipses; 290p.
- Galochet, M., Godard, V. et Hotyat, M.; 2002. *Unités paysagères et biodiversité des îlots boisés : De l'image satellitale à l'analyse de terrain*. In: Ryszkowski, L.; Landscape Ecology in Agroecosystems Management. Boca Raton, CRC Press; pp. 317-330.
- Galochet, M. et Simon, L.; 2003. *L'arbre du géographe : un objet entre nature et société*. In: Mazoyer, M., Pérez Rey, J., Lebrun, R. et Malbran-Labat, F.; L'arbre, symbole et réalité. collection Kubaba - Série Actes II. Paris, L'Harmattan; pp. 29-49.
- Gasper, P. et Menz, G.; 1999. *Landschaftsmaße zur Bestimmung der räumlichen Strukturen in klassifizierten Satellitenbildern*. In: Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung; Vol. 7. pp. 333-340.

- Gausson, H.; 1938. *Étages et zones de végétation de la France* Annales de Géographie; 47(269): pp. 463-464
- Gausson, H.; 1947. *La carte de la végétation de la France. L'emploi des couleurs en cartographie* Les Études rhodaniennes; 22(22-1): pp. 253-254
- Gautier, G.; 1898. *Catalogue raisonné de la Flore des Pyrénées Orientales*. Société agricole scientifique et littéraire des Pyrénées Orientales, éd.; Perpignan, Société botanique de France; 551p.
- Génot, C. et Barbault, R.; 2004. *Quelle politique de conservation*. In: Barbault, R., Chevassus-au-Louis, B. et Teyssède, A.; Biodiversité et changements globaux : enjeux de société et défis pour la recherche. Paris, ADPF (Association pour la diffusion de la pensée française); pp. 162-190.
- Gerasimov, I.P.; 1976. *The Tasks of Geographical Science in the Era of the Scientific and Technological Revolution*. Geoforum; 7(5-6): pp. 363-367
- Gerasimov, I.P.; 1976. *What are the Constructive Trends in Soviet Geography?* Geoforum; 7(5-6): pp. 387-393
- Gerasimov, I.P., Preobrazhenskiy, V.S., Zimina, R.P. et Zxonkova, T.V.; 1979. *Soviet Physical and Biological Geography*. Geoforum; 10: pp. 261-265
- Germaine, M.-A.; 2009. *De la caractérisation à la gestion des paysages ordinaires des vallées du nord-ouest de la France. Représentations, enjeux d'environnement et politiques publiques en Basse-Normandie*. thèse de doctorat; sous la direction de Aziz Ballouche; Université de Caen, Basse-Normandie.
- Gillet, F.; 2000. *La phytosociologie synusiale intégrée - Guide méthodologique*. Université de Neuchâtel - Institut de Botanique, Neuchâtel. 68 p.
- Gillet, F., Foucault, B. et Julve, P.; 1991. *La phytosociologie synusiale intégrée : objets et concepts*. Candollea; 46: pp. 315-340
- Ginzler, C., Bärtschi, H., Bedolla, A., Brassel, P., Hägeli, M., et al.; 2005. *Luftbildinterpretation LFI3 - Interpretationsanleitung zum dritten Landesforstinventar*. WSL - Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf. 87 p.
- Girard, M.-C. et Girard, C.; 2004. *Traitement des données de télédétection*. Environnement et sécurité, Paris, Dunod; 530p.
- Girardin, P. et Weinstoerffer, J.; 2003. *Assessment of the Contribution of Land Use Pattern and Management of Farming Systems to Landscape Quality: a Landscape Indicator*. "NIJOS/OECD Expert Meeting on Agricultural Landscape indicators". Oslo, Norway; Octobre 2002; NIJOS/OECD Expert Meeting - Oslo
- Giraut, F.; 1997. *Pays et arrière-pays. Quelques hypothèses sur la nature et les fonctions contemporaines des arrière-pays des montagnes méditerranéennes*. Montagnes méditerranéennes; 6: pp. 15-17
- Girel, J.; 2006. *Quand le passé éclaire le présent : écologie et histoire du paysage*. Geocarrefour; 81(4): pp. 249-264
- Gomez, B. et Jones, J.P., éd.; 2010. *Research Methods in Geography: A Critical Introduction*. Critical Introductions to Geography. Wiley. 480 p.
- Green, D.G., Klomp, N., Rimmington, G. et Sadedin, S.; 2006. *Complexity in Landscape Ecology*. Landscape Series, Springer; 208p.
- Grenier, C.; 1994. *De l'espace marginal à l'espace pionnier frontalier: ouverture et attraction des Galapagos*. Espace géographique; 23(3): pp. 250-262
- Grey-Wilson, C. et Blamey, M.; 1996. *Guide des fleurs de montagne - Alpes, Pyrénées, Vosges, Jura, Massif Central*. Les Guides du naturaliste, Paris, Delachaux et Niestlé; 384p.
- Grin, A.M.; 1984. *The monitoring of geosystems: the case of the Kursk Biosphere Nature Reserve*. Geoforum; 15(1): pp. 113-122
- Groupe CHADULE; 1997. *Initiation aux pratiques statistiques en géographie*. 4ème éd.; Paris, Armand Colin; 204p.
- Grunewald, K. et Stoilow, D.; 1994. *Zur Rolle der Geographie beim konservierenden Landschaftsschutz*. In: Brunner, H.; Festschrift für Heiner Barsch; Potsdamer Geographische Forschungen Vol. 9. Potsdam, Institut für Geographie und Geoökologie Potsdam; pp. 120-125.
- Guillaumet, J.-L. et Kahn, F.; 1979. *Description des végétations forestières tropicales, approche morphologique et structurale*. Candollea; 34: pp. 109-131
- Guillaumet, J.-L. et Kahn, F.; 1982. *Structure et dynamisme de la forêt*. Acta Amazonica; 12(3): pp. 61-77
- Gunilla, E., Olsson, A. et Ausrheim, G.; 2000. *Landscape change patterns in mountains, land use and environmental diversity, Mid-Norway 1960-1993*. Landscape Ecology; 15(2): pp. 155-170
- Gunnell, Y., Calvet, M., Brichau, S., Carter, A., Aguilar, J.-P. et Zeyen, H.; 2009. *Low long-term erosion rates in high-energy mountain belts: Insights from thermo- and biochronology in the Eastern Pyrenees*. Earth and Planetary Science Letters 278: pp. 208-218
- Haase, G.; 1964. *Landschaftsökologische Detailuntersuchungen und naturräumliche Gliederung*. Petermanns Geographische Mitteilungen; 108(1/2): pp. 9-29
- Haase, G.; 1983. *Current Trends in Landscape Research*. Geojournal; 7(2): pp. 107-119

- Haber, W.; 2003. *Biodiversität - ein neues Leitbild und seine Umsetzung in die Praxis*. Vortragsveranstaltung im Blockhaus Desden: 30/10/2002; Sächsisches Druck- und Verlagshaus.
- Haber, W.; 2007. *Zur Problematik europäischer Naturschutz-Richtlinien*. Jahrbuch des Vereins zum Schutz der Bergwelt; 72: pp. 95-110
- Hägerstrand, T.; 1976. *Geography and the Study of interaction between Nature and Society*. Geoforum; 7(5-6): pp. 329-334
- Hansson, L. et Angelstam, P.; 1991. *Landscape ecology as a theoretical basis for nature conservation*. Landscape Ecology; 5(4): pp. 191-201
- Hargis, C.D., Bissonette, J.A. et David, J.L.; 1997. *Understanding the Measures of Landscape Pattern*. In: Bissonette, J.A.; *Wildlife and Landscape Ecology*. New York, Springer-Verlag; pp. 231-259.
- Harrison, S.; 2009. *Environmental Systems: Philosophy and Application in Physical Geography*. In: Valentine, G., Holloway, S.L. et Clifford, N.; *Key Concepts in Geography*. SAGE Publications; pp. 251-264.
- Havlicek, E.; 1999. *Les sols des pâturages boisés du Jura suisse - Origine et typologie, Relations sol-végétation, Pédogénèse des brunisols, Evolution des humus*. sous la direction de J.M Gobat; Institut de Botanique, Laboratoire d'écologie végétale et de phytosociologie, Université de Neuchâtel.
- Hendl, M. et Liedtke, H., eds.; 1997. *Lehrbuch der Allgemeinen physischen Geographie*. Justus Perthe. 866 p.
- Hennekens, S.M. et Schaminée, J.H.J.; 2001. *Turboveg, a comprehensive database management system for vegetation data*. Journal of Vegetation Science; 12: pp. 589-591
- Herz, K.; 1968. *Grossmasstäbliche und kleinmasstäbliche Landschaftsanalyse im Spiegel eines Modells*. In: Barthel, H.; *Landschaftsforschung : Beiträge zur Theorie und Anwendung*; Petermanns geographische Mitteilungen / Ergänzungsheft ; 271. Gotha, Haack; pp. 49-56.
- Herz, K.; 1973. *Beitrag zurr Theorie der Landschaftsanalytischen Massstabsbereiche*. Petermanns Geographische Mitteilungen; 117(2): pp. 91-96
- Herz, K.; 1987. *Heterogenisierungs- und Homogenisierungsprozesse der Landschaftssphäre*. Petermanns Geographische Mitteilungen; 131: pp. 11-18
- Hetier, J.; 1993. *Forêt méditerranéenne : vivre avec le feu ? - Eléments pour une gestion patrimoniale des écosystèmes forestiers littoraux*. (Montpellier), I.d.a.r.e.d.l.e. et (France), C.d.l.e.l.e.d.r.l., eds.; *Les Cahiers du conservatoire du Littoral*, Vol. 2; Paris, Conservatoire du littoral; 147p.
- Hjorta, J. et Luotob, M.; 2010. *Geodiversity of high-latitude landscapes in northern Finland*. Geomorphology; 115(1-2): pp. 109-116
- Holloway, S.L., Rice, S.P. et Valentine, G.; 2003. *Key concepts in geography*. SAGE; 342p.
- Holtzkämper, A.; 2007. *Spatial optimisation of land use patterns with respect to habitat functions*. Dissertation / PhD-thesis; Naturwissenschaftliche Fakultät III, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. 102 p.
- Hong, S.-K., Nakagoshi, N., Fu, B. et Morimoto, Y., eds.; 2008. *Landscape Ecological Applications in Man-Influenced Areas: Linking Man and Nature Systems*. Springer. 536 p.
- Honnay, O., Piessens, K., Van Landuyt, W., Hermy, M. et Gulinck, H.; 2003. *Satellite based land use and landscape complexity indices as predictors for regional plant species diversity*. Landscape and Urban Planning; 63(4): pp. 241-250
- Horning, N., Robinson, J.A., Sterling, E.J., Turner, W. et Spector, S.; 2010. *Remote Sensing for Ecology and Conservation: A Handbook of Techniques*. Techniques in Ecology and Conservation, Oxford university Press; 448p.
- Hotyat, M. et Galochet, M.; 2001. *L'homme, facteur de diversité en milieu forestier*. Bulletin de l'Association de Géographes Français; 2001(2): pp. 151-163
- Houet, T., Hubert-Moy, L. et Tissot, C.; 2008. *Modélisation prospective spatialisée à l'échelle locale : approche méthodologique. Application à la gestion de l'eau en Bretagne*. Revue Internationale de Géomatique; 18(3): pp. 345-373
- Houssard, C., Escarré, J. et Romane, F.; 1980. *Development of species diversity in some mediterranean Plant communities*. Vegetatio; 43: pp. 59-72
- Huc, S.; 2008. *Mobilité des éboulis supraforestiers des Pyrénées orientales (France) : morphodynamique et marqueurs biologiques*. Géomorphologie : relief, processus, environnement; 2/2008: pp. 99-112
- Huntley, B. et Baxter, R.; 2006. *Vegetation ecology and global change*. In: van der Maarel, E.; *Vegetation ecology*. Malden, Wiley - Blackwell Publishing; pp. 356-372.
- Ibáñez, J.J., De-Albaa, S., Loboc, A. et Zucarellob, V.; 1998. *Pedodiversity and global soil patterns at coarse scales (with discussion)*. Geoderma; 83(3-4): pp. 171-192
- INSEE; *Population depuis le recensement de 1876 - Département Ariège*. Historique des populations en Midi-Pyrénées par communes de 1876 à 2006.
- INSEE; *Catégories socioprofessionnelles des emplois au lieu de travail : Données harmonisées des recensements de la population de 1968 à 1999*.

- INSEE; *Chiffres clés - Exploitations agricoles par commune - Agreste, Recensements agricoles de 1988 et 2000 (Métropole)*.
- INSEE; 2009. *Évolution et structure de la population - CC Capcir - Haut Conflent (246600464 - EPCI)*.
- Institut français de l'environnement (IFEN); 2010. *Corine Land Cover 2006 - données départementales*.
- International Association of Geomorphologists. (2004). "European Manifesto on Earth Heritage and Geodiversity." site web http://www.progeo.pt/pdfs/Manifesto_EH.pdf.
- Jalut, G.; 1972. *Évolution post-wuermienne de la végétation des Pyrénées Orientales*. *Pirineos*; **Ano 23(105)**: pp. 85-92
- Jalut, G.; 1974. *Évolution de la végétation et variations climatiques durant les quinze derniers millénaires dans l'extrémité orientale des Pyrénées*. Thèse de doctorat; Université Paul Sabatier de Toulouse.
- Jalut, G. et Turu i Michels, V.; 2008. *Le dernier cycle glaciaire-interglaciaires dans les Pyrénées*. In: Canérot, J., Colin, J.-P., Platel, J.-P. et Bilotte, M.; *Pyrénées d'Hier et d'Aujourd'hui*; Vol. 1. Pau, atlantica; pp. 145-161.
- Janos, P.; 2006. *Braun - Blanquet' s legacy and data analysis in vegetation science*. *Journal of Vegetation Science*; **17(1)**: pp. 113- 117
- Jedicke, E., Frey, W., Hundsdofer, M. et Steinbach, E.; 1996. *Praktische Landschaftspflege - Grundlagen und Massnahmen*. 2 éd.; Stuttgart, Ulmer; 310p.
- Jégou, A.; 2007. *Les géographes français face au développement durable*. *L'information géographique*; **2007(3)**: pp. 6-28
- Jenik, J.; 1999. *Diversité de la vie en montagne*. In: Messerli, B. et Ives, J.-D.; *Les Montagnes dans le Monde - une priorité pour un développement durable*. Grenoble, Glénat; pp. 179-215.
- Jentsch, A., Beierkuhnlein, C. et White, P.S.; 2002. *Scale, the Dynamic Stability of Forest Ecosystems, and the Persistence of Biodiversity* *Silva Fennica*; **36(1)**: pp. 393-400
- Jessel, B.; 2006. *Elements, characteristics and character - Information functions of landscapes in terms of indicators*. *Ecological Indicators*; **6(1)**: pp. 153-167
- Joint Nature Conservation Committee. (2009, 20/7/2009). "Concepts of Geodiversity." site web http://www.ukglobalinfluence.org/Backgrounders/Geodiversity_A.pdf.
- Joliveau, T.; 2008. *Vers une approche géonumérique des paysages. Synthèse et réflexion critique*. In: Brossard, T. et Wieber, J.-C.; *Paysage et information géographique*. Paris, Hermes Science / Lavoisier; pp. 383-408.
- Joliveau, T., Michelin, Y. et Ballester, P.; 2008. *Éléments de méthode pour une médiation paysagère*. In: Brossard, T. et Wieber, J.-C.; *Paysage et information géographique*. Paris, Hermes Science / Lavoisier; pp. 257-286.
- Jollivet, M., éd.; 1992. *Sciences de la nature et sciences de la société - Les passeurs de frontières*. CNRS éditions. 589 p.
- Joly, D., Wieber, J.-C. et Brossard, T.; 1998. *Analyse visuelle systématique des paysages de cours d'eau par deux approches complémentaires* *Revue de géographie de Lyon*; **73(4)**: pp. 299-308
- Käsermann, C.; 2002. *Entwurf für ein Monitoring gefährdeter wildlebender Pflanzen*. FloraConsult, Schweizerische Kommission für die Erhaltung von Wildpflanzen (SKEW), Bern. 26 p.
- Kaule, G.; 1991. *Arten- und Biotopschutz*. grosse Reihe, 2ème éd.; Stuttgart, UTB; 520p.
- Kaule, G.; 2002. *Umweltplanung*. UTB, Stuttgart, Eugen Ulmer; 214p.
- Kerguelen, M.; 1993. *Index synonymique de la Flore de France*. Patrimoine Naturel, série Patrimoine Scientifique, Vol. 8; Paris, Museum National d'Histoire Naturelle, secrétariat de la Faune et de la Flore; 196p.
- Klijn, F. et de Haes, H.A.U.; 1994. *A hierarchical approach to ecosystems and its implications for ecological land classification*. *Landscape Ecology*; **9(2)**: pp. 89-104
- Koordinationsstelle Biodiversitäts-Monitoring Schweiz. (2008). "Anleitung für die Feldarbeit zum Indikator «Z9-Gefässpflanzen»", site web <http://www.biodiversitymonitoring.ch/pdfs/downloads/737%20Anleitung%20Z9-Pflanzen%20v11.pdf>.
- Körner, C.; 2007. *The use of 'altitude' in ecological research*. *Trends in Ecology & Evolution*; **22(11)**: pp. 569-574
- Kratochwil, A. et Schwabe, A.; 1997. *Die Bedeutung von bioökologischen Untersuchungen für die naturschutzfachliche Bewertung von Landschaftsausschnitten*. *NNA-Berichte*; **3(10. Jahrgang)**: pp. 61-100
- Kratochwil, A. et Schwabe, A.; 2001. *Ökologie der Lebensgemeinschaften*. UTB der Wissenschaft, Stuttgart, Eugen Ulmer 756p.
- Krishnamurthy, K.V.; 2003. *Textbook of biodiversity*. Science Publishers; 260p.
- Krönert, R., Steinhardt, U. et Volk, M.; 2001. *Landscape balance and landscape assessment*. Springer; 304p.

- Kugler, H.; 1999. *Physiognomie, Erlebniswert und Schutzwürdigkeit der Landschaft*. In: Mannsfeld, K. et Neumeister, H.; Ernst Neefs Landschaftslehre heute; Petermanns Geographische Mitteilungen (PGM) Ergänzungsheft Vol. 294. Gotha/Stuttgart, Klett-Perthes;
- Kuiper, J.; 1998. *Landscape quality based upon diversity, coherence and continuity: Landscape planning at different planning-levels in the River area of The Netherlands*. Landscape and Urban Planning; **43**(1-3): pp. 91-104
- Labouesse, F. et Rivière-Honegger, A.; 1993. *La dynamique des paysages ruraux méditerranéens*. Bulletin de la Société Languedocienne de Géographie; **26**(1-2): pp. 53 -78
- Laffly, D.; 2009. *Approche numérique du paysage : formalisation, enjeux et applications*. Paris, Publibook; 317 p.
- Lambert, B.; 1999. *Gestion des milieux naturels protégés. Le brûlage: un outil au service des pasteurs et gestionnaires*. Montagnes méditerranéennes; **1999**(10): pp. 37-39
- Lang, S., Langanke, T., Blaschke, T. et Klug, H.; 2002. *Schritte zu einer zielgerichteten Strukturanalyse im Natura2000-Kontext mit GIS*. In: Strobl, J., Blaschke, T. et Griesebner, G.; *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung*; Vol. XIV. Heidelberg, Wichmann Verlag; pp. 302-307.
- Lang, S., Langanke, T. et Klug, H. "White Paper - Landscape metrics - der nordamerikanische Ansatz de quantitativen Landscape Ecology." site web <http://www.geo.sbg.ac.at/larg/LSM.pdf>.
- Langlois, P.; 2010. *Simulation des systèmes complexes en géographie : fondements théoriques et applications*. Paris, Hermes / Lavoisier;
- Lang-Michaut, C.; 1990. *Pratique des tests statistiques - interprétation des mesures*. Paris, Dunod, Bordas;
- Laumonier, B.; 2008. *Les Pyrénées pré-hercyniennes et hercyniennes*. In: Canérot, J., Colin, J.-P., Platel, J.-P. et Bilotte, M.; *Pyrénées d'Hier et d'Aujourd'hui*; Vol. 1. Pau, atlantica; pp. 23-36.
- Lausch, A.; 2004. *Raum, Zeit, Struktur und Skala in Habitatmodellen - Eine Einführung*. In: Dormann, C.F., Blaschke, T., Lausch, A., et al.; *Habitatmodelle - Methodik, Anwendung, Nutzen*. ; UFZ-Berichte Vol. 9.
- Lausch, A. et Thulke, H.-H.; 2001. *The analysis of spatio-temporel dynamics of landscape structures*. In: Krönert, R., Steinhardt, U. et Volk, M.; *Landscape balance and Landscape assessment*. Springer; pp. 113-136.
- Lautensach, H.; 1952. *Methodische Grundgedanken zum Geographischen Formenwandel*. Colloquium Geographicum Vol. 3 Geographisches Institut Bonn. 1-16 p.
- Lautensach, H.; 1953. *Über die Begriffe und Typus und Individuum in der geographischen Forschung* Münchener Geographische Hefte; **3**: pp. 5-33
- Lazarotti, O.; 2001. *Comptes Rendus: Grenier Ch., Conservation contre nature. Les îles Galapagos* Annales de Géographie; **110**(619): pp. 329 - 329
- Le Floch, S. et Devanne, A.-S.; 2003. *Qu'entend-on par "fermeture du paysage"*. Ministère de l'écologie et du développement durable - direction de la nature et des paysages - sous-direction des sites et des paysages - bureau des paysages, 26 p.
- Le Mire Pecheux, L.; 2004. *LandBioDiv : un nouveau modèle de prédiction spatialisée de la diversité et de la composition spécifique au niveau du paysage - Exemple d'application en région méditerranéenne (France)*. sous la direction de Philip ROCHE et Marcel BARBERO; *Biologie des Populations et Ecologie*, UNIVERSITÉ PAUL CÉZANNE Aix-Marseille III. 415 p.
- Lecomte, B.; 1995. *Forêts du Conflent, guide des stations forestières*. C.R.P.F., éd.; Montpellier, Centre Régional de la Propriété Forestière; 64p.
- Lefevre, J.C. et Barnaud, G.; 1988. *Écologie du paysage: mythe ou réalité ?* Bulletin d'écologie; **19**(4): pp. 493-522
- Legendre, P. et Legendre, L.; 1998. *Numerical Ecology (Developments in Environmental Modelling)*. Elsevier Science; 870p.
- Lepart, J., Marty, P. et Kleszczewski, M.; 2007. *Faut-il prendre au sérieux les effets des changements du paysage sur la biodiversité ?* In: Berlan-Darqué, M., Lüginbühl, Y. et Terrasson, D.; *Paysages: de la connaissance à l'action*; Update. Quae; pp. 20-40.
- Lepš, J.; 2006. *Diversity and Ecosystem Functions*. In: van der Maarel, E.; *Vegetation ecology*. Malden, Wiley - Blackwell Publishing; pp. 199-237.
- Leroux, M.; 2000. *La dynamique du temps et du climat*. Sciences Sup, 2eme cycle/Master, Ecoles d'ingénieur, 2ème éd.; Paris, Dunod;
- Les Ecologistes de l'Euzière, éd.; 2004. *Le feu dans la nature- Mythes et réalité*. éditions les Ecologistes de la Euzière. 168 p.
- Leuschner, C.; 2006. *Vegetation and ecosystems*. In: van der Maarel, E.; *Vegetation ecology*. Malden, Wiley - Blackwell Publishing; pp. 85-105.

- Lévêque, C. et Van der Leeuw, S., éd.; 2003. *Quelles natures voulons-nous? Pour une approche socio-écologique du champ de l'environnement*. Elsevier éd.; Programme Environnement Vie et Sociétés. Elsevier. 324 p.
- Lewin, R.; 1994. *La complexité - une théorie de la vie au bord du chaos*. Paris, InterEditions;
- Liedtke, H. et Marcinek, J., éd.; 1994. *Physische Geographie Deutschlands*. 1ère éd.; Gotha, Justus Perthe. 557 p.
- Lillesand, T., Kiefer, R.W. et Chipman, J.W.; 2008. *Remote Sensing and Image Interpretation*. 6ème éd.; John Wiley & Sons; 756p.
- Liu, J. et Taylor, W.W.; 2002. *Integrating Landscape Ecology into Natural Resource Management*. Cambridge Studies in Landscape Ecology, Cambridge, Cambridge University Press; 500p.
- Lizet, B. et Ravignan, F.; 1987. *Comprendre un paysage - guide pratique de recherche*. Paris, INRA; 149p.
- Lloyd, C.D.; 2010. *Spatial data analysis - Introduction for GIS Users*. Oxford University Press; 206p.
- Lomolino, M.V., Riddle, B., R. et Brown, J.H.; 2006. *Biogeography*. 3ème éd.; Sunderland, Massachusetts, Sinauer Associates, Inc.;
- Lutze, G., Schultz, A. et Kiesel, J.; 2004. *Landschaftsstruktur im Kontext naturräumlicher Vorprägung und Nutzung - ein systemanalytischer Ansatz*. IÖR-Schriften; Vol. 43 330 p.
- Maes, E.; 2002. *Le suivi de la végétation des pâturages. Présentation de méthodes simples pour l'analyse floristique et pour l'observation de la pression pastorale*. série méthodologique; Vol. GEODE. 56 p.
- Magazol, P.O.; 2006. *Recherche de variables contribuant à l'organisation d'un paysage de moyenne montagne : les cas des Hautes Chaumes du Forez*. Thèse de doctorat -Spécialité Information géographique et applications; sous la direction de Etlicher, B.; Université Jean Monnet St. Etienne. 320 p.
- Maignien, R.; 1980. *Manuel pour la description des sols*. ORSTOM, ORSTOM, 145 p.
- Mannsfeld, K., Bastian, O., Bieler, J., Gerber, S., König, A., Lütz, M., Schulze, S. et Syrbe, R.-U.; __. *Abschlussbericht Arbeitsstelle "Naturhaushalt & Gebietscharakter" 1965 -2007*.
- Mannsfeld, K. et Neumeister, H., éd.; 1999. *Ernst Neef's Landschaftslehre heute*. Petermanns Geographische Mitteilungen Ergänzungsheft. Gotha, Klett-Perthes. 152 p.
- Manshard, W.; 1976. *Recent trends in German geography*. *Geoforum*; 7(5-6): pp. 383-385
- Marcel, J.-F., Pons, D. et Baudière, A.; 1982. *Le Massif du Madrés (Pyrénées Orientales) et son intérêt biogéographique*. *Rev. Biol. et Ecol. Médit.*; IX(2/3): pp. 127 - 138
- Marchand, H.; 1990. *Les forêts méditerranéennes- enjeux et prospectives*. Paris, Economica; 108p.
- Marty, P., Lepart, J. et Caplat, P.; 2006. *Géographie et écologie des paysages: quelles relations ?* *Bulletin de l'Association de Géographes Français*; 83(3): pp. 355-367
- Maurel, O.; 2003. *L'exhumation de la Zone Axiale des Pyrénées orientales: Une approche thermo-chronologique multi-méthodes du rôle des failles*. sous la direction de Monie, P.; Structure et Evolution Terre et Planètes, Université de Montpellier 2. 1 Vol.; 263 p.
- Mazzoleni, S., Di Pasquale, G. et Mulligan, M.; 2005. *Inverser le consensus sur la desertification en Méditerranée*. *Forêt méditerranéenne*; 26(4): pp. 322-326
- Mazzoleni, S., Mulligan, M., di Martino, P. et Rego, F., éd.; 2004. *Recent dynamics of the Mediterranean vegetation and landscape*. John Wiley & Sons. 306 p.
- McKenzie, D., Miller, C. et Falk, D.A.; 2011. *The Landscape Ecology of Fire*. Ecological Studies, Springer; 340p.
- Médail, F. et Diadema, K.; 2006. *Biodiversité végétale méditerranéenne et anthropisation : approches macro et micro-régionales*. *Annales de géographie*; 651(5): pp. 618-640
- Médail, F. et Quézel, P.; 2003. *Conséquences écologiques possibles des changements climatiques sur la flore et la végétation du bassin méditerranéen*. *Bocconea*; 16: pp. 397-422
- Meentemeyer, V.; 1989. *Geographical perspectives of space, time and scale*. *Landscape Ecology*; 3(3/4): pp. 163-173
- Menz, G.; 1998. *Landschaftsmaße und Fernerkundung - neue Instrumente für die Umweltforschung*. *Geographische Rundschau*; 50(2): pp. 106-112
- Merlo, M. et Croitoru, L., éd.; 2004. *Valuing mediterranean forests: toward total economic value*. University of Padova, CABI Publishing. 432 p.
- Messerli, B., Grosjean, M., Hofer, T., NÚÑEZ, L. et Pfister, C.; 2000. *From nature-dominated to human-dominated environmental changes*. *Quaternary Science Reviews*; 19(1-5): pp. 459-479
- Métailié, J.-P.; 1999. *Le feu: un "entre-deux" scientifique et social*. *Montagnes méditerranéennes*; 1999(10): pp. 81-86
- Métailié, J.-P.; 2005. *Histoire de l'environnement*. In: Vergnolle-Mainar, C. et Desailly, B.; Environnement et sociétés. Toulouse, CRDP Midi-Pyrénées; pp. 42-73.
- Métailié, J.-P. et Faerber, J.; 2003. *Quinze années de gestion des feux pastoraux dans les Pyrénées: du blocage à la concertation*. *Sud-ouest européen*; 2003(16): pp. 37-51

- Meurer, M.; 1993. *Geo-und weideökologische Untersuchungen im Mogod-Bergland Nordwest-Tunesiens unter besonderer Berücksichtigung der kleinbäuerlichen Ziegenhaltung*. Lauer, W., éd.; Erdwissenschaftliche Forschung, Vol. XXIX; Stuttgart, Franz Steiner Verlag; 334p.
- Miklós, L.; 1998. *Landscape as a geosystem, geosystem as the basement for biological diversity*. "Electronic Conference on research and biodiversity". 4/05 - 26/06/1998; Government of Catalonia, Ministry of the Environment.
- Milian, J.; 2001. *Le projet Natura 2000 et la protection du patrimoine naturel - l'exemple des sites expérimentaux pyrénéens*. *études rurales*; 157-158, <http://etudesrurales.revues.org/document35.html>
- Milian, J.; 2004. *Protection de la nature et développement territorial dans les Pyrénées*. Thèse de doctorat; sous la direction de Barrue-Pastor, M.; Laboratoire Dynamiques Rurales, Université de Toulouse le Mirail. 2 Vol.; 900 p.
- Minvielle, E. et Souiah, S.-A.; 2003. *L'Analyse statistique et spatiale - Statistiques, cartographie, télédétection, SIG*. Outils et méthodes en géographie, Nantes, éditions du temps; 284p.
- Montagné, C., Peyron, J.-L., Niedswiedz, A. et Colnard, O.; 2004. *France*. In: Merlo, M. et Croitoru, L.; *Valuing Mediterranean Forests. Towards Total Economic Value*. pp. 299-317.
- Morineau, A. et Aluja-Banet, T.; 1998. *Analyse en composantes principales : avec illustrations SPAD* Montreuil CISIA-CERESTA; 142p.
- Morschel, J. et Fox, D.; 2004. *Une méthode de cartographie du risque érosif: application aux collines du Terrefort Lauragais*. *Mappemonde*; 78(4)
- Morschel, J., Fox, D. et Richard, J.-F.; 2008. *Expliquer les organisations spatiales et les flux hydriques dans un bassin versant : apports de l'analyse paysagère à la modélisation hydrologique globale*. in: Actes du colloque Géopoint 2006; "Demain la géographie. Permanences, dynamiques mutations : Pourquoi ? Comment ?" Avignon: 1 - 2 juin 2006; Groupe Dupont / UMR 6012 ESPACE.
- Morschel, J., Temple-Boyer, E., Khebour-Allouche, F., Labiadh, M. et Richard, J.-F.; 2005. *Les segments et les saisons de paysage : exemple d'un paysage méditerranéen aride de la Dorsale Tunisienne*. *Revue Caucasienne de Géographie*; 5: pp. 3 - 14
- Moss, M.; 1983. *Landscape synthesis, landscape processes and land classification, some theoretical and methodological issues* *Geojournal*; 7(2): pp. 145-153
- Muller, S., éd.; 2004. *Plantes invasives en France*. Patrimoines naturels - publications scientifiques du Muséum Paris,
- Murawski, H. et Meyer, W.; 1998. *Geologisches Wörterbuch*. 10ème éd.; Stuttgart, Enke; 278p.
- Muséum National d'Histoire Naturelle. (Document téléchargé le 22 avril 2009). "Qu'est-ce que la géodiversité ?" Dernière consultation 25/07/2009, site web <http://inpn.mnhn.fr/inpn/fr/geodiv/index.htm>.
- Naeem, S., Bunker, D.E., Hector, A., Loreau, M. et Perrings, C., éd.; 2009. *Biodiversity, Ecosystem Functioning and Human Wellbeing*. Oxford Biology. Oxford University Press;
- Naveh, Z.; 1991. *Some remarks on recent developments in landscape ecology as a transdisciplinary ecological and geographical science* *Landscape Ecology*; 5(2): pp. 65-73
- Naveh, Z.; 2000. *Introduction to the Theoretical Foundations of Multifunctional Landscapes and their Application in Transdisciplinary Landscape Ecology*. In: Brandt, J., Tress, B. et Tress, G.; Conference material for the international conference on Multifunctional Landscapes: Interdisciplinary Approaches to Landscape Research and Management. Roskilde, Centre for Landscape Research; pp. 27-43.
- Naveh, Z.; 2001. *Ten major premises for a holistic conception of multifunctional landscapes*. *Landscape and Urban Planning*; 57: pp. 269-284
- Naveh, Z.; 2004. *Multifunctional, self-organizing biosphere landscapes and the futur of our Total Human Ecosystem*. *World Futures*; 60: pp. 469-503
- Naveh, Z. et Carmel, Y.; 2002. *Landscape complexity versus ecosystem complexity - implication for landscape planning and management*. "La Complessità in Ecologia - XII Congresso Nazionale della Società Italiana di Ecologia". Urbino: 16-18 settembre 2002;
- Neff, C.; 2005. *Der mediterrane Süden Frankreichs*. *Geographische Rundschau*; 57(9): pp. 38-44
- Neff, C. et Scheid, A.; 2003. *50 Jahre nach Gaussen: Bemerkungen zur Anwendung historischer Vegetationskarten in mediterranen Ökosystemen im Rahmen der Global Change Forschung*. *ÖR-Schriften*; 40: pp. 211-224
- Nicol, A.; 1995. *Les Fleurs des Pyrénées - Tome V (Spécial "Endémiques")*. Pau, 219p.
- Nielsen, D.R. et Wendroth, O.; 2003. *Spatial and temporal statistics - Sampling Field Soils and their vegetation*. GeoEcology Textbook, Reiskirchen, Catena Verlag; 398p.
- Nieto, L.M.; 2001. *Geodiversity: proposal of an integrative definition*. *Boletín Geológico y Minero*; 112(2): pp. 3-12

- Noel, M.; 1996. *L'homme et la forêt en Languedoc-Roussillon - Histoire et économie des espaces boisés*. Laboratoire d'Analyse et de Modélisation Economique, P.U.d.P.P., éd.; Collection Etudes, St. Estève, les presses littéraires; 264p.
- Odum, E.-P.; 1983. *Ökologie : Grundlagen, Standorte, Anwendung*. 2ème éd.; Stuttgart, Thieme; 836p.
- OECD (2003). *Agriculture and Biodiversity - Publication of the Expert Meeting Proceedings*. in Zürich, Switzerland, 5-8 November, 2001; Vol. 1; OECD Publishing.
- Olivier, L., Galland, J.-P. et Maurin, H., éd.; 1995. *Livre rouge de la flore menacée de France - Tome 1: espèces prioritaires*. Paris, Ministère de l'Environnement. 621 p.
- O'Neill, R.V., Krummel, J.R., Gardner, R.H., Sugihira, G., Jackson, B., et al.; 1988. *Indices of Landscape Pattern*. *Landscape Ecology*; 1(3): pp. 153-162
- Orth, D., Balay, C. et Loiseau, P.; 2008. *Quelle prise en compte des éléments du paysage pour diagnostiquer la biodiversité des prairies ?* *Les Cahiers d'Orphée*; pp. 63-77
- Ozenda, P.; 1985. *La végétation de la chaîne alpine dans l'espace montagnard européen*. Paris, Masson 330p.
- Ozenda, P.; 1986. *La cartographie écologique et ses applications*. Paris, Masson 159p.
- Ozenda, P.; 2002. *Perspectives pour une géobiologie des montagnes* P U Polytex Rom, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes; 195p.
- Paal, G.; 2003. *Fallstudie Geographie*. In: Gabor, P.; Was ist schön ? Königshausen & Neumann; pp. 169-174.
- Payre, D.; 1992. *Toponymie de Nohèdes*. AGRNN, Nohèdes. 121 p.
- Payre, D.; 1997. *Toponymie de Jujols*. R. N. Jujols, Jujols. 137 p.
- Pech, P.; 2007. *Développement durable et géographie physique*. *L'information géographique*; 2007(3): pp. 66-78
- Pfeffer, K.-H.; 2006. *Arbeitsmethoden der Physischen Geographie*. Geowissen kompakt, Darmstadt, WBG; 135p.
- Phipps, M.; 1969. *Recherches sur la distribution géographique de l'utilisation du sol - structure locale, modèle biogéographique, structure régionale*. Thèse d'Etat; Faculté des sciences de Toulouse.
- Pinchemel, P. et Pinchemel, G.; 1997. *Description et typologie des milieux naturels*. In: Pinchemel, P. et Pinchemel, G.; La face de la terre. Paris, Armand Colin, Masson; pp. 288-303.
- Podani, J.; 2006. *Braun-Blanquet's legacy and data analysis in vegetation science*. *Journal of Vegetation Science*; 17: pp. 113-117
- Pons, A. et Quézel, P.; 1998. *A propos de la mise en place du climat méditerranéen*. *Earth and Planetary Sciences*; 327: pp. 755-760
- Pons, P., Lambert, B., Rigolot, E. et Prodon, R.; 2003. *The effects of grassland management using fire on habitat occupancy and conservation of birds in a mosaic landscape*. *Biodiversity and Conservation* 12(9): pp. 1843-1860
- Poschmann, C., Riebenstahl, C. et Schmidt-Kallert, E.; 1998. *Umweltplanung und -bewertung*. 1ère éd.; Gotha, Justus Perthes; 150p.
- Pott, R.; 2005. *Allgemeine Geobotanik: Biogeosysteme und Biodiversität*. Berlin, Springer; 652p.
- Preobrazhenskiy, V.S.; 1984. *Trends in the evolution of graphic models of geosystems*. *Geoforum*; 15(1): pp. 83-88
- Preu, C.; 1996. *Landschaftsökologische Raumbewertung - Konzepte, Methoden, Anwendungen*. Veichtaer Studien zur angewandten Geographie und Regionalwissenschaft; Veichtaer Druckerei, Veichta. 145 p.
- Price, M.F., éd.; 2006. *Global Change in Mountain Regions*. Duncow, Sapiens Publishing;
- Pumain, D.; 2003. *Une approche de la complexité en géographie*. *Geocarrefour*; 78(1): pp. 25-31
- Quézel, P.; 1999. *Les grandes structures de végétation en région méditerranéenne: facteurs déterminants dans leur mise en place post-glaciaire*. *Geobios*; 32(1): pp. 19-32
- Quézel, P. et Bonin, G.; 1980. *Les forêts feuillues du pourtour méditerranéen - constitution, écologie, situation actuelle, perspectives*. *Revue forestière française*; XXXII(3): pp. 253-268
- Ramade, F.; 1997. *Conservation des écosystèmes méditerranéens*. Paris, Economica; 190p.
- Rat der Europäischen Gemeinschaften; 1992. *Richtlinie 92/43/EWG des Rates vom 21. Mai 1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen (Amtsblatt Nr L 206 ; 22/07/1992 S. 0007-0050) - Anhang I*
- Raunet, M. (1989). *Approche systémique appliquée à la cartographie morphopédologique du paysage*. "Séminaire franco-africain de pédologie tropicale °1", Lomé, Togo, 06/02/1989; ORSTOM.
- Redecker, B., Finck, P., Hardtle, W., Riecken, U. et Schröder, E., éd.; 2002. *Pasture landscapes and nature conservation*. Berlin, Springer. 435 p.
- Rehfuess; 1990. *Waldböden -Entwicklung, Eigenschaften und Nutzung*. Pareys Studentexte, Vol. 29; 2ème éd.; Hamburg, Berlin, Paul Parey; 294p.

- Reille, M.; 1993. *A re-evaluation of the vegetation history of the eastern Pyrenees (France) from the end of the last glacial to the present* Quaternary Science Reviews; **12**(1): pp. 47-77
- Rendu, C.; 2003. *La Montagne d'Enveig. Une estive pyrénéenne dans la longue durée*. Perpignan, éditions du Trabucaire; 606p.
- Rey, P.; 1960. *Essai de phytocinétique biogéographique*. CNRS. 400 p.
- Reymond, H.; 2009. *L'intérêt géographique de la logique de S. Lupasco et de la théorie de la néoténie : proposition d'un crible transdisciplinaire pour l'étude de la résilience des géosystèmes urbains*. Cybergéo; **451**, <http://www.cybergeo.eu/index22397.html>
- Ribet, N.; 1999. *L'invention du brûlage pastoral. Histoire d'un savoir-faire en réhabilitation*. Montagnes méditerranéennes; **1999**(10): pp. 23-30
- Richard, J.-F.; 1974. *Un modèle Espace-Paysage- L'analyse factorielle des correspondances de J.P. BENZECRI*. Vol. ORSTOM. 9 p.
- Richard, J.-F.; 1985. *La science du paysage- relations, dépendances et autonomies*. Revue Géographique de l'Est; **4**(1985): pp. 347-353
- Richard, J.-F.; 1988. *La recherche sur les milieux naturels tropicaux, de nouvelles rencontres avec la géographie*. Travaux et Documents de Géographie Tropicale; **61**(IVème colloque franco-japonais de géographie)
- Richard, J.-F., Antheaume, B. et Winkell, A.; 1974. *Cartographie du paysage*. Vol. ORSTOM, Centre d'Adiopodoumé. Abidjan, Côte d'Ivoire. 21 p.
- Richard, J.-F. et Berouchatchvili, N.; 1996. *Vers l'élaboration d'un système d'information sur les paysages du monde*. Cahier science humaines; **32**(4): pp. 823-842
- Richard, J.-F., Filleron, J.-C., Zueli, K.B., Djibo, S., Ousseini, I., Salifou, K., Tapé Bidi, J. et Horent, P.; 1980. *Cartographie intégrée du milieu naturel : réalisation et utilisation de la carte des paysages à 1/50 000*. in: Informatique et Biosphère; "Colloque d'Abidjan. Journée d'Etude". Abidjan 22/11/1979;
- Richer de Forges, A., Feller, C., Jamagne, M. et Arrouays, D.; 2008. *Perdus dans le triangle des textures*. Etude et Gestion des Sols; **15**(2): pp. 97-111
- Richling, A.; 1983. *Subject of study in complex physical geography (Landscape geography)* Geojournal; **7**(2): pp. 185-187
- Richter, H.; 1968. *Beitrag zum Modell des Geokomplexes*. In: Barthel, H.; Landschaftsforschung; Ergänzungsheft Nr. 271 zu Petermanns Geographischen Mitteilungen (Festschrift Ernst Neef) Vol. 112. Gotha/Leipzig, pp. 39-48.
- Richter, M.; 1997. *Allgemeine Pflanzengeographie*. Teubner Studienbücher Geographie, Stuttgart, Teubner; 256p.
- Rigolot, E.; 1999. *Le brûlage dirigée: cadre de développement et objets de recherche*. Montagnes méditerranéennes; **1999**(10): pp. 31-36
- Riitters, K.H., O'Neill, R.V., Hunsacker, C.T., Wickham, J.D., Yankee, D.H., Timminis, S.P., Jones, K.B. et Jackson, B.L.; 1995. *A factor analysis of landscape pattern and structure metrics*. Landscape Ecology; **10**(1): pp. 23-39
- Rodary, E. et Chartier, D.; 2007. *Géographie de l'environnement, écologie politique et cosmopolitiques. l'espace politique*; **1**, <http://espacepolitique.revues.org/index284.html>
- Rodriguez-Herrera, R. et Salles-Le Gac, D.; 2002. *Initiations à l'analyse factorielle des données- Fondement mathématiques et interprétations - Cours et exercices corrigés*. Vol. 315; Paris, Ellipses;
- Rougerie, G.; 1990. *Les montagnes dans la biosphère*. collection U - Série Géographie, Paris, Armand Colin; 221p.
- Rougerie, G.; 1992. *Aspect du cas "Paysage" en pays méditerranéens*. Mappemonde; **92**(1): pp. 45
- Rougerie, G.; 2000. *L'homme et son milieu : l'évolution du cadre de vie*. Paris, Nathan; 288p.
- Roux, E.; 1999. *Les enjeux de la gestion de l'espace en montagnes méditerranéennes*. Montagnes méditerranéennes; **1999**(10): pp. 17-22
- Ryszkowski, L.; 1998. *Intégration des objectifs de la diversité biologique et paysagère dans le secteur agricole en Europe*. In: *Vers une stratégie de développement territorial pour le continent européen -perspective d'évolution des zones rurales en Europe*. Aménagement du territoire européen; Conférence européenne des ministres responsables de l'aménagement du territoire (CEMAT), Conseil de l'Europe. 43-55 p.;
- Sacareau, I.; 2003. *La montagne : une approche géographique*. Paris, Bélin; 287p.
- Saïd, S. et Auvergne, S.; 2002. *Impact du pastoralisme sur l'évolution paysagère en Corse. Quelques propositions de gestion*. Revue de géographie alpine; **88**(3): pp. 39-50
- Saldaña, A. et Ibáñez, J.J.; 2004. *Pedodiversity analysis at large scales: an example of three fluvial terraces of the Henares River (central Spain)*. Geomorphology; **62**(1-2): pp. 123-138
- Salomon, J.-N.; 2006. *Précis de Karstologie*. Scieteren, 2ème éd.; Pessac, Presses Universitaires de Bordeaux;

- Scheffer, F. et Schachtschabel, P.; 2002. *Lehrbuch der Bodenkunde*. 15ème éd.; Heidelberg, Spektrum Akademischer Verlag; 593p.
- Scheid, A., Neff, C. et Jentsch, C.; 2004. *Flächenextensivierung im Mittleren Schwarzwald - Ergebnisse und Diskussion der in der Raumschaft Schramberg durchgeführten geographischen und landschaftsfeuerökologischen Untersuchungen*. Materialien zur geographie; Vol. 34 Mannheim, G.I.d.U., Universität Mannheim.
- Schermann, N. et Baudry, J.; 2002. *Analyse descriptive multi-échelle de la structure d'un paysage - Application à la mosaïque d'occupation du sol d'un territoire agricole dans le bocage breton*. Revue internationale de géomatique; 12(3-4)
- Schlüter, H.; 1980. *Biotische Diversität und ihr Regenerationsvermögen in der Landschaft*. Petermanns Geographische Mitteilungen; (1/80): pp. 19-21
- Schmithüsen, J.; 1948. *"Fliesengefüge der Landschaft" und "Ökotopt"*. Berichte zur deutschen Landeskunde; 5: pp. 74-83
- Schönthaler, K., Müller, F. et Barkmann, J.; 2003. *Synopsis of system approaches to environmental research - German contribution to ecosystem management*. Bosch & Partner GmbH, Ö.-Z.K., Umweltbundesamt, Berlin. 250 p.
- Schramm, E.; 2005. *Naturale Aspekte sozial-ökologischer Regulation- Bericht aus dem Analysemodul „Ressourcenregulation“ im Verbundvorhaben netWORKS*. netWORKS - Papers; Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE)- Forschungsverbund netWORKS, Berlin. 82 p.
- Schreiber, K.-F.; 1977. *Landscape planning and protection of the environment - the contribution of landscape ecology* Applied Science and development 9: pp. 128-139
- Schultze, J.H.; 1970. *Landschaft*. In: Landesplanung, A.f.R.u.; Handwörterbuch der Raumforschung und Raumordnung; Vol. 19. Hannover, Gebrüder Jaenecke Verlag; pp. 1820-1840.
- Schulze, E.-D., Beck, E. et Müller-Hohenstein, K.; 2002. *Pflanzenökologie*. Spektrum-Lehrbuch, Heidelberg ; Berlin Spektrum Akademischer Verlag; 846p.
- Schulze, E.-D., Beck, E. et Müller-Hohenstein, K.; 2005. *Plant Ecology*. Springer; 702p.
- Schulze, E.-D. et Mooney, H.A., eds.; 1994. *Biodiversity and Ecosystem Function*. Springer. 524 p.
- Serrano, E. et Flaño, P.; 2007. *Geodiversity: concept, assessment and territorial application. The case of Tiernes-Caracena* Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles; 45: pp. 389-393
- Simon, L.; 1998. *Les paysages végétaux*. Synthèse Géographie, Armand Colin; 96p.
- Simon, L., Pech, P. et Tabeaud, M.; 2000. *Landscape types and geocology dynamics of a mediterranean mountain*. In: Richling, A., Lechnio, J. et Malinowska, E.; *Landscape Ecology - theory and applications fro pratical purposes*; PROBLEMY EKOLOGII KRAJOBRAZU Vol. 6. Warsaw, Pultusk School of Humanities;
- Solon, J.; 2000. *"Small habitats" and their input to flora and vegetation diversity on the landscape level*. In: Richling, A., Lechnio, J. et Malinowska, E.; *Landscape Ecology - theory and applications fro pratical purposes*; PROBLEMY EKOLOGII KRAJOBRAZU Vol. 6. Warsaw, Pultusk School of Humanities;
- Solon, J., Degórskia, M. et Roo-Zielińska, E.; 2007. *Vegetation response to a topographical-soil gradient*. Catena; 71(2): pp. 309-320
- Soutadé, G.; 1980. *Modelé et dynamique actuelle des versants supra-forestiers des Pyrénées-Orientales*. Université de Bordeaux III. 452 p.
- Steinhardt, U., Herzog, F., Lausch, A., Müller, E. et Lehmann, S.; 1999. *Hemeroby index for landscape monitoring and evaluation*. In: Pykh, Y.A., Hyatt, D.E. et Lenz, R.J.; *Environmental Indices - System Analysis Approach*. Oxford, EOLSS Publications; pp. 237-254.
- Steinhardt, U. et Volk, M.; 2001. *Scales and spatio-temporal dimensions in landscape research*. In: Krönert, R., Steinhardt, U. et Volk, M.; *Landscape balance and landscape assessment*. Springer; pp. 137-162.
- Storkebaum, W.; 1967. *Zum Gegenstand und zur Methode der Geographie*. Wege der Forschung Vol. LVIII; Darmstadt, Wissenschaftliche Buchgesellschaft Darmstadt; 514p.
- Stüdemann, O.; 2008. *Aspekte der Geoökologie*. Berlin, Weißensee-Verlag; 425p.
- Syrbe, R.-U., Bastian, O. et Röder, M.; 1998. *Analyse und Bewertung der Landschaft und ihrer Veränderungen anhand ausgewählter Funktionen des Naturhaushaltes im Biosphärenreservat "Oberlausitzer Heide- und Teichlandschaft"*. In: Erdmann, K.-H., Bork, H.-R. et Grunewald, K.; *Geographie und Naturschutz. Beiträge zu einer naturverträglichen Entwicklung*. MAB-Mitteilungen 45/1998.; MAB-Mitteilungen Vol. 45.
- Syrbe, R.-U., Bastian, O. et Röder, M.; 2003. *Landschaftsmonitoring als Grundlage für die Bewertung und Modellierung*. In: Bastian, O., Grunewald, K., Schanze, J., et al.; *Bewertung und Entwicklung der Landschaft*; IÖR-Schriften Vol. 40. Dresden, Institut für ökologische Raumentwicklung; pp. 225-236.
- Syrbe, R.-U., Bastian, O., Röder, M. et Haase, G.; 2002. *Veränderungen der Landnutzung und Landschaftswandel*. Abhandlungen der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig, Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse; 59(5): pp. 141-160

- Tabeaud, M., Pech, P. et Simon, L., éd.; 1997. *Géo -Méditer - géographie physique et méditerranéenne*. Université de Paris I, publications de la Sorbonne. 290 p.
- Temple-Boyer, E.; 2006. *Aménagement et ménagement du paysage dans la Dorsale Tunisienne : Évolution, représentation et gestion de la conservation des eaux et des sols à l'échelle de trois petits bassins-versants*. Thèse de doctorat; sous la direction de Arnould, P.; Ecole normale supérieure Lettres et Sciences Humaines - ENS-LSH Lyon.
- Thomas, J. et Bussière, J.; 2007. *Inventaire typologique et cartographique des milieux tourbeux des Pyrénées-Orientales*. PNR des Pyrénées catalanes / SCOP SAGNE, 16 p.
- Thouret, J.C.; 1984. *Pour une perspective géographique de l'étagement dans les grands systèmes montagneux* Revue de géographie alpine; **72**(2-4): pp. 189-212
- Thwaites, R.N.; 2000. *From biodiversity to geodiversity and soil diversity. A spatial understanding of soil in ecological studies of the forest landscape*. J. Tropical Forest Sci.; **12**(2): pp. 288-405
- Tichy, L.; 2002. *JUICE, software for vegetation classification*. Journal of Vegetation Science; **13**: pp. 451-453
- Tjallinghi, S.P.; 1974. *Unity and Diversity in Landscape*. Landscape Planning; **1**: pp. 7-34
- Tress, B., Tress, G., Décamps, H. et d'Hauterive, A.-M.; 2001. *Bridging human and natural sciences in landscape research* Landscape and Urban Planning; **57**(3-4): pp. 137-141
- Tress, B., Tress, G., Fry, G. et Opdam, P., éd.; 2006. *From Landscape Research to Landscape Planning: Aspects of Integration, Education and Application*. Wageningen UR Frontis Series. Springer. 436 p.
- Tricart, J.; 1979. *Paysage, écologie et approche systématique*. Bulletin de l'Association de Géographes Français; **465**: pp. 377-382
- Troll, C.; 1939. *Luftbildplan und ökologische Bodenforschung*. Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin **7/8**: pp. 241-298
- Troll, C.; 1966. *Landschaftsökologie als geographische-synoptische Naturbetrachtung*. In: Troll, C.; *Ökologische Landschaftsforschung und vergleichende Hochgebirgsforschung*; Erdkundliches Wissen Vol. 11. Wiesbaden, Franz-Steiner-Verlag; pp. 1-13.
- Trombulak, S.C. et Baldwin, R.F., éd.; 2010. *Landscape-scale Conservation Planning*. Springer. 427 p.
- Turner, M.G. et Gardner, R.H., éd.; 1990. *Quantitative Methods in Landscape Ecology - the Analysis and Interpretation of Landscape Heterogeneity*. New York, Springer. 536 p.
- Turner, M.G., O'Neill, R.V., Gardner, R.H. et Milne, B.T.; 1989. *Effects of changing scale on the analysis of landscape pattern*. Landscape Ecology; **3**(3/4): pp. 153-162
- UNEP; 2007. *Avenir de l'environnement mondial : l'environnement au service du développement (GEO-4)*. GEO - Global Environment Outlook; l'environnement, P.d.N.U.p. 574 p.;
- UNESCO; 1963. *Carte bioclimatique de la zone méditerranéenne - Notice explicative*. Recherches sur la zone aride; UNESCO - FAO, Paris. 63 p.
- UNESCO; 1970. *Carte de la végétation de la région méditerranéenne - Notice explicative*. Etude écologique de la zone méditerranéenne; UNESCO - FAO, Paris.
- Valentine, G., Holloway, S.L., Clifford, N. et Rice, S.P.; 2009. *Key Concepts in Geography*. 2ème éd.; SAGE Publications; 480p.
- van Court, H.J.; 1967. *Systems Analysis: a diagnostic approach*. University, C., éd.; New York, Chicago, Harcourt, Brace & World; 544p.
- van der Maarel, E.; 2007. *Transformation of cover-abundance values for appropriate numerical treatment - Alternatives to the proposals by Podani*. Journal of Vegetation Science; **18**: pp. 767-770
- Vernet, J.-L.; 1997. *L'homme et la forêt méditerranéenne de la Préhistoire à nos jours*. éditions errance; 248p.
- Vernet, J.-L.; 2006. *La crise des écosystèmes méditerranéens à l'Holocène*. In: Beck, C., Luginbühl, Y. et Muxart, T.; *Temps et espaces des crises de l'environnement*. Quae; pp. 175-189.
- Viers, G.; 1981. *Compte Rendus : Modelé et dynamique actuelle des versants supra-forestiers des Pyrénées-Orientales de G. Soutadé*. Annales de Géographie; **90**(501): pp. 615 - 618
- Vogt, J.V., Paracchini, M.L., Gallego, J.F. et Terres, J.M.; 2004. *Measuring Land Use/Land Cover Diversity Across Europe*. "Measuring Land Use- International Workshop on Issues of Sustainable Development in European Landscapes". Hungary: 14-18 April 2004; Szent Istvan Univ.
- Volkova, N.I., Zhuchkova, V.K. et Nikolaev, V.A.; 2000. *Formation and development of landscape science and ecology of landscape in Russia*. In: Richling, A., Lechnio, J. et Malinowska, E.; *Landscape Ecology - theory and applications for practical purposes*; PROBLEMY EKOLOGII KRAJOBRAZU Vol. 6. Warsaw, Puttusk School of Humanities;
- Walz, U.; 1998. *Ableitung von Indikatoren zur Landschaftsstruktur aus Fernerkundungsdaten und anderen Flächeninformationssystemen*. "Angewandte Geographische Informationsverarbeitung - AGIT-Symposium". Salzburg; H. Wichmann Verlag.

- Walz, U.; 2006. *Landschaftsstruktur - zwischen Theorie und Praxis*. In: Kleinschmit, B. et Walz, U.; *Landschaftsstrukturmaße in der Umweltplanung - Beiträge zum Workshop de IALE-AG Landschaftsstruktur- Berlin 2006*; *Landschaftsentwicklung und Umweltforschung* Vol. 19. Technische Universität Berlin; pp. 4-17.
- Walz, U., Lutze, G., Schultz, A. et Syrbe, R.-U., eds.; 2004. *Landschaftsstruktur im Kontext naturräumlicher Vorprägung und Nutzung - Datengrundlagen, Methoden und Anwendungen*. IÖR-Schriften. Dresden, Institut für ökologische Raumentwicklung (IÖR). 334 p.
- Walz, U. et Syrbe, R.-U. (2002). "Glossar Landschaftsstruktur." site web <http://www.tu-dresden.de/ioer/statisch/IALE/glossar.pdf>.
- Wardenga, U.; 1995. *Geographie als Chorologie - Zur Genese und Struktur von Alfred Hettners Konstrukt der Geographie*. Erdkundliches Wissen, Vol. 100; 256p.
- Wascher, D.M.; 2002. *Overview on some agricultural landscape indicators across OECD Countrys*. "NIJOS/OECD Expert Meeting on Agricultural Landscape indicators". Oslo, Norway: Octobre 2002; NIJOS/OECD Expert Meeting - Oslo
- Weber, C.; 2007. *__Géosystème urbain - (version provisoire !)*. Programme interdisciplinaire de recherche CNRS -Ministère de l'Ecologie (MEEDDAT) "Ville et Environnement".
- Weidner, U. et Lemp; 2005. *Objektorientierte Klassifizierung*. In: Bähr, H.-P. et Vögtle, T.; *Digitale Bildverarbeitung - Anwendungen in Photogrammetrie, Fernerkundung und GIS*. Objektorientierte Klassifizierung; pp. 106-122.
- Wendler, W. et Jessel, B.; 2004. *Anwendung und Akzeptanz der FFH-Richtlinie in Deutschland und Frankreich - Ein Vergleich in ausgewählten Gemeinden*. *Naturschutz und Landschaftsplanung*; **36**(11): pp. 347 -352
- White, P.S. et Harrod, J.; 1997. *Disturbance and Diversity in a Landscape Context*. In: Bissonette, J.A.; *Wildlife and Landscape Ecology: Effects of Pattern and Scale*. New York, Springer; pp. 128-157.
- Wieber, J.C.; 1977. *Dynamique érosive et structures des paysages, essai d'une approche méthodique*. Paris VII. 813 p.
- Wieger, G.W., Goedhart, P.W., Van Dobben, H.F. et Berendse, F.; 2005. *Plant species as predictors of soil pH: Replacing expert judgement with measurements*. *Journal of Vegetation Science*; **16**: pp. 461-470
- Wiegand, G.; 1997. *Beziehungen zwischen naturschutzfachlichen Bewertungsverfahren und Leitbildentwicklung*. *NNA-Berichte*; **3**(10. Jahrgang): pp. 40-47
- Wiggering, H. et Müller, F., eds.; 2004. *Umweltziele und Indikatoren -Wissenschaftliche Anforderungen an ihre Festlegung nund Fallbeispiele*. Berlin, Springer;
- Wildi, O.; 2010. *Data Analysis in Vegetation Ecology*. Wiley-Blackwell; 538p.
- Willems, E., Vandervoort, C., A., W. et Buffaria, B. (2000). "chapter 3. *Landscape and land cover diversity index*." From land cover to landscape diversity in the European Union site web <http://ec.europa.eu/agriculture/publi/landscape/ch3.htm#3>.
- Wilmanns, O.; 1998. *Ökologische Pflanzensoziologie - Eine Einführung in die Vegetation Mitteleuropas*. Botanik/Ökologie, 6ème éd.; Wiesbaden, Quelle und Meyer;
- Zube, E.H.; 1987. *Perceived land use patterns and landscape values*. *Landscape Ecology*; **1**(1): pp. 37-45

Cartes utilisées:

- Carte topographique « Font Romeu, Capcir »* - 2249ET série bleue, Echelle: 1/25 000; I.G.N.; 1997.
- Carte topographique « Axat, Quérigut, Gorges de l'Aude »* - Nr. 2248ET. série bleue, Echelle: 1/25 000; I.G.N.; 2ème éd., 2000.
- Carte topographique «Bourg-Madame, Mont Louis, Col de la Perche »* - 2250ET. série bleue, Echelle: 1/25 000; I.G.N.; 3ème éd., 2003.
- Carte topographique « Massif du Canigou »* - 2349ET. série bleue, Echelle: 1/25 000; I.G.N.; 3ème éd., 2003.
- Carte topographique « Prades, St-Paul-de Fenouillet »* - 2348ET. série bleue, Echelle: 1/25 000; I.G.N.; 3ème éd., 2006.
- Carte topographique "Béziers, Perpignan"* - Nr. 72 série verte (Top 100), Echelle: 1/100 000; I.G.N.;
- Carte géologique, feuille "Prades"* - °1095. Echelle: 1/50 000; Guitard, G., Geysant, J., Laumonier, B., Autran, A., Fonteilles, M., Dalmayrach, B., Vidal, J.C. et Bandet, Y. - B.R.G.M.; 1ère éd., 1998.
- Carte géologique « PRADES »* - feuille Nr.257. Echelle: 1/80 000; Goguel, J. - B.R.G.M., Service de la carte géologique de la France; 2ème éd., 1968.
- Carte géologique "QUILLAN",* - feuille Nr. 254. Echelle: 1/80 000; Chabrol, A. et Grandjean, F. - B.R.G.M.; 2ème éd., 1938.
- Carte de la végétation de la France - feuille "Perpignan"* - N°78 Echelle: 1/200 000; Gausson, H. - CNRS; 2ème éd., 1972.
- Carte du relief glaciaire des Pyrénées - feuille Mont Louis Est* - Supplément hors-texte au tome XXXIX de la Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest Echelle: 1/50 000; Viers, G. - CNRS / IGN; 1968.
- Carte du relief glaciaire des Pyrénées - feuille Mont Louis Ouest* - Supplément hors-texte au tome XXXIX de la Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest, Echelle: 1/50 000; Viers, G. - CNRS / IGN; 1968.

Table des matières

Résumé	5
Sommaire	13
PRÉSENTATION.....	15
1 - PREMIÈRE PARTIE : DIVERSITÉ PAYSAGÈRE ET GÉODIVERSITÉ	19
1.1. Introduction à la diversité spatiale.....	20
1.1.1. De la diversité biologique à la diversité paysagère	20
1.1.1.1. Dynamique paysagère et biodiversité	20
De l'évolution des paysages au constat de la fragilité de certaines composantes naturelles	20
Du biotope au paysage en passant par l'habitat et les milieux	21
1.1.1.2. L'observation de la biodiversité et du paysage incite à la prise en compte de la diversité paysagère	22
Multiplicité des approches du paysage	23
1.1.1.3. La nature de la diversité et son évaluation scientifique	24
La diversité des objets qui composent le paysage	25
Les temps d'une thèse géographique.....	26
1.1.2. L'utilité de la géodiversité en question	27
1.1.2.1. La diversité morphologique des paysages se prête-t-elle à l'interprétation des fonctionnements ?	27
Une question initiale.....	27
Des interrogations préalables.....	27
La question principale	28
Des questionnements secondaires	29
1.1.2.2. A la recherche des liens entre morphologie paysagère et biodiversité.....	29
1.1.2.3. Une démarche inductive et systémique	30
1.1.3. Évaluer la mesure et l'utilité de la géodiversité	32
1.1.3.1. Objectifs et intérêt de l'étude	32
1.1.3.2. Les temps d'une recherche sur la diversité	34
1.1.3.3. Avertissements.....	34
1.2. Le foisonnement des conceptions de la « diversité paysagère » et de la « géodiversité »	36
1.2.1. Diversité terminologique.....	36
1.2.1.1. Le caractère de la diversité	36
Aspects étymologiques	36
Diversité dans le domaine de l'environnement	37
1.2.1.2. La « géo- »diversité des paysages et des milieux.....	38
La géodiversité, « diversité des milieux et paysages » ou « diversité du milieu géologique et physique ?	38
De quelle géodiversité parle-t-on ? Précisions quant à la terminologie utilisée	38
1.2.1.3. Un thème ancien : La diversité géographique	39
Variété et diversité en géographie.....	39
1.2.2. La diversité des conceptions de la diversité paysagère	40
1.2.2.1. La notion de diversité paysagère dans le contexte des politiques publiques et de la législation communautaire	40
La Stratégie paneuropéenne de la diversité paysagère et biologique (PEBLDS)	41
La Stratégie Française pour la Biodiversité	42
La diversité des paysages dans la Convention Européenne du Paysage	43
De CORINE LandCover à la diversité paysagère	45
1.2.2.2. La diversité paysagère en géographie et écologie du paysage et le paysage dans un contexte international	45
Diversité du paysage, des paysages ou diversité paysagère ?	46
« Landscape diversity »	46
« Landschaftsdiversität »	49
« Diversité paysagère »	51
1.2.2.3. A l'origine des divergences - Landschaft, landscape et paysage	51
Landschaft	52
Landscape	55
Le paysage	56
1.2.2.4. Un premier essai de synthèse concernant le paysage et sa diversité	57

La diversité paysagère croquée, photographiée et cartographiée	57
Diversité paysagère, Landschaftsdiversität et landscape diversity - atouts et limites d'une notion « grand public »	58
La diversité paysagère : diversité chorologique ?	60
1.2.3. Les « géodiversités » : géodiversité, <i>geodiversity</i> et <i>Geodiversität</i> considérées différemment.....	61
Conceptions plurielles de la « géodiversité »	61
1.2.3.1. Geodiversity	61
Geodiversity - une interprétation anglophone exclusivement abiotique ?	61
Geodiversity - au sens large	63
1.2.3.2. <i>Geodiversität</i>	64
1.2.3.3. La géodiversité selon les sources francophones	65
Géodiversité = geodiversity ?	65
La géodiversité « selon les auteurs français »	66
1.2.4. Essai de (re-) construction d'une notion	68
1.2.4.1. Le champ de la géographie : Spécialisation disciplinaire <i>versus</i> définitions globales ..	69
1.2.4.2. Diversité paysagère ou géodiversité ?	70
Des interprétations contrastées.....	70
La diversité paysagère, concept écologique ou « global »	70
L'étude de la diversité paysagère	71
« Géo -> diversité - visions restreintes et globales	72
1.2.4.3. Quelle géodiversité <i>globale</i> ?	73
La géodiversité : diversité géographique ?	73
La géodiversité : diversité de la géosphère ?	74
La géodiversité : diversité géosystémique ?	75
La géodiversité - diversité sur la terre	76
1.2.4.4. Notion ou concept : la nécessité de formalisation de la géodiversité	76
Diversité paysagère, mésologique et géodiversité.....	76
Géodiversité : notion ou concept ?	77
Limites de cette étude de la géodiversité	78
1.3. Recueil d'un corpus pour l'analyse de la géodiversité	80
1.3.1. Notions fondamentales pour l'étude de la géodiversité	80
1.3.1.1. Les notions de nature et d'environnement associées à la diversité.....	80
Nature et naturel.....	80
Environnement et diversité environnementale.....	81
1.3.1.2. L'étude du milieu (dit) « naturel ».....	83
Quel milieu ?	83
Mosaiques de milieu	86
La taille et l'échelle d'observation des milieux	86
1.3.1.3. Notions de complexité et de systémique	87
La complexité de la réalité	87
Théorie des systèmes et systémique	89
Le paradigme systémique en géographie et l'analyse de système	91
Holisme critiqué et défendu	92
Analyse et système.....	93
1.3.1.4. Des systèmes « naturels »	93
L'écosystème et les concepts associés	93
L'écosystème et le géosystème	95
1.3.2. L'approche systémique en géographie : cadre pour une étude de la géodiversité 97	97
1.3.2.1. Le géosystème, les géosystèmes	97
L'émergence et l'utilisation du géosystème.....	97
Différentes conceptions du géosystème dans la géographie germanophone	99
L'évolution du géosystème en France	102
L'utilisation du géosystème dans la géographie actuelle	103
Critiques, mises en garde et limites d'application	104
1.3.2.2. Des approches systémiques territorialisées proches.....	106
L'écosystème paysager (<i>Landschaftsökosystem</i>) et le géoécosystème	106
L'anthroposystème.....	107
1.3.2.3. Un modèle pour l'étude de la géodiversité.....	109
Le géosystème, modèle du paysage	109
Approche objet	109
Le géosystème - conception retenue	110
1.3.3. Pour une analyse géographique de la géodiversité : la géodiversité dans le contexte disciplinaire et pluridisciplinaire.....	112
1.3.3.1. Géographie et géoécologie pour l'étude de la diversité des milieux et paysages.....	112
Géographie physique globale	112
Un point de départ, la biogéographie	112
Science du paysage, Landschaftslehre, Geosynergetik et landschaftovedenie	113

Transitions disciplinaires : géoécologie et l'écologie du paysage	114
L'analyse intégrée des milieux	117
1.3.3.2. Fondements des approches spatiales - les notions d'échelle et de dimension.....	118
Échelles et dimensions	118
La théorie des dimensions géographiques	119
Topologie et chorologie	119
La multiplicité des unités spatiales.....	120
Taxo-chorologie retenue	121
Le temps de la diversité.....	122
1.3.3.3. Proximité et différence : inspiration du concept de géodiversité par celui de la diversité biologique.....	122
Caractéristiques de la biodiversité	123
Microcosme et macrocosme : dimensions et échelles d'organisation	123
Appréciations de la diversité : alpha, bêta, gamma-diversité	126
Qualité et Quantités : différencier pour comparer	128
Approches combinées de la diversité.....	128
1.4. Premiers éléments pour une méthode de mesure de la géodiversité	131
1.4.1. Conception d'une géodiversité des milieux et des paysages	131
1.4.1.1. Diversité paysagère et géodiversité.....	131
Deux notions ou une seule - Choisir ou unir ?	131
La géodiversité comme « diversité des milieux et paysages»	132
Limites de la diversité paysagère de cette étude, diversité du « paysage-objet »	132
1.4.1.2. Une géodiversité spatio-temporelle et systémique	133
La géodiversité appréciée dans le cadre d'une approche géosystème.....	133
Dimensions de la géodiversité	134
1.4.1.3. La géodiversité « mésologique » et « paysagique »	135
Géodiversité <i>stricto sensu</i> , diversité mésologique et paysagique	135
1.4.1.4. Synonymes et notions complémentaires de la géodiversité	135
1.4.2. Choix méthodologiques	138
1.4.2.1. Mise en place d'une méthode.....	138
Éléments de méthode et méthodologie	138
1.4.2.2. Fondements positionnements méthodologiques	139
Support et couverture	139
Discontinuités et limites	140
Contenus et contenants	140
Éléments et composantes	141
1.4.2.3. Comment saisir la géodiversité ?	141
Caractériser la diversité.....	141
Que veut-on et peut-on relever ?	142
1.4.2.4. Mesurer l'utile : considérations métriques et mises en garde	144
De la mesure en mesurant	144
Approche physionomique et estimations.....	145
Complémentarité des méthodes disciplinaires et transdisciplinaires	146
1.4.3. Éléments méthodologiques pour évaluer la diversité verticale et latérale	147
1.4.3.1. Aspects pratiques concernant les relevés et la cartographie	147
Que peut-on relever sur place ?.....	147
Adéquation entre méthode et terrain : échantillonnage	147
Que peut-on cartographier ?.....	148
1.4.3.2. La diversité des formes : le relevé mésologique et la cartographie paysagique.....	149
L'étude intégrée des milieux et la taxo-chorologie franco-ivoirienne	149
Les corps naturels localisés (CNL).....	149
La délimitation verticale des milieux	150
Les unités paysagères d'extension latérale.....	151
1.4.3.3. Éléments méthodologiques pour l'étude disciplinaire des milieux.....	152
Climat et milieux.....	153
Le rôle du relief et des roches	154
L'étude de sols pour une caractérisation de la pédodiversité	154
Les caractéristiques hydrologiques	154
L'étude de la végétation.....	155
Prise en compte de la faune.....	155
Prise en compte de l'anthropisation et des relations société - milieu.....	155
1.4.3.4. La mesure de la diversité latérale : cartographie et possibilités de quantification... 156	156
La cartographie de la diversité.....	156
Les indices de diversité et indices paysagers.....	157
Conclusion de la première partie	159

2 - DEUXIEME PARTIE : LE MASSIF DE MADRES-CORONAT : CADRE GÉOGRAPHIQUE, APPROCHES DISCIPLINAIRE ET MULTISCALEIRE 161

2.1. Critères de sélection de la zone d'étude	162
2.1.1. Choix d'un type d'espace pour l'étude de la diversité	162
2.1.1.1. Où relever la diversité <i>in situ</i>	162
2.1.1.2. L'espace montagnard - spécificités azonales	162
2.1.2. Les espaces naturels comme cadre d'une analyse empirique	163
2.1.2.1. Les types de protection et de zonages réglementaires envisageables	163
2.1.2.2. Les sites NATURA2000	164
2.1.2.3. Critères supplémentaires pour un choix de site NATURA 2000.....	164
2.1.3. Limites et évolution du périmètre d'étude et échelles d'observation privilégiées : le site Natura 2000 « Madres-Coronat »	165
2.1.3.1. Le périmètre du site Natura 2000 (PN)	165
2.2. Présentation du Massif	168
2.2.1. Périmètre(s) du Massif	168
2.2.1.1. Le périmètre « morphologique » du Massif (PM).....	168
2.2.1.2. Le périmètre d'étude <i>sensu lato</i> (PT)	169
2.2.2. Un terrain d'étude dans la partie orientale des Pyrénées	172
2.2.2.1. La notion de « montagne méditerranéenne »	172
2.2.2.2. Une anthropisation ancienne.....	173
2.2.2.3. Des mutations récentes	174
2.2.3. Un massif, plusieurs pays. Le Madres-Coronat à cheval entre le Capçir, le Conflent et le Pays de Sault (Madres audois)	175
2.2.3.1. Délimitation territoriale	175
2.2.3.2. Les paysages du massif selon l'atlas des paysages	176
Les visages du massif de Madres-Coronat	176
2.3. Le cadre physiogéographique de la diversité des milieux du Madres-Coronat	177
2.3.1. Support physico-minéral et géomorphologie.....	177
2.3.1.1. Histoire de la mise en place des volumes.....	177
Aperçu sur l'histoire géologique de la partie orientale des Pyrénées.....	177
Les « plas »	178
Délimitation tectonique du massif	179
2.3.1.2. Grands ensembles lithologiques	180
Lithologie.....	180
Carte géologique simplifiée.....	182
2.3.1.3. Relief actuel et topographie	187
Le dôme du Madres-Coronat	187
Un relief hétérogène.....	187
Traces quaternaires.....	188
2.3.1.4. Caractère des sols.....	195
2.3.2. Régimes climatiques pluviothermiques	197
2.3.2.1. Données météorologiques et climatiques	197
2.3.2.2. Températures	197
2.3.2.3. Pluviométrie.....	199
Moyennes mensuelles.....	199
Variabilité interannuelle	199
2.3.2.4. Le climat du massif de Madres-Coronat	200
2.3.2.5. Période des relevés de terrain	201
2.3.3. Flore, formations végétales et habitats naturels	205
2.3.3.1. Carte de la végétation	205
2.3.3.2. Caractéristiques bioclimatiques et floristiques du Massif.....	208
Étage bioclimatique	208
2.3.3.3. Éléments floristiques	210
2.3.3.4. Les habitats naturels cartographiés dans le cadre de la directive habitats	214
2.3.3.5. Indice normalisé de végétation (NDVI)	216
2.3.3.6. La faune du Massif	218
2.4. Occupation du sol, évolution des paysages et démographie.....	220
2.4.1. L'état actuel de l'occupation du sol	220

2.4.2. Démographie des communes du Madres-Coronat	223
2.4.2.1. Évolution démographique	223
2.4.3. Aspects socio-économiques	226
2.4.4. Disparités spatiales et évolution du paysage	228
2.4.4.1. L'anthropisation des milieux	228
2.4.4.2. Caractéristiques spatiales de l'utilisation des sols	228
2.4.4.3. L'évolution des paysages	229
2.4.5. Les structures et outils de la gestion du patrimoine naturel	231
2.4.5.1. Diversité des espaces naturels et périmètres de protection : des espaces « superposées » et « emboîtés »	231
2.4.5.2. Les ZICO,	231
2.4.5.3. Les ZNIEFF,	231
2.4.5.4. Le Parc naturel Régional des Pyrénées Catalanes	232
2.4.5.5. Les Réserves Naturelles :	232
Conclusion de la deuxième partie	234
3 - TROISIEME PARTIE : DU TERRAIN À LA CARTE - MÉTHODES ET TECHNIQUES	235
3.1. Relever la diversité	236
3.1.1. Phase initiale et préparation des relevés de terrain	236
3.1.1.1. Aperçu général sur la méthodologie appliquée	236
Quelques principes concernant le « study design »	236
Étapes de l'analyse	236
Schéma organisationnel de la méthode mise en œuvre et étapes d'analyse	237
3.1.1.2. Mise en œuvre chronologique et logistique	239
Calendrier de terrain	239
Tâches, temps nécessaire et nombre de relevés	239
Premiers relevés tests	240
Adaptation de la méthodologie de terrain	241
Composantes et éléments du milieu relevés	241
3.1.1.3. Outils de terrain	242
Matériel de terrain	242
Biométrie	243
3.1.2. L'échantillonnage des relevés	245
3.1.2.1. Définition de la population cible : les milieux du Madres-Coronat	245
Population observée	245
Nombre d'échantillons	245
3.1.2.2. Méthodes d'échantillonnage	246
Regard porté sur les méthodes d'échantillonnage statistique	246
Échantillonnage aléatoire	246
Échantillonnage systématique	247
Échantillonnage subjectif	247
Méthodes d'échantillonnage stratifiées	248
Un critère pragmatique en faveur d'un échantillonnage subjectif ou stratifié : l'accessibilité	249
3.1.2.3. Stratification par quotas appliquée au site du Massif du Madres et Mont Coronat ...	251
Réflexions sur la « stratification » du terrain : le « pré-zonage »	251
Échantillonnage selon un système de quotas	252
3.1.2.4. Cartographie pour l'échantillonnage	253
Critères topographiques et géomorphologiques issus de l'analyse du modèle numérique de terrain.	253
Bassins versants et niveaux altitudinaux	254
Exposition des versants	258
Les pentes	261
Classifications préalables d'images satellites et choix des unités de stratification	262
3.1.2.5. Résultat de l'échantillonnage	266
3.1.3. Mise en place de la placette de relevé, aperçu général et description du milieu	268
3.1.3.1. Mise en place d'un relevé	268
La notion d'aire minimale	268
Précautions et choix concernant la délimitation de la parcelle,	269
Phase initiale et terminale du relevé	270
3.1.3.2. Les fiches de relevés utilisées sur le terrain	271
FG- la fiche des informations générales	271
FE- la fiche de relevé floristique	272
FM- la fiche de relevé des hoplexols et corps naturels localisés	272
FB - la fiche de relevé des biovolumes	273
FS- la fiche de relevé pour la description des sols	273

FA - les fiches de relevé annexes	274
3.1.3.3. Aperçu général de la parcelle.....	274
Description du relief et éléments de géomorphologie	275
Questions d'occupation et utilisation du sol et statut foncier	275
Observations quant à la végétation.....	276
Traces de la faune sauvage, des troupeaux et du feu.....	276
Observations concernant les arbres en milieu forestier ou arboré.	276
3.1.4. Les relevés mésologiques	278
3.1.4.1. Description générale de l'approche mésologique	278
Description mésologique	278
Du corps naturel localisé au paysage	278
3.1.4.2. Les composantes du milieu	280
Description des corps naturels localisés et hoplexols	280
La diagnose typologique.....	282
Lexique des corps naturels: clé de détermination des matériaux	283
3.1.4.3. Des corps naturels au géon en passant par l'hoplexol et l'holoplexion - la vision verticale du milieu.....	288
De l'hoplexol à l'holoplexion	290
De l'holoplexion au géon.....	290
3.1.5. La diversité des espèces végétales	294
3.1.5.1. Les relevés floristiques	294
Avertissement quant aux relevés floristiques	294
Les relevés des trachéophytes : défis de détermination.....	294
Flores utilisées.....	296
Pratique du relevé floristique	297
3.1.5.2. Exploitation des relevés floristiques.....	298
Mise à jour et informatisation	298
Exploration des données floristiques	299
Autres méthodes de relevés floristiques	299
3.1.6. La diversité des sols	300
3.1.6.1. La description du sol et le choix des nomenclatures	300
Classification des sols allemands et manuels de terrain pour les relevés pédologiques (Bodenkundliche Kartieranleitung)	301
Équivalences avec la nomenclature française et internationale.....	302
3.1.6.2. La fosse pédologique	310
3.1.6.3. Détermination de la « roche-mère » et des formations superficielles.....	311
3.1.6.4. Échantillons prélevés et mesures effectuées.....	313
3.1.6.5. Paramètres pédologiques retenus sur le terrain [<i>Bodenansprache</i>].....	314
Profondeur des sols	314
Couleur 315	
Hydrisme 316	
Acidité 317	
Les classes granulométriques (<i>Korngrößenfraktionen</i>)	317
Classes texturales (<i>Bodenart</i>)	319
Détermination de la texture - terrain	323
Fraction grossière	324
Structure et densité	326
3.1.6.6. Analyses de sol au laboratoire	328
Préparations des échantillons pour les analyses	328
Analyse granulométrique.....	329
Détermination de la texture « au doigt »	329
Détermination de la couleur.....	329
Paramètres chimiques du sol	330
Dosage du calcaire	330
Le rapport C/N	330
La mesure du pH : pH CaCl ₂ et pH eau	331
La mesure de la conductivité électrique.....	331
3.1.6.7. Paramètres physico-chimiques des sols déduits des analyses	332
Réserve utile.....	332
La CEC 336	
Le taux de saturation.....	337
3.2. Mesurer la géodiversité	339
3.2.1. Cartographie et délimitation des unités paysagères.....	339
3.2.1.1. Données spatiales disponibles et produites.....	339
Fonds de cartes et données disponibles pour l'analyse spatiale : cartographie existante et lacunaire	339
Cartes produites et vectorisées	340
3.2.1.2. Aspects pratiques de cartographie	341
Questions d'échelle.....	341

Logiciels utilisés.....	341
3.2.1.3. L'interprétation spatiale de la diversité : typologie taxo-chorologique	342
Photo-interprétation aboutissant à la carte des géons (carte des unités élémentaires du paysage)	342
Clé d'interprétation	343
Aspects pratiques de la photo-interprétation	344
3.2.1.4. Utilisation des indices paysagers ou « landscape metrics » et analyse spatiale	347
Indices paysagers : les « landscape metrics »	347
Typologie des indices paysagers.....	347
Choix des indices paysagers appropriés pour la mesure de la diversité	348
Application des indices paysagers sélectionnés à la zone d'étude.	348
Quelques considérations générales quant à l'application des indices de diversité de Shannon et Simpson	349
La signification de la résolution pour l'application du Shannon's Diversity Index illustré par l'exemple Corine Landcover	351
3.2.2. Outils statistiques - Variables et mesures.....	353
3.2.2.1. Objets, variables, mesures	353
Considérations générales.....	353
Corrections nécessaires	353
Types de données et matrices.....	354
3.2.2.2. Base de données.....	358
Base de donnée « relevés », structure générale	358
Base de données spatialisées (geodatabase)	359
3.2.2.3. Analyse des données : Méthodes d'ordination et de classification.....	359
Méthodes d'ordination et de classification	359
Conclusion de la troisième partie	362
4 - QUATRIEME PARTIE : LA GÉODIVERSITÉ DU MADRES-CORONAT	363
4.1. Les relevés des milieux du Madres-Coronat	364
4.1.1. Localisation et description des relevés effectués.....	364
4.1.1.1. Localisation et cartographie des relevés.....	364
4.1.1.2. Relevés obtenus et retenus.....	364
Relevés effectués	364
Relevés retenus pour le traitement statistique	368
4.1.1.3. Relevés et critères d'échantillonnage selon les quotas	368
La localisation des relevés par rapport à l'altitude :.....	369
La localisation des relevés par rapport à la pente.....	369
La localisation des relevés par rapport à l'exposition.....	369
La localisation des relevés par rapport au substrat	369
Résultats des relevés retenus par rapport aux critères d'échantillonnage.....	370
4.1.2. Caractérisation des relevés par rapport aux aspects anthropiques, végétales et physiques.....	370
4.1.2.1. Caractéristiques d'anthropisation.....	370
4.1.2.2. Types d'occupation du sol et végétation relevés.....	371
4.1.2.3. Caractéristiques physiques	372
4.2. La diversité végétale et pédologique - approche disciplinaire	377
4.2.1. Diversité floristique et végétale	377
4.2.1.1. Résumé des relevés floristiques	377
Aperçu sur les données floristiques.....	377
Chorologie.....	379
Types biologiques	380
Espèces particulières	381
4.2.1.2. La phytodiversité.....	381
Richesse et diversité spécifique.....	381
4.2.1.3. Approche phytosociologique	385
Tableau brut des données floristiques	385
Bêta-diversité et groupes identifiés	386
4.2.1.4. Ordination des relevés floristique.....	386
4.2.1.5. La caractérisation de la phytodiversité	389
Diversité spécifique et caractérisation des milieux	389
Distribution spatiale et phytodiversité - la répartition des espèces à l'échelle du massif	390
4.2.2. Les apports de la pédologie	391
4.2.2.1. Caractéristiques des sols étudiés.....	391
Types de sol - résultats d'après la « Bodenklassifikation » allemande.....	392
Comparaison des types de sols et horizons déterminés avec le référentiel pédologique (RP) et la Kartieranleitung (BKA)	392
Profondeur des sols	397

Pierrosité des sols de montagne.....	397
Anthropisation des sols	398
Horizons riches en charbons	398
Les couleurs des échantillons.....	399
4.2.2.2. Les résultats des analyses du sol effectués au laboratoire	400
Les analyses granulométriques de la matière fine.....	400
Acidité des sols	404
La conductivité électrique	405
Le carbone organique.....	405
Le rapport C/N	406
4.2.2.3. Autres caractéristiques.....	407
La capacité d'échange cationique	407
La capacité au champ utilisable (réserve utile).....	408
4.2.2.4. Ordination des caractéristiques pédologiques	409
Considérations générales et choix des variables	409
Ordinations des paramètres « pH », « CEC » et « rapport C/N »	409
ACP des paramètres « réserve en eau » et « profondeur » du solum et des horizons.....	412
CAP des variables pH, CEC, profondeur du solum, et réserve utile	414
Autres possibilités d'analyse des sols par ordination.....	417
4.3. Approche intégrée à la mesure de la géodiversité	418
4.3.1. La mesure de la diversité mésologique (diversité verticale)	418
4.3.1.1. Les relevés mésologiques	418
Aperçu des données mésologiques.....	418
Similitudes entre les relevés.....	422
L'hoplexol, l'hoplexion et l'holoplexion dans l'analyse mésologique.....	425
Possibilités d'exploitation de la matrice initiale	427
4.3.1.2. Analyse des corps naturels localisés par holoplexions	429
Une adaptation entre données et méthodes d'ordination	429
Analyse des composantes principales des corps naturels localisés dans les holoplexions	431
Analyse factorielle de correspondances des corps naturels localisés par holoplexions.....	434
4.3.1.3. L'analyse des hoplexions.....	442
L'analyse des hoplexions	442
Aperçu sur l'ensemble des hoplexions	442
L'analyse du supraplexion	445
L'analyse du métaplexion supérieur.....	449
L'analyse du métaplexion strict.....	453
L'analyse du métaplexion inférieur.....	457
L'analyse de l'infroplexion.....	460
4.3.1.4. Quantification de la diversité verticale mésologique.....	463
Des indices de diversité mésologique ?.....	463
La richesse des matériaux	463
Comparaison des Indices et mesures de diversité appliqués aux relevés mésologiques	466
4.3.1.5. Description des relevés mésologiques à l'échelle du massif	469
Interprétation des ordinations dans leur ensemble.....	469
Schémas de répartition.....	470
4.3.2. La mesure de la diversité paysagique (diversité latérale)	471
4.3.2.1. Résultats de la cartographie des géons	471
Considérations générales.....	471
Nomenclature des géons et attribution des relevés	471
Taille des géons	471
4.3.2.2. La carte détaillée des géons	473
Description des géons du Massif de Madres-Coronat.....	473
Regroupements des géons.....	476
4.3.2.3. Analyse de la diversité paysagique par la carte des géons	479
Cartographie de la richesse des géons	479
Analyse de la diversité paysagique par bassins versants et secteurs.....	479
Analyse de la diversité paysagique par tranches altitudinales.....	480
Analyse de la diversité paysagique par secteurs (niveaux altitudinaux et bassins versants).....	481
Analyse de la diversité paysagique par secteurs hexagonaux	483
Indices paysagers de diversité.....	486
Indices paysagers par secteurs d'étude	488
4.3.3. Mise en relation de la diversité mésologique et paysagère.....	491
4.3.3.1. Mise en relation des données de relevés de terrain avec la carte des géons.....	491
Association des classes de milieu aux géons cartographiés.....	491
4.3.3.2. Diversité des structures verticales et matériaux associés aux géons	491
4.4. Complémentarité des approches disciplinaires et intégrées	496
4.4.1. Diversité des sols et de la flore dans les milieux naturels	496
4.4.1.1. L'association des relevés pédologiques et floristiques aux relevés mésologiques.....	496

4.4.1.2. La « diversité pédologique »	496
4.4.2. Relation entre diversité floristique et matérielle.....	497
4.4.2.1. Richesse et diversité spécifique par milieu.....	497
4.4.2.2. Relation entre diversité floristique et matérielle	501
Conclusion de la quatrième partie	505
<u>5 - CONCLUSIONS</u>	<u>507</u>
5.1. Géodiversité et diversité paysagère.....	508
5.1.1. La diversité des objets géographiques.....	508
5.1.2. Quelle géodiversité ?	508
5.1.3. La géodiversité, diversité des milieux et paysages	509
5.2. Aspect méthodologiques	511
5.2.1. Bilan et possibilités associés à l'analyse intégrée des milieux	511
5.2.2. Adaptation des méthodes d'analyse de la géodiversité	512
5.2.3. Autres pistes, possibilités et projets.....	513
5.3. Évaluation et valorisation de la diversité paysagère et de la géodiversité	514
5.3.1. Fonctions du paysage et gestion du vivant.....	514
5.3.2. Image et valorisation de la géodiversité / diversité paysagère	515
<u>BIBLIOGRAPHIE.....</u>	<u>517</u>
Bibliographie de référence :	519
Bibliographie complémentaire.....	545
Cartes utilisées:.....	562
<u>TABLE DES MATIÈRES</u>	<u>563</u>
Liste des Figures (sans cartes)	573
Liste des Tableaux.....	577
Liste des Cartes	581
Liste des Photos.....	583
<u>ANNEXES</u>	<u>585</u>
Lexique des corps naturels localisés	587
Fiches de relevés	650
Tableaux des relevés.....	664
Noms et codes des espèces végétales relevés.....	692
Images des sols.....	704
<u>DEUTSCHE KURZFASSUNG</u>	<u>707</u>
Eidesstattliche Erklärung	722

Liste des Figures (sans cartes)

Fig. 1.1 : Représentation simplifiée des principales composantes du géosystème (géocomplexe) et de leurs interrelations	100
Fig. 1.2 : L'élément et le système »	105
Fig. 1.3 : Les quatre dimensions de la géodiversité	134
Fig. 2.1 : Températures moyennes mensuelles pour quatre stations des Pyrénées Orientales (Mont Louis, Olette, Nohèdes, Codalet près de Prades), période de référence 1987-2007.....	198
Fig.2.2 : Précipitations moyennes mensuelles de sept stations (période de référence 1987-2007) entourant le massif du Madres Coronat (Mont Louis, Olette, Nohèdes, Codalet près de Prades)	200
Fig. 2.3 : Caractéristiques mensuelles pluviométriques de la période novembre 2005 à octobre 2007 pour les sept stations entourant le massif.....	204
Fig.2.4a et 2.4b : surface occupé par les différentes séries de végétation sur le SIC « Massif de Madres-Coronat » (PNN), selon la carte de la végétation, feuille de Perpignan de 1970.....	207
Fig. 2.5 : Comparaison de l'évolution historique de la population de 18 communes touchées par le site NATURA2000 Madres-Coronat (Pyrénées Orientales)	223
Fig. 2.6 : Évolution de la population de 31 communes riveraines du Massif du Madres Coronat (départements Aude, Ariège et Pyrénées Orientales), celle de Prades mise à part (ligne).....	224
Fig. 2.7 (ci-contre) : Comparaison de la structure démographique par tranches d'âges (communes du site NATURA2000, moyennes départementale et nationale).....	226
Fig. 3.1 : schéma d'organisation de la recherche.....	238
Fig. 3.2 : méthodes d'échantillonnage stratifiés et non stratifiée : probabilistes (aléatoires), systématiques et subjectifs	248
Fig. 3.3 : Histogramme dessinant la courbe hypsométrique du Massif de Madres-Coronat : Comparaison des surfaces occupées par des tranches altitudinales de 100 m pour les périmètres PT et PNN	254
Fig. 3.4 : schéma de la répartition des principales expositions pour les deux périmètres d'étude.....	259
Fig.3.5 : Aires minimales adaptées à la formation végétale et faciles à mettre en place.	270
Fig 3.6. Emboîtement hiérarchique des composantes mésologiques et paysagiques	280
Fig. 3.7 a - f : quelques croquis réalisés en partie lors des relevés de terrain pour préciser les pratiques de délimitation des hoplexols	289
Fig. 3.7: Approche mésologique de l'analyse intégrée des milieux	293
Fig. 3.8 : Comparaison des triangles des textures BKA (AG Boden, 2005) et GEPPA (1963)	321
Fig. 3.9 : Estimation de la réserve utile à partir du triangle de texture du Service de Cartographie des Sols de l'AISNE	334
Fig. 3.10 a et b : les indices paysagers de Shannon (SHHDI = H') et Simpson (SIDI = 1-D) .	350

Fig. 3.11 a - f : exemple d'application des indices paysagers de Shannon (H') et Simpson (D).....	350
Fig. 4.1 : Chorologie des espèces rencontrées	379
Fig. 4.2 : Types biologiques rencontrés	380
Fig. 4.3 : répartition des 54 relevés floristiques dans 12 classes de richesse spécifique végétale.....	382
Fig. 4.4 : richesse spécifique et altitude des relevés	382
Fig. 4.5 : la richesse spécifique par relevé	384
Fig. 4.6 a et b: (a) les indices de diversité H' et 1-D de Shannon et de Simpson et (b) les indices de diversité et d'équitabilité de Shannon	384
Fig. 4.7 a et b : plans factoriels F1F2 et F1F3 de l'AFC des présences des espèces végétales dans 54 relevés.....	388
Fig. 4.8 : Coupe verticale dans la fosse pédologique du relevé R30 : « Kolluvisol » avec horizon de charbonnage entre 70 et 90 cm de profondeur surmonté par des colluvions	399
Fig. 4.9 : Résultats des analyses granulométriques (méthode « Köhn ») effectués sur 20 échantillons transposé sur le triangle des textures.....	402
Fig. 4.10 : Classes texturales déterminées par estimation tactile (210 échantillons)	403
Fig. 4.11 : acidité des sols mesurée sur 144 échantillons prélevés en 2006.	404
Fig. 4.12 : plan factoriel F1F2 des variables pH (CaCl ₂), CEC (KAKEff) et rapport C/N....	411
Fig. 4.13 : plan factoriel F1F2 des 31 individus de l'ACP « pH - rapport/N - CEC »	411
Fig. 4.14 : plan factoriel F1F2 des variables « HM » (extension verticale) et nFK (réserve utile).....	413
Fig. 4.15 : plan factoriel F1F2 des 52 individus de l'ACP « profondeur et réserve utile » .	413
Fig. 4.16 : plan factoriel F1F2 des variables « HM » (extension verticale) et nFK (réserve utile).....	415
Fig. 4.17 : plan factoriel F1F2 des 50 individus de l'ACP « profondeur, réserve utile, pH et CEC» avec attribution aux 6 classes issues de la CAH	415
Fig. 4.18 : plans factoriels F1F2 des variables (en haut) et des individus (en bas), tenant compte des 4 classes d'individus identifiés par la CAH	424
Fig. 4.19 a, b et c : plans factoriels issus de l'analyse des composantes principales des volumes de 19 CNL pour 72 holoplexions.....	433
Fig. 4.20 : plan factoriel F1F2 de l'AFC issu du tableau « volumes » réalisés sur l'ensemble des 67 variables (CNL)	436
Fig. 4.21 : plan factoriel F1F2 de l'AFC réalisé sur la matrice de présence - absence après écart des trois variables hydromorphes, avec interprétation	438
Fig. 4.22 : même plan factoriel F1F2 des individus (AFC du tableau présence-absence pour 64 variables actives) avec attribution des individus aux 6 classes de la CAH.....	440
Fig. 4.23 : deux exemples de classification hiérarchique (CAH) réalisés à partir des coordonnées factorielles de l'AFC	441
Fig. 4.24 a et b : plans factoriels de l'AFC présence CNL/hoplexion	443
Fig. 4.25 : plan factoriel F1F2 de l'AFC des volumes des surraplexions avec regroupement des individus en 5 classes issues de la CAH	448

Fig. 4.26 : plan factoriel F1F2 de l'AFC des volumes des métaplexions supérieurs avec regroupement des individus en 9 classes issues de la CAH	452
Fig. 4.27 : plan factoriel F1F2 de l'AFC des volumes des métaplexions stricts avec regroupement des individus en 8 classes issues de la CAH	455
Fig. 4.28 a-c : plans factoriels de l'AFC des volumes des métaplexions inférieurs avec regroupement des individus en 6 classes issues de la CAH	459
Fig. 4.29 a-c : plans factoriels de l'AFC des volumes des métaplexions inférieurs avec regroupement des individus en 6 classes issus de la CAH.....	462
Fig. 4.30 : richesse des matériaux	464
Fig. 4.31 : richesse des enceintes élémentaires (hoplexols) et volumes des relevés.....	465
Fig. 4.32 : nombre d'hoplexols positifs (métaplexion strict, métaplexion supérieur et supraplexion) par type de milieu.	465
Fig. 4.33 : indices de diversité de Shannon, Brillouin et Simpson (1-D) pour le nombre de CNL dans les cinq hoplexions (SUTFI)	466
Fig. 4.34 : indices de diversité de Shannon, Brillouin et Simpson (1-D) pour le volume des cinq hoplexions (SUTFI)	467
Fig. 4.35 : indices de diversité de Simpson (1-D) pour le volume et le pourcentage des volumes pour les 43 orthotypes de CNL (en haut) et les 102 CNL (en bas).....	468
Fig. 4.36 : boxplot de l'indice de diversité de Simpson (1-D) pour le volume de 102 CNL (en bas) classés en 7 types de milieux	469
Fig. 4.37 : surfaces occupées par les différents groupes de géons (niveau 3S à 21 catégories).....	472
Fig. 4.38 : relation entre le nombre de géons par bassin versant et la surface du bassin versant	480
Fig. 4.39 : relation entre le nombre de géons par bassin versant et la surface du bassin versant	480
Fig. 4.40 : relation entre le nombre de géons (niveau 3C à 89 types) par surface des secteurs d'étude.....	481
Fig. 4.41 : Indices de diversité pour la carte des géons en fonction du niveau de regroupement retenu	488
Fig. 4.42 : Indices de diversité par bassin versant pour la carte des géons à 21 groupes..	489
Fig. 4.43 : Indice de diversité et densité des unités paysagères par niveau altitudinal bassin	490
Fig. 4.43 : Richesse spécifique par type de milieu	499
Fig. 4.44 Diversité spécifique par type de milieu.....	499
Fig. 4.45 : Richesse des matériaux par type de milieu.....	500
Fig. 4.46 : Diversité des matériaux par type de milieu	500
Fig. 4.47 (ci-contre) : comparaison des indices de diversité pour les relevés floristiques et mésologiques.	501
Fig. 4.48 : graphique de corrélation de la richesse spécifique et richesse des matériaux.	502
Fig. 4.49 : graphique de corrélation des indices de diversité spécifique et diversité des matériaux	503

Fig. 4.50 : graphique de corrélation de la richesse spécifiques végétale et du nombre d'hoplexols503

Liste des Tableaux

Tab. 1.1 : Terminologie des unités spatiales d'après divers auteurs et correspondances approximatives avec quatre dimensions géographiques principales	121
Tab. 1.2 : Plusieurs propositions pour une typologie des niveaux d'organisation de la géodiversité inspirée par celles de la biodiversité.....	125
Tab. 1.3 : Composantes du géosystème et variables / mesures envisageables dans le cadre d'une étude disciplinaire (physiogéographique) des milieux.....	153
Tab. 2.1 : périmètres d'étude :	171
Tab. 2.2 : types de roches rencontrés et surfaces occupés	183
Tab. 2.3 : Moyennes de températures et de précipitations pour sept stations entourant le Massif de Madres Coronat valables pour la période de référence novembre 1987 à octobre 2007	197
Tab. 2.4 : classes d'occupation du sol selon CORINE LandCover et surfaces occupées sur le site Natura 2000 (PNN) et le terrain d'étude <i>sensu lato</i> (PT)	221
Tab. 3.1 : Temps moyen nécessaire pour un relevé de terrain	240
Tab. 3.2 : mesures biométriques utilisées lors des relevés.....	244
Tab. 3.3 : Distances minimales et maximales des chemins d'accès retenus pour l'échantillonnage	250
Tab. 3.4 : Les sections issues des tranches altitudinales de bassin versant et leur surface respective dans les périmètres d'étude	257
Tab. 3.5 : répartition spatiale de cinq niveaux altitudinaux.	258
Tab. 3.6 : Surface occupée par les versants selon les principales expositions du Massif du Madres-Coronat	259
Tab. 3.7 : classement des pentes	261
Tab. 3.8 : surface occupée par les différentes classes d'occupation du sol selon la classification supervisé et relevés effectués et retenus, site Natura 2000	266
Tab. 3.9 : Aires minimales prédéfinies et retenues pour les placettes de relevés en fonction des formations végétales	269
Tab. 3.10 : Corps naturels localisé recensés sur le terrain avec description succincte et codification utilisé lors du traitement de données	285
Tab. 3.11 : corps naturels localisés permettant la reconnaissance et délimitation des six hoplexions	292
Tab. 3.12 : échelles d'abondance-dominance (ad) d'après Wilmanns (1973) développé à partir de l'échelle de Braun-Blanquet	298
Tab. 3.13 : Préfixes utilisés par la classification allemande des sols (BKA 2005) pour les caractères physiques et anthropiques des horizons, avec traduction.....	303
Tab. 3.14 : Suffixes utilisés par la classification allemande des sols (BKA 2005) pour les caractères pédologiques des horizons, avec traduction	304
Tab. 3.15 : Principaux horizons (utilisés) selon la classification allemande des sols (BKA 2005) et correspondances approximatives avec le référentiel pédologique français (RP1995).....	305

Tab. 3.16 : Pour comparaison : principaux horizons du référentiel pédologique français (RP1995) et correspondances approximatives avec la classification allemande des sols (BKA 2005)	306
Tab. 3.17 : Principaux types de sols rencontrés sur le terrain d'étude : classification allemande des sols et correspondances approximatives avec le référentiel pédologique (1995).....	307
Tab. 3.18 (ci-dessous) : appréciation de la profondeur des sols du massif	315
Tab. 3.19 : niveaux de teneur en matière organique (<i>Humusgehalt</i>).....	316
Tab. 3.20: codification de l'hydrisme : regroupement de sept classes d'hydrisme du sol et du milieu en 5 classes.....	317
Tab. 3.21 (ci-dessous) : classes granulométriques de la fraction fine selon la typologie allemande de l'AG BODEN (2005), typologie retenu.....	318
Tab. 3.22 (ci-dessous) : classes granulométriques de la fraction fine selon le référentiel pédologique français (non retenu)	319
Tab. 3.23 : les 31 classes texturales (éléments fins) selon la BKA	322
Tab. 3.24a : critère 1 « cohésion » (Bindigkeit) pour la détermination de la classe texturale	323
Tab. 3.24b : critère 2 « plasticité » (Formbarkeit) pour la détermination de la classe texturale	324
Tab. 3.25 : Classification des éléments grossiers >2 mm (<i>Grobbodenanteil</i>) selon la nomenclature allemande (BKA 2005)	325
Tab. 3.26 : typologie de la pierrosité.....	326
Tab. 3.27: structure et niveaux de densité du sol	327
Tab. 3.28 : facteur de multiplication pour transformer la capacité d'échange potentiel de la part organique (CEC _{pot} m.o.) en capacité d'échange effective (CEC _{eff} m.o.) en fonction du pH	337
Tab. 3.29 : rapport entre taux de saturation et pH (CaCl ₂)	337
Tab. 3.30 : typologie des géons cartographiés (version condensée)	346
Tab 3.31 : sélection de quelques variables « complémentaires » des relevés retenus pour l'analyse de la géodiversité	355
Tab 3.32 : variables « pédologiques » (sol) de l'analyse.....	356
Tab 3.33 : variables « phytodiversité ».....	357
Tab 3.34 : variables « mésologiques » et « paysagiques » de l'analyse	358
Tab. 4.1 : principales caractéristiques des 77 relevés effectués	366
Tab. 4.2 : caractéristiques des relevés floristiques	378
Tab. 4.3 : histogrammes de valeurs propres issues de l'AFC des relevés floristiques	386
Tab. 4.4 : coordonnées, contributions et cosinus carrés de quelques individus (espèces végétales) choisis	389
Tab. 4.5 : Relevés pédologiques : types de sols et principaux paramètres pour les relevés 2004.....	394
Tab. 4.6 : Relevés pédologiques : types de sols et principaux paramètres pour les relevés 2006 et 2007.....	395

Tab. 4.7 : chiffres clés (<i>Lagemaße</i>) concernant la profondeur des sols du massif	397
Tab. 4.8 : éléments grossiers	397
Tab. 4.9 : comparaison des chiffres clés (<i>Lagemasse</i>) concernant la teneur en argile.....	401
Tab. 4.10: résultats des analyses granulométriques selon Köhn, corrigés (somme = 100).401	
Tab. 4.11 : acidité des sols.....	405
Tab. 4.12 : dosage de la matière organique (carbone organique).....	406
Tab. 4.13 : indicateurs de tendance centrale et caractéristiques de dispersion pour la teneur en carbone organique (C), azote (N) et le rapport C/N.....	407
Tab. 4.14 : typologie du rapport C/N.....	407
Tab. 4.15 : indicateurs de tendance centrale et caractéristiques de la CEC	408
Tab. 4.16 : indicateurs de tendance centrale et caractéristiques de dispersion pour la capacité au champ ou réserve biodisponible	408
Tab. 4.17 : valeurs propres des 5 axes factoriels, coordonnées, tableau de corrélation et valeurs-test pour l'ACP des paramètres chimiques pH (CaCl ₂), CEC (KAKeff) et rapport C/N	410
Tab. 4.18 : valeurs propres des 7 axes factoriels, coordonnées, tableau de corrélation et valeurs-test pour l'ACP des paramètres physiques / physiologiques	412
Tab. 4.19 : valeurs propres des 6 axes factoriels, coordonnées, tableau de corrélation et valeurs-test pour l'ACP des paramètres physico-chimiques	414
Tab. 4.20 : caractéristiques des 72 relevés mésologiques.....	420
Tab. 4.21 : matrice des corrélations, coordonnées des variables actives et valeurs propres des axes pour l'AFC réalisé sur les données	423
Tab. 4.22 : regroupements des corps naturels localisés relevés pour les analyses factorielles.....	428
Tab. 4.23 : paramètres de dispersion statistiques, coordonnées factorielles et valeurs propres pour l'ACP « volumes » sur 19 CNL.....	432
Tab. 4.24 : valeurs propres des 15 premiers axes de l'analyse factorielle réalisée sur le tableau des présences après mise à l'écart des fréquences « hydromorphes »	437
Tab. 4.25 : fréquences actives caractérisant les trois premiers axes et distance à l'origine pour les dix fréquences les plus extrêmes	438
Tab. 4.26 : classes issues de la classification ascendante hiérarchique se fondant sur l'analyse factorielle de la matrice de « présence absence ».....	440
Tab. 4.27 : les 62 matériaux contribuant à l'identification des 4 premiers axes de l'AFC « hoplexions »	444
Tab. 4.28 : comparaison des histogrammes de valeurs propres issus des AFC pour les supraplexions des tableaux « volumes » (en haut) et « présences » (en bas)	446
Tab. 4.29: les 31 fréquences actives caractérisant les trois premiers axes de l'AFC des volumes des supraplexions avec distance à l'origine, poids relatif, coordonnées, contributions et cosinus carrés.....	447
Tab. 4.30 : histogramme de valeurs propres issus de l'AFC des métaplexions supérieurs.450	
Tab. 4.31: les 54 fréquences actives caractérisant les quatre premiers axes de l'AFC des volumes des métaplexions supérieur (U) avec distance à l'origine, poids relatif, coordonnées, contributions et cosinus carrés.....	451

Tab. 4.33 : histogrammes de valeurs propres issues des AFC pour les métaplexions stricts	453
Tab. 4.32: les 57 fréquences actives caractérisant les trois premiers axes de l'AFC des volumes des métaplexions strict (T) avec distance à l'origine, poids relatif, coordonnées, contributions et cosinus carrées.....	454
Tab. 4.34 : histogramme de valeurs propres issues des AFC pour les métaplexions inférieurs	457
Tab. 4.35 : les 57 fréquences actives caractérisant les trois premiers axes de l'AFC des volumes des métaplexions inférieurs (F) avec distance à l'origine, poids relatif, coordonnées, contributions et cosinus carrées.....	458
Tab. 4.36 : histogrammes de valeurs propres issues des AFC pour les métaplexions inférieurs.....	460
Tab. 4.37 : les 57 fréquences actives caractérisant les trois premiers axes de l'AFC des volumes des métaplexions inférieurs (F) avec distance à l'origine, poids relatif, coordonnées, contributions et cosinus carrées.....	461
Tab 4.39 : statistiques de la régression linéaire richesse spécifique - richesse matérielle	502
Tab. A-1 : typologie des segments de paysage (fiche de relevé annexe « FS » - segments)	660
Tab. A-2: clé d'interprétation des géons.....	662
Tab. A-3: Volumes des 103 CNL par relevé	664
Tab. A-4: Richesse et indices de diversité par relevé	668
Tab. A-5 : AFC „présence absence“ des espèces végétales dans 54 relevés : coordonnées, contributions et cosinus carrés des fréquences.	669
Tab. A-6: Matrice des indices de Jaccard pour 54 relevés floristiques	670

Liste des Cartes

Carte 2.1 : Carte de localisation du site NATURA 2000 Madres-Coronat (ancien et nouveau périmètre) dans le département des Pyrénées Orientales	166
Carte 2.2 : Individualisation du Massif du Madres et Mont Coronat dans le relief compartimenté de la partie orientale des Pyrénées	170
Carte 2.3 : Carte synthétique générée à partir des cartes géologiques de Prades (1/50000) de Mont Louis (1/50000) et de Quillan (1/80000) en 4 grandes classes (roches plutoniques, schisteuses et carbonatées, sédiments récents)	184
Carte 2.4 : Carte de la topographie et des principaux sommets du Massif de Madres-Coronat.....	192
Carte 2.5 : Carte des pentes du Madres-Coronat (6 classes)	193
Cartes 2.6 et 2.7 : Courbures topographiques et carte simplifiée des formes topographiques selon la classification de Jenness.	194
Cartes 2.8a et 2.8b: Extraits du carton climatique de la carte de la végétation et de la carte synthétique des climats des Pyrénées Orientales d'après VIGNEAU (1986)	203
Carte 2.9 : Extrait de la carte de la végétation d'après Henri GAUSSEN (feuille de Perpignan), édition de 1972 - cartographie pour l'ancien périmètre NATURA 2000 (<année 2000)	206
Carte 2.10 : Carte des habitats naturels du Madres Coronat dans le cadre de la DHFF (2005)	215
Carte 2.11 : <i>Normalized Difference Vegetation Index</i> (NDVI) élaborée à partir d'un scène SPOT4.....	217
Carte 2.12 : Carte des communes et de l'occupation du sol selon CORINE LandCover 2006,	222
Carte 2.13 : Des espaces naturels et zonages environnementaux qui se chevauchent.....	233
Cartes 3.1a (gauche) : échantillonnage aléatoire (ici : 203 points), non stratifié	249
Cartes 3.1b (droite) : échantillonnage systématique, non stratifié, selon une maille hexagonale avec une distance de 1500 m entre les points (145 points)	249
Carte 3.2 : Carte d'échantillonnage des sept bassins versants et cinq niveaux altitudinaux	256
Carte 3.3 : Carte des principales expositions du Madres-Coronat, regroupées par 8 classes (N, NE, E, SE, S, SO, O, NO).....	260
Carte 3.4 : Classification non supervisée (cluster analysis Maximum likelihood) de l'image SPOT 4 avec généralisation ultérieure et interprétations des 10 classes générées ...	263
Carte 3.5 : Classification supervisés (Maximum likelihood) de l'image SPOT 4 selon 22 classes de sites test	265
Carte 4.1 : Localisation des relevés effectués entre 2004 et 2007.....	365
Carte 4.2 : Carte des géons à 89 types	474
Carte 4.3 : Limites entre géons selon le niveau de regroupement choisi	477
Carte 4.4 : comparaison des niveaux de regroupement des géons	478
Carte 4.5 a- d : Richesse des géons par secteurs	482

Carte 4.6 a et b : Richesse des géons par secteurs hexagonaux de 10ha.....	484
Carte 4.7 a-d : Richesse des géons par secteurs hexagonaux de 50ha.....	485
Carte 4.8 : Indice de diversité de Shannon (H') appliqué à la carte de géons à 89 types .	487
Carte 4.9 : Richesse en matériaux des structures verticales associées aux 7 groupes de milieux relevés de la carte de géons à 9 classes.....	493
Carte 4.10 : Diversité des matériaux associé aux 7 groupes de milieux relevés de la carte de géons à 9 classes	494

Liste des Photos

Photo 2.1 (ci-dessus): Entité géomorphologique Madres-Coronat, vue depuis la pont de Port Leucate (côte méditerranée) se situant à 75 km à l'est-nord-est du sommet du Madres	171
Photo 2.2 (ci-dessus) : Aperçu du Massif depuis le Port (col) de Pailhères (Ariège) se situant à 18 km à l'ouest-nord-ouest du Madres	171
Photo 2.3 et 2.4 : cupules et croix gravés : témoins d'une présence plurimillénaire de l'homme.....	174
Photo 2.5, 2.6 et 2.7 : les aplanissements caractéristiques du massif	180
Photos 2.8 (a-d) : affleurements caractéristiques	183
Photos 2.8 et 2.9 : transition nette entre le Massif du Madres et la plaine du Capcir :....	185
Photo 2.10 (ci-dessous) : Les bac du Mont Coronat à pentes raides associés à la faille de Mérens.....	185
Photos 2.11 et 2.12 : particularités morphologiques locales	186
Photos 2.13, et 2.14 : les hautes vallées du Massif du Madres (1).....	190
Photos 2.15, et 2.16 : les hautes vallées du Massif du Madres (2).....	191
Photos 2.17 a-d : des sols peu profonds.....	196
Photo. 2.18 : recolonisation après déprise, fluctuation climatique ou indice d'un global change ? Un pin à crochets à quelques mètres du sommet du Madres (2455 m)	212
Photos 2.19 (ci-dessous) : Flore endémique des Pyrénées	212
Photos 2.20 (ci-dessous) : Éléments floristiques typiques et particulières.....	213
Photos 2.21 (a et b) : insectes protégées par la directive habitats, présents sur le massif	219
Photos 2.22 (a et b) : des insectes patrimoniaux	219
Photos 2.23 (a et b) : la faune herbivore et domestique	219
Photo 3.1 (ci-dessous) : « petit matériel » suffisant pour les relevés (tenant dans un sac à dos)	244
Photo 3.2 (ci-dessous) : Cônes attribués à <i>Pinus sylvestris</i> (en haut) et à <i>Pinus uncinata</i> (en bas)	295
Photos 3.2 (a-d) : exemples de roches rencontrées sur le massif	313
Photos 3.3 a, b et c : préparation des échantillons de sol, tamisage	335
Photos 3.4 a et b : appareillage pour l'analyse granulométrique	335
Photo 3.5 : 25 échantillons préparés pour l'estimation de la couleur et de la texture	335
Photo 3.6 : mesure du pH eau, du pH CaCl ₂ et de la conductivité	335
Photos 4.1- 20: aperçu sur les placettes des relevés 2004-2007 : R1-R20.....	373
Photos 4.20-40 : aperçu sur les placettes des relevés 2004-2007 (suite) : R21-R44	374
Photos 4.40-60 : aperçu sur les placettes des relevés 2004-2007 (suite) : R45-64.....	375
Photos 4.60-78 : aperçu sur les placettes des relevés 2004-2007 (suite) : R65-79.....	376

Photo 4.79 (ci-dessus) : présence de charbons centimétriques, ici à environ 25 cm de profondeur dans la fosse pédologique du relevé N° 58398

ANNEXES

<u>LEXIQUE DES CORPS NATURELS LOCALISÉS</u>	587
Liste des corps naturels localisé relevés, avec traduction	647
<u>FICHES DE RELEVÉS</u>	650
FG - Fiche du « relevé général »	650
FE - Fiche du « relevé espèces » (évolutive)	651
FM - Fiche du « relevé mésologique»	652
FB - Fiche du « relevé des biovolumes»	653
FS - Fiche du « relevé des sols»	654
FA-E : Charte d'estimation visuelle (1).....	655
FA-E : Charte d'estimation visuelle (2).....	656
FA-T : Fiche « tangente»	657
FA-B : Tableau pour l'estimation de la texture-terrain.....	658
<u>TABLEAUX DES RELEVÉS</u>	664
Tableaux supplémentaires	669
Abondances des espèces des relevés retenus	671
Caractéristiques des horizons pédologiques	681
<u>NOMS ET CODES DES ESPÈCES VÉGÉTALES RELEVÉS</u>	692
Espèces végétales- noms vernaculaires	698
<u>IMAGES DES SOLS</u>	704

Lexique des corps naturels localisés

Avertissement :

Le lexique des corps naturels localisés (CNL) qui suit, plus communément appelé lexique des « matériaux » est destiné aux usagers de la méthode et se présente pour cette même raison de façon assez exhaustive. Il s'agit d'une part d'une compilation des travaux publiés par Jean-François Richard (1977, 1985, 1989) et de Jean-Charles Filleron (1995), il reprend le lexique illustré des matériaux de Rambaud et Waechter (2002, non publié) et il a été élargi *a posteriori* par des travaux plus récents (Richard et al. 2005, Khebour-Allouche 2007). D'autre part il contient des précisions, des éléments nouveaux et des modifications des travaux existants, effectués par nos propres soins et publiés dans les annexes de cette thèse sous la seule responsabilité de l'auteur. Par souci de cohérence, certains éléments contradictoires issus de ces différentes sources ont été modifiés, adaptés ou omis.

L'ajout de nouveaux éléments depuis 2004 s'est fait dans le souci d'adapter le lexique à l'étude des milieux montagnards du Massif de Madres-Coronat, mais aussi dans le but de continuer l'adaptation du lexique aux milieux de l'Europe méditerranéenne et tempérée. Les éléments nouveaux se sont inspirés de différentes disciplines naturalistes et notamment de la pédologie. En effet nous avons prêté une attention particulière à la mise en relation des corps naturels localisés (CNL) et des matériaux dominants les différents horizons du référentiel pédologique français, afin de faciliter l'apprentissage de la méthode aux personnes familiarisées à la description des sols et afin d'adapter cette méthode élaborée pour les milieux tropicaux aux spécificités des sols européens. Il s'agit ainsi d'un travail s'inscrivant dans la continuité de celui amorcé par Denis Rambaud et Florent Waechter dans le cadre de leurs études doctorales entreprises dans le midi français.

Ce lexique reprend essentiellement les termes et définitions élaborés par Jean-François Richard (1977, 1989) et Jean-Charles Filleron (1995), mais connaît des élargissements importants, qui, pour une meilleure reconnaissance seront signalés par « ^{RW} » (Rambaud et Waechter 2002) et « ^α » (Richard, Khebour-Allouche et al. 2005, Khebour-Allouche 2007). Pour reconnaître facilement les nouveaux termes ajoutés par nos soins, ceux-ci sont signalés par un astérisque (« * ») **et marqués en caractères gris**. L'élargissement du catalogue des corps naturels localisés, réalisé pour les milieux de la dorsale tunisienne par Richard, Khebour-Allouche et al. (2005) et pour les milieux des Pyrénées Orientales par l'auteur de cette thèse, s'appuie aussi sur les travaux de Rambaud et Waechter (2002, non publiés). Ces élargissements ont abouti de façon surprenante à l'élaboration des mêmes types de matériaux dans le lexique réalisé par Richard (reçu par l'auteur en 2008) et dans nos propres travaux réalisés entre 2002 et 2008 : la création d'orthotypes correspondants aux roches tendres (tanolites^α / malacolites*), aux éléments anthropiques (rudéfact^α, anthropolite*) et aux matériaux pédologiques argileux (vertichron*^α) ont été inventés en parallèle et indépendamment les uns des autres. Parmi les nouveautés présentées dans ce lexique on peut compter de nombreuses variantes majeures, mais aussi de nouveaux orthotypes de type organominéral (« pédochromes »*) comme le luvichron* ou l'andochron*, et de type végétal comme le ptéridophytion*. La description des matériaux anthropiques et végétaux mériterait encore davantage d'attention, mais pour la description des milieux du Madres-Coronat l'état actuel du lexique présenté ci-dessous suffisait déjà largement, étant parfois même trop détaillé pour le niveau d'analyse retenu. Tous les matériaux premiers n'ont pas été nécessaires pour la description des milieux du Madres-Coronat, mais par souci d'exhaustivité et pour permettre à d'autres personnes la description détaillée des milieux en France métropolitaine ou ailleurs, la plupart des variantes majeures nous semblaient suffisamment pertinentes pour être reproduites ici.

Les matériaux primaires (orthotypes) sont regroupés en vingt-cinq grands ensembles que l'on pourrait encore regrouper davantage (par exemples tanolite et régolite ou encore blastolites, stérites, mehlites et calites). Une description plus succincte des matériaux (variantes majeures en partie regroupées) réellement décrits sur le terrain lors des relevés, ainsi que les codes utilisés, figurent dans un tableau dans le chapitre méthodes (cf. chap. 2.3.4). La codification en trois lettres retenue depuis 2004 diffère cependant de celle utilisée par Richard et collaborateurs (exemple « brunichron orthique » codifié « BCN » dans le présent travail, codifié « IBN » chez Richard et al. 2005).

Sources utilisées et (partiellement) reprises pour la constitution du lexique :

- Baize, D. & Girard, M.-C., éd. 1995. *Référentiel pédologique*. techniques et pratiques. éditions INRA. 332 p. (« RP1995 »)
- Baize, D.G., M-C; 2009. *Référentiel pédologique 2008*. Savoir-faire, Quae; (« RP2008 »)
- Filleron, J.-C.; 1995. *Essai de géographie systématique : Les paysages du Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire*. Thèse d'État; Université de Toulouse - le Mirail. 2 Vol.;
- Khebour-Allouche, F. (α); 2007. *Éthologie du paysage - Contribution à l'étude des changements d'états des paysages de la dorsale tunisienne et du Cap Bon*. Thèse de doctorat; sous la direction de Filleron, J.-C. & Richard, J.-F.; UFR Sciences, Espaces, Sociétés, Université de Toulouse II - le Mirail. 2 Vol.; 510 p.
- Rambaud, D. & Waechter, F.; 2001 (RW). *Lexique des matériaux - Essai d'un lexique du langage du paysage adapté au milieu méditerranéen*. CD-Rom, Université de Montpellier, (non publié)
- Richard, J.-F.; 1985. *Le paysage, analyse et synthèse. Contribution méthodologique à l'étude des milieux tropicaux*. Sous la direction de Chatelin, Y.; Unité d'enseignement et de recherche en géographie, histoire et sciences de la société, Université de Paris VII. 438 p.
- Richard, J.-F.; 1989. *Le paysage, un nouveau langage pour l'étude des milieux tropicaux*. Paris, éd. de l'ORSTOM; 210p.
- Richard, J.-F.; 1989. *Méthode d'analyse des paysages - un système d'informations géographiques*. Paris, éditions de l'ORSTOM; 68p.
- Richard, J.-F., Kahn, F. & Chatelin, Y.; 1977. *Vocabulaire pour l'étude du milieu naturel (Tropiques humides)*. Cahiers de l'ORSTOM, série Pédologie XV (1) : pp. 43-62
- Richard, J.-F., Khebour-Allouche, F., Labiadh, M. & Morschel, J.; 2005(α). *L'eau et le paysage dans la Dorsale Tunisienne. Chapitre 13 : Note sur les composantes du milieu physique (identification et diagnostics typologiques. Révision)*. 62 p; DVD-Rom

Toutes les passages du lexique des matériaux sont issus des sources soulignées à l'exception des passages de texte figurant en caractères grisés, produites par l'auteur tout en s'inspirant de l'ensemble de ces sources cités.

Récolite : ensemble de roches dures et altérables peu ou non altérées, massives ou fissurées

Richard, Kahn et Chatelin, 1977

Étymologie : de l'arabe *reg* (de *ruqq* (رُق), désert de pierraille, du grec *lithos*, pierre.

Caractères signalétiques

- Dureté : Matériau dur, cohérent, non excavable à la pioche. Exclusion des sables, marnes et argiles sédimentaires.
- Altérabilité : altérable mais non ou très peu altéré (toujours très superficiellement).
- Matériau caractéristique de l'infraplexion
- Correspond aux matériaux dominant l'horizon R du RP 1995
- Formes et nature très variées : Éléments de roches dures de dimensions grossières : roche-mère, rochers, blocs, cailloux et graviers anguleux de granite, de gneiss, de grès, de calcaire.

Processus, bilan, notes (Richard et al. 2005) : Processus de fragmentation et de désagrégation essentiellement physiques (profitant des discontinuités de la roche et faisant intervenir des mécanismes de « fatigue du matériel » : alternances thermiques, hydratation sélective des lits et des amas minéraux, etc. À l'affleurement, ces processus sont exacerbés par l'action des végétations primitives (lichens, mousses) et des racines ligneuses. Les variantes majeures sont établies à partir de la nature de la roche originelle. Plusieurs variantes secondaires très significatives prennent en compte les formes de fragmentation - désagrégation.

Matériaux primaires et variantes majeures

récolite (n.m.) :

Éléments de roches dures proche de la surface, typiquement la roche-mère peu ou pas altérée, se situant sous une couverture pédologique ou d'altérites. Peut aussi désigner l'affleurement généralisé de roche lié au relief (grands abrupts, falaises, ...) ou à l'érosion (inselbergs, plateaux karstiques dépourvus de couverture pédologique), constituant la surface du « sol ».

- **récolite leucocrate** (du grec *leukos* λευκος: blanc): ensemble de roches cristallines de couleur claire (dérivé de roches cristallines « acides ») correspondant le plus souvent aux roches plutoniques à grain moyen à grossier (souvent dominance des quartz et feldspaths)
 - **récolite granitoïde** : ensemble des roches granitoïdes
- **récolite métamorphique*** : ensemble des roches métamorphiques à grain (=taille des cristaux) fin à moyen (ex. gneiss, marbres, quartzite ...) à l'exclusion des roches schisteuses (cf. *infra*)
- **récolite mélanocrate** : ensemble des roches cristallines de couleur ternes, le plus souvent de type volcanique et basique (du grec *μελας* / *mela(n)s* : noir) à grain fin à moyen
- **récolite carbonaté**^{RW} : ensemble des roches carbonatées (calcaires, dolomies)
- **récolite conglomératique**^{RW} : ensemble des roches conglomératiques (poudingues, brèches).
- **récolite schisteux** : ensemble des roches schisteuses et micaschisteuses (sédiments et métamorphites : schistes, ardoises, micaschistes)

hypso-récolite (n.m.)¹²⁸:

Récolite en affleurement dépassant la surface du sol (dans le périmètre du relevé) et d'extension localisé lié à une érosion sélective ou localisée, par exemple petits abrupts localisés exhumés, vires rocheuses dans un contexte de sol peu profond. Chaos ou dalles en place n'ayant pas subi de déplacement (pour les éboulis cf. épilites).

¹²⁸ d'après la typologie de J-F. RICHARD et al. (2005) il s'agit de l'intergrade « hypso-récolite »

- **hypsorégolite leucocrate*** : ensemble des roches granitoïdes affleurantes en dalles, tors ou blocs
- **hypsorégolite métamorphique*** : ensemble des roches métamorphiques affleurantes non schisteuses à grain moyen (gneiss, marbres, quartzite ...)
- **hypsorégolite mélanocrate*** : ensemble des roches cristallines volcaniques et basiques affleurantes au dessous de la surface du sol (puits, ...)
- **hypsorégolite carbonaté*** : ensemble des roches carbonatées affleurantes (calcaire, dolomies, marnes résistantes) : souvent caractérisées par des formes karstiques dépassant la surface du sol (exhumées)
- **hypsorégolite conglomératique*** : ensemble des roches conglomératiques (orgues géologiques...)
- **hypsorégolite schisteux*** : ensemble d'affleurements des roches schisteuses au-dessus de la surface du sol

Intergrades

- **alté-régolite** : matériau régolitique présentant un début d'altération caractérisé par certaines transformations minérales (traces d'oxydation) et une légère perte de dureté, altéré superficiellement (à « cortex d'altération »). (cf. différences avec le **régo-altérite**, altérite où se devinent encore des éléments du régolite, le **gravélo-altérite**, fragments essentiellement quartzeux et le **régo-gravelon**, fragments de régolite dans une matrice pédochrome ou altéritique ayant subi un déplacement).
- **aréno-régolite α** : régolite granitique ou gréseux ayant perdu une partie de sa dureté (« roches pourries »). (cf. différences avec le **régo-arénite** à la cohérence un peu plus forte que l'arénite avec « fantômes » et l'**aréno-gravelon**, mésogavelons arénitiques ayant subi un transport)
- **patine oxique α** : sur divers régolites granitoïdes ou gréseux

Diagnostics structuraux

Exprime les différents types de fragmentation in situ :

- **granoclastique** : fragmentation en esquilles ou graviers
- **phylloclastique** : fragmentation en feuillets
- **élasmo-clastique** : fragmentation en plaquettes minces
- **sphéro-clastique** : fragmentation en boules
- **angu-clastique** : fragmentation en blocs anguleux
- **hémiclastique** : fragmentation en dalles courbes
- **lépidoclastique** : fragmentation en écailles courbes verticales
- **schistoclastique α** : fragmentation en feuillets correspondant au plan de schistosité (du grec, skhistos : « qu'on peut fendre »...)

Remarques et commentaires personnels dans le contexte de l'étude :

Les régolites leucocrates, carbonatés, et schisteux ont été les principaux régolites rencontrés lors des relevés sur le terrain du Madres-Coronat.

Tanolite α *¹²⁹ : éléments de roches tendres mais compactes peu ou pas altérées

Richard, Khebour, Labiadh, Morschel, 2005, invention simultanée par A. Müller (sous le terme malacolite), 2007

Caractères signalétiques

- Dureté : Matériau tendre, mais compact, argileux ou marneux, peu altéré, cohérent mais souvent peu résistant, excavable à la pioche (roches sédimentaires tendres)

¹²⁹ Appelé jusqu'en 2008 « malacolite* » par nos soins

- Matériau caractéristique de l'infraplexion
- Correspond aussi aux matériaux dominant l'horizon M du RP
- Matériau fréquemment reconnaissable par une certaine stratification, rappelant souvent les conditions de la sédimentation et l'influence de la tectonique, parfois plutôt uniforme/massif
- A différencier de l'entaféron (sédiments meubles) et du psammiton (sables pédogénétiques) : le tanolite a subi une diagenèse au moins partielle (compaction, cimentation, dissolution, recristallisation remplacement de certains minéraux, ...)

Processus, bilan et notes (Richard et al. 2005) : Processus de fragmentation physique (surtout : alternances d'humectation - dessiccation profitant du feuilletage et des joints de stratification de la roche) et chimiques (oxydations variées, précipitations de sels ou de gypse). Intervention fréquente des racines ligneuses dans ces processus de fragmentation. Variantes secondaires basées sur les formes de fragmentation. Diagnostic en cours de définition ; ne doit pas être confondu avec la « roche originelle », située sous le « front d'altération ». Mieux qu'un « front d'altération » difficile à distinguer sur les roches sédimentaires, c'est souvent la profondeur de ces racines ligneuses qui dessine la catapause (limite morphologique inférieure de la géosphère).

Matériaux primaires et variantes majeures

tanolite

Étymologie : tanolite : du wolof, *tann*, « étendue vaseuse dénudée » (malacolites : du grec μαλακός (*malakos*) : tendre, molle, élastique, souple, et du grec *lithos*, pierre)

Roches tendres et compactes, peu altérés issus de la diagenèse des sédiments meubles

- tanolite argileux α* : ensemble des roches argileuses
- tanolite marneux α* : ensemble des roches marneuses
- tanolite graveleux* : sédiments peu endurcis, constitués de fragments de roches cailloux ou pierres roulées, (néogènes ou quaternaires en général, voire aussi entaféron/gravelon)
- tanolite vitrique* : (du lat. *vitros* : verre) : ensemble des roches volcaniques tendres (« tuffes » ou sédiments volcaniques non indurés = verres volcaniques pyroclastiques)
- tanolite métamorphique* : roches tendres mais non sédimentaires, métamorphisées (talc ...)

Intergrades

- hypsotanolite* : (hypsomalacolite*) : tanolite en affleurement
- alté-tanolite* : matériau tanolitique présentant un début d'altération caractérisé par certaines transformations minérales (traces d'oxydation)
- rédu--tanolite* : matériau tanolitique présentant des traces de réduction
- luéro-tanolite* : matériau tanolitique (sédiments) peu résistants et le plus souvent de dépôt assez récent
- verti-tanolite* : matériau tanolitique en transition avec un vertichron brunéchrome sus-jacent présentant un élargissement de ses structures (correspond à l'horizon SC du pélosol, selon le RP1995)
- régo-tanolite α : tanolite dure résistant aux chocs, caractères intermédiaires entre le régolite et le tanolite, texture parfois sableuse

Diagnostiques structuraux

- granoclastique : fragmentation en esquilles ou graviers
- phylloclastique, phylloïque ou schistoclastique α : fragmentation ou structure en feuillets
- élastoclastique : fragmentation en plaquettes minces
- stratoïque ^{RW} : disposition en strates homogènes, régulières
- interstratifié : disposition en strates hétérogènes, une strate constituée de matériaux fins succède à une strate plus grossière
- lentoïque ^{RW} : structure lenticulaire
- astratoïque ^{RW} : structure massive, sans structure visible

Remarques et commentaires personnels dans le contexte de l'étude :

Le terme de tanolite a été créé par Jean-François Richard et collaborateurs (Khebour-Allouche, Labiadh, Morschel, 2005) simultanément au terme synonyme « malacolite* », inventé par nos soins en 2007 (du grec μαλακός (malakos) : tendre, molle, élastique, souple, et du grec lithos, pierre). Nous avons préféré garder le premier terme en raison de sa publication sur DVD-Rom en 2005. Les tanolites ne sont pas représentés parmi les relevés de terrain sur le massif du Madres-Coronat du fait de la métamorphisation importante de la plupart des roches sédimentaires. Il serait important de déterminer les critères et limites de distinction entre les tanolites et les luérites concernant certains sédiments d'âge tertiaire voire quaternaire très peu durcis (cas des sédiments néogènes à caractère colluvial de Sardinia).

Altérite : matériau d'altération hétérogène et meuble reproduisant certains traits structuraux de la roche-mère

Chatelin et Martin, 1972

Étymologie : contraction et dérivation suffixale d'altération

Caractères signalétiques

- Dureté : Meuble, excavable à la pioche
- Couleur : hétérogène, souvent vive (oxydation, blanchiment...)
- Texture : hétérogène, (persistance d'agrégats minéraux grossiers...) limoneuse ou argileuse, sablo-argileuse à argilo-sableuse
- Matériau caractéristique de l'infraplexion
- Correspond aux matériaux dominant l'horizon C du RP1995 (Cv selon la Bodenklassifikation allemande)
- Structure : hétérogène, d'origine pétrographique, fissures, diaclases, schistosité, foliations, (conservant ou non certains traits macroscopiques de la roche : diaclases, filons, joints de stratification...). Ce critère permet de distinguer deux types d'altérites très significatifs, surtout sur les roches cristallines. Sur les roches sédimentaires « tendres », les altérites sont souvent difficiles à différencier des tanolites.

Processus et bilan (Richard et al. 2005): Processus d'altération essentiellement chimique, au contact d'une eau circulante mais quasi-pérenne (hydrolyse, dissolution, néoformations argileuses, oxydation et réduction...). Les volumes originels de la roche sont conservés dans la variante isaltérite, alors que la variante allotérite laisse présumer d'importants départs de matière (en solutions ou pseudo-solutions...). Pour les arénites, processus d'altération essentiellement physique, au contact d'une eau circulante (néoformation argileuse restreinte). Les volumes originels de la roche sont conservés dans l'orthotype, mais la situation la plus fréquente est celle de formes perturbées, souvent intergrades avec des matériaux entafériques « de pente ».

Matériaux primaires et variantes majeures

isaltérite :

Étymologie : du grec *isos*, égal et altérite

Conservation des volumes et persistance des structures macroscopiques de la roche-mère¹³⁰ (filons, diaclases, joints de stratification « en place »), surtout présent en zone intertropicale.

- **isaltérite leucocrate** : couleur blanchâtre avec des taches variées (jaune, rouge, violet), texture sablo-argileuse
- **isaltérite schisteux** : couleur violacée ou rosée, texture limono-argileuse à argilo-limoneuse
- **isaltérite mélanocrate** : couleur rouge ou jaune, taches noires ou vertes, texture argileuse

allotérite :

Étymologie : du grec *allos*, autre et altérite

¹³⁰ Il s'agit de la roche-mère selon la définition pédologique (Roche à partir de laquelle se développe un sol ou roche sous-jacente que l'on retrouve inaltérée à la base de ce dernier), et non géologique (roche-mère de pétrole)

Atténuation / disparition des structures macroscopiques de la roche-mère et perte des volumes originels (« fauchage » des filons, formes de tassement...), minéraux altérables encore visibles, texture argileuse ou sablo-argileuse, modification des couleurs en fonction du drainage, surtout présent en zone intertropicale.

- **allotérite achromique** : couleurs blanches, grises ou beiges
- **allotérite pardichrome** : fond clair, taches ocre ou jaunes
- **allotérite balichrome** : couleurs vives

altérite (orthique)* :

Résultat de la désagrégation et altération chimique d'une roche avec atténuation / disparition partielle des structures macroscopiques de la roche-mère (& « fauchage » des filons) minéraux altérables encore visibles, modification de couleurs, mais sans perte notable des volumes originels (zone tempérée !).

arénite^{RW} :

(du latin *arena*, sable)¹³¹:

Arène issue de l'altération des roches leucocrates et détritiques (granite, grès) ; texture sableuse ; spécifique aux zones extratropicales, surtout sous climats froids. Matériau meuble, sableux (persistance de minéraux et d'agrégats minéraux non altérés). La fraction très fine (argiles) est en quantité négligeable, la fraction fine (limons) se trouve en « transit ». Structures particulières, bouillantes ou massives, mais toujours friables (conservant souvent certains traits macroscopiques de la roche : réseaux de diaclases, filons). Peut être parcouru par les systèmes racinaires profonds. Ne se développe que sur les roches grenues (cristallines ou gréseuses).

rubaltérite^{RW} :

Étymologie : de rubéfaction et altérite

Altérite rubéfié ; couleur rouge (hématite, oxydes de fer) ; hérité et allochtone, autochtone sur de rares secteurs décalcifiés ; texture sablo-argileuse à argileuse ; spécifique au domaine fersiallitique.

Intergrades :

- **régo-altérite** : cohérence forte à très forte, présence de nombreux minéraux altérables non altérés. C'est un altérite où se devinent encore des éléments du régolite (« fantômes »), (cf. **alté-régo** : début d'altération). Dans les milieux tempérés où on ne note pas de isaltérite proprement dit c'est habituellement le matériau rencontré entre un altérite et un régolite (schisteux).
- **réti-altérite** : début d'individualisation de taches ocre ou rouges riches en oxydes de fer, texture argilo-sableuse
 - **réti-altérite psammitique** : début d'individualisation de taches ocre ou rouges riches en oxydes de fer, texture très sableuse
- **rédu-altérite** : plages homogènes très claires caractéristiques d'un début de déferrification
- **fragi-altérite** : cohérence forte à très forte liée à un début d'induration des oxydes de fer
- **gravé-altérite*** (**phase gravelon**^α): fragments de roches essentiellement quartzes, difficilement altérables, résidus de l'altération physico-chimique : en raison de leur résistance ces fragments de roches se présentent dans une matrice d'altération ou pédochrome, mais sont restés plus ou moins *in situ*. Se différencie du régolite par un « détachement » de la roche-mère, parfois par un faible remaniement ou transport très localisé. (cf. **alté-gravelon** : roches altérables ayant subi un remaniement plus important/colluvionnement ; **régo-gravelon** : fragments de régolite « fauchés » dans une matrice pédochrome ou altéritique susceptibles d'avoir subi une migration latérale (colluviale) ; **aréno-gravelon** : mésogravelons (>2mm, <2cm) issu d'un arénite sans caractéristiques pédiques, remanié; ainsi que **régo-arénite** et **luéro-arénite** ci-dessous)
- **luéro-arénite*** (ex- **entaféro-arénite**^α): arénite où apparaissent des formes de colluvionnement^α. Texture sableuse à gravillonneuse, (si texture plus fine (<0,5mm le

¹³¹ orthotype propre dans la typologie de JF Richard 2005

terme d'entaféro-arénite sera adapté). Proche de l'**aréno-gravelon*** et du **alté-entaféron***, mais le colluvionnement reste relativement limité et permet encore de distinguer des traits de la roche-mère altérée (différences de composition minérale, filons, ...).

- **régo-arénite^{RW}** : cohérence un peu plus forte que l'arénite; avec de nombreux minéraux altérables non altérés. Arénite où se devinent des éléments du régolite (« fantômes »...). (cf. **aréno-régo-lite** : matériau régolitique ayant perdu de sa dureté, **aréno-gravelon** : mésogavelons arénitiques ayant subi un transport et **gravélo-altérite** : essentiellement quartzeuses)

Remarques et commentaires personnels dans le contexte de l'étude :

S'ils apparaissent dans les premiers 100 cm, les roches altérées (altérites) ont été la règle parmi les relevés sur les substrats leucocrates et schisteux, tandis qu'un véritable rubaltérite n'a pas pu être constaté sur les substrats calcaires.

Les termes isaltérite et allotérite sont plutôt utilisés pour les matériaux et horizons épais d'altération des sols tropicaux et ne s'appliquent pas vraiment aux altérites beaucoup moins impressionnants des sols de milieux tempérés où l'altération chimique est moins importante. Nous avons préféré le terme de régo-altérite pour les matériaux assez résistants qui laissent encore reconnaître des structures originelles de la roche-mère (correspondant aux isaltérites en milieu tropical) et nous avons conservé le terme d'altérite (orthique) pour les matériaux plus facilement excavables, ayant subi une altération importante, visible à la couleur, et perceptible par leur dureté, aux éléments dissociés mais sans structures pédiques ou brunification (correspondant aux allotérites des milieux tropicaux).

Rétichron et réducton : matériaux plus ou moins hydromorphes à caractéristiques d'oxydoréduction phréatique¹³²

Chatelin et Martin, 1972 (rétichron), Beaudou et Sayol, 1980 (réducton)

Étymologie : dérivation suffixale du français réticulé (en forme de réseau) et du grec *chrôma*, couleur et dérivation suffixale du français réduire (réduction du fer).

Caractères signalétiques

- Matériaux « azonaux » caractérisant un milieu oxydant ou réducteur dû à un engorgement permanent ou temporaire du matériau
- Caractérisé par une réduction et mobilisation de fer
- Couleurs homogènes ou hétérogènes (cf. variantes majeures)
- Matériau caractéristique de l'infraplexion.
- Concernant ces matériaux hydromorphes il s'agit de matériaux azonaux ; néanmoins des différences de nature peuvent être dues à l'altération qui dépend des grands traits climatiques (température et régime des précipitations)

Matériaux primaires et variantes majeures

rétichron (n.m.):

Matériau plus ou moins hydromorphe à couleurs hétérogènes dû à un engorgement temporaire, voire saisonnier du matériau.

- Couleur : « Argiles tachetées » ou « bariolées » présentant une association de couleurs remarquable sous la forme d'un réseau de taches permanentes, de petites marbrures réticulées ou anastomosées, en mailles régulières de couleurs contrastées : rouge, jaune, blanc ou gris très clair, de taille centimétrique. Généralement, les taches rouges ou jaunes sont plus argileuses, les taches blanches ou grises plus sableuses. Les taches rouges sont souvent plus dures que les taches claires.

¹³² (Richard, 1995 ; p. 109)

- Texture : argilo-sableuse à argileuse, meuble
- Structure : compacte et massive à éclats anguleux
- Plages ou traînées appauvries en fer : grises (ou plus claires que le reste) juxtaposées aux taches de couleur plus vive (rouille, >2%), enrichies en fer.
- Comparable aux matériaux que l'on rencontre dans les horizons rédoxiques, **g**, du RP1995

Processus :

Sur le socle cristallin (en milieu tropical /subtropical), le phénomène de réticromation se produit quelle que soit la nature des roches originelles (mais la forme des réticules peut être liée à la nature de ces roches). Le processus est marqué par la mobilisation et le transit du fer sur de courtes distances. La concentration et l'oxydation ultérieures peuvent aboutir à un durcissement des taches rouges. Ces processus s'accompagnent d'une « argilification » globalement plus intense que dans le cas des altérites originels. Par extension aux milieux tempérés, il s'agit d'un processus de réduction et de mobilisation de fer en période de saturation d'eau et processus d'oxydation (immobilisation de fer) en période de non-saturation. Il s'ensuit un engorgement temporaire ou saisonnier qui provoque une répartition du fer très hétérogène.

- **rétichron (rouge et) jaune** : taches jaunes sur fond rouge, texture sableuse à argilo-sableuse, rencontrées en situation faiblement « hydromorphe » (bref contact avec la nappe phréatique : sommet d'interfluve, zone équatoriale de transition...)
- **rétichron (rouge et) blanc** : taches blanchâtres ou grisâtres pouvant envahir le matériau, fond ou réticule rouge-brun ou violacé, rencontrées en situation fortement « hydromorphe » (contact prolongé avec la nappe phréatique : bas versants, zone équatoriale très humide...)
- **rétichron psammitique** : texture sablo-argileuse à sableuse

réducton :

Matériau hydromorphe homogène dû à un engorgement permanent ou quasi-permanent du matériau.

- Matériau meuble, relativement homogène, caractérisé par un excès d'eau
- Couleur : uniformément grisâtre plus ou moins foncée, terne, en raison de la répartition du fer plus ou moins homogène, le plus souvent, à reflets verdâtres et bleuâtres, grises, gris bleuté ou blanchâtres. De petites taches pâles, de couleur jaune rouille, localisées vers les discontinuités du matériau (macroporosité, manchons racinaires, faces structurales), peuvent apparaître temporairement, lors des périodes de dessiccation.
- Texture : très plastique, très argileuse à argilo-limoneuse, mais pouvant comporter des phases décolorées plus sableuses
- Structure : fondue, compacte ou plastique
- Correspond aux matériaux présents dans les horizons typiques de réductisols (l'horizon réductique, **Gr**, l'horizon réductique temporairement réoxydés, **Go**) du RP 1995.

Processus :

Les phénomènes de mobilisation et de réduction du fer concernent généralement les altérites ou les entaférons. Mais ils peuvent être plus superficiels, et concerner aussi les mélanumites ou certains brunichrons. Ces matériaux révèlent alors des structures « pédiques » (peu nombreuses).² En milieu tempéré il s'agit de processus de réduction et de mobilisation de fer suite à des engorgements quasi-permanents ou temporaires qu'on peut retrouver dans les sols de type « gley ».

- **réducton (orthique*)** : couleur uniforme bleuâtre à verdâtre ou gris (toutes les nuances). Matériaux typiquement développés dans l'horizon réductique *strict*, **Gr** du RP 1995.
- **réducton psammitique** : texture sableuse
- **réducton albique* ou achromique²** : blanchissement généralisé, correspond au matériau de l'horizon **Ga** : déferrification complète; couleurs uniformes très claires (blanc, gris clair, beige) caractéristiques d'un processus de « blanchiment » du matériau (« déferrification »)

intergrades

- **alté-rétichron** : présence de structures lithiques dans les taches claires du matériau, texture argilo-sableuse

- **fragi-rétichron** : rétichron marqué par un net durcissement des taches rouges - (cf. intergrade réti-fragistérite et fragistérite)
- **régo-rétichron*** (**rétichron régolique**) : rétichron où la forme et la taille des taches reproduisent des macrostructures de la roche originelle
- **gravo-rétichron α** : matériau marqué une individualisation accentuée des taches rouges du rétichron, par leur durcissement et un début de ségrégation (sous forme de nodules ferrugineux)
- **réti-réducton** : présence de marbrures ocre ou ocre rouges au sein du réducton, liées à une interruption de l'engorgement et une réoxydation temporaire du matériau. Correspond aux matériaux présents dans l'horizon **Go** du pseudogley (Richard 1985 :111, RP 1995). Taches de teintes rouille (brun-rouge à jaune-rouge), souvent pâles au contact des vides, les faces des agrégats et au contact des racines, disparaissent pendant la saturation. (voir aussi : oxydon/blastolite). Dans la matrice (terne) on observe (environ 2-20% du volume) à la fois de plages ou traînées grises plus claires que le fond et des taches de rouille de couleur vive.
- **pardi-réducton α** : réducton marqué par l'abondance de grandes taches, marbrures ou traînées, de couleur jaune (ou ocre) souvent peu contrastées et diffuses (ordre des dimensions supérieur au centimètre)
- **alté-réducton** : présence de structures lithiques dans le matériau, texture souvent argilo-sableuse
- **humi-réducton*** : intergrade entre l'humite et le réducton (Comparable à l'horizon **AG** du RP 1995)
- **verti-réducton***: couleur grise verdâtre, texture argilo-limoneuse ou argileuse, compacte, structure prismatique avec des faces de glissement
- **oxy-réducton α** : réducton marqué par l'abondance de petites taches rouille, arrondies et contrastées, témoignant d'un phénomène de concentration et d'oxydation du fer (ordre des dimensions inférieur au centimètre)

Diagnostics structuraux

- pauciclude : structure massive présentant quelques fissures et éclats anguleux
- polyclude : structure en agrégats anguleux multiples

Remarques et commentaires personnels dans le contexte de l'étude:

Les réductons, matériaux azonaux ont été relevés dans les bas-fonds à proximité des ruisseaux. Cependant le plus souvent il font place aux hystites zones hydromorphes fréquentes en situation de replat de pente (sources, etc.) ou de fond de vallée élargie (du type modelé glaciaire).

L'essai de mise en relation des corps naturels localisés (CNL) et des matériaux contenus dans les horizons pédologiques selon le référentiel pédologique français (Baize 1995 et Baize 2009 : RP1995 et RP2008) pourrait suggérer la création d'un nouvel orthotype correspondant aux matériaux fins de l'horizon rédoxique « g » (le redoxichron ?). On pourrait également regrouper rétichron et réduchron sous l'appellation de réduchron.

Oxydon α (ou blastolite): matériaux discontinus constitués par des « taches » plus ou moins contrastées par rapport aux matériaux associés ou à des concrétions indifférenciées

Boudou & Sayol 1980 (Oxydon); Houndagba 1984 (Blastolite). Modifications : Richard, Khebour, Labiadh, Morschel, 2005, et A. Müller

Étymologie : contraction et composition du grec *blastos*, germe et *lithos*, pierre.

Caractères signalétiques

- Couleur : variée, ocre, rouge, noire ou blanche
- Taille : quelques millimètres de diamètre, formes variées et irrégulières
- Dureté : variable, peut s'écraser ou résister à la pression des doigts
- Concrétions au sens de nodules saccharoïdes irréguliers.

- Ce matériau est directement issu d'une alternance humectation - dessiccation et une concentration plus ou moins forte de matériaux en transit dans le solum.
- Matériaux discontinus constitués par des « taches » plus ou moins contrastées par rapport aux matériaux associés. Tailles, formes, couleurs et consistances sont très variées. Elles permettent de distinguer plusieurs orthotypes. Le plus répandu et le plus caractéristique est l'oxydon.
- Ces « taches » ne peuvent, tout au plus, que constituer une phase majeure (envahissant une « matrice » plus uniforme).

Processus et bilan (Richard et al. 2005): Le phénomène de concentration et d'oxydation du fer (et du manganèse) concerne la plupart des matériaux minéraux ou organo-minéraux soumis à une « hydromorphie » temporaire... Le processus de ségrégation est discontinu, d'abord saisonnier il devient vite irréversible : dans certains cas, il aboutit à la formation de concrétions. Associés aux réductons, ces matériaux correspondent à des « pseudogley ».

Matériaux primaires et variantes majeures

oxydon :

Petites taches de couleur ocre, rouge ou noire, concentrations minérales, et notamment de fer, sous forme d'amas friables. Il est appelé aussi « phase oxique » : 2% à max 15% du vol. Individualisation d'une phase oxique discontinue dans divers matériaux matriciels homogènes : réducton, psammiton, entaféron, mélanumite, etc. Pointillé de petites taches rouilles (couleurs « brun rouge » ou « jaune rouge » caractéristiques), souvent arrondies et contrastées, de dimensions inférieur au cm, souvent de l'ordre du mm. Les plus claires et les plus diffuses sont saisonnières (réducton), mais les plus typiques sont permanentes et souvent durcies : elles témoignent d'un phénomène de concentration irréversible du fer (blastolite).

blastolite :

Concrétions dures, de couleur rouille, violacée ou noire, de formes contournées souvent très irrégulières, de surface rugueuse ou granuleuse (au toucher saccharoïde) ; les tailles sont variables, de l'ordre du mm à celui du cm. Ces concrétions (surtout ferrugineuses et manganiques) ne doivent pas être confondues avec les nodules ou gravillons ferrugineux luisants, lisses et arrondis du gravolite (*cf.* stérites).

- **blastolite ferroblastique** ou **ferroblaste** : Concrétions millimétriques, couleur rouille, ocre à rouge violacé, forme irrégulière, facilement prélevables dans le profil (rubéchrons); (ne pas confondre avec le gravolite)
- **blastolite manganoblastique** ou **manganoblaste** : Concrétions millimétriques, couleur noire, forme irrégulière, riche en manganèse

pardichron :

Grandes marbrures ou traînées ocres ou jaunes souvent peu contrastées (par rapport à un fond souvent grisâtre), limites diffuses, de dimensions supérieures au cm, souvent de l'ordre du dm. Ces taches indiquent plus une redistribution limitée du fer qu'un véritable phénomène de concentration (rétichron).

Diagnostics structuraux

Formes de « remaniement » minéral

- **nodulaire** : éléments figurés de la taille des graviers : formes émoissées, mais anguleuses et irrégulières ; coupes uniformes, rouge brique, moins durcis que le faciès ovulaire
- **ovulaire (= gravillonnaire)** : éléments figurés de la taille des gravillons ou des graviers : formes arrondies, très émoissées, surfaces luisantes, usées ou à patine millimétrique, cortex plus foncé et plus durci
- **amblyoïde** : éléments figurés émoissés (transition avec les formes arrondies - aplaties des galets)
- **pisolitique** : éléments figurés de la taille des gravillons ou des sables grossiers (« plombs de chasse »), coupe montrant des auréoles de concentration en sesquioxydes variées

Formes de concentration minérale

- **cristalloïde** : formes de concentration cristallisée, très dures
- **saccharoïde** : formes de concentration ou de concrétion au toucher rugueux, englobant des particules grossières (sables quartzeux)
- **nébuloïde** : taches ou formes de concentration en amas diffus, friables, peu contrastées (« crayeux »...)
- **ovoïde** : taches ou formes de concentration arrondies, aux limites nettes

Remarques et commentaires personnels dans le contexte de l'étude :

Les ferroblastes bien que théoriquement possible dans les sols riches en carbonate de calcium ou des sols fersiallitiques n'ont pas été remarqués lors des relevées de terrain, probablement en raison des sols instables et jeunes présents en zone de montagne. Les taches d'oxydation de couleur rouille dans les horizons pédologiques temporairement engorgés sans manifestation de concrétions palpables ont été attribués aux réti-reductons.

Luérite : matériaux essentiellement minéraux ayant subis une mobilisation, un transport et un dépôt

Richard, Khebour, Labiadh, Morschel, 2005
Étymologie : du latin, *luere* : « laver »

Caractères signalétiques

- Matériaux de nature et de formes variées, mais ayant subis (ou susceptibles d'avoir subis) une mobilisation, un transport et un dépôt « sédimentaires » (à l'exception des gravelons altéritiques).
- Les formes et les états de surface permettent, de distinguer plusieurs variantes majeures. Les trois principales variantes majeures se distinguent tout d'abord par leur granulométrie : la taille (et la nature) des particules permet normalement de distinguer immédiatement trois orthotypes : gravelon, psammiton et entaféron. Les premiers constituent les éléments grossiers, les derniers les éléments fins. Les psammitons concernent uniquement les sables grossiers et moyens « bien classés », tandis que les gravelons et entaférons peuvent être hétérométriques (« mal classés »)
- Ils n'ont subi ni altération considérable ni pédogenèse après dépôt (sinon cf. structichrons) à l'exception des psammitons résiduels (éluviales)
- Le terme luérite est générique et sert uniquement lorsque les formations sont « mal classées » (hétérométriques) et qu'une estimation distincte des volumes des gravelons, psammiton et entaférons semble peu importante

Processus et bilan (Richard et al. 2005) : Matériaux mis en place par la pesanteur, l'eau, le vent ou la glace à des époques souvent révolues (Quaternaire). Les processus sont bien connus, mais les diagnostics de terrain sont parfois très « interprétatifs » (ils font appel à l'analyse et à la comparaison géomorphologiques). Ils restent néanmoins très importants, car très significatifs dans l'explication du paysage actuel.

Note*:

En raison de la difficulté de estimer correctement et distinctement le volume des sables fins (> 50µm) et des limons grossiers (< 50µm) dans un ensemble de sédiments fins <2mm, nous avons regroupé les sables dans les entaférons à condition qu'il ne s'agisse pas d'un matériel d'accumulation résiduel (voir psammitons) et que la fraction sableuse ne soit pas bien classée (donc hétérométrique) et ainsi pas clairement distinguable de la fraction limoneuse et argileuse.

Matériaux primaires et variantes majeures

...liées tout d'abord à la taille des matériaux et ensuite à leur mode de transport/ dépôt / accumulation résiduelle (cf. *infra*)

gravelon (n.m.) :

Chatelin et Martin, 1972, modifications : Rambaud et Waechter, 2002, A. Müller

Étymologie : dérivation suffixale du français graveleux, mêlé de graviers. De gravi(s)/ grauitas, grauitatis : pesant, lourd ; poids, force) et *phero*, transporter

Ensemble d'éléments grossiers minéraux (roches dures), incorporés au métaplexion (strict) inférieur, issu de l'altération des roches *in situ* ou ayant subi un transport / déplacement récent.

- Fragments de roches à arrêtes émoussées par le transport (et par l'altération)
- Dureté : résistant à très résistant, parfois légèrement fragilisé par la ferruginisation du quartz
- Couleur : très variée pour les fragments de régolite, incolore, blanc ou légèrement ocré/jaune pour les quartz
- Taille : plus de 2 millimètres à plusieurs dizaines de centimètres de diamètre, voire diamètres décimétriques (blocs erratiques)
- Matériau caractéristique de l'infraplexion et du métaplexion inférieur
- Plusieurs types :
 - En zone intertropicale, le gravelon désigne des éléments de roche très difficilement altérable (cailloux de quartz, quartzites, silex, jaspes) souvent *in situ* à formes anguleuses, émoussées ou aplaties - arrondies (galets). Il ne peut, dans ce cas constituer tout au plus, qu'une phase majeure (au sein d'une « *matrice* » de texture plus fine).
 - Éléments de roches dures (régolite) ayant subi un transport plus ou moins récent, régional ou localisé (couche D, RP1995)
 - Dans les cas des gravelons carbonatés issus de l'altération très spécifique ayant lieu en milieu calcaire il peut s'agir de fragments de roches dures (souvent assez émoussés) issus de la fragmentation / altération de la roche-mère +/- *in situ* dans une matrice pédochrome, ayant subi un déplacement vertical ou subhorizontal assez réduit.

Processus :

La diversité des processus géomorphologiques qui contribuent à l'établissement de ce type de matériau est très grande : dynamique colluviale, alluviale, lacustre ou marine. L'origine des matériaux fragmentés et les modes de transports et de sédimentation sont autant de critères déterminant le diagnostic de ces formations superficielles.

Les variantes portent sur le processus de dépôt des gravelons :

- **gravelon alluvial (alluvigravelon*)**: galets de quartz généralement ronds, peu aplatis, disposition généralement stratifiée ou orientée, présentant parfois divers degrés de ferruginisation (frais à très oxydé) , couleur variée , texture hétérogène
- **gravelon colluvial^{RW} (colluvigravelon*)** : fragments à arêtes émoussées disposés en vrac. Structure ambylomorphes et/ou angumorphes : transport colluvial; soliflué gravitationnel: éboulis, brèches, glissements, avalanches...)
- **gravelon morainique (morainigravelon*)** : fragments de dépôt morainique (à l'exception des dépôts fluvio-glaciaires) : matériaux minérales à l'exception des matériaux fins contenant de nombreux gravelons subanguleux, position en vallum (moraine frontale, latérales), moraines de fond banquettes, drumlins, blocs erratiques ; hétérométrique ; en vrac. Couleur variée, texture hétérogène.

Variantes secondaires du gravelon et diagnostics complémentaires :

...liées à la nature lithologique des matériaux :

- schisteux
- calcaireux
- leucocrates

...liées à la dimension du plus grand axe du gravelon¹³³.

- macro- : comprises entre 0,2 et 2 cm (graviers, aussi appelés gravillons si <5mm)

¹³³ Selon l'AFNOR 1998 (X 31-003 1998) in Baize, D (2000 ; p. 25) Guide des analyses en pédologie

- méga- : comprises entre 2 et 25 cm (cailloux <7.5cm, pierres >7.5cm)
- giga- : comprises entre 25 et 50 cm (blocs)
- péta- : supérieures à 50 cm (gros blocs)

psammiton (n.m.) :

Richard, Kahn et Chatelin ; 1977, modifications : Rambaud & Waechter ; 2002), A. Müller
Étymologie : dérivation suffixale du grec *psammos*, sable.

Matériau meuble particulière à texture sableuse bien classée, ayant subi un transport ou une accumulation résiduelle.

- Texture : sableuse (essentiellement quartzeux), de formes et d'états de surface variés (cf. morphoscopie)
- Couleur : blanche, beige où ocre clair
- Taille : de 0,05mm jusqu'à deux millimètres de diamètre
- Structure : particulière (plus de structure pédologique) ou massive
- Caractéristiques de l'infraplexion et du métaplexion inférieur
- Sont considérées comme psammitons seulement les matériaux à texture sableuse, bien triés
 - Exclusion des matériaux fins <2mm à hétérogénéité granulométrique, avec une texture sablo-argileuse, argilo-sableuse ou limoneuse (<50% de sables), c'est-à-dire contenant des quantités importantes de limons, argiles et sables fins (<0,05mm) (=> entaféron)
- L'ensemble peut présenter des figures d'entassement, de litage, de stratification simple ou entrecroisée
- Dans certain cas (éluvipsammiton et psammiton albique) le lessivage a pu favoriser une concentration des matériaux de texture sableuse : c'est alors un résidu de transport des argiles. Ces variantes ont ainsi subi une éluviation (lessivage) pédogénétique in situ ou ex-situ : Il s'agit d'une forme d'accumulation résiduelle

Les variantes distinguent les formes d'accumulation résiduelles (éluviales) ou absolues et leur mise en place :

- **psammiton alluvial*** : matériaux triés de texture sableuse ayant subi un transport fluvial, fluvioglacière ou fluvio-lacustre - sables « émoussés - luisants »
- **psammiton éolien*** : matériaux triés de texture sableuse ayant subi un transport éolien (par le vent), souvent accumulations sous formes de dunes - sables « ronds - mats »
- **psammiton marin*** : matériaux triés de texture sableuse ayant subi un transport marin, accumulation terrestres (plages) ou sous-marines avec des structures de dépôt typiques
- **psammiton éluvial (éluvipsammiton*)** : couleur gris clair, riche en sables grossiers, pas de structure pédologique (structure particulière), matériau pédologique ayant perdu presque l'intégralité des argiles et limons: nettement sableuse sinon sablo-argileuse (Matériau typiquement contenu dans l'horizon E du RP 1995). Ne pas confondre avec l'éluvichron, peu structuré mais plus coloré, contenant davantage de limons ou d'argiles.
 - **psammiton dyscrophe** : couleur légèrement grise témoignant d'une pénétration de matière organique (Matériau typiquement contenu dans l'horizon Eh du RP 1995)
 - **psammiton albique** : matériau pédologique marquant le stade ultime de l'éluviation par départ de la fraction argileuse et de ses minéraux libres (Matériau typiquement contenu dans l'horizon Ea du RP 1995) ; couleur blanchâtre à grisâtre

entaféron :

Beaudou et al 1982, modifications Rambaud et Waechter ; 2002 & A. Müller
Étymologie : du grec *entha*, ici et là et *phero*, transporter.

Ensembles d'éléments minéraux fins ayant subi un transport récent (néogène ou quaternaire), et à granulométrie hétérogène si contenant des sables

- Dureté : faible à très faible.
- Couleur : variable, clair à ocre.
- Taille : Fraction fine < 2mm de diamètre (à condition qu'il s'agit de sédiments hétérogènes où la quantité de sables moyens et grossiers ne dépasse pas 50%). Texture argilo-limoneuse, limoneuse, sablo-argileuse, argilo-sableuse ou argileuse.

- Matériau caractéristique de l'infraplexion
- Matériau à texture limoneuse dominante. Souvent associé à des matériaux grossiers (gravelon) ; sans structures « pédiques » apparentes, l'ensemble peut présenter des figures d'entassement, d'orientation, de litage, de stratification
- Les entaférons ont subi un transport (cf. gravelon pour les matériaux grossiers et psammitons pour les sédiments sableux)
- Exclusion des psammitons bien triés
- Exclusion des matériaux modifiés par la pédogenèse (éluviation, brunification, matière organique,...)
- Exclusion des sédiments ayant subi une compaction ou une modification physico-chimique par la pression et/ou la chaleur (diagenèse : malacolites/ tanolites).

Variantes

...liées aux processus de mise en place.

- **entaféron colluvial** ^{RW} (ou **colluviféron***) : transport colluvial; en vrac, soliflué ou grossièrement stratifié (se limitant à la matière fine des sédiments gravitationnels: éboulis, brèches, glissements, avalanches...); texture hétérogène (argiles, limons, sables fins à grossiers), souvent accompagné de gravelons ambylomorphes et/ou angumorphes, couleur ocre clair
- **entaféron alluvial** ^{RW} (ou **alluviféron***): transport alluvial (fluviatil) ; en position de bas-fond ou terrasses alluviales, parfois fluvio-glaciaires; structure le plus souvent fortement stratifiée ; souvent accompagnée de phases gravéliques (gravelons ovimorphes) et de phases psammitiques ; couleur variée, texture ;souvent sablo- limoneuse (presque libre d'argiles dans le cas des dépôts fluvio-glaciaires)
- **entaféron morainique** ^{RW} (ou **morainoféron***) : matériel morainique (transport glaciaire); en vrac, couleur variée, texture hétérogène, peu triée ou stratifié, contenant des argiles, accompagné de nombreux gravelons subanguleux
- **entaféron marin** ^{RW} (**marinoféron***) : dépôt marin généralement stratifié, texture variée
- **entaféron lacustre** ^{RW} (ou **lacustriféron***) : dépôt lacustre, dépôts stratifiés, argileux à argilo-limoneux
- **entaféron éolien** ^{RW} (ou **éoliféron***) : transport éolien ; tri granulométrique, texture essentiellement limoneuse (loess). (tanolite limoneux si exhumé ou ancien)

Intergrades des luérites (entaféron, psammiton et gravelon)

- **anthropo-gravelon*** : gravelon ayant subi un transport et dépôt par l'homme, notamment le cas pour les dépôts à proximité des carrières ou berges stabilisés par des blocs
- **aréno-gravelon*** : gravelon issu d'un arénite (le surmontant parfois), ayant subi un remaniement (transport latéral, colluvionnement) et une altération importante des minéraux. Il s'agit normalement de mésogavelon (>2mm, <2cm), dans une matrice plus fine de type alté-entaféron ou bruni-entaféron, mais sans matrice pédique proprement dite. La structure originelle de la roche granitique ou gréseuse n'est plus reconnaissable. Une coloration « rouille » peut provenir d'une oxydation partielle des minéraux altérables. Pour les gravelons de taille plus importante (>2cm) voire **régo-arénite** ou **régo-gravelon**. Pour les matériaux <2mm voir aussi l'**alté-entaféron**.
- **régo-gravélon** [⊠] (ex- **alté-gravelon***, ex-variante majeure **gravelon altéritique***): éléments de roches dures altérables, concentrés ou « fauchés ». Fragments de régolite et roches altérées susceptibles d'avoir subi un déplacement relatif par rapport à la roche sous-jacente, le plus souvent une migration latérale (colluviale) ou un remaniement. Fragments le plus souvent un peu émoussés, disposés dans une matrice pédochrome ou pédo-altéritique. Concerne des fragments de roches encore dures, quoique altérées / émoussés à la surface issus d'une roche-mère à proximité, et non d'un apport autochtone. A ne pas confondre avec l'**aréno-gravelon** ou l'**alté-entaféron*** (voir ci-dessous), ni avec le **gravélo-altérite**, fragments essentiellement quartzeux *in situ*, difficilement altérables et peu remaniés; le **régo-arénite**, roche massive ou fissurée *in situ* légèrement altérée à la cohérence un peu plus forte que l'arénite ou l'**aréno-réglolite**, réglolite ayant perdu de sa dureté. N.B. : Il peut donc s'agir également de fragments de roche à la consistance régo-arénitique ayant subi un déplacement (colluvionnement) au sein d'un alté-entaféron, d'un

aréno-brunichron ou d'un brunichron arénitique. Remplace les intergrades **gravé-régo-lite*** et l'**alté-gravelon***.

- **tano-gravelon*** : fragments de tanolites (malacolites) susceptibles d'avoir subi un déplacement (colluvial) par rapport au tanolite sous-jacent, inséré / incrusté se trouvant dans une matrice meuble. Équivalent au régo-gravelon. Ne pas confondre avec le **tano-luérîte**, intergrade entre les sédiments meubles et les roches sédimentaires.
- **rédu-psammiton** : à sables grossiers, enrichi en argile, présentant des marbrures grisâtres ou bleuâtres
- **réti-psammiton** : présentant des taches ocrées dues à des concentrations d'oxydes de fer
- **pédo-psammiton*** (ex- **structi-psammiton**^α) : matériau (colluvial ou alluvial) sableux montrant des structures amérodés ou pauciclodés (pédogenèse débutante ou limitée)
- **alté-entaféron*** : matériaux fins (<2mm) issus de l'altération d'un substrat, ayant subis des remaniements et/ ou des déplacements latéraux (colluvionnement) par rapport à la roche-mère, visibles par la forme ou position des régo-gravelons contenus dans la matrice. L'alté-entaféron peut être caractérisé également par la dissociation et le déplacement relatif des éléments fins par rapport aux éléments plus grossiers (de type arénite, aréno-gravelon ou régo-gravelon) issus de cette même roche. Absence de structure pédique nette, mais parfois un début de modification de la couleur (cf. **bruni-entaféron**^α, **aréno-brunichron**, ...).
- **bruni-entaféron**^α : matériau « de pente », limoneux, montrant des structures (grumoclodés) peu nettes : pédogenèse débutante ou limitée^α. Couleur encore assez claire, début de brunification. Souvent il s'agit d'une zone de transition entre le brunichron et l'entaféron, brunichron peu développé avec des caractères de l'entaféron (le plus souvent sous-jacent) mais montrant déjà une modification de la couleur et/ou un début de structuration pédologique. Ne pas confondre avec l'**enta-brunichron*** issu d'un colluvionnement de matériaux brunichromes, de couleur souvent plus foncée et d'étendu verticale plus importante.
- **tano-luérîte (malaco-luérîte*)**: sédiments quaternaires caractérisés par un début de cimentation, mais encore très friable (cf. intergrade malaco-/tanolites)

Diagnostiques structuraux

...selon la disposition de l'ensemble de l'entaféron/ luérîte / gravelon / psammiton :

- **stratoïque** : disposition en strates homogènes, régulières
- **interstratifié** : disposition en strates hétérogènes, une strate constituée de matériaux fins succède à une strate plus grossière
- **lentoïque** : structure lenticulaire
- **astratoïque** : structure massive, sans structure visible

...liés à la disposition des matériaux élémentaires gravéliques ou luéritiques :

- **en vrac**^{RW} : sans disposition particulière
- **alluvial**^α : d'origine fluviatile : sables « émoussés - luisants »
- **colluvial** : d'origine variée (ruissellement, mouvements particuliers et de masse) ; les sables sont « non - usés » et « picotés »
- **soliflué**^{RW} ou **graviturbé**^α : disposition en loupe, montrant les signes de mouvements internes surtout liés à la gravité (solifluxion...)
- **cryoturbé**^{RW} : disposition géométrique (hexagonale, polygonale), montrant les signes de mouvements internes liés aux alternances gel - dégel (circonvolutions, formes en coin...)
- **stratifié**^{RW} : disposition en strates homogènes, régulières
- **Interstratifié**^{RW} : disposition en strates hétérogènes, une strate constituée de matériaux fins succède à une strate plus grossière

selon la forme des éléments gravéliques notamment:

- **angumorphe** : à éléments anguleux et arêtes vives

- **amblyomorphe** : à éléments anguleux et arêtes très émoussées
- **ovimorphe** : à éléments arrondis

Remarques et commentaires personnels dans le contexte de l'étude :

Les gravelons et régo-gravelons sont omniprésents dans quasiment tous les sols et formations superficielles qui ont fait l'objet d'un relevé. C'est en quantifiant leur disposition, taille et origine qu'apparaissent des nuances parmi ces sols de montagne. Le plus souvent il s'agit donc de matériaux colluviaux. Les colluvions étant la règle dans le massif montagneux qu'est le Massif de Madres-Coronat, les entaférons glaciaires (morainiques) et alluviales occupent également une partie non négligeable des fonds de vallées. Or, il n'est pas toujours facile de distinguer un entaféron alluvial de type torrentiel d'un entaféron morainique ou colluvial car les processus de solifluxion / colluvionnement peuvent intervenir en alternance avec les autres processus décrits. Concernant les variantes majeures des entaférons, on peut alors éventuellement avoir besoin de recourir à des intergrades entre ces variantes majeures comme le **colluvi-alluviféron*** (processus colluviaux et alluviaux se sont relayés dans le temps : bas de versants et bas-fonds fréquents en zone de montagne), le **colluvi-morainoféron*** (processus de transport glaciaire et colluviaux se sont relayés dans le temps : versants et bas des versants de l'étage alpine et subalpine) ou encore l'**alluvi-morainoféron*** (processus morainiques et fluviaux se sont relayés dans le temps : grand bas-fonds notamment de l'étage subalpin et montagnard), justifiant la contraction des variantes majeures (alluviféron au lieu d'entaféron alluvial). Dans le doute, et pour éviter une typologie trop exhaustive nous n'avons regroupé dans notre cas les entaférons et distingué les gravelons non par leur origine mais seulement par le diagnostic secondaire concernant leur taille (méso, méga et giga-/ péta-gravelons).

Des psammitons proprement dits n'ont pas été constatés sur le terrain d'étude du Massif de Madres-Coronat.

Il serait envisageable d'intégrer les épilites aux luérites puisqu'ils ont subi le plus souvent un transport (il s'agit en effet souvent de gravelons exhumés), mais leur position particulière à la surface du sol peut justifier un groupe de CNL à part entière.

Stérite (incl. gravolite) : matériau induré, riche en sesquioxides de fer ou d'alumine

Chatelin et Martin, 1972 (stérites) & Filleron, 1995 (gravolites)
Étymologie : dérivation suffixale du grec *stéreas*, solide.

Caractères signalétiques

- Matériau caractéristique de l'infraplexion et du métaplexion inférieur
- Dureté : matériau toujours résistant, quoique de dureté variable (excavable ou non à la pioche), induré, durci ou très dur
- Couleur : hétérogène et variée (blanc, rose, jaune, ocre, rouge, violet et noir à reflets métalliques)
- Structure : hétérogène, car de formation souvent très hétérogène (laissant apparaître des cavités terreuses, des structures de tassement et différentes sortes d'éléments figurés : pisolithes, gravillons, nodules ou débris ferrugineux, cailloux ou galets de quartz)
- Deux variantes du stérite, fragistérite et pétrostérite, correspondent respectivement aux « carapaces » et aux « cuirasses » (ferrugineuses ou alumineuses) des pédologues - les géographes donnant un sens « autochtoniste » et « allochtoniste » à ces mêmes termes

Processus, bilan, notes (Richard et al. 2005): Le phénomène de « cuirassement » des sols et des paysages tropicaux a été abondamment étudié et discuté. Les processus de mobilisation, de concentration et d'induration des oxydes métalliques (fer, manganèse, aluminium) aboutissent en effet à la mise en place des matériaux de loin les plus caractéristiques de ces milieux tropicaux. Le diagnostic doit aller si possible jusqu'à la distinction entre fragi- et pétrostérite. Le diagnostic gravolite doit être considéré à part : il n'est pas nécessairement lié à la présence (et à la dégradation) des stérites.

Matériaux primaires et variantes majeures

pétostrérite :

Très résistant, très dur, ne peut se briser qu'à l'aide d'un outil, matériau sur lequel rebondit la pioche (« cuirasse »). Fréquent en zone intertropicale (cuirasse ferrugineuse). Matériau typiquement contenu dans l'horizon péto-ferrique, **Fem**, (RP 1995). Matériaux hétérogène, mais présentant des éléments figurés et des faciès caractéristiques (gravillonnaire puis vacuolaire ou lamellaire par exemple). Couleurs foncées (rouge, violet, noir) dans le cas des pétostrérites ferroxiques, beaucoup plus claires (jaune, rose, blanc) dans le cas des pétostrérites alumoxiques.

- **pétostrérite alumoxique** : couleur hétérogène, souvent claire, parties roses, blanches ou jaunes, densité faible
- **pétostrérite ferroxique** : couleur très foncée, rouge sombre, rouge violet, noire, densité élevée
 - **pétostrérite gravolitique** : ferroxique, incorpore des éléments figurés (gravillons, oolithes, blocs ou boules de pétostrérite)
 - **pétostrérite gravélique** : ferroxique, incorpore des éléments figurés quartzeux (fragments peu ou non émoussés, parfois galets de quartz)
 - **pétostrérite psammitique** : ferroxique, généralement homogène, sables abondants donnant un faciès gréseux
 - **pétostrérite rétichrome** : ferroxique, structure analogue à la trame du rétichron, couleur et dureté hétérogène (partie rouge violet résistante, partie ocre jaune plus tendre)
 - **pétostrérite altéritique** : ferroxique, permanence de minéraux très altérables, quelques structures lithiques, fréquence de manchons et de tubules ferruginisés
 - **pétostrérite régolitique** : ferroxique, présence de fragments de roche saine altérable
- **pétostrérite amphoxique** : matériau de nature hétérogène, à la fois ferrugineuse, alumineuse ou manganique

fragistérite (n.m.) :

Il s'agit d'un stérite à résistance moyenne (peut être excavé à la pioche), matériau durci à densité moyenne, pouvant être façonné à la pioche (« carapace »). Très hétérogène, macroporosité (structure souvent vacuolaire) généralement forte, couleur vive (rouge, ocre, jaune), gamme de couleurs plus ternes et souvent plus claires que celle du pétostrérite (rouge, ocre, jaune).

- **fragistérite alumoxique**^{RW} : stérite alumoxique à résistance moyenne (peut être excavé à la pioche) ; couleur hétérogène, souvent claire, parties roses, blanches ou jaunes ; densité faible
- **fragistérite alique**^{RW} : stérite ferroxique à résistance moyenne à faible, mais induration apparente; couleur rouille (alios/ortstein des podzols ; matériau typiquement contenu dans l'horizon **BP induré** du RP1995) ; ne pas confondre avec l'illuvichron organo-alumique (matériau typiquement contenu dans l'horizon **BP meuble** du RP 1995)
- **fragistérite humique**^{RW} : stérite à ciment humique ; couleur noire (alios des podzols, matériau typiquement contenu dans l'horizon **Bh** du RP 1995)

gravolite (n.m.) :

Étymologie : composé du français gravillonnaire (de gravi(s)/ grauitas, grauitatis : pesanteur, lourdeur ; poids, force) et du grec *lithos*.

Éléments ferrugineux grossiers issus du démantèlement et remaniement d'une cuirasse ferrugineuse. Ensemble des éléments grossiers riches en sesquioxydes (nodules, gravillons ferrugineux, gravières), souvent associés à des débris de stérite. Les plus typiques sont ovoïdes, lisses, luisants ; ils montrent un cortex plus foncé et plus dur. D'autres formes et états de surface, variés mais moins fréquents, sont à distinguer lors de la diagnose secondaire. Ne peut, tout au plus, que constituer une phase majeure (envahissant une « matrice » plus uniforme). Dureté des éléments résistants à très résistants avec une taille comprise entre 0,2 et 4 cm et une couleur variable, ocre, rouge ou noire. Caractéristique du domaine intertropicale (sauf matériau hérité).

- **gravolite nodulaire** : éléments nodulaires de formes irrégulières pouvant atteindre 4 cm de diamètre; couleur généralement pâle, ocre ou ocre rouge

- **gravolite nodoïde** : éléments ovoïdes très résistants ; surface lisse et brillante recouverte d'une patine violacée ou noire ; diamètre inférieur à 2 cm

Intergrades

- **alté-fragistérite** : présence de minéraux altérables (mica), généralement très sableux, structure tubulaire, résistance moyenne
- **réti-fragistérite** (ex- **fragi-rétichron**) : hétérogénéité des structures et des couleurs reproduisant la trame réticulée du rétichron, taches rouge indurées, taches ocres ou jaunes meubles ou partiellement remplacées par des vacuoles. Matériau marqué par le durcissement généralisé du réseau du rétichron (formation d'un « squelette » continu isolant des vacuoles terreuses)
- **stérite gravolique** et **stérite gravélique** : stérite incorporant les éléments figurés d'un gravolite ou d'un gravelon plus ou moins oxydé et émoussé

Diagnostics structuraux

- vacuolaire : à vacuoles plus ou moins anastomosées, de taille et de forme régulière
- tubulaire : à tubules plus ou moins remplis de terre, généralement verticales
- fistulaire : à réseau orthogonal de très fines fissures
- lamellaire : à lits, feuillets horizontaux et vides stratifiés

Formes de « remaniement » minéral :

- **nodulaire** : éléments figurés de la taille des graviers : formes émoussées, mais anguleuses et irrégulières ; coupes uniformes, rouge brique, moins durci que le faciès ovulaire
- **ovulaire (= gravillonnaire)** : éléments figurés de la taille des gravillons ou des graviers : formes arrondies, très émoussées, surfaces luisantes, usées ou à patine millimétrique, cortex plus foncé et plus durci
- **amblyoïde** : éléments figurés émoussés (transition avec les formes arrondies - aplaties des galets)
- **pisolitique** : éléments figurés de la taille des gravillons ou des sables grossiers (« plombs de chasse »), coupe montrant des auréoles de concentration en sesquioxides variés

Remarques et commentaires personnels dans le contexte de l'étude :

Les stérites propres aux milieux tropicaux n'ont pas été relevées sur le terrain d'étude du Massif de Madres-Coronat.

Kérite (calite^{RW}) : formes d'accumulation secondaire de calcaire (carbonate de calcium) et de gypse

Rambaud et Waechter, 2002, (Modifications Richard, Khebour, Labiadh, Morschel, 2005 et A. Müller)

Étymologie : de l'arabe : kéchra : « croûte (particulièrement : calcaire...) ou du latin *calcarius* (qui concerne la chaux : le calcaire) et du grec *lithos*, pierre.

Caractères signalétiques :

- Dureté : peu résistant à très résistant ; parfois excavable à la pioche
- Couleur : blanchâtre parfois teintés d'oxydes métalliques
- Matériau caractéristique de l'infraplexion. Fréquent sous climats semi-aride à méditerranéen

Processus, bilan et notes (Richard et al. 2005) : Les diagnostics **calcinite** et **gypsite** doivent être considérés à part : ils ne sont pas nécessairement liés à la présence des kérites. Matériaux bien connus, très étudiés (et très discutés), mais en cours d'identification et de différenciation sur le terrain. Le phénomène recouvre plusieurs processus de formation : certains consisteraient surtout en une concentration sur place, liés à l'expansion racinaire et à des alternances humectation - dessiccation plus ou moins superficielles (« battement de nappe »), d'autres consisteraient en une

accumulation « absolue », faisant appel à des phénomènes d'illuviation à plus ou moins longues distances.

Matériaux primaires et variantes majeures

tassikérite^α (ou pétrocalite^{RW} / petrokérite*) :

Richard, Khebour, Labiadh, Morschel, 2005

Étymologie : de l'arabe, tassalob, « induration ».

Formes d'accumulation calcaire, continue mais pouvant révéler des éléments figurés (nodules, cailloux) et des structures de compaction ; induration résistante et continue, en dalle ou en croûte de dureté comparable à une roche : sonnante à la pioche, non pénétrées par les axes racinaires sauf à la faveur de fissures ; Matériau typiquement contenu dans l'horizon pétrocalcaire **Km**, du RP 1995.

tafékérite^α :

Étymologie : de l'arabe, tafatet : « friable ».

Richard, Khebour, Labiadh, Morschel, 2005

Formes de concentration calcaire en phase ou continue ; moins résistantes à friables, très variées :

- **protokérite* (ou protocolite^{RW})** : accumulation de calcaires secondaires formant un encroûtement plus ou moins continu (dalles, croûtes, nodules en rubans, ...); mais ce dernier reste peu durci, peu résistant et pénétrable par les racines ; matériau typiquement contenu dans l'horizon calcaire continu **Kc**, du RP 1995
- **calcoblaste¹³⁴** : concrétions blanchâtres très irrégulières, calcaires, discontinues et diversifiées : amas friables, nodules, « pseudo-mycélium », filons et revêtements riches en carbonate de calcium ; fragiles ; fréquentes dans les sols calcaires méditerranéens ; matériau caractérisant les horizons calcaires **K** selon le RP 1995 si plus de 15% vol de calcoblastes ; se développent le plus souvent dans les matériaux de type entaféron (= horizon **Ck** d'après le RP 2008)

calcinite^α :

Étymologie : du français, calcin, (1765, de calciner) : « dépôt de carbonate de chaux laissé sur les pierres calcaires par les eaux de pluies »

Formes de précipitation calcaire particulières : fins dépôts pulvérulents blanchâtres (tachant les doigts) distribués en phases dans les macropores ou dans les fissures des roches, depuis le métaplexion strict jusqu'à l'infraplexion.

gypsite^α :

Étymologie : du français du français ou de l'arabe : gypse

Formes de concentration ou d'accumulation gypseuses (indifférenciées) : phases ou matrice continue à cristaux de gypse plus ou moins visibles ; structures souvent massives, soit friables et comportant des amas plus durs et colorés (« encroûtements »), soit totalement durcies, cristallisées voire translucides et se débitant en feuillets ou lamelles grossières (« croûtes »).

Intergrades

- **kéra-gypsite^α** : gypsite développé dans une matrice déjà « enrichie » en calcaire (souvent situé en profondeur, transition avec les tassikérites)

Diagnostics structuraux^α

- **cristaloïde** : formes de concentration cristallisée, très dure
- **saccharoïde** : formes de concentration ou de concrétion au toucher rugueux, englobant des particules grossières (sables quartzeux)
- **nébuloïde** : taches ou formes de concentration en amas diffus, friable, peu contrasté (« crayeux »...)

¹³⁴ Les calcoblastes faisaient initialement partie des blastolites (= oxydons)

- **mycéloïde** : formes d'individualisation en « pseudo-mycelium » sous la forme d'un chevelu fibreux (ne pas confondre avec myéloïque°)
- **talcoïde** : formes de concentration poudreuse, fine, pulvérulente
- **ovoïde** : taches ou formes de concentration arrondie, aux limites nettes

Remarques et commentaires personnels dans le contexte de l'étude :

Les kérites (calites) ont été constatées dans les parties inférieures de certains vallons du Mont Coronat (versant Nord), mais n'on pas fait l'objet d'un relevé.

Pédochron* (ou structichron *lato sensu*) : matériau pédologique meuble, homogène et structuré

Chatelin et Martin, 1972 (structichron), Rambaud et Waechter, 2002 (brunichron), Richard, Khebour, Labiadh, Morschel, 2005 et A Müller (vertichron), modifications et ajouts d'autres orthotypes A. Müller

Étymologie : du grec ancien ΠÉΔΩΝ, pedon, « SOL »/ « terre » et de *chrôma*, couleur.

Caractères signalétiques

- Matériau caractéristique du métaplexion inférieur, meuble et homogène
- Texture : très fine, généralement plus argileuse que celles des autres matériaux en présence
- Le principal critère de reconnaissance est le développement d'une structure « pédique » caractérisée par des agrégats polyédriques fins ou grossiers, parfois juxtaposés à des micro-agrégats arrondis ou assemblés en macro-agrégats prismatiques. Si la structure est particulière (sans agrégats), les couleurs permettent une distinction des matériaux sus- et sous-jacents associés.
- Les couleurs, plus ou moins uniformes, souvent très vives, sont très significatives et varient du brun, brun clair, ocre à jaune, ocre rouge et rouge, parfois bleuâtre à grisâtre. Couleurs franches : elles sont respectivement et souvent plus vives que celles des autres matériaux en présence.
- En fonction de la texture, de la couleur et des caractéristiques bioclimatiques de l'échelle zonale à locale l'auteur distingue actuellement huit variantes majeures (structichrons, rubéchrons, brunichrons, luvichrons, andochrons, vertichrons, salichrons, chernochrons) avec de nombreuses variantes secondaires, les dernières cinq variantes majeures on été inédites jusqu'à présent mais s'inspirent fortement des horizons de référence du référentiel pédologique (cf. note ci-dessous).*

Processus, bilan et notes (Richard et al. 2005) : Processus de pédoplasation (et de pédoturbation, décarbonatation, argilification...) procurant au matériau de nouvelles propriétés mécaniques, différentes de celle des altérites ou des luérites : ce sont ces propriétés mécaniques qui permettent l'apparition de structures dites « pédiques ».

Note* :

L'essai de représenter les différents types de matériaux typiques des métaplexions inférieurs dans diverses régions climatiques du monde à généré cet essai de regroupement de tous les matériaux meubles, homogènes et structures à caractère « pédologiques » sous un seul orthotype, le pédochron (pour éviter la confusion avec le structichron typique du milieu tropical).

Afin de permettre un accès rapide du lexique aux personnes ayant des notions de pédologie nous avons adopté l'initiative proposé dans le lexique de Waechter et Rambaud (2002) : il a été précisé pour chaque orthotype lesquels des caractères visuels et texturaux permettent une mise en relation des matériaux avec les horizons pédologiques selon le référentiel pédologique de Denis Baize (INRA 1992, 1995 et 2008) afin de créer un référentiel des corps naturels localisés exhaustif en ce qui concerne les horizons structuraux (horizons S et associés selon le RP 2008 et horizons B et associés selon la Bodenkundliche Kartieranleitung 2005).

Matériaux primaires et variantes majeures

structichron (structichron orthique) (n.m.) :

Étymologie : contraction et dérivation suffixale du français structuré et du grec *chrôma*, couleur.

Matériau meuble, homogène et structuré, riche en sesquioxydes, à couleurs vives (milieu tropical ferrallitique). Correspond à l'horizon structuré (typique des ferralsols (FAO) ou sols ferrallitiques (RP1995)) à structure fine et couleurs vives jaunes et ou rouge.

- Texture : argilo-sableuse à sablo-argileuse
- Couleur : vive, homogène, jaune, ocre, rouge
- Structure : forte porosité, présence d'agrégats de dimension variable
- Matériau spécifique du métaplexion inférieur

Processus :

L'horizon structuré (sous-jacent aux appumites le plus souvent) se caractérise par une altération complète de minéraux primaires à l'exception de quartz (présence de gravelon quartzueux fréquent).

- **structichron rouge** : texture argilo-sableuse à argileuse, couleur rouge foncé à rouge pâle, fréquence des agrégats polyédriques, à différencier du rubéchron par la localisation : ici, transition domaines ferrallitique et fersiallitique
- **structichron ocre** : texture sablo-argileuse, couleur ocre à ocre pâle, généralement peu structuré
- **structichron psammitique** : texture sableuse ou sablonneuse, couleur ocre clair, structure massive et continue
- **structichron brun ou eutrophe** : texture argilo-sableuse, argileuse ou limoneuse, couleur ocre brun terne, agrégats bien délimités
- **structichron dyscrophe** : texture sablo-argileuse à sableuse, couleur influencée par la matière organique, ocre clair à marbrures gris clair ou grisâtres

rubéchron^{RW} (rubéchron orthique):

Étymologie : contraction et dérivation suffixale du français rubéfaction et du grec *chrôma*, couleur.

Matériau pédologique meuble, homogène et structuré, à couleurs vives rougeâtres carbonaté ou non, couleurs rouges (5Y, chroma >3.5 ou plus rouge). Structure anguleuse stable avec sous-structure millimétrique, mais cette structure (jamais micro-agrégée ou noduleuse) peut s'estomper en cas de présence de sables ou gravelons carbonatés (correspond aux matériaux présents dans les horizon FS du RP 1995); couleur rouge typique (de la « fersiallisation »), parfois plus ocre que rouge, forte structuration marquée par des emboîtements d'agrégats polyédriques très stables (à faces luisantes...) ; proche des structichrons rouges ou ocres...

- Couleur : rouge, jaune pour le rubéchron xanthochrome
- Texture : sablo-argileuse à argileuse.
- Caractéristique du métaplexion inférieur.
- possible sur tout type de régolite et d'altérite, à l'exception du malacolite marneux.

Processus :

Matériau d'altération de type bisialitique par hydrolyse et argilification (bisiallisation apparente : héritage ; bisiallisation vraie : néosynthèse): libération de fer et liaison avec l'argile entraînant des phénomènes de redistribution mécanique. L'illuviation d'argile, les revêtements et autres traits de textures peuvent être invisibles sur le terrain en raison d'intégration dans la masse basale (matrice). Structure anguleuse et stable, Couleurs rouges. Fréquent en milieu subtropical à saison chaude sèche (méditerranéen sec : sur matériaux filtrants et/ou acides, méditerranéen humide : sur matériaux carbonatés et/ou filtrants) ou en milieu tropical sur matériaux basiques (sauf calcaire) sans drainage climatique profond. Bonne rétention d'eau, CEC élevé.

- **rubéchron carbonaté*** : présence de carbonates effervescentes à l'acide chlorhydrique dans le matériau ; matériau typiquement contenu dans l'horizon FS carbonaté du RP 1995
- **rubéchron calcique*** : pas de présence de carbonates effervescentes à l'acide chlorhydrique dans le matériau, mais pH élevé ; matériau typiquement contenu dans l'horizon FS calcique du RP 1995
- **rubéchron xanthochrome* (=xanthochron*)** (Étymologie : de *xanthos* : jaune, jaunâtre) : Sous climat plus humide mais subtropical peut se développer un rubéchron de couleur

nettement plus jaunâtre (7,5YR ou plus jaune) à structure typique du rubéchron : anguleuse, nette, fine, à faces luisantes. Présence, parfois de fins enduits brillants noirs sur les faces d'agrégats et/ou accompagné de petits nodules noirs (redistribution de fer et de manganèse). Riche en fer libre, texture argileuse (matériau correspondant typiquement au contenu des horizons -j du RP 1995). Se développe parfois sous un rubéchron ou en aval de celui-ci.

brunichron^{RW}

Rambaud et Waechter, 2002 ; modifications A. Müller

Étymologie : contraction et dérivation suffixale du français brunification et du grec *chrôma*, couleur.

Matériau pédologique meuble, homogène et structuré à couleurs brunes (de la « brunification »).

- **Couleur** : brune à brun ocre
- **Texture** : essentiellement argilo-limoneuse ou argilo-sableuse, parfois sablo-argileuse ou limoneuse
- **Matériau spécifique du métaplexion inférieur. Fréquent sous climat tempéré.**
- Typiquement représenté par les matériaux contenus dans l'horizon S du RP 1995

Processus : Typique des climats tempérés, atlantiques ou semi-continentaux, le brunichron est un matériau pédologique, issu de l'altération modérée des minéraux primaires, accompagné de la libération d'oxydes de fer et d'une décarbonatation au moins amorcée. Il s'agit fréquemment de sols jeunes ou rajeunis. Une faible néoformation de minéraux argileux et la **formation de complexes argilo-humiques lui confèrent une couleur brune caractéristique et une structuration pédologique qui diffèrent des matériaux sus- ou sous-jacents.**

- **brunichron orthique*** (typique) : présent sous un humite, bonne activité biologique, texture argilo-limoneuse ou limoneuse, structure pédologique nette, généralement polyédrique, importante macroporosité liée à la pédoturbation (fissures, activités animales, pénétrations racinaires...), pH le plus souvent entre 5 et 6,5, sans carbonates libres (cf. brunichron carbonaté).
- **brunichron carbonaté** : brunichron marqué par la présence de carbonates de calcaire ou de magnésium ou par un complexe d'échange saturé dominé par le calcium ou le magnésium s'exprimant par un pH élevé (pH eau >6,5). Peut être différencié en fonction de la présence ou non de carbonates libres.
 - **brunichron calcaire*** : brunichron carbonaté, marqué par une effervescence généralisée (à froid) d'acide chlorhydrique dans la matière fine provoqué par la présence de minéraux calcaires ou de dolomites, (matériau typiquement contenu dans l'horizon Sca ou Sdo du RP 1995), fréquemment accompagné de gravelons carbonatés ou calcoblastes (ne pas confondre avec les matériaux de l'horizon K : accumulations discontinues des calcaires secondaires > 15% vol (si 2- <15% : phase calcique : cf. calite)
 - **brunichron calcique / magnésique*** : brunichron calcique, calcimagnésique ou magnésique où on n'observe plus d'effervescence à froid d'acide chlorhydrique, mais toutefois un pH élevé. Matériaux typiquement contenus dans les horizons Sci ou Sdo ou Smg (RP1995) des sols méso- ou oligosaturés sur régolites calcaires (ou dolomitiques) ou malacolites marneux calcaires. Texture le plus souvent argileuse ou argilo-limoneuse à argilo-sableuse sur dolomies.
- **brunichron psammitique**^{RW} : texture sablo-argileuse ou sableuse, se développe sur substrat leucocrate, gréseux ou dérivés (entaféron colluvial/morainique). Différence avec l'aréno-brunichron : commencement d'une structuration pédologique ou absence de structures altéritiques reconnaissables et brunification plus accentuée.
- **brunichron dyscrophe**^{RW} : couleur peu vive, ocre clair, parfois à marbrures gris clair ou grisâtres. Souvent plus limoneuse ou argilique que les matériaux sus- ou sous-jacents. Structure polyédrique subanguleuse associée à une structure grumeleuse très fine (microgrumeleuse). Présent le plus souvent sous un minérumite ou humite désaturé / oligo-saturé (dystrique). Caractérise les matériaux fins et structurés des sols bruns acides typiquement contenu dans l'horizon S d'un brunisol dystrique (RP 2008) ou dans l'horizon aluminique Sal d'un alocrisol dominés par des composés minéraux de l'aluminium. Selon le RP, ces matériaux disposent d'un faible pH (pH (eau) <5) et d'un faible taux de saturation

(S/T<30%) avec des couleurs aux teintes : 7.5YR à 10YR, chroma 4-8, valeur 5-6 avec parfois des taches brunes de 7.5YR ou 10YR 5/4 ou 4/4).

luvichron*

Étymologie : du grec *eluer*/RW : laver, rincer, et du grec *chrôma*, couleur.

Matériau pédologique meuble caractérisé par illuviation ou éluviation de certaines composantes via les précipitations infiltrées (eaux capillaires et gravitationnelles), notamment sur matériaux filtrants.

- Couleur : brune à brun ocre
- Texture : varié : argileuse ou argilo-limoneuse pour les luvichrons, sableuse ou sablo-argileuse pour les éluvichrons
- Matériau spécifique du métaplexion inférieur
- Fréquent sous climat humide, fréquent en zone tempérée mais aussi en zone tropicale, subtropicale ou boréale
- La couleur et structuration pédologique diffèrent en conséquence des matériaux sus- ou sous-jacents

Processus*:

Le luvichron est caractérisé par des processus d'illuviation ou/et d'éluviation liés à un régime climatique humide, accentué éventuellement par une texture spécifique (sableuse généralement) ainsi que par un chimisme défavorable (pH acide notamment) associé à un milieu tempéré ce matériel pédologique est généralement associé au brunichron.

- **éluvichron*** : matériau appauvri de sa fraction argileuse par lessivage (Matériau typiquement contenu dans l'horizon E du RP1995 ; couleur plus claire que les matériaux sous-jacents, texture sablo-argileuse ou sablo-limoneuse (moins sableuse)
 - **éluvichron humique*** : matériau appauvri mais de couleur grise par suite d'abondance de matières organiques de diffusion ; matériau typiquement contenu dans l'horizon Eh du RP1995
- **illuvichron*** : matériau enrichi de sa fraction argileuse par accumulation via les eaux gravitationnelles de pluie ; matériau typiquement contenu dans l'horizon B du RP1995 ; texture plus argileuse que les matériaux sus-jacents (et sous-jacents) ; apport verticaux et/ou latéraux, en milieu tempéré humide
 - **illuvichron argilique*** : matériau caractérisé par une accumulation d'argiles par apports verticaux et/ou latéraux ; matériau typiquement contenu dans l'horizon Bt du RP1995 ; se développe sous un brunichron éluvial ou un psammiton éluvial, sauf en cas de troncature du profil ; présence de revêtements argileux sur les faces des agrégats ou colmatant les vides du sol ; texture sablo-argileuse à argileuse
 - **illuvichron organo-alumique*** : matériau caractérisé par une accumulation relative de produits amorphes par rapport au matériaux sus- ou sous-jacents (matière organique, oxydes d'aluminium, éventuellement, oxydes de fer) ; matériau typiquement contenu dans l'horizon BP meuble du RP 1995 ; ne pas confondre avec le fragstérite alique (alios/ortstein des podzols, horizon BPinduré du RP1995) à résistance moyenne ; se développe généralement sous un humichron (minérumite), brunichron éluvial ou un psammiton éluvial, sauf en cas de troncature du profil)
 - **illuvichron vertique*** : plus argileux que l'illuvichron argilique son taux d'argile dépasse nettement les 40% (caractérise les BTt du RP1995)

salichron* :

Étymologie : contraction du latin *sal*, sel, et du grec *chrôma*, couleur

Matériau meuble, peu structuré, riche en sels, sodium ou gypse. Correspond aux matériaux contenu dans les horizons typiques des gypsosols (YS) gypsique (pas YM : petrogypsique), salisols SaS salique ou sodisols (NaS) sodique du RP 1995 ou aux solonchaks, solonetz et solods selon la typologie russe.

- Dureté : meuble à résistant
- Couleur : variée
- Texture : variée
- Matériau spécifique du métaplexion inférieur et infraplexion

- Fréquent sous climat aride et semi-aride

Attention : les matériaux regroupés dans les salichrons se distinguent dans leur fonctionnement chimique et biologique nettement des autres matériaux organo-minérales, les sels contenus ne sont cependant pas obligatoirement reconnaissables à l'œil nu. Typologie à développer si nécessaire.

Processus : Il est formé sous l'influence dominante des sels solubles, du sodium ou du gypse. Développé fréquemment sous climat aride ou semi-aride on trouve ce matériel également dans les situations particulières en climat tempéré (estuariers, zones endoréiques). Les sels sont d'origine marine, embruns éoliens, pétrographiques, volcaniques ou anthropiques). Les plus souvent il se développe en position topographique basse sur les entaférons, notamment en présence d'une nappe phréatique pour les salichrons sodiques et saliques.

- **salichron sodique*** : en climat aride ou semi-aride, riche en chlorure de sodium (correspond au matériau de l'horizon sodique **Na**, du RP1995)
- **salichron salique*** : accumulation des sels solubles divers (chlorures, sulfates, bicarbonates ou nitrates) dans un matériel pédologique, s'exprimant notamment par une conductivité élevée. (Correspond au matériau de l'horizon salique **Sa**, du RP1995)
- **salichron petrogypsiq*** : croûte indurée essentiellement gypsique (correspond au matériau de l'horizon **Ym**, petrogypsiq du RP1995)
- **salichron gypsiq*** : matériel pédologique contenant du gypse issu de roches évaporitiques (gypse ou anhydrite). (Correspond au matériau de l'horizon gypsiq de surface **Ys** ou de profondeur **Yp**, du RP1995)

vertichron* :

Étymologie : contraction et dérivation suffixale du vertisol (du latin *vertere* : tourner) et du grec *chrôma*, couleur.

Matériau pédologique dense, structuré à granulométrie très fine, argileux, à faces de glissements, de couleur grise ou terne (correspond aux matériaux fins de l'horizon vertique **V** du vertisol du RP1995).

- Couleur : gris, noirâtre en raison de l'intégration de matière organique en position interfoliaire des argiles ; parfois violacé ou rougeâtre (développé sur structichrons ou rubéchrons) ou brunâtre (sur brunichron)
- Texture : très argileux (>40%).
- Matériau spécifique du métaplexion inférieur
- Climat alternant entre périodes sèches et humides : tropical semi-aride à sub-humide, climat méditerranéen et sub-méditerranéen, sinon l'expression d'un paléoclimat de ce type
- Caractérisé par une dynamique de gonflement et de rétractation selon les périodes de dessèchement
- Présence de faces de glissements ou au moins d'une structure prismatique grossière polyédrique

Processus : Le taux élevé d'argiles et notamment d'argiles gonflantes (smectites) contenu dans cette matière organo-minérale a pour conséquence une dynamique dépendante de l'état hydrique du sol : humide, la pression des argiles gonflantes cause des mouvements internes qui peuvent provoquer des faces de glissements (*slickensides*) sur les agrégats, voire une pédoturbation et un microrelief spécifique en surface. Sèche, cette matière se caractérise par des fentes de sécheresse. Les agrégats en plaquettes obliques sont fréquents. Couleurs grises, très fortes teneurs en argiles (gonflantes), densités apparentes élevées et comportement structural typique : Structure massive lors des périodes humides, fortement fissuré lors des périodes de dessèchement (réseau de fentes de retrait).

- **vertichron leptique*** : structure polyédrique fine et une sur-structure prismatique grossière, bien développé mais pas de faces de glissements, matériau limité en profondeur par un régolite ou un calite (kérite) ; correspond au matériau de l'horizon structural vertique **SV** du proto-vertisol (leptismectisol) du RP1995

andochron* :

Étymologie : du japonais *an-* (noir) et *-do* (sol), ou dérivation du terme pédologique français de *andosol* (ou *andisol* selon la FAO) suffixale suivi du grec *chrôma*, couleur.

Matériau pédologique dense, homogène à structuration fine et de couleurs ternes développées sur des matériaux d'origine volcanique.

- Couleur : foncé, noirâtre, souvent humifère
- Texture : typiquement microgrumeleuse (micro-agrégats), farineuse (« fluffy »), faiblement collant, peu plastique et friable, densité faible, selon le matériel volcanique (cendres, pyroclastiques) sur lequel se développe le matériel
- Matériau spécifique du métaplexion inférieur, toutes zones climatiques en région volcanique
- Pas d'association avec les luvichrons

Processus : Les andochrons sont caractérisés par deux différents processus d'altération biogéochimiques : hydrolyse et complexation par les acides organiques. L'hydrolyse domine en climat chaud, humide ou sous conditions légèrement acides à modérément alcalins (andochron silandique). La complexation des acides organiques se fait sous conditions acides (<PH5, Rhyolithes, ou verres volcaniques) et climats plus frais (T° moyenne <12°C). La distinction du andochron silandique et aluandique ne peut se faire qu'à l'aide d'une estimation du pH (pH eau <5.0 pour les A. aluandiques, >5.0 pour les A. silandiques).

- **andochron silandique*** : généralement climat tempéré à chaud, peu dense, couleur plus ou moins vive, humifère, à structure polyédrique fine, continue ou grenue ; correspond au matériau de l'horizon silandique (Snd) du RP1995
- **andochron aluandique*** : sous climat plus frais et/ou plus humide peu dense, couleur plus ou moins vive, humifère, à structure microgrumeleuse ou granulaire fine ; correspond au matériaux de l'horizon aluandique (Slu)

chernochron* :

Étymologie : cherno- (du russe : noir) suivi du grec *chrôma*, couleur.

Matériau pédologique homogène et structuré de couleurs foncées, couleurs noires et brunes, très humifères

- Couleur : foncée, brune, teintée de noir, humifère
- Texture : typiquement polyédrique fine à grumeleuse ou subangulaire
- Structure polyédrique très nette avec une sur-structure prismatique
- Bonne activité biologique et bonne aération
- Climat contrasté continental (steppique)
- Matériau spécifique du métaplexion inférieur
- Développé sous d'épaisses mélanumites
- Surtout sur malacolites et entaférons

Processus : Les chernochrons sont caractérisés par des processus de décomposition et accumulation de matières organiques issu de la végétation des steppes (mélanisation) sous l'influence d'un climat continental à fortes amplitudes thermiques.

- **chernochron (chernochron orthique)*** : d'une certaine épaisseur il est caractérisé par des revêtements humifères au sein d'un sol structuré, organo-minéral. Correspond au matériau de l'horizon humifère Sh du chernosol et phaeosol encore assez riche en matière organique (RP 2008), surmonté d'un chernumite.
- **chernochron argileux*** : Caractérisé par une certaine illuviation d'argiles pas encore très nette, (pas suffisante pour le qualifier d'illuvichron argilique) souvent également assez humifère. Correspond au matériau de l'horizon humifère St du chernosol et phaeosol

Intergrades des pédochrons :

- **structichron ocre - rouge** : moins coloré que le structichron rouge, plus argileux que le structichron ocre
- **humo-structichron*** (ex- structichron humitique) : intergrade avec les humichrons, structichron à plus forte teneur en matière organique.
- **bruni-rubéchron*** : rubéchron sous climat tempéré (relictuel), non enfoui, avec une couleur rouge brunâtre avec une tendance à la brunification en cours

- **éluvi-rubéchron*** : rubéchron caractérisé par un début d'éluviation d'argiles, d'oxydes métalliques et/ou de matières organiques mais dont la texture et/ou la couleur ne varient que très légèrement des matériaux sus- ou sous-jacents
- **rubéchron illuvié*** : rubéchron caractérisé par un début d'illuviation d'argiles, d'oxydes métalliques et/ou de matière organique mais dont la texture et/ou la couleur ne varient que très légèrement des s matériaux sus- ou sous-jacents
- **illuvi-rubéchron*** : illuviation d'argiles accentuée, normalement surmontée d'un éluvichron ; matériau typiquement contenu dans les horizon **FSt** du RP 1995
- **paléorubéchron brunétique*** : rubéchron enfoui (relictuel) avec un développement brunichrome notamment dans sa partie supérieure en cours, visible par sa coloration en dessous de l'humichron
- **alté-brunichron*** : intergrade entre un brunichron et un altérite marqué par un début de brunification (la présence de complexes organo-minéraux) qui le distingue du matériau altéritique sous-jacent ou juxtaposé, mais proche de celui-ci en étant caractérisé par une teneur importante en minéraux altérés et des caractéristiques pédiques peu nettes qui le distinguent toutefois de l'**alté-entaféron** et de l'**altérite**. L'alté-brunichron n'a pas subi de déplacement notable ce qui permet de le différencier des (intergrades d') entaférons. Dans la matrice fine constituée par l'alté-brunichron les éléments grossiers >2mm sont constitués d'**alté-gravelons**, de **régo-gravelons** ou de **régo-altérites**.
- **aréno-brunichron*** : brunichron sableux, caractérisé par une teneur importante de sables (grossiers) (moins de 12,5% d'argile, >65% de sable) issu de l'altération des granitoïdes, marqué par un début de brunification (la présence de complexes organo-minéraux) qui le distingue du matériau altéritique sous-jacent (différence avec **entaféro-arénite**, **alté-entaféron**, **régo-arénite** & **arénite** : absence de caractéristiques pédiques). Cependant la structure pédique est peu nette en raison de la granulométrie trop sableuse et ou la présence dominante de gravillons (voir présence d'**aréno-gravelon** et de **régo-gravelon** pour les éléments grossiers, >2mm).
- **humobrunichron*** (ex-brunichron hémio-organique*) : brunichron à forte teneur de matière organique, néanmoins plus faible que dans l'humite le surmontant. (Matériau typiquement contenu dans les horizons **Sho**, selon le RP 1995). Se différencie du **bruni-humite** par son épaisseur, peut être associé aux usages pastoraux de longue date.
- **enta-brunichron*** : Il s'agit d'un brunichron d'étendue verticale conséquente due à un colluvionnement de matériaux brunichromes, ce qui lui confère des caractéristiques d'un entaféron. Situé souvent en bas de versant, il a une étendue verticale plus importante que d'autres sols d'âge comparable. Couleur brune, mais structures pédiques peu développées. Correspond aux matériaux fins de l'horizon **M** du Kolluvisol (BKA). Ne pas confondre avec le **bruni-entaféron**, témoignant d'un début de brunification dans la partie supérieure d'un entaféron. Il se distingue de l'**humobrunichron** par une teneur en composantes minérales plus importante. Comme ce dernier, il peut être associé aux usages pastoraux de longue date.
- **rubé-brunichron*** : brunichron développé sur un rubaltérite ou un entaféron rubéchrome; couleur brun-rouge
- **éluvi-brunichron*** : brunichron caractérisé par un début d'éluviation d'argiles, d'oxydes métalliques et/ou de matières organiques mais dont la texture et/ou la couleur ne varient que très légèrement des matériaux sus- ou sous-jacents
- **illuvi-brunichron*** : brunichron caractérisé par un début d'illuviation d'argiles, d'oxydes métalliques et/ou de matières organiques mais dont la texture et/ou la couleur ne varient que très légèrement des s matériaux sus- ou sous-jacents
- **xanthé-brunichron*** : brunichron développé sur un (le xanthéchron) de couleur brun jaunâtre, très argileux ; matériau typiquement contenu dans l'horizon **Sj** du RP 1995
- **vertichron rubéchrome*** : développé sur un rubaltérite ou un entaféron rubéchrome : couleur rougeâtre ou violacée
- **vertichron brunéchrome*** : Issu de malacolites argileuses ou marneuses compactes à structure polyédrique grossière ou prismatique et texture argileuse sur une épaisseur > 30cm, caractérisé par une dynamique de compression et de glissement, mais absence d'une véritable pédoturbation (typique des vertichrons orthiques); correspond au matériau de l'horizon pélosolique **Sp** du RP1995

- **chernu-chnochron*** : intergrade correspondant à la transition souvent graduelle entre le chernumite (caractérisant les tchernozems) et les matériaux du chnochron (horizons structuraux sous-jacents **Sh** et **St**)
- **illuvi-chnochron*** : d'une certaine épaisseur il est caractérisé par des revêtements organo-argileux il se reconnaît à sa couleur brunâtre et l'absence d'éluvichron au-dessus. Correspond au matériau de l'horizon argilo-humifère **BTh** du chernosol, grisol et phaeosol
 - **illuvi-chnochron siltané*** : comme le chnochron argilluvique avec des « revêtements » blancs sur les faces et arrêtes des agrégats témoignant d'un départ de matière visible à l'œil nu. Correspond au matériau de l'horizon argilo-humifère **BThd** du grisol
- **éluvi-chnochron humique*** : Matériau organique gris témoignant une éluviation d'argile mais une accumulation relative de matière organique ; correspond au matériau de l'horizon argilo-humifère **Eh** du grisol

Diagnostics structuraux

- **aclode α** : (= psammoclode) structure « particulière », sans agrégats... (notamment salichrons, luvichrons, parfois intergrades du brunichrons)
- **aliatode** : micro-agrégats et particules de diamètre inférieur a 1 millimètre ; structure poudreuse formant des ensembles poreux ; friables et continus (structichrons, rubéchrons, brunichrons, luvichrons, chnochrons, salichrons, parfois andochrons)
- **amérode** : améro-structure massive et continue, ne montrant que quelques fissures verticales (de dessiccation...) (structichrons, rubéchrons, vertichrons,...)
- **anguclode** : agrégats bien délimités, à faces structurales planes et arêtes nombreuses, agrégats anguleux polyédriques bien délimités de texture fine (structichrons, rubéchrons, vertichrons)
- **araclode α** : structure en « mottes » due au travail du sol (labourage, bêchage, buttage...). Dans le cas des cultures mécanisées, on peut distinguer des structures giga- et macroaraclode selon le degré de fractionnement des mottes (lié aux passages répétés des engins de labour). (Tout type de matériaux suffisamment fertiles pour subir une utilisation agricole, le plus souvent absence d'organumites en surface)
- **grumoclode^{RW}** : agrégats arrondis et centimétriques, plus ou moins agglomérés ; structure grumeleuse. (notamment andochrons, brunichrons, chnochrons, luvichrons, rubéchron)
- **nuciclode^{RW}** : petits agrégats arrondis, structure grenue (brunichrons, luvichrons, andochrons)
- **pauciclode** : à faces structurales planes, arêtes anguleuses ou émoussées, agrégats non ou peu individualisés structure polyédrique sub-anguleuse (Fréquent, notamment brunichrons, luvichrons, andochrons, rubéchrons, structichrons, ...)
- **polyclode α** : structure en agrégats anguleux multiples, structure complexe, surtout apparente à l'état sec, faite de colonnes ou de gros prismes verticaux (isolés par des fissures élargies) se débitant en agrégats polyédriques (vers leur base) ou en lamelles (vers leur sommet) (vertichrons, structichrons, rubéchrons,...)

Remarques et commentaires personnels dans le contexte de l'étude concernant l'ensemble des pédochrons* :

Les brunichrons assez jeunes représentent les matériaux organo-minéraux typiques de la région de montagne, au moins là où les sols sont suffisamment profond pour avoir développé un horizon structuré à teneur réduite de matière organique. Les brunichrons calcaires/magnésiques et calcaireux ont été regroupés sous l'appellation des brunichrons carbonatés.

N'ont pas été constatés :

- Les luvichrons se développent généralement dans les zones et régions avec peu ou pas d'apport gravitationnel récent des matériaux et un drainage par la circulation des eaux de pluies dans le sol doit être très élevé. En conséquence ce matériel est plus rare en zone de montagne où le remaniement des sols est généralement assez récent
- Les rubéchrons, en raison de l'étendu réduite de la partie calcaire du Madres-Coronat en milieu thermo- et supraméditerranéen ne sont présentés que sous forme de paléorubéchrons ou intergrades des rubébrunichrons

- Le salichron n'a pas été discerné sur l'ensemble du terrain d'étude en raison d'absence d'influence pétrographique gypsique ou sodique, ainsi qu'en raison du relief et du climat rendant improbable des zones d'accumulation de sel par évaporation
- Les structichrons se limitent à la région tropicale et subtropicale et n'ont pas été rencontrés sur le massif de Madres-Coronat
- Le chernochron n'a pas été discerné sur l'ensemble du terrain d'étude en raison d'absence du climat de steppe continentale requis pour son développement
- Le vertichron n'a pas été discerné sur l'ensemble du terrain d'étude en raison des textures plutôt grossières et des dynamiques érosives intenses
- Les andochrons n'ont pas été discernés sur l'ensemble du terrain d'étude en raison de l'absence de roche volcanique.

Les formations superficielles sous-jacentes correspondent habituellement aux altérites ou luérites. La transition avec le solum est ordinairement progressive et peut se faire au moyen d'intergrades (bruni-entaféron, bruni-arénite,...). A l'exception de l'aréno-brunichron il n'a pas été nécessaire de créer des intergrades entre les pédochrons (structichrons *s.l.* brunichrons etc.) et les altérites pour caractériser les matériaux à la transition des horizons S-C (RP1995) ou Bv-Cv (BKA2005). Les altérites (allotérite...) constituent déjà des intergrades entre pédochrons et régolites, il est alors possible de signaler la transition entre un altérite et un pédochron par la présence simultanée (en volumes) des ces deux matériaux.

Humichron*: matériau organo-minéral avec une forte teneur en matière organique

Beaudou et Sayol, 1980

Étymologie : dérivation suffixale du latin *humus*, terre et du grec *chrōma*, couleur.

Caractères signalétiques

- Matériaux meubles et homogènes
- Couleur : gris clair, brun à noir
- Structure : fine à grossière
- Caractéristique du métaplexion inférieur
- Texture : homogène mais variée, les textures sont « équilibrées » (teneur en sables, argiles et limons) les couleurs sont ternes ou foncées (brunâtres, grisâtres), traduisant une relative abondance de matière organique.
- Correspond aux matériaux des horizons A des sols (RP1995/2008) avec, par définition, une teneur inférieure à 30% de carbone organique, distinguant ainsi les humichrons des organumites. Ne pas confondre avec l'humus (= organumites, correspondants aux matériaux des horizons O)
- Se distingue des matériaux sous-jacents par une teinte nettement influencée par la matière organique

Processus (et bilan)

Les humichrons* (ou humites *lato sensu*) sont issus de la décomposition des organumites. Les humichrons, matériaux organo-minéraux ou « hémioorganiques » sont issus de l'incorporation de la matière organique au complexe d'altération, (éléments minéraux issus de l'altération de la roche-mère, d'après Duchaufour 1997). Les processus sont ceux de la pédoplasation et de la pédoturbation (*cf.* structichron) auxquels s'ajoutent des apports organiques de nature complexe, « humifiée » ou « minéralisée ». La formation des matériaux organo-minéraux reste conditionnée par de nombreux facteurs : nature de la litière, nature du substrat, activité biologique et pédoclimat. Selon les cas, les agrégats arrondis formés grâce à ces « humus » seront plus ou moins grossiers, résistants et poreux. ☒ La granulométrie, en raison du fort taux de matière organique trompeur ne peut pas être déterminée avec certitude (confusion avec les argiles au test tactile). Par correspondance avec les référentiels pédologiques allemands et français, un humichron devrait ne pas dépasser 30% de matière organique sinon on le considérera comme un organumite. Sur le terrain, le principal moyen de reconnaissance étant la couleur, défini à l'état humide ou

sec selon la *valeur (value)* de la charte des couleurs MUNSELL (cf. BKA 2005 : tableau 14, p.111). La texture, la présence et le type d'organumites soutiennent le diagnostic.*

Matériaux primaires, variantes majeures et secondaires

humite (orthique*):

Le principal critère de reconnaissance de l'humite orthique (*humite sensu strictu*) est le développement d'une structure « pédique », généralisée ou sous forme de phases, caractérisée par la formation d'agrégats arrondis. L'humite se caractérise par une structuration pédologique d'origine biologique et l'horizon correspondant à ces matériaux fins est qualifié en pédologie habituellement de « biomacrostructuré » ou encore « d'insolubilisation ».

- couleur variée toujours foncée
- teneur forte en matière organique
- Structuré et homogène ; correspond aux matériaux présents dans les horizons A (RP 2008) typiquement présents en dessous les humus de type " mull "
- macrostructuration biologique, structure le plus souvent grumeleuse

Note (d'après Richard et al. 2005) : L'orthotype humite correspond à un état biotique « moyen » (marqué par une intense activité microbienne et mycophytique). Situé entre un pôle vérumique ou chernique (« très actif ») et un pôle appumique (« très peu actif »), il s'individualise par des agrégats résistants, de quelques millimètres, fixant la matière organique minéralisée.

- **humite carbonaté*** : caractérisé par une biomacrostructuration et une structure grumeleuse, polyédrique ou grenue, ainsi que par la présence de carbonates de calcaire ou de dolomies, sinon par la présence de calcium ou de magnésium dans le complexe d'adsorption (pH élevé)
 - **humite calcareux*** : caractérisé par la présence de calcaire ou de dolomite s'exprimant par une effervescence à froid de l'acide chlorhydrique HCl ; correspond aux matériaux fins contenus dans l'horizon Aca du RP 1995
 - **humite calcique*** : caractérisé par une saturation et un pH élevés, mais absence d'une effervescence à froid de HCl ; correspond aux matériaux fins contenus dans l'horizon Aci du RP 1995
- **humite héli-organique *** : caractérisé par une teneur importante en matière organique (>8%, mais <30% pondéral, sinon voir organumites) ; correspond au matériau de l'horizon Aho du RP1995, typique pour les organosols, alocriols ou podzosols humiques. Minéralisation lente en raison d'une activité biologique influencée par un climat tempéré frais assez humide (moyenne montagne...) associé souvent à un passé pastoral. Peut surmonter un brunisol héli-organique à dyscrophe. Se différencie du minérumite par une teneur en matière organique plus importante, du mélanumite par des conditions d'aérobiose (aérobie), du vérumite (**humite veratique**) par une plus faible activité biologique (pas de vers de terres géants) et en conséquence par l'absence d'une biomacrostructuration grumeleuse à polyédrique, et du chernumite par des conditions climatiques (de mise en place) différentes.
- **humite psammitique** : texture sableuse à sables grossiers, fréquent sur les substrats leucocrates ou gréseux ; La structure peut être encore grumeleuse ; possible juxtaposition des déjections de vers de terre avec ceux des enchytrachéides, microanthropodes *etc.* (mais pas de juxtaposition des particules minérales et boulettes fécales : cf. minérumite)
- **humite veratique*** (ex- **vérumite**▣) : Matériau contenu dans un hoplexol (ou horizon pédologique) épais du à une forte activité de vers de terre géants (ex. Béarn, forêt noire, climat humide généralement) ; pôle des fortes activités biotiques : matériau très aéré, caractérisé par des agrégats centimétriques assez denses, bien formés, surtout liés au brassage continu par les vers de terre (formant une phase voire une matrice macro-coprumique continue)
Étymologie : du latin, vermis : « ver »
- **humite vertique*** : caractérisé par la forte présence d'argiles (>40%) ayant pour effet une faible porosité intra-agrégats, des effets forts de dessiccation (pouvant conduire à un auto-paillage (*self-mulching*) et une forte plasticité malgré l'activité biologique élevée et la structure grumeleuse ; correspond au matériau de l' horizon Av du RP1995

- **humite silandique*** : couleur sombre ou noir à structure microgrumeleuse (« fluffy »), associé aux andochrons silandiques sur matériaux volcaniques. (pH >4.5, > 3% de carbone organique) ; correspond au matériau de l'horizon **And** du RP 1995
- **humite aluandique*** : couleur noir à structure microgrumeleuse (« fluffy »), toucher onctueux, associé aux andochrons aluandiques sur matériel volcanique, (pH <4.5, > 3% de carbone organique) ; correspond au matériau de l'horizon **Alu** du RP 1995
- **humite vitrique*** : caractérisé par la présence de verres volcaniques pyroclastiques non altérés (> 60% de la fraction des sables et limons), sus-jacent au malacolite vitrique ; correspond au matériau de l'horizon **Avi** du RP 1995

minérumite^{RW}:

Caractérisé par une faible activité biologique, matériau organo-minéral hétérogène, aux couleurs variées ; il se caractérise par une faible activité des vers de terre et un « turnover » lent : correspond aux matériaux caractérisant les horizons **A de juxtaposition** qui se trouvent les plus souvent surmonté par des humus de type « moder » et « mor » (Baize & Jabiol, 1995) aux phases minérales et organiques dissociées (juxtaposition de grains minérales et de matières organiques souvent présentes sous forme de boulettes fécales), sinon aux matériaux caractérisant les horizons **A d'insolubilisation** (minérumite mycolytique) avec une structure micro-grumeleuse issu de précipitations physicochimiques qu'on retrouve typiquement en dessous des horizons OH de certains podzols et des hydromors (Baize 2004).

- **minérumite mycogénique*** : Structure microgrumeleuse issu de précipitations physico-chimiques, permettant une forte insolubilisation des molécules solubles. Activité biologique modéré (faible activité des vers de terre), relayée par une forte activité mycolytique (champignons saprolytiques). Correspond aux matériaux contenus typiquement dans les horizons **A d'insolubilisation** (RP 1995 et 2008) surmonté par un humus de type « oligomull mycogène».

mélanumite[Ⓜ] :

Matériau organo-minéral à très forte teneur en matière organique (<30% pondéral). Couleur grise foncée à noire ; correspond au matériau organo-minéral des pseudo-tourbes ou « anmoor » de l'horizon **An** (RP 1995)^{RW}. Matériau noir ou gris foncé caractérisé par une structure fondue, plastique, uniforme à l'état humide, laissant apparaître des agrégats arrondis à l'état sec ; souvent en intergrade avec des matériaux « hydromorphes » et vertiques. Se développe sous influence d'un engorgement prolongé bénéficiant de courtes phases d'assèchement et d'aérobiose (Duchaufour, 2001). En raison de sa couleur foncée, ne pas le confondre avec les nécrumites, histites (cf. organumites) ou le chernumite. Correspond au matériau défini sous le nom de **nigrumite** par Waechter et Rambaud.

arumite^{RW 135}:

Étymologie : du latin *arare*, labourer, d'après Rambaud et Waechter

Matériau organo-minéral artificialisé par un labour ou un autre travail du sol (irrigation, amendements, épandages divers) ; texture diverse, structure liée au travail du sol. Actuellement influencé par les activités agricoles (cf. intergrades).

- **arumite rubéchrome** : arumite développé sur un rubéchron.
- **pelmarumite** : (du grec *pelme*, semelle) ; semelle de labour ; structure lamellaire caractéristique formant un obstacle au développement des rhizophyses et à l'infiltration de l'eau.

appumite :

Texture sablo-argileuse, appauvri par le lessivage en argile et en sesquioxydes ; caractéristique de certains sols ferrallitiques ; texture sablo-argileuse, couleur variée, brun à gris, teneur faible à moyenne en matière organique, surmonte fréquemment les structichrons en zone tropicale ou sub-tropicale. Pôle des faibles activités biotiques : matériau caractérisé par des structures

¹³⁵ Considérée comme une variante principale de l'orthotype rudéfact[Ⓜ] par JF Richard, F. Khebour et al. 2005

massives ou particulières, relativement « appauvries » en argiles, en fer et en matière organique, cette dernière résidant surtout dans une phase micro-coprumique plus ou moins abondant.

- **appumite psammitique** : texture sableuse à sables grossiers, couleur hétérogène (taches sombres liées à l'accumulation de matière organique ou claires et sableuses d'origine éluviale)

chernumite^α

Étymologie : du russe, tchernia : « noir ». D'après Richard, Khebour, Labiadh, Morschel, 2005, proche de la définition de mélanumite donné par Rambaud et Waechter.

Pôle des fortes activités biotiques : matériau foncé, fortement coloré par la matière organique, caractérisé par des agrégats centimétriques légers et poreux, surtout liés au rhizophyse (= grumorzize) (matériau « isohumique » ou « clinohumique », dont les teneurs en matière organique et les couleurs foncées diminuent régulièrement avec la profondeur). Favorisé par des alternances d'humectation et de dessiccation, ce matériau serait issu du processus de la mélanisation¹³⁶ (Duchaufour, 1997), produit par une intense bioturbation. (Caractérise les matériaux de l'horizon **Ach** (horizon chernique) des chernosols, grisols, et phaeosols selon le RP1995). Le chernumite s'observe sous climat continental et végétation steppique et correspond au matériau défini sous le nom de mélanumite par Waechter et Rambaud.

Intergrades des humichrons :

- **arumi-humite* ou humite arumitique*** : arumite abandonné (non cultivé actuellement), couvert par une végétation spontanée ou des pâtures/près ayant parfois déjà subi dans sa partie supérieure une transformation en humite issu d'un développement récent (enrichissement). Une limite inférieure assez nette peut être un indice pour ce matériel, à condition qu'il s'agisse d'un matériau bien structuré, suffisamment saturé (CEC) dans un environnement où la culture était probable ou certifiée. Ne pas confondre avec un **paléo-arumite**, ayant subi un enfouissement par alluvionnement / colluvionnement
- **bruni-humite*** : matériau surmonté d'un humite et caractérisé par une brunification une teneur encore assez forte (coloration intermédiaire) de matière organique : transition entre un brunichron et un humite ; présent notamment dans les sols jeunes, peu profonds où l'on constate l'absence d'un véritable brunichron (pédochron)
- **paléo-humite*** : humite ou arumite encore visible, enfoui, surmonté d'entaféron, gravelon, pédochron et/ou de humichrons de développement plus récent. Ne pas confondre avec un **humite arumitique**
- **paléo-arumite*** : arumite encore visible, enfui, enfoui, surmonté d'entaféron, gravelon, pédochron et/ou de humichrons de développement plus récent. Ne pas confondre avec un **humite arumitique**
- **structi-appumite*** : transition conséquente (coloration...) entre un structichron et un appumite avec une structure pédologique développée intermédiaire mais encore caractérisée par une faible teneur en matière organique (couleur brun à ocre -rouge clair), horizon mal différencié du structichron
- **appumite hypoépilitique^α** : appumite intégrant des phases mésoépilitiques enfouies (à ne pas confondre avec l'incorporation, plus fréquente, de phases hypodermilitiques)

Diagnostics structuraux

- aliatode : particules individualisées et libres, ensemble d'aspect poudreux, structure particulaire
- amérode : absence d'agrégats, aspect fondu et massif, structure massive
- anguclode : à agrégats polyédriques anguleux bien délimités
- araclode ou agriclode : à structure en mottes fractionnées
- grumoclode : à agrégats arrondis, centimétriques
- nuciclode : à petits agrégats émoussés

¹³⁶ Acquisition d'une couleur noire ou foncée par un horizon de sols argileux suite à la pénétration de petites quantités de matière organique dans les feuillets d'argiles en position interfoliaire (Petit lexique de Pédologie, D. BAIZE)

- pauciclude : à petits agrégats sub-anguleux peu individualisés

Remarques et commentaires personnels dans le contexte de l'étude* :

Les humichrons, indispensables dans la caractérisation du métaplexion inférieur de la plupart des milieux naturels ont été notamment représentés par les humites et les minérumites, par endroits relayés par des intergrades avec les arumites en raison d'une pression agricole beaucoup plus forte dans le XIX^{ème} siècle.

Concernant les arumites : en raison d'une absence de vérification des propriétés physico-chimiques sur place les arumites se reconnaissent plutôt à la transition très nette entre les humites et les structichrons/ brunichrons/ chernochrons (des horizons A et B selon le référentiel pédologique) de couleur plus claire. Si il n'y a plus d'utilisation culturale présente au moment du relevé (friche), les arumites sont souvent surmontées par des organumites encore peu épaisses et le plus souvent de bonne qualité (présence rare de nécrumites). On peut affirmer la présence de l'arumite s'il y a présence d'autres indices liés à la morphologie et position sur le terrain, notamment en cas de présence de terrasses de culture, de sillons de labour etc. ainsi que la présence d'espèces indicatrices de bonne fertilité du terrain. Dans le cas des paléoarumites ces derniers sont le plus souvent surmontés de colluviférons ou alluviférons (entaféron colluvial /alluvial) qui peuvent déjà avoir subi un début de pédogenèse et ont alors évolués vers les structichrons/brunichrons/...

Rhizophytion : ensemble de systèmes racinaires et de complexes organo-minéraux associés

Guillaumet et Kahn, 1978

Étymologie : rhizophytion du grec *rhiza*, racine et *phuton*, plante.

Caractères signalétiques

- Racine : partie axiale souterraine des plantes vasculaires
- Radicelle : filament provenant de la ramification des racines plus importantes
- Structures végétales généralement souterraines mais en grande partie situées à proximité de la surface du sol : les racines sont caractérisées par l'absence de nœuds, de bourgeons, de feuilles et, sauf certaines racines aériennes, par l'absence de chlorophylle ☐
- Ces structures sont différenciées : la nature et la forme des éléments directement visibles dans une tranchée du sol permettent de distinguer immédiatement deux orthotypes, les rhizagés et les rhizophyses ☐

Processus et bilan (d'après Richard et al. 2005) : On distingue trois modes de croissance et d'occupation de l'espace - sol par les systèmes racinaires :

- (1) les « systèmes primaires », constitués d'une phase orthotrope élaborant une phase plagiotope plus ou moins hiérarchisée
- (2) les « systèmes secondaires », essentiellement plagiotropes, venant en remplacement d'une phase orthotrope abortive
- (3) les « systèmes mixtes », où un système racinaire secondaire vient suppléer au système racinaire primaire en cas de déficience génétique ou écologique (processus rappelant celui de la réitération des cimes arborées)

Ces trois types d'architectures sont difficiles à observer et n'ont pas fait l'objet de diagnostics de terrain.

Matériaux primaires et variantes majeures

rhizagé :

Axes racinaires ligneux et épais, grosses racines de pénétration. Véritable charpente du système racinaire, assurent principalement la fixation du végétal au sol et la conduction de la sève. Selon les végétaux (arbres ou arbrisseaux) la taille varie considérablement : de quelques millimètres de diamètres (>5mm de diamètre) à plusieurs dizaines de centimètres. La plupart des axes sont superficiels (« racines latérales »), quelques-uns s'enfoncent profondément (« racines pivotantes »).

- **hypso-rhizagé** : racines aériennes pendantes ou épiphytiques, émises par certaines grosses branches d'arbres, susceptibles de s'ancrer au sol ; racines échasses
- **épi-rhizagé** [rhizagé épigé]: racines situées à la surface du sol, racines palettes, contreforts ; « Racines traçantes » rayonnant à fleur de sol (d'autres formes de ce genre peuvent être identifiées et interprétées en fonction de la réitération végétative, notamment en forêt dense humide.) (cf. hypo-dendrigé : xylagon)

rhizophyse :

« Chevelu racinaire », racines grêles, fines, très ramifiées, assurent les échanges d'eau et de nutriments entre le sol et la plante : fines racines d'expansion et d'exploitation du milieu souterrain (fonctions analogues et symétriques à celles du feuillage). Chevelu souvent très ramifié, issu des racines principales, des stolons ou rhizomes et des plateaux de tallage, dont le tracé (arborescent ou dendritique) et la couleur (brune, blanche ou noire) révèlent certaines contraintes édaphiques. Selon les végétaux (arbres ou herbacées) le diamètre de la rhizophyse varie considérablement : généralement des racines à diamètres millimétriques ou plus fins (< 5mm environ), peu ou pas lignifiées. En forêt, on peut en trouver à la surface du sol, ou même en hauteur, dans les bois morts et pourris, exploitant le nécro-stylagé.

grumorhize (n.m.) :

Matériau associant au chevelu racinaire très fin des agrégats organo-minéraux très développés et résistants; forment des plaques souvent présentes sous les pelouses. Étroite association entre un rhizophyse et un humite nuciclude : de nombreux agrégats « pédiques » arrondis restent attachés au chevelu racinaire (« feutrage ou mat racinaire »). En coupe, ce matériau est souvent situé à la base des touffes d'herbe et vient alors en remplacement des dermites de la « surface du sol ».

cryptagé :

Rhizome, stolons à la surface du sol, présentant des écailles foliaires et des noeuds caractéristiques des herbacées dont l'architecture est de type dromoïde. Tiges (rhizomes ou stolons) situées à fleur de sol, caractéristiques de certaines architectures herbacées (dromoïdes) et se différenciant des racines proprement dites par la présence de nœuds et d'écailles foliaires.

Remarques et commentaires personnels dans le contexte de l'étude :

Le rhizagé et la rhizophyse sont déterminés à partir d'un profil vertical du métaplexion (strict), sachant que la fosse pédologique n'est jamais envisagée à proximité d'un tronc d'arbre ou en dessous d'un arbrisseau, ce qui réduit en conséquence le pourcentage estimé.

Dermilite : Matériau minéral ou organo-minéral compacté situé à la surface du sol

Beudou et De Blic, 1978

Étymologie : contraction du grec *derma*, peau et *lithos*, pierre.

Caractères signalétiques

- Texture : argilo-sableuse à sablo-argileuse
- Épaisseur : un millimètre à quelques centimètres
- Couleur : généralement claire, parfois assombrie par de la matière organique
- Structure : compacte et quelquefois stratifiée, à porosité faible
- Caractéristique du métaplexion strict inférieur
- À la surface des sols faiblement organiques, ce matériau constitue une « pellicule » ou une « croûte » d'épaisseur centimétrique parfaitement individualisée
- Très généralement, leur limite supérieure correspond à la « surface du sol » (le 0 cm de référence) et leur limite inférieure, soulignée parfois par une ligne de vacuoles remarquable, à la limite inférieure du métaplexion strict

- Les dermites les plus développées montrent une structure massive très finement stratifiée et se détachent d'ailleurs aisément du sol avec la lame du couteau
- À noter qu'en dehors des milieux forestiers, les dermites apparaissent ainsi comme un « matériau - repère » essentiel
- Fréquent notamment en cas d'une couverture très discontinu d'organumites ou de kortophytion

Processus et bilan (d'après Richard et al. 2005) : Plusieurs processus se succèdent plus ou moins rapidement, expliquant la formation cyclique de plusieurs variantes. Les premières sont liées à la simple « battance » des gouttes de pluie (destruction des agrégats du sol, colmatage des pores par les particules fines). Les suivantes consistent en un durcissement lié à l'exposition au soleil (dessiccation souvent associée à des phénomènes de retrait polygonal) et en une fixation par la végétation pionnière (algues, lichens) si l'état dure suffisamment longtemps. Les dernières voient la destruction de ces « croûtes », leur incorporation dans les premiers centimètres du sol sous la forme d'une succession de petites strates brisées.

Matériaux primaires et variantes majeures

dermite :

- **endodermite (dermite endogène)^α** : matériau massif pas ou peu fissuré, sans forme de stratification apparente, à face supérieure entièrement lissée et à face inférieure irrégulière ou discontinue mais nettement individualisée par une ligne de vacuoles : « croûte durcie »
- **protodermite^α** (ou **néodermite^{RW}** ou encore **dermite protogène^α**) : matériau meuble, finement particulaire, masquant une grande partie de la porosité du sol mais laissant apparaître de nombreux agrégats vers les microreliefs ; matériau éphémère lié à l'effet « splash » des dernières averses : « pellicule de battance » formée à partir d'une modification de la surface du sol sous l'effet cinétique des gouttes de pluie. Le résultat est un glaçage de la surface du sol par une pellicule limoneuse à argilo-limoneuse plus ou moins stratifiée de quelques millimètres d'épaisseur, réduisant considérablement la porosité de surface.^{RW}
- **exodermite^{RW}** (**dermite exogène^α**) : matériau analogue au précédent, mais marqué par un fin litage de particules hétérométriques : « croûte stratifiée » Accumulation minérale résultant d'un apport externe de limon, d'argile et/ou de sable. L'épaisseur de la croûte dépend de la quantité de matériau amené, et peut atteindre plusieurs centimètres dans le cas d'un épandage de crue. En milieu plus sec, l'exodermite correspondrait aux fines croûtes de sédimentation étudiées par Cazenave et Valentin (1989).^{RW}
- **xéodermite^α** (**dermite xérique**) : matériau massif, à texture fine, parcouru par un réseau de fentes polygonales : « croûtes de décantation »
- **pyrodermite^{RW}** : Accumulation minérale résultant du passage du feu et de la remontée de sels minéraux ; cohérence forte

melchite^α (mehlite^{RW}):

Rambaud et Waechter, 2002, Étymologie : contraction de l'arabe *mehl*, (melh « sel »...) sel, et du grec *lithos*, pierre.

Matériau induré riche en sel. Formes de concentration en sels cristallisés, opalescents ou translucides [de nature provisoirement indifférenciée]. Très variées, depuis des « efflorescences » discontinues jusqu'à des « croûtes » de surface, parfois très dures et très épaisses (ces dernières peuvent être décimétriques en coupe et se fractionner en grandes dalles polygonales aux bordures recourbées, décimétriques en plan !).¹³⁷ Dureté : peu résistant à très résistant ; parfois excavable à la pioche. Couleur : blanchâtre parfois teinté d'oxydes métalliques.

Intergrades :

- **paléodermite^{RW}** ou **hypodermite^α** (**dermite hypogé**) : dermite fractionné / brisé et enfoui, par exemple à la suite d'un travail mécanique du sol. Incorporé dans les premiers matériaux du métaplexion inférieur
- **melhi-dermite^{RW}** : dermite dont la cohérence est renforcée par la cristallisation de sel

¹³⁷ Variante du dermite d'après J.-F. Richard, F. Khebour et al.

- **phoro-dermilite** : dermilite fixé par une végétation pionnière primitive (algues, lichens) : croûte dont la cohérence est renforcée par de la matière organique liée par des algues et des lichens, formant parfois des écailles centimétriques concaves à la surface du sol après avoir été desséchée. Elle correspondrait plus à une réorganisation superficielle des matériaux organo-minéraux de la partie supérieure des sols qu'à une accumulation proprement dite (Richard, 1989).
- **dermilite macroépilitique** : dermilite incorporant de nombreux gravillons et graviers affleurants ou sub-affleurants provenant d'un macroépilite sus-jacent
- **gypso-dermilite* (ex- dermo-gypsite)** : dermilite incorporant des cristallisations de gypse
- **tephra-dermilite*** : néo- ou exodermilite issu de téphralites (contenant éventuellement des argiles et limons)

Remarques et commentaires personnels dans le contexte de l'étude :

En raison d'une couverture végétale assez continue, sinon rocheuse et la présence fréquente d'humus forestiers, les dermilites sont relativement rares et peu caractéristiques sur le terrain d'étude montagnard par rapport à la fréquence de ce type de matériaux dans les milieux méditerranéens à végétation espacée. Pour cette raison les dermilites ont été négligés lors des relevés de terrain.

Épilite : Ensemble des accumulations minérales à la surface du sol

Richard, Kahn et Chatelin, 1977

Étymologie : dérivation préfixale du grec *epi*, position supérieure et *lithos*, pierre.

Caractères signalétiques

- Matériau formé de particules minérales (parfois organiques) disposées sur la « surface du sol » (généralement sur un dermilite...) □
- Texture : hétérogène, des limons aux blocs décamétriques
- Structure : particulière
- Caractéristique du métaplexion strict supérieur.
- Fréquent en zone tropicale, subtropicale et méditerranéenne, notamment en cas d'absence d'un couvert végétal dense.*
- Les épilites les plus typiques sont formés de graviers, de gravillons et de sables grossiers délavés et déliés, qui apparaissent comme en transit sur cette surface □
- Ils se distinguent en conséquence des gravelons, et psammitons par rapport à leur position en surface et par l'absence de matrice qui accompagne les gravelons (entaféron / pédochron) ordinairement.*
- Certains forment des phases de plusieurs millimètres ou centimètres d'épaisseur, d'autres un semis de particules dispersées, qu'il convient de balayer avec le plat de la main pour retrouver la « surface du sol » (le 0 cm de référence) □
- La granulométrie (mais aussi la nature et la densité) du matériau permet de distinguer plusieurs variantes majeures très significatives □

Processus et bilan (Richard et al. 2005) : Les épilites témoignent des phénomènes d'érosion, de transit et d'accumulation qui s'effectuent à la « surface du sol » sous les effets de la pluie, du vent ou de la pesanteur. Ici, les cycles sont très brefs, si bien qu'un même matériau peut s'interpréter en des termes très différents selon l'état considéré. Par exemple : un « pavage » d'éléments grossiers implique qu'il y ait eu départ des particules fines (phénomène d'accumulation relative), mais joue ensuite, une fois mis en place, un rôle protecteur contre l'érosion pluviale et éolienne (phénomène de « mulching »). □

Les épilites peuvent être ainsi issu* :

- Accumulation résiduelle de matériel autochtone (Exhumation de fragments de régolites),
- Accumulation relative de gravelons : matériaux issus d'une érosion éolienne ou hydrique ayant pour résultat une accumulation relative (résiduelle) des graviers, gravillons ou blocs à la surface du sol, triés par les forces de l'érosion

- Apport de matériaux allochtones : Notamment en présence d'une pente on observe des mouvements de masse, ou un autre type d'apport allochtone (fluvial, colluvial) et en conséquence un certain tri granulométrique en fonction de la vitesse de transport suivi ensuite fréquemment par un départ des matériaux les plus fins
- Sous climat périglaciaire des mouvements de solifluxion ou cryoclastie peuvent également générer une accumulation de certaines classes granulométriques en surface.
- Le plus souvent on observe alors une actions conjointe (ou différés dans le temps) de l'érosion (différentielle en fonction des agents d'érosion et de leur force/vitesse) et d'accumulation (résiduelle ou dépôt après transport)

Matériau primaire et variantes majeures

épilites :

Éléments (principalement¹³⁸) minérales disposés à la surface du sol. Variantes majeures liées à la taille (dimension du plus grand axe) des épilites¹³⁹ :

- **microépilite** (épilite microlitique) particules minérales fines (sables fins, limons, argiles plus fin que 0,05 mm), limité aux creux de la « surface du sol » (et surtout déposé par décantation à la fin des averses) ; matériau fait de particules légères (argiles et limons notamment). A ne pas confondre avec les entaférons ou psammitons.
- **mésopépilite** (épilite mésolithique) [en allemand : *Mittelsand & Grobsand*]: sables moyens et grossiers quartzeux, accumulés à la surface du sol, de couleur claire, parfaitement triés, inférieur à 2mm et supérieur à 0,5 mm ; matériau typique fait de sables délavés de couleur blanche (rosâtre ou jaunâtre) formant de petites plages en transit et s'accumulant à l'arrière des obstacles de la « surface du sol »
- **macroépilite** (épilite macrolithique) [en allemand : *Kies & Grus*]: gravillons et graviers (si <5mm) compris entre 0,2 et 2 cm ; d'origines diverses (roches variées ou indéterminées) ; matériau fait de graviers, gravillons et cailloux parfois très denses et formant une nappe de plusieurs décimètres (reg) ; il témoigne d'un départ des particules fines ; moins mobile que les mésopépilites, il forme un pavage protecteur à la « surface du sol » mais il est susceptible d'être entraîné par les plus forts ruissellements
- **mégaépilite** : [en allemand : *Grobkies & Grobgrus, Steine*] cailloux et pierres d'origine diverse ; taille comprise entre 2 et 25 cm. (cailloux <7.5cm, pierres >7.5cm)
- **gigaépilite**^{RW} (épilite gicalithique) [en allemand : *Blöcke*] : compris entre 25 et 50 cm ; matériau fait de blocs rocheux, se formant surtout par gravité (éboulements, sous-tirage, mouvements de masse...)
- **pétaépilite**^{RW} : supérieur à 50 cm (gros blocs)

Intergrades :

- **anthropo-épilite*** : accumulation anthropogénique de cailloux et/ou blocs (terrasses, murettes, pierriers) **non taillés** sans mortier (*cf.* édifilite) (murette de pierre sèche)

Variantes secondaires :

Liées à la nature lithologique des épilites :

- **carbonaté*** (calcareux^{RW}) : constitué de fragments de calcaire ou de dolomies
- **schisteux** : constitué de fragments de schistes
- **leucocrate** : constitué de fragments de roches leucocrates
- **gréseux** : constitué de fragments de roches gréseuses
- **quartzeux** : constitué d'éléments de quartz
- **gravolitique** : constitué d'éléments ferrugineux plus ou moins émoussés et patinés
- **stéritique** : constitué d'éléments stéritiques

¹³⁸ La définition des microépilites fourni par Richard et collaborateurs associe les éléments minéraux fins aux éléments organiques (cendres, débris de charbons de bois, petits agrégats « pédiques » noirâtres...) qui lui confèrent une couleur généralement foncée.

¹³⁹ Pour l'appellation des tailles seront ici retenus des ordres de grandeurs différentes à celle des zoolites : selon l'AFNOR 1998 (X 31-003 1998) d'après Baize, D (2000 ; p. 25) Guide des analyses en pédologie

Liées à la morphologie des épilites :

- angumorphe : à éléments anguleux et arêtes vives
- amblyomorphe : à éléments anguleux et arêtes émoussées
- ovimorphe : à éléments arrondis

Diagnostics structuraux

Liés à la disposition des épilites :

- isocline : disposition continue ou aléatoire
- kélécline : disposition liée à une micro topographie convexo-concave régulière
- mastocline : disposition liée à un micromodelé en buttes décimétriques
- dolichocline : disposition liée à un micromodelé en billons parallèles
- bathocline : disposition liée à un micromodelé en cuvettes isolées
- scalocline : disposition en lignes perpendiculaires à la pente liée à une micro-topographie en marches d'escalier
- anastocline : disposition liée à un réseau anastomosé de petits creux
- dictyocline : disposition liée à un réseau polygonal de rigoles isolant des buttes bien développées
- artécline : disposition liée à un réseau hiérarchisé de petits talwegs (rigoles et ravines)

Remarques et commentaires personnels dans le contexte de l'étude :

Ont été considérés comme épilites tous les fragments de roche, transportés ou non, posés à la surface du sol ou encore enfouis à moins que la moitié de leur volume dans le métaplexion strict inférieur ou métaplexion inférieur (dermilites, humites...).

Les pétaépilites et gigaépilites ont été regroupés. Nous n'avons pas tenu compte des microépilites et mésoépilites lors des relevés de terrain, puisque ce type d'accumulation en surface est généralement plus fréquent sur les sols dénudés, dépourvus d'organumites et reste sinon difficile à distinguer (quantitativement) de ces derniers en raison de leur taille (<2mm).

Zoolite : Matériau organique, organo-minéral ou plus rarement minéral d'origine animale

Richard, Kahn et Chatelin, 1977, modifications A. Müller
Étymologie : composition du grec *zōon*, animal et *lithos*, pierre.

Caractères signalétiques

- Matériau de nature souvent minérale mais mobilisé, trié, transporté et aggloméré par les animaux : termites, fourmis, vers de terre, mammifères^α.
- Taille : extrêmement variable, du millimètre à la dizaine de mètres
- Structure : particulière ou compacte
- L'orthotype a été élaboré à partir des « termitières » tropicales (parties aériennes du nid des termites) : le matériau comporte une part de matière organique très faible (sucs gastriques), mais indispensable à la construction de l'édifice. Dans ce cas il s'agit d'un matériau de texture argilo-sableuse à sablo-argileuse et de couleur ocre pâle à ocre rouge, parfois grisâtre
- D'autres constructions ou rejets animaux portent, au contraire, sur des matériaux de nature essentiellement organique : « termitières - carton », fourmilières d'aiguilles de résineux, etc. ^α
- Un élargissement de cette typologie permet de recenser les déjections animales de nature et de taille très variables qui interviennent lourdement dans les considérations quant à l'utilisation et la fertilité des sols

Processus et bilan (d'après Richard et al. 2005) : Les populations et activités animales sont difficiles à apprécier en elles-mêmes lors d'un inventaire du milieu. Mais il reste qu'elles s'inscrivent dans une organisation d'ensemble commune. C'est en ce sens que les « remontées »

de matière effectuées par les animaux, l'un des rares mouvements de matière ascendants, constituent un phénomène très important. La diagnose visera à situer ce phénomène de « remontée » avec précision dans le profil du milieu (au stade des variantes majeures).

Matériaux primaires et variantes majeures

coprumite* (ou bromonα) :

Étymologie : du grec, brōmos : « puanteur » ou du grec ancien κόπρος, kopros, « excrément ».

Déjections animales (ou agrégats organiques ou accumulations organo-minérales, considérablement modifiées (digérées) par l'organisme des vertébrés, notamment **déjections animales organiques des mammifères (bouses, crottes...)**).

- **mesocoprumite*** (ou **mésobromonα**) : déjections animales, essentiellement des vertébrées, taille des agrégats entre 0,5 et 5 cm (exemples : déjections des lapins, ovins, caprins, renards, fientes des oiseaux)
- **macrocoprumite*** (ou **macrobromonα**) : déjections animales formant des agrégats >5cm - 50cm (essentiellement bovins, chevaux, cervidés, sangliers, ours, loup /chien) : déjections animales des grands mammifères

zoolite (n.m.) :

Agrégats organo-minérales ou accumulations (organo-) minérales, peu ou pas modifiés par l'organisme animal, mais ayant subi un transport/déplacement par la faune et ou **incorporant (et restituant) une grande part de matière minérale.**

- **microzoolite*** : micro-agrégats organiques ou organo-minérales inf. à 5mm ou matériau particulaire épigé, le plus souvent sablo-argileux, un peu modifié par l'activité animale, essentiellement issu des activités de la microfaune (boulettes fécales des arthropodes : déjections organo-minérales) : matériau faisant partie intégrante du nécrumite, à mentionner seulement s'il est constaté en dehors des humus de type OH ou OF.*
- **mésozoolite*** : ensemble organo-minéral épigé ou non, rejets d'animaux ou matériel de constructions animales, en ensembles ou agrégats >5mm et <5cm, (essentiellement turricules de ver de terre, petites fourmilières)
- **macrozoolite*** : entre 5 et 50cm, accumulations organo-minérales superficielles, épigées, peu modifiées par l'activité animale : rejets des animaux fouisseurs (taupes, marmottes, blaireaux, lapins, ...) (accumulations, constructions, par exemple de fourmilières moyennes et taupinières, terre retournée par les sangliers incluant les rebords des souilles)
- **mégazoolite*** : taille >50cm, essentiellement fourmilières (termitières en milieu tropical) de grande taille (le plus souvent érizoolitique ou épizoolitique) ou très grands terriers/cavités (hypo-zoolitiques)

concholiteα :

Coquillages ou débris de coquillages (arthropodes essentiellement). Coquilles vides (escargots) et coquillages disposés à la « surface du sol ».

zoonα :

Présence animale observée : la nature et la dynamique des populations animales - très diversifiées - doivent être si possible indiquées avec précision.

- **anté-zoon** : éléments ayant fait partie d'un animal qui était de passage (et qui est susceptible de re-passer) : par exemple bois de cervidés, poils, mues...
- **pseudo-zoon** : pelotes, frottements, traces diverses de présence animale ne faisant pas partie des zoolites et coprumites (problème de la quantification volumique !)

Intergrades

- **paléo-concholiteα** : coquillages exhumés après sédimentation

- **paléo-zoon*** : fossiles, os et autres éléments faisant partie vivante d'animaux (notamment vertébrés) morts sur place, à l'exclusion de coquilles (concholites), bois de cerf (anté-zoon) etc.

Diagnostiques secondaires / structuraux :

Liés à la taille des zoolites / coprumites ¹⁴⁰:

- micro- : inférieur à 5 mm.
- méso- : compris entre 0,5 et 5 cm (turriculés, crottes de chèvre)
- macro- : compris entre 5 et 50 cm. (Bouses, taupinières)
- méga- : supérieur à 50 cm. (Fourmilières)

Liés à la position et au type de construction des zoolites :

- **hypsozoolitique (zoolite hypsogé)** ^α : construit au-dessus de la « surface du sol » (le long des troncs d'arbres, sur les fourches des grosses branches...)
- **érizoolitique (zoolite érigé)** ^α : édifice (parfois argilo-sableux) / construction à la verticale comme les termitières construites sur la « surface du sol », et s'effondrant plutôt vers l'aval lors de l'érosion de l'édifice (diverses « termitières »)
- **épizoolitique (zoolite épigé)** ^{141α} : remonté sur le sol, construit, posé ou déjeté à la « surface du sol » : taupinières, tunnels, fourmilières, rejets des terriers de mammifères...)
- **hypozoolitique (zoolite hypogé)** ^{142α} : constructions souterraines diverses, construites sous la « surface du sol » (dans des nids, des cavités, des terriers...)

Remarques et commentaires personnels dans le contexte de l'étude :

Les Zoolites ont été divisés en deux matériaux primaires qui distinguent désormais les déjections, fientes et pelotes etc. des animaux supérieurs (vertébrés, surtout mammifères) des rejets ou accumulations à la surface des animaux fouisseurs, insectes, vers et de l'édaphon macroscopique. Les microzoolites ont été globalement identifiés seulement à la surface du sol, où ils ont été considérés comme faisant partie des nécrumites et nécro-nécrumites

Le zoon pose le problème de la quantification volumique des traces visibles mais difficilement quantifiables comme les frottements sur les arbres, les abrouissements des bourgeons terminaux etc.

On pourra également songer à une différenciation des coprumites du gibier, des animaux domestiques, des troupeaux et de la faune sauvage ou alors regrouper en fonction des genres ou familles (bovidés, caprins, félins etc.) à condition de savoir diagnostiquer leur traces.

NOTE : les microzoolites pourraient également être considérés comme microcoprumitiques (Richard et al. 2005). La différenciation (quantitative) des microzoolites (microcoprumites), éléments organo-minéraux des particules millimétriques organo-minérales également toujours présents dans un sol vivant et dans la litière est cependant difficile pour ne pas dire impossible. Pour cette raison on a fait la différenciation entre zoolites et coprumites, ces derniers sont faciles à distinguer en tant que déjection (excréments fécaux) animale en ce qui concerne les vertébrés et ont en conséquence une connotation différente.

Organumite: Ensemble des accumulations de matières organiques à la surface du sol

Richard, Kahn et Chatelin, 1977, modifications A. Müller

Étymologie : du latin *organum*, machine -> Organe -> organique et du latin *humus*

Caractères signalétiques

- Litière de débris végétaux

¹⁴⁰ D'après la classification de pores et agrégats selon la « Bodenkundliche Kartieranleitung », 2005

¹⁴¹ de épigé(e) adj. Emprunté du grec *epigaios*, « qui est sur terre », composé à l'aide de *epi-*, « sur », et *gaia*, « terre »

¹⁴² de hypogé (e) / masculin : Qui se développe sous terre. La gousse de l'arachide est *hypogée*

- Différents états : secs, en cours de décomposition ou carbonisés
- À noter qu'en forêt, c'est généralement entre le nécrophytion et le nécrumite qu'il convient de situer la « surface du sol » (le 0 cm de référence). Cette filiation s'accompagne de variations structurales remarquables. En forêt, le terme « litières » recouvre plusieurs formations intergrades. ☒

Processus et bilan (d'après Richard et al. 2005) : Le bilan de la matière organique à la surface du sol dépend à la fois du changement d'état saisonnier de la végétation et des conditions climatiques et topographiques locales (humidité, chaleur) : le phénomène est donc un indicateur précis de la « stabilité » du milieu (il s'oppose en cela à celui de l'accumulation de matière minérale).

Matériaux primaires, variantes majeures et secondaires

nécrophytion (n.m.):

Étymologie : composition du grec *nekros*, mort et *phuton*, plante)

Ensemble de branches et de feuilles mortes, sèches, parfaitement conservées. Dépôt de débris végétaux divers n'ayant subi aucune altération biochimique (Correspond aux matériaux principaux des horizons OIn du RP 1995) ; se superpose soit à un nécrumite, soit directement à la surface du sol.

nécrumite (n.m.) :

Étymologie : composition du grec *nekros*, mort et du latin *humus*

Accumulation de matière organique fractionnée, décomposée et homogénéisée, humide et brunâtre (brun rougeâtre à noire), dont les éléments originels ne sont plus reconnaissables (cf. intergrades), peut prendre plusieurs aspects selon le stade d'évolution : Correspond aux matériaux principaux des horizons OH, (RP 1995). Ensemble assez homogène de parties mortes des plantes en cours de décomposition constitué le plus souvent d'une matière organique fine (70 à >90% vol) à structure fondue (boulettes fécales et micro-débris végétaux), s'individualisant souvent par l'abondance de mycéliums et de rhizophyses (radicelles).

téphralite :

Étymologie : composition du grec *thephra*, charbon et de *lithos*, pierre

Ensemble des cendres végétales et fins débris de charbons de bois accumulés après le passage du feu (correspondant à une minéralisation immédiate de la matière organique).

- **téphralite cendré (microtéphralite)*** : cendres et matériaux fins (incluant microcharbons) carbonisés, généralement encore visibles quelques jours après le passage du feu, sinon accumulations localisées à l'abri de l'érosion éolienne. (cf. paléotéphralite pour les microcharbons dans le sol)
- **téphralite carbonisé*** : petits morceaux de charbons et matériaux végétaux (lignifiés) carbonisés (incluant matériaux végétaux carbonisés encore sur pied)
 - **mésotéphralite***¹⁴³ : morceaux de charbons avec le plus long axe compris entre 5mm et 5cm
 - **macrotéphralite*** : morceaux de charbons avec le plus long axe compris entre 5cm et 50cm
- **paléo-téphralite*** : téphralite (morceaux de charbon et / ou cendres) enfoui, caractéristique du métaplexion inférieur avec des hoplexols de surface sus-jacents. Origines diverses : charbonnières, incendies, brûlages etc. Possibilité de déplacement vertical dans le sol par les macropores. Ne pas confondre avec le tanolite vitrique.

histite* (hystite^{RW}, ex- nigrumite☒) :

Matériau organique caractéristique de la tourbe (cf. histosol, RP 1995) aussi appelé « pseudo-humus » et formé sous conditions d'anaérobiose. (cf. intergrade avec le mélanumite : histo-mélanumite)

¹⁴³ (Taille empruntée aux zoolites)

- **histite fibrique*** : correspond à la matière principale des horizons histiques holorganiques, fibriques avec au moins 40g/100g de matière (sèche) fibreuse facilement identifiable à très faible décomposition, absence de matière organique amorphe
- **histite mésique*** : correspond à la matière principale des horizons histiques holorganiques, mésiques avec au moins 10-40% de matière (sèche) fibreuse difficilement identifiable, teneur en matière organique amorphe moyenne à élevée ; en le pressant un liquide trouble s'écoule, le résidu étant pâteux
- **histite saprique*** : horizon histique holorganique, saprique avec moins de 10% de fibres frottées matière organique amorphe très élevée ; en le pressant un liquide noir s'écoule, très peu de résidu

caryophytion^α :

Graines (diaspores), des angio- ou gymnospermes (indifférenciés), souvent de plantes herbacées, graminées ou kortodées, essaimées à la « surface du sol » ou enfouies à faible profondeur.

- **caryophytion anthropique^α** : graines essaimées (semées) à la surface du sol ou un peu enfouies

Intergrades des organumites

- **nécro-nécrumite (nécrumite nécrophytique*)** : Débris végétaux (feuilles, branches, bois, fruits) tassés, stratifiés et déchiquetés, humides, associés à des algues, des lichens et du mycélium associé à de la matière organique fine (30 à 70%vol), constitué de boulettes fécales et des amas holorganiques. Litières en voie de décomposition - quelques débris végétaux sont encore plus ou moins reconnaissables. nécrumite pas encore trop décomposée (correspond aux matériaux de l'horizon OF, RP 1995) ; Sous forêt, le nécro-nécrumite est un matériau de transition entre la litière fraîche et les résidus de la décomposition, (débris déchiquetés et tassés).
- **nécro-nécrophytton^α (nécrophytton nécrumitique*)** : première étape de transformation du nécrophytton marquée par un brunissement et par la fragmentation des débris végétaux par les insectes (« feuilles en dentelles ») ; correspond aux matériaux constatés dans les horizons OLv et Olt.
- **anthropo-organumite*** : accumulation artificielle de matière organique morte (Compost, andains de défrichements...)
- **nécro-téphralite** : Matériaux de litière incomplètement carbonisés : brindilles etc.
- **arumi-histite*** : matériau histique labouré, à matière organique très décomposée, la mise en culture entraînant une structuration
- **nécrumite épilitique^α** : nécrumite intégrant quelques sables « propres », luisants, non liés à la matière organique

Variantes majeures :

- **ligneux** : litière de branches, rameaux, brindilles ou troncs. Composé de bois morts
- **foliacé** : litière de feuilles incluant tiges peu ou pas lignifiées mortes ; disposition stratifiée
- **graminé** : litière essentiellement composée de feuilles et de tiges de plantes graminées ; disposition généralement enchevêtrée
- **kortodé** : composé d'herbes non-graminées, mortes
- **acifolié (ou asciculé)** : litière d'aiguilles de conifères
- **sporoïde*** (ou caryophytique ou encore semencier*) : (du grec *spora* semence) : partie de la litière composée de glands, noyaux, cônes, ou autres résidus des fruits et semences

Diagnostiques structuraux

- **protoïque** : structure originelle peu modifiée, accumulation brute de débris végétaux dont la structure originelle est peu modifiée. Ce type de structure est commun des litières peu décomposées
- **stratoïque** : structure stratifiée, courant dans les accumulations de feuilles mortes arrangées en plans superposés, en cours de décomposition
- **myéloïque** : structure fibreuse, matériau composé de débris organiques riches en fibres (fougères, histite) et indicatrice d'une décomposition avancée

- **plastoïque** : structure fondue, représente le stade le plus avancé de la décomposition. La nature et la structure originelle des débris végétaux ne sont quasiment plus reconnaissables, et l'aspect général est celui d'amas micrométriques noirs (correspondant aux matériaux des horizons OF ou OH du RP 1995)

Remarques et commentaires personnels dans le contexte de l'étude :

Les organumites, indispensables dans la caractérisation du métaplexion strict supérieur montrent habituellement une superposition caractéristique du nécrophytion et du (nécro-) nécrumite. Le nécrum-nécrophytion comme intermédiaire entre nécrophytion et nécro-nécrumite n'a pas été différencié et globalement intégré au nécrophytion : les matériaux correspondant à des horizons OL (OLn, Olv, et OLf) ont donc été regroupés. Au cours des relevés, le nécrophytion graminé et le nécrophytion kortodé ont été également regroupés (=NEG). Les éléments de caryophytion ont été considérés comme nécrophytion sporoïde en raison de la dissémination naturelle s'opposant au caryophytion anthropique non rencontré sur le terrain.

Phorophytion : ensemble des végétaux non vasculaires, en général de faible extension, étalées à la surface du sol, disposés sur les litières, roches ou végétaux, ou pénétrant les matières organo-minérales

Richard, Kahn et Chatelin, 1977

Étymologie : composition du grec *phoros*, qui porte et *phuton*, plante.

Caractères signalétiques

- **Végétaux non vasculaires** : champignons algues et mousses (donc les cryptogames à l'exception des ptéridophytes ou bryophytes au sens large traditionnel), diagnostic facile car portant sur trois formes (« embranchements ») couramment distinguées par les naturalistes : plantes sans tissus conducteurs lignifiés (xylème/phloème)
- **Végétation primitive (et pionnière)**, plantes souvent peu évoluées, sans fleurs et sans véritables racines, caractérisées cas par leur étalement à la surface du sol, sur la roche ou sur le xylagon, cauligé et phyllophytion
- Plantes autotrophes ou hétérotrophes présentant une très grande diversité, d'anatomie et d'architecture relativement simples, mais le plus souvent une extension verticale ou spatiale assez limitée à l'exception de quelques sporophores (carpophores) massives et sans tenir compte du large réseau que peut constituer le mycélium d'un individu
- L'orthotype phorophytion (n.m.) correspond à une végétation plaquée au sol (ou sur tout support minéral, organique et biotique)

Processus et bilan (Richard et al. 2005) : Constituée de végétaux sans racines, souvent douée de reviviscence, cette végétation joue fréquemment le rôle d'une végétation pionnière, colonisant les substrats les plus répulsifs : les plus stériles (rochers découverts...), les plus humides ou les plus contrastés (marais, tourbières...).

Matériaux primaires et variantes majeures

phycophytion^{RW} :

Algues terrestres et lichens généralement autotrophes, fixés sur un support minéral, plus rarement hétérotrophes, se développant alors sur des supports végétaux. Végétation pionnière caractéristique, recouvrant les rochers, les dermites, les vieux bois, les feuillages « sempervirents » (épiphylls) ; certains lichens sont de bons indicateurs du milieu.

mycophytion^{RW} :

Ensemble des champignons (carpophores/sporophores et mycéliums), hétérotrophes, saprophytes ou parasites. Souvent peu remarquable, la densité des champignons est néanmoins susceptible de varier en importance avec les changements d'état des milieux les plus humides...

bryophytion^{RW} :

Ensemble des mousses et végétaux apparentés, plaqués à la « surface du sol » (terricoles), sur les rochers (saxicoles) ou sur les troncs d'arbre (corticoles) ; souvent reviviscents, très bons indicateurs de l'humidité de l'aérophyse. Pourvue d'une ébauche de système racinaire et parfois de tiges et de feuilles, cette végétation a néanmoins une situation et des fonctions très comparables à celles du phycophytion (auquel elle succède d'ailleurs fréquemment dans la dynamique des milieux humides).

épiphylléα :

Algues, lichens et champignons microscopiques vivant sur les feuilles (des feuillages « sempervirents ») et auxquelles elles donnent un aspect réticulé, terni, grisâtre.

- épiphyllé phycophytique*
- épiphyllé mycophytique*
- épiphyllé bryophytique*

Variantes secondaires

- **autotrophe** : végétation se développant sur un support minéral ou organique inerte
- **hétérotrophe** : végétation se développant grâce à un support organique vivant ; indissociable de ce support, elle peut être simplement saprophyte ou véritablement parasite

Intergrade

- **nécro-phorophytion** : mousses et lichens desséchés, mortes

Diagnostics structuraux

...relatives à la localisation des matériaux primaires :

- **épiphytique^{RW} ou corticolesα** (ou **hypso-phorophytionα**) : se développe sur un végétal (tronc, branche, feuillage)
- **rupicole^{RW} ou saxicoleα** : se développe sur des rochers, dalles
- **humicole^{RW} ou terricolesα** : se développe sur une litière ou un humichron

Remarques et commentaires personnels dans le contexte de l'étude* :

Les phorophytions sont fréquemment très limités dans leur étendue spatiale ce qui a réduit leur prise en considération lors des relevés.

Initialement le phorophytion (n.m.) comprenait également les fougères et certaines Dicotylédones poussant à même l'épiplexol ou sur le nécrumite (Richard et al. 1977). La présence de lichens sur les arbres, du mycélium dans l'humite et des sporophores (fructification du mycélium) à la surface non prises en compte par la définition initiale du phorophytion, ainsi que la prise en compte et la physiologie typique des végétaux « plaqués au sol » qui se différencient le plus souvent des corticoles sont les principales raisons ayant à nos yeux justifié la modification de la définition de ce matériau premier, « limité » désormais au cryptogames non vasculaires.

Anthropolite* (ou rudéfactα) : Matériau artificiel, inerte produit par l'homme

Khebour 2007 & Richard, Khebour, Labiadh, Morschel, 2005 (rudéfact), A. Müller (anthropolite)

Caractères signalétiques

- Matériel artificiel conçu et/ou construit et déposé ou délaissé par l'homme*
- Exclusion d'éléments conçus pour demeurer mobiles (exemple : voiture garée en état de rouler) et des matériaux souples et rapidement biodégradables*

- Prenant en considération que le paysage est façonné par l'homme et que la végétation et le sol ont subi presque sans exception une anthropisation plus ou moins forte, plus ou moins visible, seront seulement pris en compte ici des artifices (matériaux produits par l'homme) proprement dit*
- Les objets et matériaux d'origine naturelle non modifiés dans leur essence mais ayant subi une manipulation / perturbation dont les traces sont encore nettement visibles (déplacement, culture, aménagement, introduction, gestion, etc.) par l'homme sont considérés comme des cas spéciaux (intergrades) des orthotypes des corps naturels localisés.* (Exemples : murettes de pierre sèche, pierriers, plantes cultivées, troncs d'arbres coupés, branches taillées, talus, ...)* En ce qui concerne les études de milieu, les structures les plus fréquentes sont représentées par ces intergrades.▫
- Les objets sont parfois indirectement introduits par déplacement / transportés par les agents atmosphériques, mais leur poids et dureté laisse fréquemment déduire une introduction directe par la main de l'homme*
- Toutes ces formes se différencient en fonction de la nature des matériaux originels ▫

Processus, bilan et notes (Richard et al. 2005) : L'insertion des artefacts précédents, leur situation exacte dans le « profil » du milieu, est un critère très significatif pour comprendre la dynamique actuelle du paysage. L'amplitude verticale de cette « humanisation » varie énormément selon plusieurs degrés d'« artificialisation », depuis les milieux spontanés ou cultivés jusqu'aux milieux urbains. Elle peut ainsi s'étendre à l'ensemble du « profil », mais prend très souvent le métaplexion comme point de départ.▫

Aux formes « en relief » (murets, talus,...), il convient d'opposer des formes « en plan » (routes, pistes, chemins...) et des formes « en creux » (fossés, drains...) : la typologie la plus immédiate et la plus commode s'effectue donc par rapport à la surface du sol. ▫

Matériaux primaires et variantes majeures

anthropolite (rudéfact)

Étymologie : du latin, rudus (rueris) : « décombres » pour rudéfact. Composition du grec *anthropos*, homme et *lithos*, pierre pour anthropolite

Objets matériels artificiels d'origine anthropique, involontairement ou volontairement introduits dans le milieu, parfois abandonnés.

- **anthropolite métallique (métalite)*** : (du latin *metallum* « mine ») objets constituées en grande partie par des métaux (acier, étain, fer...) non différenciés, produit et abandonné par les humains : fils barbelés, câbles de débarbage, outils, déchets (boîtes de conserves, ...) ou autres
- **anthropolite xylogène (xylite)*** (du grec *xulon*, bois) poteaux, panneaux, poutres, barrières, clôtures en bois, etc.
- **anthropolite plastique* (plastolite▫)** (du grec : πλαστικός (plastikos) origine du mot anglais « plastic ») : déchets ou autres objets en plastique (ou associés), produits et abandonnés par les humains
- **anthropolite papytique (papyphyte)*** (du latin *papyrus* : origine du mot papier) : déchets ou autres objets en papier ou carton (ou associées), produits et abandonnés par les humains

urbafact¹⁴⁴ ou anthropolite édifié (édifilite)* :

Étymologie : du latin *aedificium*, « bâtiment, édifice et du latin, *urbanus* (urbs) : « ville »

Construction artificielle, bâti, entièrement ou partiellement fait en brique, ciment, béton, pierres, mortier, bois ou tout autre matière de construction. « *Les artefacts et les constructions humaines recouvrent une multitude de formes et de fonctions. En ce qui concerne les éléments de paysage*

¹⁴⁴ Les urbafacts constituent un orthotype à part entière selon Richard et al. 2005 : « *La grande variété des constructions humaines n'empêche pas la constitution d'une typologie des « matériaux anthropiques » bâtie sur les mêmes principes que la typologie des « matériaux naturels ».* En tout état de cause, les diagnostics devront prendre en compte : (1) *La nature physique des matériaux en présence (la fonction des constructions et les connotations culturelles ou esthétiques n'intervenant qu'ensuite, au titre des facteurs explicatifs et des connaissances à attacher aux diagnostics...), (2) le fait que ces constructions étendent souvent très largement le domaine de la géosphère, en particulier vers le haut, mais aussi le fait que ces constructions subissent les mêmes contraintes que toutes les autres composantes du milieu (les forces de gravité notamment).* »

ou les paysages construits par les individus et les groupes humains la typologie reste à concevoir ! » (Richard et al.2005)

- **édifilite / urbafact bitumique (bitumite)*** (Du latin « bitūmen », *bitume*, baume de Judée) : construction artificielle, route, place, endroit entièrement ou partiellement asphalté (bituminé), cimenté, bétonné, le plus souvent épigé
- **édifilite / urbafact cimenté (cimentite)*** édifices en béton le plus souvent hypsogés, murs érigés à l'aide de ciment

Intergrades des anthropolites (rudéfacts) :

- **anthropolite mixte (ou mixite)***(du vieux grec *miktos*, origine du mot « mix ») : déchets ou autres objets en matériel artificiel mélangé (ex. cartouches de tir, ...) ou non distinguable : produits et abandonnés par les humains

anthropolites « sémi-anthropiques » : implique une modification des matériaux initiaux ou un produit mixte dont la composante « naturelle » est dominante (phase majeure) mais dont l'origine est clairement anthropique : anthropolite (rudéfact) :

- **régolique** : rudéfact aménagé ou construit avec des matériaux régoliques (murettes en pierres naturelles taillées...)
- **pédochrome*** (« **structichrome** ») : rudéfact aménagé ou construit avec des matériaux structichromes, (drain, talus avec soutènements ou autre suppléments...*)
- **kortophytique** : rudéfact aménagé ou construit avec des matériaux kortophytiques (potager,...)
- **nanophytique** : rudéfact aménagé ou construit avec des matériaux nanophytiques (haies, haies taillées des jardins...)

Diagnostics structuraux :

- **hypsogé** : (rudéfact hypsogé ou hypsorudéfact) aménagé ou construit au-dessus du métaplexion : muret de pierres maçonnées, talus de pierre ou de terre, banquette anti-érosive, andain de défrichage et de défonçage, clôtures...
- **épigé** : **épirudéfact (rudéfact épigé)** aménagé ou construit au niveau du métaplexion : route, piste, chemin et sentier, chemin de tirage, aire de débardage
- **hypogé** : **hyporudéfact (rudéfact hypogé)** aménagé ou construit au-dessous du métaplexion : fossé creusé ou maçonné, drain, conduite et canal d'irrigation
- **cimenté** : construit et renforcé avec un ciment artificiel

Remarques et commentaires personnels dans le contexte de l'étude :

Inspiré du « plastolite » découvert dans la thèse de Faiza Khebour, ce clin d'œil à l'anthropisation des milieux a été repris dans le but d'en créer un indicateur d'anthropisation qui est difficilement discernable avec le vocabulaire des corps naturels localisés, malgré leur présence loin d'être rare dans le métaplexion strict supérieur. La typologie présentée n'a pas encore été bien creusée...

On tombe fréquemment sur une cartouche ou une vieille boîte de sardine abandonnée par quelques randonneurs ou chasseurs. Ces indices devraient être relevés en raison de leur présence bien réelle, mais ultérieurement il revient à l'auteur des analyses de juger la nécessité d'écarter ces éléments des analyses statistiques en raison de leur caractère trop singulier. Il est utile de souligner ici une fois de plus que le « naturel » se présente souvent anthropisé, qu'il n'y a pas une opposition franche entre naturel et anthropique. Même les matériaux très fortement anthropisés sont le plus souvent issus de la transformation (parfois à haut degré) de ressources naturelles.

Enfin, aucun des relevés des milieux naturels sur le Massif de Madres-Coronat ne concernait les zones urbanisées et zones bâties. Ces zones ont été volontairement exclues en raison de leur incompatibilité avec la problématique de recherche et leur faible représentation sur le terrain d'étude). Toutefois, la typologie présentée pourrait s'avérer utile pour d'autres études et problématiques. Pour une application de la méthode dans les espaces très fortement anthropisés « la grande variété des constructions humaines exigera un développement plus important de la typologie des « matériaux anthropiques » se fondant sur les mêmes principes que la typologie des « matériaux naturels ».

Kortophytion : Ensemble de végétaux herbacés (à l'exception du ptéridophytion et du phorophytion)

Richard, Kahn et Chatelin, 1977, modifications A. Müller
Étymologie : du grec *kortodes*, plante annuelle et *phuton*, plante.

Caractères signalétiques

- Plantes non ligneuses, vasculaires, phanérogames (spermatophyta) à tiges chlorophylliennes
- végétation dite « herbacée » : structures végétales dépourvues de tissus ligneux (bois, écorce)
- Par rapport à celles de la végétation ligneuse, ces structures restent relativement peu différenciées : la diagnose confondra souvent feuilles et tiges, toutes deux assurant la fonction chlorophyllienne (couleur verte)
- Le diagnostic générique kortophytion est cependant assez peu employé, car il existe plusieurs formes de référence faciles à identifier, comme les kortodes et les gramens auxquelles s'ajoutent plusieurs variantes majeures et secondaires très significatives (les premières concernant surtout les kortodes, les secondes les gramens)

Processus, bilan et notes (d'après Richard et al. 2005) : Les végétations herbacées présentent en effet des formes très caractéristiques, adaptées à la colonisation de milieux répulsifs pour les végétations ligneuses et à une croissance rapide, le plus souvent saisonnière. Ces formes adaptatives résident dans la nature des feuillages (adaptation à l'aridité...), mais aussi dans des architectures « opportunistes », changeantes au cours du développement de la végétation et de sa « détermination » à occuper tout l'espace situé au-dessus de la « surface du sol » : dans le conflit entre l'arbre et l'herbe, c'est souvent cette dernière qui remporte les batailles !

Matériaux primaires et variantes majeures

gramen (n.m.) :
(du latin *gramen*, gazon)

Ensemble des végétaux herbacés à feuilles effilées, filiformes, redressées, basilaires ou caulinaires (= graminoides, ressemblant à des graminées : Graminées (= poacées, cypéracées, joncacées, typhacées...). Végétations herbacées à feuilles engainantes, très effilées, beaucoup plus longues que larges, redressées puis recourbées, couvrant assez peu la « surface du sol »

- gramen anthropique : gramen cultivé par l'Homme

kortode (n.m.) :

Ensemble des végétaux herbacés à l'exclusion des gramens (tous les autres magnoliophyta (= angiospermes) non lignifiés) à tiges et feuilles généralement différenciées ; les feuilles de formes et de textures très variées, sont souvent pourvues d'un pétiole. Les tiges sont peu ou pas lignifiées et/ou ne persistent pas à la mauvaise saison (exceptions cf. intergrades).

- **kortode crassulescent** (ou **succulents**^α, incluant les **cactus**^α) : à tiges ou feuilles charnues et souvent cireuses, succulentes ; type d'adaptation courant pour les xérophytes et les halophytes associé à des environnements sujets à la sécheresse et/ou à la salinité. Feuilles souvent hypertrophiées, présentant des structures xéromorphes (adaptées à la sécheresse) généralisées (tissus charnus, spinescence) ; formes et architectures variées, souvent spectaculaires des végétaux cactiformes : cactacées, agavacées, Euphorbes... ; feuilles épaisses, « charnues »
- **kortode spinescent*** : kortode pourvu d'épines, le plus souvent au niveau de la tige, des feuilles, des stipules ou des bractées, souvent scléreuses ou un peu lignifiées (p. ex. certaines légumineuses, chardons, carlines, panicauts), néanmoins les parties aériennes ne sont pas persistantes ce qui les différencie des nano-kortodes ou des korto-nanophytions.
- **kortode scléreux**^{RW} : à tiges scléreuses
- **kortode anthropique**^{RW} : kortode cultivé par l'Homme (ex. colza, betteraves, choux, divers légumineuses, ...)

- **kortode lucidescent** : à feuilles larges, luisantes, vernissées ou cireuses ; feuilles très élargies, cireuses et vernissées, souvent vertes foncées sur leur faces supérieures (typiques des éclaircies de la forêt dense tropicale)
- **kortode pubescent** : à feuilles petites et étroites, souvent composées, couvertes d'un système pilifère sur au moins une des faces, poils et structures associées (= glandes sécrétant des substances nourricières, de l'eau ou encore des substances toxiques visant à protéger la plante (exemple des poils urticants) ; feuilles de formes très variées.
- **kortode géophytique**^{RW} : à organes souterrains pérennes (rhizome, bulbe, tubercule), type cryptophyte ou géophyte ; réservoirs en nutriments et en eau assurant le développement de l'appareil aérien de la plante
- **kortode géodescent**^α (= géophiles) : souvent de petites tailles et aux feuilles arrondies, étalées voire plaquées à la « surface du sol » (formes de violettes, en rosette)
- **kortode hydrescent**^α : aux feuilles élargies, parfois très grandes, de formes hastées ou sagittées (typiques des bas-fonds inondés : hydrophytes)

Intergrades

- **nécro-gramen** : matériau gramené desséché, morts, encore sur pied, toujours redressé ou relié à la souche principale
- **nécro-kortode** : matériau kortodé desséché, encore sur pied
- **para-kortode (kortode paraphytique)*** : kortode parasitant d'autres espèces végétales par les racines, capables de réaliser la photosynthèse (plantes vertes) : hémiparasites dont la reconnaissance demande souvent des connaissances botaniques ou la consultation de flores. Exemples de la famille des Scrophulariacées : *Melampyrum* ; *Rhinanthus*, *Euphrasia*. Ne pas confondre avec les paraphytes qui parasitent les organes aériens (tiges) ou qui sont dépourvus de chlorophylle.
- **phoro-kortode* ou kortode phorophytoïde** : étalés ou plaqués à la surface du sol : structure en rosette fréquente ; ne concerne cependant que les végétaux vasculaires phanérogames (= spermatophyta, donc à l'exception des bryophytes et ptéridophytes)
- **pléio-kortode** : herbacés généralement rampants à grimpants, ou lianescents, pas ou très peu lignifiés, cherchant appui sur d'autres végétaux ou supports; ne pas confondre avec le korto-pléiophytion
- **nano-kortode**^{RW} : Végétation herbacée pérenne, intergrade avec un nanophytion : apparition de tiges (lignifiées) persistantes ; généralement < 15 ou 20cm ; végétaux herbacés dont la souche présente une certaine lignosité (suffrutescence) ; caractéristique de certaines plantes vivaces des pelouses (Exemple : *Helianthemum sp.*, *Fumaria sp.*, *Genista sagittalis*, ...) ; les souches ligneuses persistent (toute l'année) dans un port rampant, émettant au printemps des axes aériens herbacés. Voir aussi : korto-nanophytion, mais à la différence de celui-ci la nano-kortode se caractérise par une lignosité moins accentuée, et un port ressemblant plutôt à une herbacée (kortode) qu'à un arbrisseau (nanophytion), une ou plusieurs tiges mais pas de port buissonnant.
- **néo-kortode**^α : formes de régénération du kortode issues de graines
- **néo-gramen**^α : formes de régénération du gramen issues de graines

Diagnostics structuraux

- **épiphytique*** : se développe sur un autre végétal (tronc, branche, feuillage) sans la parasiter.
- **paucicloïde ou uniculmaire** : axe unique
- **basitoïde ou pluriculmaire** : en petites touffes ou en faisceau d'axes
- **phlogoïde** : en grosses touffes, tiges nombreuses réunies au niveau d'un plateau de thallage
- **nésoïde** : structure rampante, plus ou moins gazonnante
- **dromoïde** : structure rampante rhizomateuse ou stolonienne
- **chaméoïde**^{RW} : ensemble des végétaux herbacés étalés ou plaqués à la surface du sol ; structure en rosette
- **aphylloïde*** : plante non ligneuse verte, non - parasitique avec peu ou pas de feuilles, faisant de la photosynthèse par les tiges, les stipules ou autre parties

Remarques et commentaires personnels dans le contexte de l'étude :

Sur le terrain nous n'avons pas procédé à une distinction fine des variantes majeures de kortodes en raison des relevés floristiques effectués parallèlement retenant seulement les kortodes anthropiques, crassulescents et spinescents. En cas de demande de caractérisation écologique on présume qu'il est nécessaire de revoir le détail des variantes majeures en faveur d'un système de classification écologiquement plus significatif et univoque (par exemple en s'inspirant des types biologiques selon la classification de Raunkiaer ou d'autres typologies physiologiques) car un kortode peut-être un peu scléreux, géodescent et/ou pubescent à la fois. Pour respecter la systématique du vivant nous avons décidé d'exclure les plantes cryptogames (ptéridophytes et bryophytes s.l.) ; les thallophytes (= mycophytes (champignons) et phycophytes (algues)) et les bryophytes (mousses s.s) n'étant pas vasculaires, les ptéridophytes (fougères), bien que vasculaires s'opposent également aux spermatophytes (Angio- et Gymnospermes) et se caractérisent par l'absence de fleur proprement dite. Nous n'avons, à titre d'exemple pas retenu le « kortode squamescent » proposé par Waechter et Rambaud.

Un deuxième problème émane du fait que pour la détermination de certaines plantes rares (si on ne dispose pas des connaissances botaniques nécessaires en parallèle) le diagnostic secondaire nécessitera par exemple un arrachage du spécimen (kortodes géophytiques) pour être sûr du diagnostic.

Par ailleurs, il est parfois impossible de distinguer sans connaissances botaniques préalables un kortophytion pluriannuel /vivace d'un thérophyte (plante annuelle) !

Les liliacées quoique monocotylédones ont été incluses aux kortodes en raison de leurs fleurs très apparentes par rapport aux graminoides. Ces derniers se distinguent des premiers par des inflorescences très « herbeuses », vertes. Le graminé se limite ainsi aux graminées (poacées), joncacées et cypéracées qu'on pourrait éventuellement distinguer. Les cactus faisant partie des dicotylédones ont été regroupés dans les kortodes crassulescents, aussi afin d'éviter la confusion induite par la variante majeure « cactus » (Richard et al 2005) laissant penser qu'il faudrait exclure les euphorbiacées à l'aspect morphologique très proche.

Ptéridophytion* : Ensemble de végétaux ptéridophytiques (fougères, prêles, lycopodes) ou ensemble des cryptogames vasculaires, dépourvus de fleurs

Richard 1985 ; modifications A. Müller

Étymologie : de pterido (grec πτέρις; fougère) et *phuton*, plante.

Caractères signalétiques

- Plantes ptéridophytes, à tiges et/ou feuillage chlorophyllien
- Végétation regroupant des plantes sans fleurs mais dont les parties aériennes sont souvent nettement différenciées et étagées par rapport à la « surface du sol » (tiges redressées, feuilles étalées).
- Ces fougères (et plantes apparentées) sont très caractéristiques des milieux humides, notamment soumis aux activités humaines (marécages, friches, bords de route...)

Matériaux primaires et variantes majeures

ptéridophytion* (n.m.) :

Étymologie : du grec pteris : fougère et *phuton* : plante

Ensemble de végétaux classés parmi les cryptogames vasculaires, caractérisé par l'absence de véritables fleurs et une physiologie particulière

- **ptéridophytion** (orthique) * (ex-« **kortode ptéridophytique** ^{RW} »): ensemble des fougères (filicophyta ou polypodiophyta) incluant les ophioglossales, caractérisées par des amas de sporanges (les sores) regroupés sur le dessous des frondes ou disposés sur des frondes fertiles de physiologie qui diffère des frondes stériles.
- **équisétophytion*** : ensemble des prêles (« sphenophyta »), caractérisées par des tiges articulées, cannelées à épiderme siliceuse
- **lycopophytion*** : ensemble des lycopodes, caractérisés par des petites feuilles plus ou moins appliquées contre la tige (ne pas confondre avec le **bryophytion**)

Intergrades

- **nécropteridophytion*** : matériau ptéridophytique équisétophytique ou lycophytique mort et desséché sur pied
- **nanoptéridophytion*** : fougères arborescentes

Diagnostics structuraux

- **épiphytique** : se développe sur un végétal (tronc, branche, feuillage)
- **rupicole** : se développe sur des rochers, dalles
- **basitoïde ou pluriculmaire** : en petites touffes ou en faisceau d'axes
- **nésoïde** : structure rampante, plus ou moins gazonnante
- **dromoïde** : structure rampante rhizomateuse ou stolonienne

Nanophytion : Ensemble de tiges, rameaux et feuillage des buissons arbustes et des arbrisseaux

Richard et Temple, 1979

Étymologie : du latin *nanus*, nain, du grec « *mesos* », milieu et du grec *phuton*, plante.

Caractères signalétiques

- Taille faible, n'excédant jamais sept mètres pour les spécimens adultes
- tiges pérennes, généralement lignifiées, structures végétales « sous-ligneuses » (suffrutescentes) : arbustes, arbrisseaux et sous-arbrisseaux
- Les architectures sont celles des végétaux ligneux avec cependant une plus grande fréquence des formes basitones (structures en « buissons ») : abondantes ramifications partant de la base ou dépourvus de ramifications à la base (arbustes)
- Caractéristique du méataplexion supérieur
- Ressemblant souvent à de tout petits arbres (« arbrisseaux ») mais possédant encore certains caractères des végétations herbacées : début de lignification des tiges (et des branches) mais croissance secondaire limitée, persistance de tiges à fonction chlorophyllienne
- Ces structures peuvent être (ou non) séparées dans l'espace : on distinguera alors nanophyse et cauligé

Processus, bilan et notes (d'après Richard et al. 2005) : Ces végétations restent assez peu étudiées du point de vue de leur morphologie et de leur dynamique. Les formes et les dimensions sont variées. Elles semblent caractéristiques des milieux à fortes contraintes environnementales : milieux méditerranéens, mais aussi milieux tropicaux et tempérés à bilans hydriques ou thermiques contrastés.

Matériaux primaires et variantes majeures

nanophyse :

Feuillage et branches feuillus du nanophytion correspond au feuillage des arbrisseaux et sous-arbrisseaux; ramification des branches généralement basilaire, structures d'expansion et d'exploitation de l'espace aérien des végétations « sous-ligneuses » (sous-arbrisseaux si <1m). (nanophanérophytes et chaméphytes selon la classification de Raunkiaer*).

- **nanophyse spinescent**^{RW} : feuillage et / ou rameaux feuillus constitués partiellement ou en totalité d'épines
- **nanophyse conifère**^{*} : feuillage en aiguilles sempervirentes des arbrisseaux gymnospermes
- **nanophyse laurifolié**^{RW} : feuillage sempervirent (ou laurophyllé)
- **nanophyse caducifolié**^{RW} : feuillage caduc
- **nanophyse géniscent**^{RW} : rameaux chlorophylliens, feuilles rares ; aspect des genêts (ex. *Jasminum fruticans*)
- **nanophyse aphyllé**^{RW} : absence de feuilles ; rameaux chlorophylliens

mésophyse* :

Étymologie : de més(o)- μέσος : au milieu, central, médian

Nanophytion dépassant la taille de deux mètres à l'âge adulte réitération à partir d'un tronc unique ou avec ramification basale (buissons) : Petit arbre de taille moyenne, espèce dépassant pas ou rarement 7m de hauteur à l'âge adulte, restant dans la strate du sous-bois forestier et ne constituant pas l'essence forestière principale (arbuste / arbrisseaux). Exemples : Saules de taille moyenne, Bourdaine, Fusain, Érable de Montpellier, Filaire ou Arbousier. On peut les considérer comme des intergrades appelés **pro - ou pali-nanophyse**, « *formes arborescentes du nanophyse, de plusieurs mètres de hauteur, appartenant plus au supraplexion qu'au métaplexion* » (Richard et al.2005) α). Ils correspondent approximativement au feuillage des microphanérohytes selon la classification de Raunkiaer*.

- **mésophyse basitoïde*** : nanophytion dépassant la taille de deux mètres, avec ramification basale (exemple : Noisetier)
- **nanophyse caducifolié*** : feuillage caduc (ex. Bourdaine, Fusain, Grenadier, Figuier, frêne à fleurs, Sorbier ...)
- **mésophyse laurifolié*** : feuillage sempervirent (ou laurophyllé) (ex. Arbousier, Filaire...)

cauligé :

Tiges principales du nanophytion, structures de maintien et de conduction dans l'espace aérien des végétations « sous-ligneuses », tiges fines et rameaux des arbrisseaux ; ne portant généralement pas/plus de feuilles

- **cauligé mésophytique styloïque*** : tiges principales de la mésophyse partant d'une tige principale, pouvant atteindre 7m
- **cauligé mésophytique basitoïde*** : tiges principales de la mésophyse ramifiées dès la base de la souche, pouvant atteindre 7m
- **cauligé ptéridophytique*** : tiges principales d'un méso- ou nanoptéridophytion
- **cauligé spinescent*** : tiges principales épineuses d'un nanophyse ou mésophyse (spinescente ou non), (ex. *Prunus spinosa*, *Genista scorpius*, *Crataegus*, ...)

Intergrades

- **korto-nanophyse** : sous-arbrisseau bas (>15 ou 20cm, < 50 cm en général) à feuillage buissonnant et à tiges / rameaux inférieurs (parfois chlorophylliens), lignifiés (exemple : *Thymus vulgaris*, *Senecio inaequidens*, ...), les parties aériennes survivent la mauvaise saison. Ne pas confondre avec le **nano-kortode** à la lignosité moins accentué, le port de la korto-nanophyse étant davantage buissonnant)
- **pléio-nanophyse** : feuillage buissonnant à tiges lianescentes
- **nécro-cauligé*** : tiges principales mortes sur pied
- **para-nanophyse*** : nanophytion à nanophyse verte (chlorophyllienne) parasitant d'autres végétaux par les racines (exemple : *Osyris alba*)
- **téphra-cauligé*** : tiges carbonisées par un passage de feu

Diagnostics structuraux

- **basitoïde** : architecture établie par tallage à partir d'un individu initial dictyoïde : architecture caractérisée par une ramification diffuse d'axes mixtes plagiotropes et orthotropes (ou **basitone** : marqué par une intense ramification basale (structures en « touffes », en « buissons ») pouvant se combiner avec les autres formes, plus habituelles, de ramification (ramification acrotone))
- **épiphytique*** : se développe sur un autre végétal (tronc, branche, feuillage)
- **paucicloïde** ou uniculmaire : axe unique
- **dromoïde** : structure rampante rhizomateuse ou stolonienne

Remarques et commentaires personnels dans le contexte de l'étude :

La définition du nanophytion a été élargie pour prendre en compte les arbustes d'une taille ne dépassant pas les 7m à l'âge adulte (selon l'IFN in : da Lage, Métaillé, 2000). En conséquence s'ajoutait un nouveau orthotype, la « mésophyse ». En tant qu'alternative il est envisageable de

créer un intergrade entre la nanophyse et le phyllophytion en reprenant les intergrades proposés par Jean-François Richard et collaborateurs (2005) : pro-nanophyse et pali-nanophyse. Dans cette étude nous avons limité le diagnostic « cauligé » au nanophytions, nous ne l'avons pas appliqué aux extrémités des branches d'arbres comme le suggèrent Richard et al. 2005.

Néoligniphytion* (néophytion & pénéphytion) : Formes de germination et de régénération des ligneux incluant feuillage, branches et tige principale

Richard, Kahn et Chatelin, 1977 ; Alexandre, 1977, modifications A. Müller

Étymologie : Du grec *neos*, nouveau, du latin *lignum* : bois (matière), du latin *pene*, presque et du grec *phuton*, plante.

Caractères signalétiques

- L'expression « plantules ligneuses » (en fait « sous-ligneuses » à ce stade de développement de la végétation) recouvre deux formations successives faciles à distinguer : le **néophytion** et le **pénéphytion**
- Taille faible, concernant le néophytion que de quelques centimètres, ne dépassant jamais quelques mètres pour les pénéphytions (*cf.* remarques ci-dessous)
- Tiges d'abord peu rigides, se lignifiant rapidement
- Les architectures redressées traduisent une croissance assez rapide et sont dépourvues de ramifications à la base
- Caractéristique du métaplexion supérieur
- Puisqu'il s'agit de structures en croissance on ne différencie pas encore tiges principales et feuillage

Processus, bilan et notes (Richard et al. 2005) : Ces deux premières formes de végétation ligneuse ont deux significations très différentes ☺ :

- La présence du néophytion, directement issu de graines, signifie seulement que les arbres ont fructifié et que les graines se sont dispersées
- La présence du pénéphytion signifie que les graines précédentes ont échappé à la très forte mortalité caractérisant le stade néophytique, et qu'elles ont trouvé un milieu favorable à la croissance végétative
- Seule, l'abondance de pénéphytion permet de dire que la végétation ligneuse est en voie de régénération.

Matériaux primaires et variantes majeures

néophytion (n.m.) :

Tige unique souvent hypertrophiée, feuilles situées dans le même plan horizontal ne se recouvrant pas, cotylédons ou cicatrices cotylaires visibles, taille centimétrique, pas de système racinaire développé; premier stade de développement du végétal, de la même année ou de l'année précédente. Formes sans ramification, limitées à l'apparition de quelques feuilles ; les cotylédons (ou les cicatrices cotylédonaires) sont encore visibles (ne doit pas être confondu avec un kortode géodescent).

pénéphytion :

Tige peu ramifiée (ou encore unique) marquée par l'apparition de quelques rameaux et par des feuilles nombreuses, forme allongée verticalement, de quelques décimètres à quelques mètres de haut. La ramification reste au stade élémentaire des « formes de jeunesse » et ne permet pas de reconnaître l'architecture propre aux « modèles de croissance »).

- **pénéphytion basitone** : Caractérisé par un système racinaire non autonome (drageon, surgeon, rejet)
- **néophytion ou pénéphytion conifère** : plantule ou jeunes arbres conifère
- **néophytion ou pénéphytion caducifolié** : plantule ou jeunes arbres à feuillage caducifolié

- **néophytion ou pénéphytion sempervirent** : plantule ou jeunes arbres à feuillage sempervirent

Intergrades

- **pro-pénéphytion** : intergrade entre pénéphytion et prophyse, caractérisé par des ramifications annonçant une architecture non encore reconnaissable
- **nécro-pénéphytion^{RW}** : pénéphytion mort sur pied
- **néo-prophyse^α ou néo-paliphyse^α** : formes arborescentes réitérées plus ou moins complètes et réitérées elles-mêmes, issues de la base des troncs d'arbres traumatisés (« rejets de souche »...)

Diagnostiques structuraux

- **épiphytique** : se développe sur un autre végétal (tronc, branche, feuillage)
- **dromoïde** : structure rampante rhizomateuse ou stolonienne
- **paucicloïde ou uniculmaire** : axe unique
- **basitoïde ou pluriculmaire** : en petites touffes ou en faisceau d'axes

Remarques et commentaires personnels dans le contexte de l'étude* :

Le pénéphytion a été élargie dans le cadre de cette étude aux jeunes arbres qui n'ont pas encore atteint une taille « normale » d'arbre adulte (dépendant de l'espèce) et se trouvent ainsi nettement en dessous de la canopée constituée par les arbres adultes. En ce sens cette définition du pénéphytion s'apparente à la prophyse (terme non utilisé dans le cadre de cette étude), prenant ainsi en compte des arbres de plus de 2 mètres de haut (contrairement aux études de Richard 1989 et Filleron 1994) mais qui ne dépassent jamais 7m. Le critère de hauteur étant secondaire, il s'agit surtout de jeunes individus (2 à 15, max. 20 ans) peu développés, au tronc fin (<5-10cm de diamètre en général) et à la ramification simple.

Xylagon* (incluant stylagé, stipiagé, dendrigé) : Formes de croissance secondaire des ligneux (bois, troncs, branches).

Richard, Kahn et Chatelin, 1977 ; modifications A. Müller

Étymologie : du grec *xulon*, bois, et *agōgos*, qui conduit, qui amène ou « -agon » (-γον, -γοντος ; part. present de -γω) : conduire, emporter, entraîner

Caractères signalétiques

- Caractéristique du métaplexion supérieur et supraplexion
- Troncs ligneux droits ou redressés (en forme de cônes très allongés) ^α
- Se distingue dès le métaplexion strict, mais ne se ramifie (généralement) qu'ensuite, à partir du supraplexion^α
- Quelques variantes majeures et secondaires intéressantes, en particulier liées à la « réitération » des cimes attachées à ces supports, axes de croissance, de maintien et de conduction de la sève (*cf.* paliphyse)^α

Processus et bilan (Richard et al. 2005) : Cette composante souvent négligée dans les analyses de milieu mérite une attention particulière. D'abord pour la part qu'elle prend dans la constitution des « biomasses », ensuite pour l'existence de formes particulières, témoignant de l'importance que peut prendre le phénomène de « réitération ».

Matériaux primaires :

stylagé (n.m.) :

Étymologie : du grec *stulos*, colonne

Ensemble des troncs ligneux, droits ou redressés, troncs ligneux, droits ou courbés, ramifiés ou non, des végétaux dicotylédones et gymnospermes (conifères).

stipiagé (n.m.) :

Étymologie : du latin *stipes*, tige

Ensemble des troncs écaillés ou annelés (stipes des palmiers), tiges ligneuses des végétaux monocotylédones. « Stipes » des palmiers et plantes apparentées, annelées ou écaillées, conservant la trace des cicatrices foliaires ; cylindre très allongé, dont le diamètre constant est acquis dès la surface du sol (mais qui peut être interrompu par des renflements en forme de masselottes). Ces structures de maintien et de conduction ressemblent à des troncs, mais sont très particulières : le maintien est assuré non par des tissus ligneux mais par des tissus sclérifiés correspondant à des empilements de bases foliaires. ▣

dendrigé (n.m.) :

Étymologie du grec *dendron*, arbre

Ensemble des ramifications (branches) maîtresses très apparentes à la base des feuillages. Divisions des troncs principaux : fourches et grosses branches supportant la cime des très vieux arbres ; nettement séparées des frondaisons, noueuses, redressées, ces grosses branches apparaissent comme autant de nouveaux « troncs » liés aux phases de réitération successives du paliphyse. ▣

Variantes majeures

- **stylagé et dendrigé subéreux** : stylagé et dendrigé à écorce épaisse, rugueuse et craquelée : limite les échanges végétal/air (eau, température, protection contre le feu)
- **stylagé et dendrigé rugueux*** : tronc et branches rugueux et craquelés mais pas subéreux (moins épais)
- **stylagé et dendrigé résineux^{RW}** : tronc et branches des conifères
- **stylagé et dendrigé lisses^{RW}** : tronc et branches à écorce lisse, souvent fine
- **stylagé et dendrigé spinescents^{RW} ou épineux▣** : tronc et branches avec des épines (acacias) apparaissant directement sur le tronc
- **stylagé et dendrigé florifère▣** : caractérisé par des fleurs (et des fruits) (poussant directement sur le tronc)
- **stylagé et dendrigé pachyfère▣** : marqué par des excroissances ligneuses liées à la réitération : moignons laissés par l'élagage des branches maîtresses et, en particulier, bourrelets continus reliant les grosses branches du dendrigé aux grosses racines de l'hypodendrigé (véritables troncs « surnuméraires »)
- **stylagé basitoïde*** : le tronc principal étant brûlé ou coupé, les rejets ont créé un arbre en forme de taillis (fréquent chez les chênes, hêtres, frênes, châtaigniers, ...)

Intergrades

- **nécro-stylagé** : ensemble des troncs morts en place. Troncs d'arbres morts, encore sur pied, mais pourris
- **nécro-dendrigé** : ensemble des branches maîtresses mortes en place
- **hypo-dendrigé▣** : « contreforts » et « racines palettes » excroissances ligneuses basales, symétriques du dendrigé par rapport au tronc, situés à la base des troncs et liés au phénomène de la réitération et probablement liées au développement du paliphyse

Diagnostics structuraux :

- **pluriculmaire** : faisceau d'axes
- **uniculmaire** : axe unique

Remarques et commentaires personnels dans le contexte de l'étude :

Le néologisme « xylagon » a été établi pour désigner l'ensemble des troncs et branches maîtresses des arbres adultes. A partir du métaplexion strict inférieur, le stylagé est considéré comme étant du rhizagé. Sachant que la fosse pédologique n'est jamais envisagée à proximité d'un tronc d'arbre, l'estimation du volume des parties souterraines des arbres (rhizagé) est de ce fait minimisée par rapport aux parties aériennes (cauligé & stylagé).

Phyllophytion* (monophyse, caduphyse, semperphyse et coniphyse) : Formes de croissance et de répétition des ligneux, ensemble des expansions ligneuses¹⁴⁵

Richard, Kahn et Chatelin, 1977 (prophyse, paliphyse) ; Rambaud et Waechter, 2002 (ex-xylophytion) ; modifications A. Müller

Étymologie : du grec φύλλον (phyllos) feuille et *phuton*, plante et du grec *phusis*, poussée, croissance, expansion ; du verbe *Phuô* pousser, croître et de son dérivé *Phusaô*, souffler, enfler, gonfler. C'est aussi l'étymologie du latin "*fuit*" : "Il fut".

Caractères signalétiques

- Caractéristique du supraplexion
- Feuillage (et branchages associés) des arbres adultes qui ne sont pas ramifiés dès la base (cf. intergrade)
- Concerne le feuillage des arbres atteignant au moins 7m à l'âge adulte (définition inspiré de l'IFN), ou des macro- et mésophanérohyles selon la classification de Raunkiaer

Matériaux primaires et variantes majeures

Liés aux types de feuillage des arbres :

coniphyse^{RW} :

Étymologie : du latin *conus*, cône

Ensemble des feuillages des conifères (type gymnosperme) (résineux souvent sempervirents) ; port conique, très allongé (ou forme de fuseau) ; petites feuilles réduites à des aiguilles ou des écailles, persistantes sauf exceptions (mélèze, cyprès chauve) ; sécrètent des oléorésines, tout comme le tronc et les branches maitresses (sauf exception) ; organes sexuels groupés en cônes unisexués monoïques (sauf exception).

- **coniphyse acifolié**^{RW} : feuillage composé d'aiguilles sempervirentes
- **coniphyse squamescent**^{RW} : feuillage composé d'écailles
- **coniphyse caducifolié**^{RW} : feuillage composé d'aiguilles caduques

caduphyse^{RW} :

Étymologie : du latin *cadere*, tomber

Feuillages des arbres caducifoliés (type angiosperme).

semperphyse^{RW} :

Étymologie : du latin *semper*, toujours

Feuillage des arbres sempervirents (type angiosperme) ; feuilles coriaces et souvent luisantes, recouvertes d'une cuticule (épaisse pellicule externe de l'épiderme foliaire) limitant les pertes en eau de la plante.

monophyse (n.m.) :

Étymologie : du grec *monos*

Feuillage élaboré à partir d'un seul méristème (bourgeon) terminal (rarement : quelques méristèmes terminaux) = feuillage des palmiers et plantes apparentées, caractérisé par de très grandes feuilles palmées ; ces feuillages se distinguent aisément des prophyses (liés à une multitude de méristèmes) et ne connaissent pas de répétition adaptative.

Orthotypes alternatifs¹⁴⁶ ou diagnostics structuraux :

¹⁴⁵ Précédemment appellation sous les nom des orthotypes « prophyse et paliphyse », regroupés

¹⁴⁶ Les orthotypes « prophyse » et « paliphyse », proposé par Richard et al. (1972) sont ici considérés comme un diagnostics structuraux

prophyse (n.m.) - prophysé :

Caduphyse, *semperphyse* ou coniphyse ayant les caractères d'un prophyse (du grec *prôtos*, premier): en forme de flamme ou de fuseau ou en « sucette », allongée verticalement, architecture simple et régulière, feuillage à ramification régulière conforme à leur modèle de croissance.

Processus et notes (Richard et al. 2005) : Feuillages (et branchages associés) allongés selon la verticale ; les enveloppes de ces feuillages sont souvent en forme de « fuseaux » ou de « sucettes ». Les architectures internes sont régulières, répétitives, relativement simples. Elles donnent lieu à des diagnostics secondaires très significatifs. Ces feuillages sont ceux des arbres « jeunes », dont le système de ramification reste conforme au « modèle de croissance » (génétique) du végétal : ce sont des arbres « en cours de croissance », appartenant à un « ensemble d'avenir » susceptible d'occuper un espace aérien beaucoup plus vaste que l'actuel... Dans la dynamique de la végétation ligneuse, le prophyse fait suite au pénephytion et précède le paliphyse. Certains coniphyses montrent des états prophysés et paliphysés faciles à distinguer (pins...), d'autres réitèrent en donnant des formes moins remarquables (les extrémités des cimes des sapins ou des épicéas réitérées forment de petits cônes renversés ou « tables »), d'autres encore semblent donner des formes aléatoires (cyprès en fuseau, en cône ou en boule).

paliphyse (n.m.) - paliphysé :

Caduphyse, *semperphyse* ou coniphyse ayant les caractères d'un paliphyse (du grec *palin*, de nouveau) : forme étalée, en boule ou en parasol, architecture irrégulière, forme ou complexe réitéré, feuillage plus large que haut (l'extension latérale l'emporte sur le développement vertical).

Processus et notes (Richard et al. 2005) Feuillages (et branchages associés) étalés, souvent plus larges que hauts, en forme de boule, de cœur, de cône renversé, de parasol... Les architectures internes sont complexes, irrégulières, marquées par des phénomènes secondaires caractéristiques : abondance des formes réitérées, d'abord complètes (ressemblant exactement à des jeunes arbres) puis incomplètes (les dernières étant celles de la multiplication des fleurs et des fruits), apparition de la « timidité des feuillages », séparant les formes réitérées complètes, et des « rameaux flasques », allongeant les cimes vers le bas, etc. Ces feuillages sont ceux des arbres « adultes » : ces derniers ont abondamment réitéré, c'est-à-dire que pour répondre aux potentialités du milieu, ils ont reproduit plusieurs fois, en totalité ou en partie, leurs « modèles de croissance » originels. Ils appartiennent à un « ensemble du présent », occupent tout l'espace aérien disponible et sont arrivés à un stade de développement maximum... Dans la dynamique de la végétation ligneuse, le paliphyse fait suite au prophyse (et précède le nécrophytion).

Intergrades

- **méso-caduphyse*** : petits arbres dépassant généralement 7m à l'âge adulte (cf. *mésophyse*) (ex. *Sorbus aucuparia*) mais constituant en milieu forestier tempéré généralement une strate inférieure à la strate arboré principale d'une forêt adulte
- **péné-prophyse^α** : stades de croissance intermédiaires avec le pénephytion
- **pali-prophyse^α** : stades de croissance intermédiaires avec le paliphyse
- **pro-paliphyse^α** : stade de développement caractéristique de la végétation ligneuse en forêt : les cimes du pro-paliphyse sont situées sous celles des plus grands arbres et semblent « attendre » pour prendre leur place

Variantes secondaires liées au diagnostic structural :

- **caduphyse prophysé*** : caduphyse à ramification régulière, allongé verticalement
- **caduphyse paliphysé^{RW}** : caduphyse réitéré
- **semperphyse prophysé*** : feuillage de jeunes arbres sempervirents (<7m et/ou <10cm de diamètre) généralement allongé verticalement, à ramification régulière
- **semperphyse paliphysé^{RW}** : semperphyse réitéré
- **coniphyse prophysé*** : feuillage de jeunes arbres caduques <7m et/ou <10cm de diamètre, typiquement à ramification régulière et architecture simple
- **coniphyse paliphysé^{RW}** : coniphyse réitéré

Diagnostics secondaires

...caractérisant un phyllophytion prophysé :

- monoïde : ramification palmiforme, branches regroupées au sommet du tronc
- dicloïde : ramification régulière d'axes équivalents orthotropes
- érécloïde : ramification rythmique, branches et rameaux feuillés orthotropes
- prolixoïde : ramification diffuse, branches et rameaux feuillés orthotropes
- horicloïde : ramification généralement rythmique, branches et rameaux feuillés plagiotropes "vrais" (feuilles distiques, rameaux en zigzag...)
- laticloïde : ramification généralement rythmique, branches et rameaux feuillés "plagiotropes par apposition" (succession de petits plans orthotropes accolés dans un plan horizontal)
- dictyoïde ou bicloïde : ramification diffuse d'axes mixtes plagiotropes et orthotropes

...caractérisant un phyllophytion paliphysé :

- sphénocloïde : sommet du feuillage plus étalé que la base, forme en tronc de cône ou de pyramide renversée (arbres à comportement forestier appartenant à la canopée)
- hémicloïde : base du feuillage plus étalée que le sommet, forme en coupole ou en parasol (arbres isolés, émergents)
- dissycloïde : étalement dissymétrique du feuillage, généralement en direction des chablis ou des lisières (arbres à comportement ripicole)
- équicloïde : ramification irrégulière, profuse, étalement peu prononcé, composantes verticales et latérales équilibrées (arbres à répétition traumatique)
- adaptatif : formes répétées répondant à un accroissement des potentialités du milieu (exemple : augmentation de la luminosité lorsque l'arbre atteint la voûte forestière...)
- traumatique : formes répétées répondant à un traumatisme (accident naturel ou intervention humaine : feux, coupes de bois, élagages, etc.)

Remarques et commentaires personnels dans le contexte de l'étude* :

L'abandon des termes paliphysé et prophysé par l'auteur est lié aux relevés en montagne tempérée et surtout méditerranéenne (chênaies sempervirentes etc., arbres isolés en zone de compétition) qui ont parfois rendus très difficile une reconnaissance sur le terrain des principales formes de répétition. Selon l'âge et la structure du peuplement, les formes varient considérablement pour un spécimen de la même espèce et du même âge, ou alors il ne sont pas nettement différenciables (voir : changent d'un arbre à l'autre) ce qui rend leur relevé difficile et minutieux. Nous avons alors retenu la typologie proposée par Waechter & Rambaud qui font une différenciation simple selon le type de feuillage, permettant de distinguer conifères, feuillus et palmiers et distinguent feuillage caduc et sempervirent. Aussi, nous avons changé le nom d'ensemble en phyllophytion, car c'est notamment le feuillage et non le bois des arbres qui est désigné par cette composante du milieu.

Pléiophytion α : Ensemble de végétaux lianescents et épiphytiques

Richard, Kahn et Chatelin, 1977 ; modifications A. Müller

Étymologie : du grec *pleiôn*, plus et *phusis*, expansion et du grec *ophis*, serpent et *agôgos*, qui conduit

Caractères signalétiques

- Végétations ligneuses lianescentes, au sein desquelles on isolera aisément deux matériaux orthotypes
- Associé le plus souvent au xylagon et phyllophytion
- Ces matériaux ne peuvent constituer tout au plus que des phases ou même des stigmes car ils sont nécessairement liés à un support naturel ou artificiel

Processus et bilan (Richard et al. 2005) : Les végétations pléiophytiques ne se développent que dans des conditions écologiques particulièrement favorables : éclaircies dans la voûte forestière, forte humidité ambiante, pérennité des supports. Même si elles sont relativement peu abondantes, elles apparaissent alors comme des « marqueurs » souvent très significatifs (en particulier le développement du pléiophysé dans les recrus forestiers, la multiplication des

épiphytes dans les milieux humides, la présence des épiphylls sur les feuillages sempervirents, etc.).

Matériaux primaires et variantes majeures

pléiophyse (n.m.) :

Feuillage des lianes ligneuses et vivaces étayées et redressées, s'accrochant spontanément aux prophyses et aux paliphyses ou se développant en même temps que ces végétations - supports. α A la différence des épiphytes, la tige (ophiagé) est en contact avec le sol.*

- **pléiophyse anthropique** : feuillage des lianes cultivées (*Vigne, Houblon, ...*)
- **pléiophyse spinescent** : feuillage piquant des lianes ligneuses et vivaces étalées ou redressées (*Smilax aspera, certains Rubus*)

ophiagé :

Troncs et tiges des lianes ligneuses marqués par des structures souples remarquables (lobées, rubanées), souvent pendants et ballants, serpentants parfois à la « surface du sol »α, ainsi que tiges rampantes cherchant à se redresser en s'appuyant sur un support végétal ou minéral. L'ophiagé persiste habituellement à la mauvaise saison (cf. différence korto-pléiophyse).

- **ophiagé anthropique**^{RW} : troncs et tiges des lianes cultivées
- **ophiagé spinescent*** : tiges épineuses des lianes lignifiées (ronces,...)

paraphyse* :

Parasite vivant sur d'autres végétaux, le plus souvent lignifiés (*Viscum album,...*), parasitant les parties aériennes d'autres plantes (branches ou tiges). Par extension, parasites ne contenant pas de chlorophylle s'attaquant aux racines des autres végétaux (cf. différence avec le kortode parasitique : para-kortode).

- **paraphyse kortodé*** : kortode parasitant d'autres végétaux par les parties aériennes, sans implantation à la surface du sol (par exemple *Cuscuta*) ou sans parties vertes (par exemple les Orobanches, Lathrées et suce-pins). Voir aussi **para-kortode** : kortodes se greffant sur les racines des autres plantes
- **paraphyse nanophytique*** : végétaux lignifiés parasitant d'autres végétaux par les parties aériennes, sans implantation à la surface du sol

épiphyteα :

Végétation vivant sur d'autres végétaux, ces derniers servant uniquement de support et ne fournissant aucune substance organique. Pas de racines rejoignant la surface du sol. On distingue les épiphytes occasionnels (diverses plantes herbacées) et les épiphytes exclusifs comprenant des végétaux très spécialisés (feuilles en urne ou en corbeille, feuilles ou tiges plaquées sur leur support) - les mousses et lichens sont considérés comme du phorophytion épiphytique (ou **hypsophorophytion**).

- **épiphyte kortodé*** : plante épiphytique herbacé
- **épiphyte ptéridophytique*** : fougère épiphytique

Intergrades :

- **korto-pléiophyse** : feuillage des lianes peu lignifiées ou herbacées, toujours étayées par des supports végétaux et redressées, à partie aériennes non persistantes à la mauvaise saison (exemples : *Tamus communis, Bryonia, Humulus lupulus, * ...*)
- **mono-pléiophyse**^{RW} : feuillage de monophytes lianescents, peu lignifiés ou herbacés, toujours étalés sur des supports végétaux et redressés
- **necro-ophiagé*** : lianes (tiges) mortes, encore sur place

Diagnostiques structuraux :

- **palissé** : se rapporte au mode de conduite de la vigne sur fil ; taille en guyot ou royat

- **en gobelet ou gobelé** : se rapporte au mode de conduite de la vigne
- **sciaphile** : surtout constitué de fougères à rhizomes adhérents, caractérisant les milieux les plus humides (épiphytes)
- **mésophile** : constitué des végétaux les plus typiques (épiphytes exclusifs), situé à l'aisselle des branches principales (épiphytes)
- **héliophile** : constitué de végétaux adaptés à l'apparition de la sécheresse, situés en périphérie de la forêt (sommet des grands arbres, lisières, savanes humides) (épiphytes)

Remarques et commentaires personnels dans le contexte de l'étude* :

Les ophiagés et pleiophyses ont été fréquemment constatés en milieu forestier, notamment dans les forêts des étages bioclimatiques inférieurs.

Aérophyse et hydrophyse : Volumes d'air et d'eau libres

Richard, Kahn et Chatelin, 1977

Étymologie : du grec *aeros*, air, *hudôr*, eau et *phusos*, expansion.

Diagnostics structuraux :

- A l'opposé des autres matériaux recensés il s'agit là des phases liquides et gazeuses, considérées de manière un peu simplifiée comme de l'eau (H₂O, du moins si le liquide y ressemble) ou de l'air avec une composition atmosphérique typique
- Ces matériaux font l'objet de diagnostics secondaires détaillés portant sur les formes de diffusion potentielle

Processus et bilan (Richard et al. 2005) : Ces fluides essentiels, principaux vecteurs des transferts de matière et des échanges d'énergie internes au géosystème, échappent en grande partie à l'étude extensive du milieu. Sur le terrain, toutefois, on s'attachera à analyser avec le plus de précision possible les « vides » laissés par les autres composantes du milieu : ce sera l'amorce des chemins suivis par les flux les plus importants.

Matériaux primaires et variantes majeures

aérophyse :

Volume occupé par l'air ou volume d'air libre, atmosphère située entre les « particules » ou « agrégats » des autres composantes du milieu.

hydrophyse :

Volume d'eau libre (volume occupé par l'eau), hydrosphère « libre », circulante ou stagnante, située entre les « particules » ou « agrégats » des autres composantes du milieu.

- **hydrophyse édaphique*** : eau libre, gravitationnelle dans le sol
- **hydrophyse aquifère* ou phréatique α** : eaux des nappes souterraines libres ou « actives » contenues dans les interstices des régolites, altérites et plus rarement des tanolites
- **hydrophyse fluviatil*** : eau douce courante (sources, ruisseaux, rivières et fleuves)
- **hydrophyse lacustre*** : eau des lacs
- **hydrophyse marin*** : eau salée (de mer)
- **hydrophyse pluvial^{RW}** : pluie.
- **hydrophyse nival^{RW}** : neige (accumulé)
- **hydrophyse glacial^{RW}** : glace.

Intergrades :

- **aérophyse hydrophique α (hydrophyse nésal^{RW})** : « brouillard » ou « brume »
- **hydro-aérophyse α** : pluie ou averse

Diagnostiques structuraux :

- sédécine^{RW} : eau stagnante.
- célecine^{RW} : eau courante.

Diagnostiques structuraux appliqués à l'hoplexol :

- cléistophique : caractérise une enceinte dans laquelle le volume aérophique représente entre 1 et 45% du volume total (milieu végétal fermé à peu ouvert)
- isophique : caractérise une enceinte dans laquelle le volume aérophique représente entre 45 et 85% du volume total (milieu végétal mi-ouvert à très ouvert)
- stomaphique : caractérise une enceinte dans laquelle le volume aérophique représente plus de 85 % du volume total

Remarques et commentaires personnels dans le contexte de l'étude :

Ces deux composantes sont très particulières puisqu'elles peuvent se retrouver dans tous les sous-ensembles précédents. Dans la mesure où elles sont difficiles à quantifier dans les hoplexols inférieurs sans un appareillage spécifique, les volumes d'air et d'eau ont été négligés dans le métaplexion inférieur et dans l'infraplexion, à l'exception de macropores particulièrement remarquables. L'aérophyse a été donc prise en compte uniquement dans le cadre du supraplexion, du métaplexion supérieur et du métaplexion strict. A l'inverse, l'hydrophyse a été prise en compte seulement à partir du métaplexion strict inférieur et à partir du moment où elle était en circulation libre (sols hydromorphes, ou mouillés, sinon relevés en milieu aquatique ou rivulaire, pour éviter une prise en compte des stexes soumis au hasard météorologique instantané. Dans aucun cas nous n'avons rencontré de l'hydrophyse nivale ou glaciale.

Liste des corps naturels localisé relevés, avec traduction

Code CNL (TAM)	GRAND ENSEMBLE	ORTHOType - MATERIAL VARIANTE MAJEURE VARIANTE SECONDAIRE	INTERGRADE	TRADUCTION ALLEMANDE / vereinfachte Kurzbeschreibung
AH	aerophyse & hydrophyse			fluessige und gasförmige Phasen
AER	AÉROPHYSE			Luft (Volumen der gasförmigen Phase, Hohlräume, etc.)
HDR	HYDROPHYSE			"freies" WASSER, zumeist flüssige Phase
PL	pléiophytion*			Lianen und Kletterpflanzen
PLE	PLÉIOPHYSE			Blattwerk der Lianen / Kletterpflanzen (z.B. Efeublattwerk)
PLS	PLÉIOPHYSE SPINESCENT*			stechendes Blattwerk lianenartiger verholzter oder unverholter Pflanzen
KOPL	KORTO-PLÉIOPHYSE			kaum oder spät verholzte, krautartige Kletterpflanzen
OPH	OPHIAGÉ			verholzter lianenartiger (kletterender) Spross
OPA	OPHIAGÉ ANTHROPIQUE			verholzter lianenartiger (kletterender) Spross der kultivierten Lianen
PYS	PARAPHYSE*			parasitierende Pflanzen, nicht chlorophyllhaltig oder oberirdischen Pflanzenteile befallend
PP	phyllophytion*			Blattwerk und feines Astwerk der Bäume
CON	CONIPHYSE			Blattwerk (Nadeln und Nebenäste) der Nadelbäume
SEM	SEMPERPHYSE			Blattwerk der ausdauernden / immergrünen Laubbäume
CAD	CADUPHYSE			Blattwerk der laubabwerfenden Bäume
XY	xylagon*			Stamm und Hauptäste der Bäume
DEN	DENDRIGÉ			Stamm
NCDE		NÉCRO-DENDRIGÉ		tote Stämme (stehend)
STY	STYLAGÉ			Hauptäste
NCST		NÉCRO-STYLAGÉ		tote Hauptäste
NN	néoligniphytion*			<u>Jungbäume (schwach / nicht verzweigt)</u>
PNP	PÉNÉPHYTION			Jungbäume (<7m, kaum/nicht verzweigt)
PNC	PÉNÉPHYTION CONIFÈRE			Junger Nadelbaum
PNS	PÉNÉPHYTION SEMPERVIRENT			Junger Baum mit ausdauerndem Blattwerk
PND	PÉNÉPHYTION CADUCIFOLIÉ			Junger Baum, laubwerfend
NCPN	NECRO-PÉNÉPHYTION			toter Junger Baum, stehend
NOP	NÉOPHYTION			Sprössling
NOD	NÉOPHYTION CADUCIFOLIÉ			Sprössling laubwerfender Baumarten
NOC	NÉOPHYTION CONIFÈRE			Sprössling der Nadelbaumarten
NOS	NÉOPHYTION SEMPERVIRENT			Sprössling ausdauernder Baumarten
NP	nanophytion			<u>Sträucher (von Grund an verzweigt oder ausgewachsen <7m)</u>
NAC	NANOPHYSE CONIFÈRE*			Sträucher der Nadelholzgewächse (Koniferen)
NAD	NANOPHYSE CADUCIFOLIÉ			beblätterte Teile der laubwerfenden Sträucher und Stauden
NAG	NANOPHYSE GENISCENTE			Sträucher mit grünem Spross und wenigen Blättern (Ginster...)
NAS	NANOPHYSE SPINESCENTE			stachelige/ dornige Sträucher (beblätterte oder obere Teile)
NAL	NANOPHYSE LAURIFOLIÉ			Immergrüne (lorbeerblättrige) Sträucher
KONA	KORTO-NANOPHYSE			Zwergsträucher
MPH	MÉSOPHYSE*			baumartige, grosse Sträucher (>2m) und kleinwüchsige Bäume (<7m)
CLG	CAULIGÉ			unbelaubtes Astwerk und Hauptstiele der Sträucher
NCCA	NÉCRO-CAULIGÉ*			totes, stehendes Astwerk der Sträucher
PT	pteridophytion*			<u>Cryptogamen</u>
PTE	PTÉRIDOPHYTION*			Farnpflanzen
EQU	ÉQUISETOPHYTION*			Schachtelhalme
KP	kortophytion			<u>unverholzte oder kaum verholzte Pflanzen der KRAUTSCHICHT</u>
KOR	KORTODE			Krautige Blütenpflanzen
KOC	KORTODE CRASSULESCENT			dickblättrige (fleischige) Pflanzen, kaktusartige
NAKO	NANO-KORTODE			Halbsträucher
NCKO	NÉCRO-KORTODE			tote, unverholzte Gefässpflanze, stehend
GRA	GRAMEN			Graspflanzen (nicht verholzt)
NCGR	NÉCRO-GRAMEN			tote Graspflanzen (stehend)
AN	anthropolite* (rudéfact ^{ca})			künstliches, anthropogenes Material
PH	phorophytion			Moose und Flechten
BRY	BRYOPHYTION			Moospflanzen
MYC	MYCOPHYTION			Pilze (incl. Mycelium)
PHC	PHYCOPHYTION			Flechten und Algen
OR	organumite			organische Auflage (Streu)
NEC	NÉCROPHYTION			nicht oder unwesentlich zersetzte Streu (OI)
NEA	NÉCROPHYTION ACIFOLIÉ			tote, abgefallene Nadeln
NEF	NÉCROPHYTION FOLIACÉ			Laub, unzersetzt
NEL	NÉCROPHYTION LIGNEUX			Totholz und Äste, liegend

Code CNL (TAM)	GRAND ENSEMBLE	ORTHOType - MATERIAU VARIANTE MAJEURE VARIANTE SECONDAIRE	INTERGRADE	TRADUCTION ALLEMANDE / vereinfachte Kurzbeschreibung
NEG			NÉCROPHYTON GRAMENÉ	totes Gras, liegend (vom lebenden Teil abgetrennt)
NES			NÉCROPHYTON SPOROÏDE*	in der Streu enthaltene Fruchtkörper (z.B Zapfen, Eicheln, Samen)
NCT			NÉCRUMITE	im Oh-Horizont enthaltenes Material
NCNT			NÉCRO-NÉCRUMITE	im Of-Horizont enthaltenes Material
TPH			TÉPHRALITE	Asche und Kohle
TPXX			PALÉO-TÉPHRALITE*	Verschüttete Kohle oder Paleo-kohlehorizonte
HIT			HISTITE	Torf
ZO			zoolite	zoogene Ausscheidungen und Sekundärprodukte
ZOO			ZOOLITE	organisch kaum oder leicht verändertes Material
MIZ			MICROZOOLITE*	grosse Anhäufung organisch leicht veränderten Materials (Ameisenhaufen ...)
MSZ			MÉSOZOOLITE*	organisch kaum veränderte Mikroaggregate (Regenwurmausscheidungen)
MAZ			MACROZOOLITE*	organisch kaum modifizierter Erdauswurf <50cm (Maulwurfshügel etc.)
MEZ			MÉGAZOOLITE *	organisch nicht /geringfügig modifizierte Erdakkumulationen >50cm
CPR			COPRUMITE*	Tierische Ausscheidungen (v.a. Wirbeltiere)
MSC			MÉSOCOPRUMITE	Ausscheidungen v.a. von kleinen oder mittelgrossen Wirbeltieren
MAC			MACROCOPRUMITE	Ausscheidungen von grösseren Plazentatieren
EP			epilite	Lockergestein / Skelett >0,2mm, auf Bodenoberfläche aufliegend
PEE			PETAÉPILITE	Grosblöcke und Felsen (> 63cm)
MEE			MÉGAÉPILITE	Grobgrus und -kies (20-63mm), kantige und gerundete Steine (2-20cm)
MAE			MACROÉPILITE	Kiese und Grus (2-20mm) (ohne Grobgrus/-kies)
EPAN			ANTHROPO-ÉPILITE*	anthropogen bedingte Anhäufungen von Steinen und Blöcken (Lesesteine, Trockenmauern...)
DM			dermilite	verfestigte Bodenoberfläche
RZ			rhizophytion	Wurzelwerk
RZP			RHIZOPHYSE	Hauptwurzeln (von Bäumen und Sträuchern)
RZG			RHIZAGÉ	kleine Wurzeln
GRZ			GRUMORHIZE	Haarwurzeln, Grasfilz
HC			humichron	humoses organo-mineralisches Oberbodenmaterial
HMT			HUMITE	im Ah-Horizont enthaltenes Material
HMP			HUMITE PSAMMITIQUE*	im Ah-Horizont enthaltenes, sandiges Material
HMC			HUMITE CARBONATÉ*	im Ah-Horizont enthaltenes, karbonathaltiges Material
HMH			HUMITE HÉMI-ORGANIQUE*	im Ah-Horizont enthaltenes, stark humoses Material
HMBC			BRUNI-HUMITE*	im Ah(-Bv)-Horizont enthaltenes Material
MNT			MINÉRUMITE	im A-Horizont enthaltenes Material unter Moder oder Mor
MLT			MÉLANUMITE	anmooriges Material
PC			pédochron* (ou structichron s.L.)	Material der mineralischen Bodenhorizonte
BCN			BRUNICHRON	braunerdeartiges Bodenmaterial
BCP			BRUNICHRON PSAMMITIQUE	braunerdeartiges, sandiges Material
BCC			BRUNICHRON CARBONATÉ*	braunerdeartiges, karbonathaltiges Material
BCD			BRUNICHRON DYSCROPHE	braunerdeartiges, teils auch lessiviertes oder fahlerdeartiges, saures Bodenmaterial
BCAR			ARÉNO-BRUNICHRON*	braunerdeartiges Material mit hohem Sandanteil aus Verwitterungsgrus entstanden
BCAT			ALTÉ-BRUNICHRON*	braunerdeartiges Material mit hohem Anteil an feinem Verwitterungsmaterial
BCEF			ENTA-BRUNICHRON*	kolluvial angereichtes, mächtiges braunerdeartiges Material
BCHM			HUMO-BRUNICHRON*	braunerdeartiges aber noch sehr humoses Material im Übergangs-Horizont enthalten
KT			kérite (ou calite)	verfestigtes karbonatreiches Material
SR			stérite	verfestigtes Eisenoxidreiches Material
LUT			luérites	mineralisches Material, rezenten Transportvorgängen unterworfen
EFN			ENTAFÉRON	mineralisches Feinmaterial, rezenten Transportvorgängen unterworfen
EFA			ENTAFÉRON ALLUVIAL	mineralisches Feinmaterial, fluviatilen Ursprungs
EFC			ENTAFÉRON COLLUVIAL	mineralisches Feinmaterial, am Hang verlagert
EFG			ENTAFÉRON MORAINIQUE	mineralisches Feinmaterial, glazialen Ursprungs
EFAT			ALTÉ-ENTAFÉRON*	mineralisches Feinmaterial aus Verwitterung entstanden und local verlagert
EFBC			BRUNI-ENTAFÉRON	mineralisches Feinmaterial mit beginnender Brunifizierung
PSM			PSAMMITON	sandiges, gut sortiertes Material, meist eolischen oder fluvialen Ursprungs
GVN			GRAVELON	Fein- und Grobskelettanteil der Böden und der nicht verfestigten Sedimente
PEG			PETAGRAVELON	Grosblöcke und Felsen
MEG			MÉGAGRAVELON	Grobkies bzw. -grus und Steine
MAG			MACROGRAVELON	Fein-Mittelkies bzw. -grus
GNAN			ANTHROPO-GRAVELON*	Fein- und Grobskelettanteil, anthropogen verlagert
GNAR			ARÉNO-GRAVELON*	verlagerter Verwitterungsgrus

Code CNL (TAM)	GRAND ENSEMBLE	ORTHOTYPE - MATERIAU	VARIANTE MAJEURE	VARIANTE SECONDAIRE	INTERGRADE	TRADUCTION ALLEMANDE / vereinfachte Kurzbeschreibung
GNRE					RÉGO-GRAVELON	lokal verlagertes Verwitterungsschutt
LUTN					TANO-LUÉRITE*	unverfestigte Sedimente
OB		oxydon (ou blastolite)				Konkretionen /Flecken die sich vom umgebenden Material unterscheiden
RT		réducton et rétichron (<i>réduchron*</i>)				Oxydations- und Reduktionsprozessen unterworfenendes Material
RTC		RÉTICHRON				in Stauwasserhorizonten enthaltenes, sandiges pseudogley-artiges Material
RTP		RÉTICHRON PSAMMITIQUE				in Stauwasserhorizonten enthaltenes, sandiges Material
RDN		RÉDUCTON				in Grundwasserhorizonten enthaltenes, homogenfarbenes Gley-artiges Material
RDP		RÉDUCTON PSAMMITIQUE				in Grundwasserhorizonten enthaltenes, sandiges Material mit
RDRT		RÉTI-RÉDUCTON				in Oxidationshorizonten enthaltenes, fleckiges Material der Gleyböden
AT		altérite				Verwitterungsmaterial
ATR		ALTÉRITE (orthique)*				grabbares, verwittertes Material; Originalstruktur des Ausgangsgesteins kaum noch erkennbar
ARE		ARÉNITE				grabbares, verwittertes sandig bis grusiges Material (aus granitartigem oder sandigem Gestein)
ATRE		RÉGO-ALTÉRITE				schwer grabbares, verwittertes Material, Strukturen des Ausgangsgesteins noch erkennbar
ATGN		GRAVÉ-ALTÉRITE*				Skelett aus schwer verwitterbaren Festgestein (v.a. Quarz)
ARRE		RÉGO-ARÉNITE				angewittertes, noch kohärentes Material aus granitartigem oder sandigem Festgestein
TN		tanolite (<i>malacolite</i>)				Lockergestein oder verfestigte Sedimente
RE		régolite				Festgestein
REG		REGOLITE				nicht oder kaum angewittertes Festgestein
REL		RÉGOLITE LEUCOCRATE				nicht oder kaum angewittertes granitartiges Festgestein
RES		RÉGOLITE SCHISTEUX				nicht oder kaum angewittertes metamorphes (schieferartiges) Festgestein
REC		RÉGOLITE CARBONATÉ				nicht oder kaum angewitterter Kalkstein oder Dolomit
HYP		HYPSORÉGOLITE				oberflächlich anstehendes oder über die Bodenoberfläche herausragendes Festgestein
HYC		HYPSORÉGOLITE CARBONATÉ*				oberflächlich anstehender Kalkstein
HYL		HYPSORÉGOLITE LEUCOCRATE*				oberflächlich anstehendes granitartiges Festgestein
HYS		HYPSORÉGOLITE SCHISTEUX*				oberflächlich anstehendes metamorphes Festgestein

N.B. : Tabelle identisch mit der französischen Version im Text, Übersetzung Anja Müller

Fiches de relevés

FG - Fiche du « relevé général »

F.G. - DONNEES GENERALES

FG v 0.6
12/05/2006
portable:
06/11/III/III

THESE DE DOCOTRAT portant sur "la géodiversité / diversité paysagère du Massif Madres-Coronat" - GEODE
(CNRS/UMR 5602) / Université de Toulouse II-le Mirail & Institut für Geographie und Geoökologie I,
Universität Karlsruhe & Association Gestionnaire de la Réserve Naturelle de Nohèdes

1 FG

LOCALISATION, CARACTERISTIQUES PRINCIPALES, TOPOGRAPHIE, MODELE, TRACES

AUTEUR

date / 2006 heure (debut du relevé) h

* à utiliser: FicheAnnexeSegmens
FicheAnnexeRecoArboret
FicheAnnexe Tangens, GPS, Boussole
mètre 100m/2m, IGN Top25

Relevé N° attribué TRANSECT N° devient RELEVÉ

RELEVÉ N°

Site = secteur dit surface du relevé [m²]

Coordonnées GPS: X Y (proj./méridien):

Météo actuelle les derniers jours:

TOPOGRAPHIE Altitude *Höhe D.N.N.* selon GPS selon IGN autre sources?

Exposition du versant: N NO O SO S SW W NW plat

Exposition vallon / crête: et de la vallée position sur la pente: 2

Pente: min / max %

MODELE / MORPHODY Profil vertical concave (V)/convexe (X)/droite (G)

Profil horizontal concave (V)/convexe (X)/droite (G)

Segment: plateau exposé replat de versant versant supérieur versant intermédiaire versant inférieur dépression fermée couloir (renfoncement) terrasse alluviale moraine pied de versant cône de déjection cône d'éboulis pic / mamelon (butte) croupe crête col escarpement abrupt / corniche > 70 talus talweg autre

& Variante / Intergrade Mésomodélé

Dynamique: transitif accumulatif autonome érosif

Taille du Segment: m de long ** m de large **

Erosion: hydr / nival / anémo. / zoog. / anthr. = érosif - - + / - + + + accuml.

Terrasses de cultures [m]: long large hauteur état: excellent/bon/dégradé/très dégradé/méconnaissable non à proximité à m, dir.

Versant au dessus: absent e. active roche végétalisé 100% 50% sol (+/-nu) autre:

AFFLEUREMENT / SUBSTRAT surface occupée: hauteur max.

Roche affleurante: oui/non % pas d'affleurement éboulis blocs pierriers autre:

Type de Roche: 0 ? + ++ +++

HCL: Test: = oui / non

Hydrisme: 1 2 3 4 5 6 7 1=très sec 2=assez sec 3=assez frais 4=frais 5=tr. frais 6=humide 7=eau

UTILISATION / NUTZUNG Commune dom état. com privé ? n. r. i.

Statut Foncier: habitât. & jard. terrain agricole culture / potage verges / cut. p. pré prairie de pelouse lande fructifiée friche (aure) roche / éboulis arboré boisé forêt ruisseau moulière / tou autre

Occupation du sol: cultures clôture refuge arr. corral ruines terrasses murettes pierres charbon piéte / ro sentier anc sent canal figole état / autres:

VEGETATION Recouvrement* strates (x/10) LH: LB: H: Z:

Série (carte de Gaussien) type:

Etage bioclimatique

Habitat naturel* CORINE / NATURA2000 dite non décrit en 2006

Descriptif & principales espèces végétales: friche cultures débroussaillage fauchage irrigation autre:

FAUNE Faune sauvage observé (mammifères) non relevé non déterminés

Traces et indices

FEU Incendies / brûlage ?* oui / non / ? année incendie brûlage dirigé autre: traces:

PASTORALISME Utilis. pastorale = pacage régulier / diffus / ??? / nc betail: Type

Espèces broutées (visibles): piétinement +++ ++ + (+) 0

Nom Estive/ Propriétaire: non traces autres:

Etat général & Dégradations ? clôture =: non / ? / hors de vue / en dehors / dedans à m de R chien de garde: non / oui

embroussaillage: 0 (+) + +++ +++

FORET Forêt ? = oui / boisé / arboré / (+) / 0 = domanial / communal / privé / ind. /

N° parcelle

Hauteur dominante: hauteur moyenne < 2,5 5 10 15 20 25 30 35 40 45 >

Diamètre [1,30m] dominant: diamètre moyen 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 >

Densité: tiges/ha r=7a => 10000m²/((pi*r²)/7) ou (nb a en r=11m)*25

Gestion ? = oui / non / ??? out: type & essence(s) tirs / déb. martelage coupes élagage piste forst.

précisions: chablis inf. nivale clairières taille(s):

NOTES / COMMENTAIRES:

FB - Fiche du « relevé des biovolumes »

F.B. - BIOVOLUMES

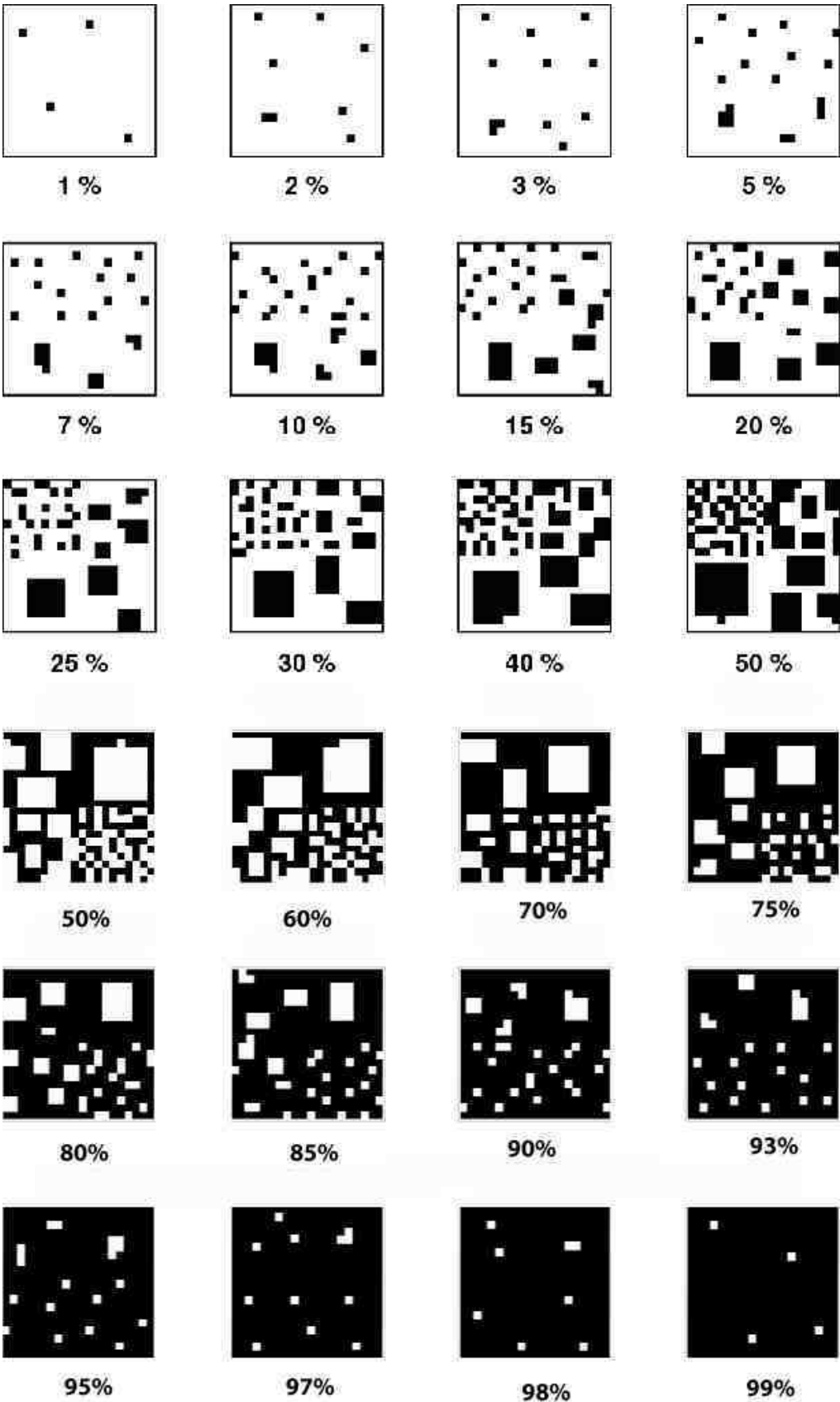
FB v 0.2

Phytovolumes: Angiospermes, Gymnospermes et Pterid. CODE cf. F.E.

DATE _____ h _____ 4 **FB**
 AUTEUR _____
 RELEVÉ N° _____
 VBD Fels Erde Sand AFL Strasse Siedl. IFL EBL Wasser

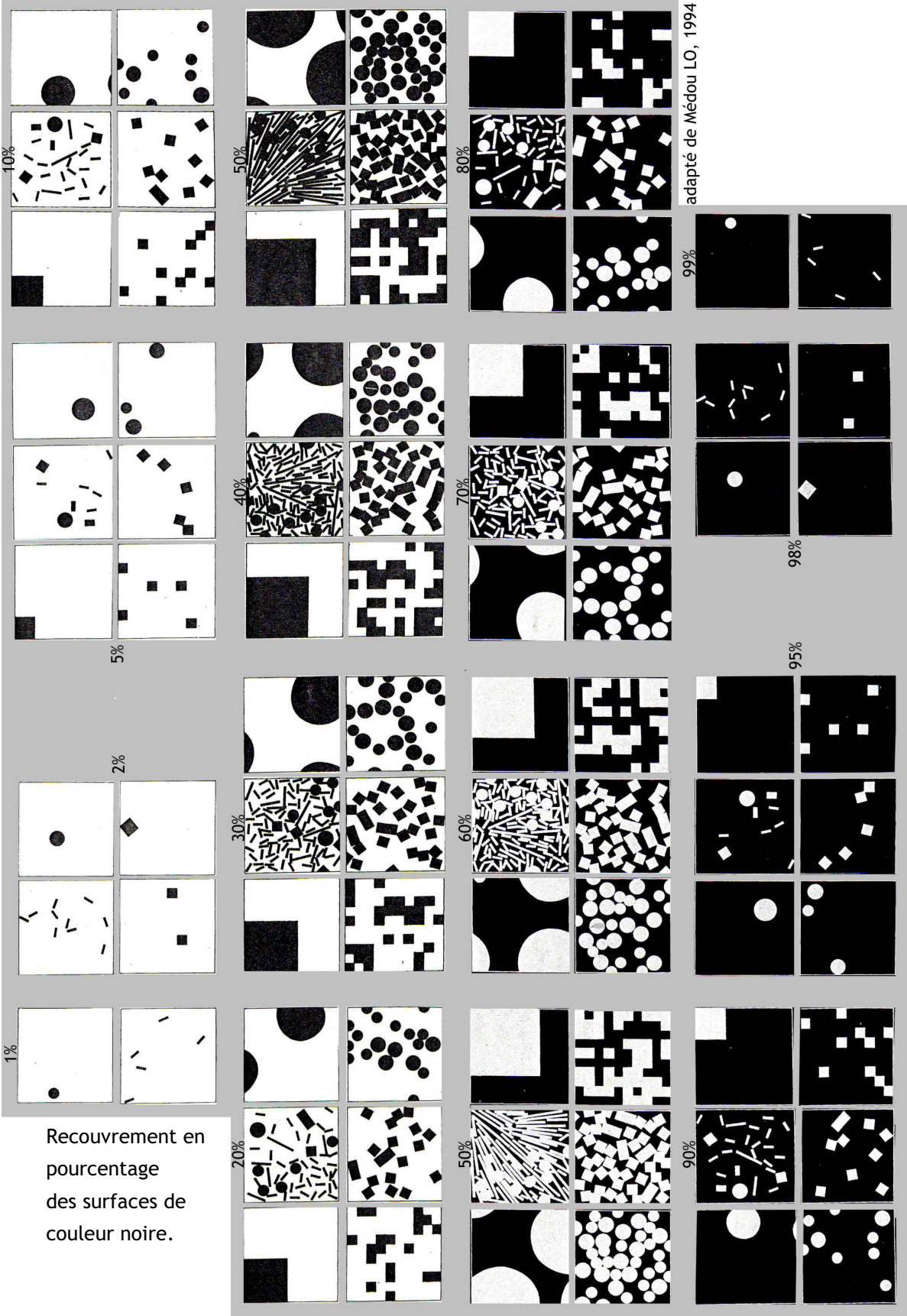
FLNAME	nom	VBD	Fels	Erde	Sand	AFL	Strasse	Siedl.	IFL	EBL	Wasser
FLNR	N°										
FLGR	surf.										
Taxon											
1	0 - 20 cm										
2	20 - 50cm										
3	50cm - 1m										
4	1 - 2m										
5	2 - 5m										
6	5 - 10m										
7	10 - 20m										
8	20 - 40m										

FA-E : Charte d'estimation visuelle (1)



Source : Godron et al. 1968, modifié

FA-E : Charte d'estimation visuelle (2)



Source : Lo, 1994, modifications A. Müller

FA-T : Fiche « tangente »

FA-T Fiche Annexe "Tangente" Calcul pour la hauteur d'arbre selon distance de l'arbre sur hauteur égale

Mode d'emploi: Se situant à une distance de 5, 8, 10, 12, 15, 18, 20, 25, 30 ou 40 m (adaptés à la hauteur de l'arbre) du pied de l'arbre (à la même altitude I) on détermine l'angle (degré; colonne grise) en observant la pointe de cime de l'arbre avec un clinomètre. La hauteur réelle pour une personne ayant les yeux à 1,55m peut être lu dans la dernière colonne. Le résultat doit être arrondi à 0,5 ou 1m près.

40	+1,55m		25	+1,55m		20	+1,55m		18	+1,55m		15	+1,55m		12	+1,55m		10	+1,55m		8	+1,55m		5		
	dist. a	h. mes. h. réelle		dist. a	h. mes. h. réelle		dist. a	h. mes. h. réelle		dist. a	h. mes. h. réelle		dist. a	h. mes. h. réelle		dist. a	h. mes. h. réelle		dist. a	h. mes. h. réelle		dist. a	h. mes. h. réelle		dist. a	h. mes. h. réelle
40	4,20	5,8	25	2,63	4,2	20	2,10	3,7	18	1,9	3,4	15	1,6	3,1	12	1,3	2,8	10	1,1	2,6	8	0,8	2,4	5	0,5	2,1
40	4,91	6,5	25	3,07	4,6	20	2,46	4,0	18	2,2	3,8	15	1,8	3,4	12	1,5	3,0	10	1,2	2,8	8	1,0	2,5	5	0,6	2,2
40	5,62	7,2	25	3,51	5,1	20	2,8	4,4	18	2,5	4,1	15	2,1	3,7	12	1,7	3,2	10	1,4	3,0	8	1,1	2,7	5	0,7	2,3
40	6,34	7,9	25	3,96	5,5	20	3,17	4,7	18	2,9	4,4	15	2,4	3,9	12	1,9	3,5	10	1,6	3,1	8	1,3	2,8	5	0,8	2,3
40	7,05	8,6	25	4,41	6,1	20	3,62	5,1	18	3,2	4,7	15	2,6	4,2	12	2,1	3,7	10	1,8	3,3	8	1,4	3,0	5	1,0	2,4
40	7,78	9,3	25	4,86	6,4	20	4,11	5,3	18	3,5	5,4	15	2,9	4,5	12	2,3	3,9	10	1,9	3,5	8	1,5	3,1	5	1,1	2,5
40	8,50	10,1	25	5,31	6,9	20	4,56	5,8	18	3,8	5,4	15	3,2	4,7	12	2,6	4,1	10	2,1	3,7	8	1,6	3,3	5	1,2	2,6
40	9,23	10,8	25	5,77	7,3	20	5,01	6,2	18	4,2	5,7	15	3,5	5,0	12	2,8	4,3	10	2,3	3,9	8	1,7	3,4	5	1,3	2,7
40	9,97	11,5	25	6,23	7,8	20	5,46	6,5	18	4,5	6,0	15	3,7	5,3	12	3,0	4,5	10	2,4	4,0	8	1,8	3,5	5	1,4	2,8
40	10,72	12,3	25	6,70	8,2	20	5,91	6,9	18	4,8	6,4	15	4,0	5,6	12	3,2	4,8	10	2,5	4,0	8	1,9	3,5	5	1,5	2,9
40	11,47	13,0	25	7,17	8,7	20	6,36	7,3	18	5,2	6,7	15	4,3	5,9	12	3,4	5,0	10	2,6	4,1	8	2,0	3,6	5	1,6	3,0
40	12,23	13,8	25	7,64	9,2	20	6,81	7,7	18	5,6	7,1	15	4,6	6,1	12	3,6	5,2	10	2,7	4,2	8	2,1	3,6	5	1,7	3,1
40	13,00	14,5	25	8,12	9,7	20	7,26	8,0	18	6,0	7,4	15	4,9	6,4	12	3,8	5,4	10	2,8	4,3	8	2,2	3,7	5	1,8	3,2
40	13,77	15,3	25	8,61	10,2	20	7,71	8,4	18	6,4	7,7	15	5,2	6,7	12	4,0	5,6	10	2,9	4,4	8	2,3	3,8	5	1,9	3,3
40	14,56	16,1	25	9,10	10,6	20	8,16	8,8	18	6,8	8,1	15	5,5	7,0	12	4,2	5,8	10	3,0	4,5	8	2,4	3,9	5	2,0	3,4
40	15,35	16,9	25	9,60	11,1	20	8,61	9,2	18	7,3	8,6	15	5,8	7,3	12	4,4	6,0	10	3,1	4,6	8	2,5	4,0	5	2,1	3,5
40	16,16	17,7	25	10,10	11,7	20	9,06	9,6	18	7,7	9,0	15	6,1	7,6	12	4,6	6,2	10	3,2	4,7	8	2,6	4,1	5	2,2	3,6
40	16,98	18,5	25	10,61	12,2	20	9,51	10,0	18	8,2	9,5	15	6,4	7,9	12	4,8	6,4	10	3,3	4,8	8	2,7	4,2	5	2,3	3,7
40	17,81	19,4	25	11,13	12,7	20	9,96	10,5	18	8,7	10,0	15	6,7	8,2	12	5,0	6,6	10	3,4	4,9	8	2,8	4,3	5	2,4	3,8
40	18,65	20,2	25	11,66	13,2	20	10,41	10,9	18	9,2	10,5	15	7,0	8,5	12	5,3	6,9	10	3,5	5,0	8	2,9	4,4	5	2,5	3,9
40	19,51	21,1	25	12,19	13,7	20	10,86	11,3	18	9,7	10,9	15	7,3	8,9	12	5,6	7,1	10	3,6	5,1	8	3,0	4,5	5	2,6	4,0
40	20,38	21,9	25	12,74	14,3	20	11,31	11,7	18	10,2	11,3	15	7,6	9,2	12	5,9	7,4	10	3,7	5,2	8	3,1	4,6	5	2,7	4,1
40	21,27	22,8	25	13,29	14,8	20	11,76	12,2	18	10,7	11,7	15	7,9	9,6	12	6,2	7,9	10	3,8	5,3	8	3,2	4,7	5	2,8	4,2
40	22,17	23,6	25	13,86	15,4	20	12,21	12,6	18	11,2	12,1	15	8,2	9,8	12	6,5	8,2	10	3,9	5,4	8	3,3	4,8	5	2,9	4,3
40	23,09	24,6	25	14,43	16,0	20	12,66	13,1	18	11,7	12,6	15	8,5	10,2	12	6,8	8,5	10	4,0	5,5	8	3,4	4,9	5	3,0	4,4
40	24,03	25,6	25	15,02	16,6	20	13,11	13,6	18	12,2	13,1	15	8,9	10,6	12	7,2	8,8	10	4,1	5,6	8	3,5	5,0	5	3,1	4,5
40	24,99	26,5	25	15,62	17,2	20	13,56	14,0	18	12,7	13,6	15	9,3	10,9	12	7,5	9,0	10	4,2	5,7	8	3,6	5,1	5	3,2	4,6
40	25,98	27,5	25	16,24	17,8	20	14,01	14,5	18	13,2	14,1	15	9,7	11,3	12	7,8	9,3	10	4,3	5,8	8	3,7	5,2	5	3,3	4,7
40	26,98	28,5	25	16,86	18,4	20	14,46	15,0	18	13,7	14,6	15	10,1	11,7	12	8,1	9,6	10	4,4	5,9	8	3,8	5,3	5	3,4	4,8
40	28,01	29,6	25	17,51	19,1	20	15,01	15,6	18	14,2	15,1	15	10,5	12,1	12	8,4	10,0	10	4,5	6,0	8	3,9	5,4	5	3,5	4,9
40	29,06	30,6	25	18,16	19,7	20	15,56	16,1	18	14,7	15,6	15	10,9	12,4	12	8,7	10,3	10	4,6	6,1	8	4,0	5,5	5	3,6	5,0
40	30,14	31,7	25	18,84	20,4	20	16,11	16,6	18	15,2	16,1	15	11,3	12,9	12	9,0	10,6	10	4,7	6,2	8	4,1	5,6	5	3,7	5,1
40	31,25	32,8	25	19,53	21,1	20	16,66	17,2	18	15,7	16,6	15	11,7	13,3	12	9,3	10,9	10	4,8	6,3	8	4,2	5,7	5	3,8	5,2
40	32,39	33,9	25	20,24	21,8	20	17,21	17,7	18	16,2	17,1	15	12,1	13,7	12	9,6	11,1	10	4,9	6,4	8	4,3	5,8	5	3,9	5,3
40	33,56	35,1	25	20,98	22,5	20	17,76	18,3	18	16,7	17,6	15	12,6	14,1	12	9,9	11,3	10	5,0	6,5	8	4,4	5,9	5	4,0	5,4
40	34,77	36,3	25	21,73	23,3	20	18,31	18,9	18	17,3	18,2	15	13,0	14,6	12	10,2	11,6	10	5,1	6,6	8	4,5	6,0	5	4,1	5,5
40	36,02	37,6	25	22,51	24,1	20	18,86	19,6	18	17,8	18,7	15	13,5	15,1	12	10,4	12,0	10	5,2	6,7	8	4,6	6,1	5	4,2	5,6
40	37,30	38,9	25	23,31	24,9	20	19,41	20,2	18	18,3	19,2	15	14,0	15,5	12	10,6	12,4	10	5,3	6,8	8	4,7	6,2	5	4,3	5,7
40	38,63	40,2	25	24,14	25,7	20	19,96	20,6	18	18,8	19,7	15	14,5	16,0	12	10,8	12,7	10	5,4	6,9	8	4,8	6,3	5	4,4	5,8
40	40,00	41,6	25	25,00	26,6	20	20,51	21,6	18	19,4	20,3	15	15,0	16,6	12	11,0	13,1	10	5,5	7,0	8	4,9	6,4	5	4,5	5,9
40	41,42	43,0	25	25,89	27,4	20	21,06	22,3	18	19,9	20,8	15	15,5	17,1	12	11,2	13,6	10	5,6	7,1	8	5,0	6,5	5	4,6	6,0
40	42,89	44,4	25	26,81	28,4	20	21,61	23,0	18	20,4	21,3	15	16,0	17,6	12	11,4	14,0	10	5,7	7,2	8	5,1	6,6	5	4,7	6,1
40	44,42	46,0	25	27,77	29,3	20	22,16	23,8	18	20,9	21,8	15	16,5	18,2	12	11,6	14,4	10	5,8	7,3	8	5,2	6,7	5	4,8	6,2
40	46,01	47,6	25	28,76	30,3	20	22,71	24,6	18	21,4	22,3	15	17,0	18,8	12	11,8	14,8	10	5,9	7,4	8	5,3	6,8	5	4,9	6,3
40	47,67	49,2	25	29,79	31,3	20	23,26	25,4	18	21,9	22,8	15	17,5	19,4	12	12,0	15,1	10	6,0	7,5	8	5,4	6,9	5	5,0	6,4
40	34,77	36,3	25	30,87	32,4	20	23,81	26,2	18	22,4	23,3	15	18,0	20,0	12	12,2	15,4	10	6,1	7,6	8	5,5	7,0	5	5,1	6,5
40	36,02	37,6	25	31,96	33,3	20	24,36	27,1	18	22,9	24,0	15	18,5	20,9	12	12,4	15,8	10	6,2	7,7	8	5,6	7,1	5	5,2	6,6
40	37,30	38,9	25	33,16	34,2	20	24,91	28,0	18	23,4	24,5	15	19,0	21,7	12	12,6	16,2	10	6,3	7,8	8	5,7	7,2	5	5,3	6,7
40	38,63	40,2	25	34,41	35,0	20	25,46	28,9	18	23,9	25,0	15	19,5	22,6	12	12,8	16,6	10	6,4	7,9	8	5,8	7,3	5	5,4	6,8
40	40,00	41,6	25	35,70	35,9	20	26,01	29,8	18	24,4	25,5	15	20,0	23,5	12	13,0	17,0	10	6,5	8,0	8	5,9	7,4	5	5,5	7,0
40	41,42	43,0	25	37,06	36,8	20	26,56	30,7	18	24,9	26,4	15	20,5	24,4	12	13,2	17,4	10	6,6	8,1	8	6,0	7,5	5	5,6	7,1
40	42,89	44,4	25	38,46	37,6	20	27,11	31,6	18	25,4	27,3	15	21,0	25,3	12	13,4	17,8	10	6,7	8,2	8	6,1	7,6	5	5,7	7,2
40	44,42	46,0	25	39,89	38,5	20	27,66	32,5																		

FA-B : Tableau pour l'estimation de la texture-terrain

Definition der Feinbodenarten nach ihren Fraktionen und Schlüssel zur Bestimmung der Bodenart im Gelände mittels Fingerprobe 1/2

Bodenarten-Hauptgruppen	Bodenarten-Gruppen	Bodenarten	Angaben in Masse-%			Bindigkeit	Formbarkeit	Körnigkeit ¹⁾	weitere Erkennungsmerkmale
			Ton	Schluff	Sand				
Sandes	Reinsandess	reiner Sand Ss	0 bis < 5	0 bis < 10	85 bis ≤ 100	0	0	nur Sandkörner, ohne erkennbare Feinsubstanz ¹⁾	in Fingerrillen haftet keine oder kaum Feinsubstanz
	Lehmsandels	schwach schluffiger Sand Su2	0 bis < 5	10 bis < 25	70 bis < 90	0	0	Sandkörner gut sichtbar und fühlbar, sehr wenig Feinsubstanz	in Fingerrillen haftet sehr wenig Feinsubstanz
		schwach lehmiger Sand SI2	5 bis < 8	10 bis < 25	67 bis < 85	1	1 bis 2	Sandkörner deutlich sichtbar und fühlbar, sehr wenig Feinsubstanz	in Fingerrillen haftet wenig Feinsubstanz
		mittel lehmiger Sand SI3	8 bis < 12	10 bis < 40	48 bis < 82	2	3	Sandkörner deutlich sichtbar und fühlbar, wenig bis mäßig Feinsubstanz	in Fingerrillen haftet Feinsubstanz
		schwach toniger Sand SI2	5 bis < 17	0 bis < 10	73 bis < 95	1 bis 2	1 bis 3	Sandkörner sichtbar und fühlbar, sehr wenig Feinsubstanz	in Fingerrillen haftet sehr wenig Feinsubstanz
	Schluffsandus	mittel schluffiger Sand Su3	0 bis < 8	25 bis < 40	52 bis < 75	0 bis 1	0 bis 2	Sandkörner gut sichtbar und fühlbar, deutlich Feinsubstanz führend	in Fingerrillen haftet schwach mehlig Feinsubstanz
		stark schluffiger Sand Su4	0 bis < 8	40 bis < 50	42 bis < 60	0 bis 1	0 bis 2	Sandkörner gut sichtbar und fühlbar, viel Feinsubstanz	in Fingerrillen haftet stark mehlig Feinsubstanz
Lehme I	Sandlehme sl	schluffig-lehmiger Sand Slu	8 bis < 17	40 bis < 50	33 bis < 52	1 bis 2	3	Sandkörner deutlich sichtbar und fühlbar, viel Feinsubstanz	Feinsubstanz ist deutlich mehlig
		stark lehmiger Sand SI4	12 bis < 17	10 bis < 40	43 bis < 78	2	3	Sandkörner gut sichtbar und fühlbar, mäßig bis viel Feinsubstanz	schwach glänzende Reibfläche, walnussgroße Kugel formbar
		mittel toniger Sand St3	17 bis < 25	0 bis < 15	60 bis < 83	3	3	Sandkörner deutlich sichtbar und fühlbar, mäßig Feinsubstanz führend	sehr klebrige Feinsubstanz („Honigsand“)
	Normallehme II	schwach sandiger Lehm Ls2	17 bis < 25	40 bis < 50	25 bis < 43	3	3	Sandkörner deutlich sichtbar und fühlbar, viel Feinsubstanz	sehr schwach mehlig Feinsubstanz
		mittel sandiger Lehm Ls3	17 bis < 25	30 bis < 40	35 bis < 53	3	3	Sandkörner deutlich sichtbar und fühlbar, viel Feinsubstanz	glänzende Reibfläche, sehr deutlich körnig
		stark sandiger Lehm Ls4	17 bis < 25	15 bis < 30	45 bis < 68	3	3	Sandkörner deutlich sichtbar und fühlbar, mäßig Feinsubstanz führend	schwach glänzende Reibfläche, sehr deutlich körnig
		schwach toniger Lehm Lt2	25 bis < 35	30 bis < 50	15 bis < 45	4	4	Sandkörner gut sichtbar und fühlbar, sehr viel Feinsubstanz	schwach raue, schwach glänzende Reibfläche
	Tonlehme tl	sandig-toniger Lehm Lts	25 bis < 45	15 bis < 30	25 bis < 60	4 bis 5	4 bis 5	Sandkörner deutlich sichtbar und fühlbar, reich an Feinsubstanz	sehr stark glänzende Reibfläche, körnig
		stark sandiger Ton Ts4	25 bis < 35	0 bis < 15	50 bis < 75	4	4	Sandkörner gut sichtbar und fühlbar, viel Feinsubstanz	raue, glänzende Reibfläche, deutlich körnig
		mittel sandiger Ton Ts3	35 bis < 45	0 bis < 15	40 bis < 65	5	5	Sandkörner deutlich sichtbar und fühlbar, sehr viel Feinsubstanz	schwach raue, glänzende Reibfläche, deutlich körnig, klebrig, zähplastisch
Schluffe u	Sand-schluffe su	reiner Schluff Uu	0 bis < 8	80 bis ≤ 100	0 bis < 20	0 bis 1	1	Sandkörner kaum oder nicht sichtbar und fühlbar, fast nur Feinsubstanz	samtig-mehlig Feinsubstanz haftet deutlich in Fingerrillen, Reibfläche matt und aufschuppend
		sandiger Schluff Us	0 bis < 8	50 bis < 80	12 bis < 50	0 bis 1	1	Sandkörner sichtbar und fühlbar, Feinsubstanz überwiegt	samtig-mehlig Feinsubstanz haftet deutlich in Fingerrillen, Reibfläche körnig, matt und aufschuppend

Source: ad-Hoc Arbeitsgruppe Boden 2005, pp.144-147, tableau 30

Definition der Feinbodenarten nach ihren Fraktionen und Schlüssel zur Bestimmung der Bodenart im Gelände mittels Fingerprobe 2/2

Bodenarten-Hauptgruppen	Bodenarten-Gruppen	Bodenarten	Angaben in Masse-%			Bindigkeit	Formbarkeit	Körnigkeit ¹⁾	weitere Erkennungsmerkmale
Schluffe u	Lehm-schluffe lu	schwach toniger Schluff Ut2	8 bis < 12	65 bis < 92	0 bis < 27	1	2	Sandkörner kaum oder nicht sicht- und fühlbar, fast nur Feinsubstanz	sehr stark mehlig Feinsubstanz haftet deutlich in Fingerrillen, raue, matte und aufschuppende Reibfläche
		mittel toniger Schluff Ut3	12 bis < 17	65 bis < 88	0 bis < 23	2	2	Sandkörner nicht sicht- und fühlbar, fast nur Feinsubstanz	deutlich mehlig Feinsubstanz haftet gut erkennbar in Fingerrillen, Reibfläche matt und aufschuppend
		sandig-lehmiger Schluff Uls	8 bis < 17	50 bis < 65	18 bis < 42	1 bis 2	1 bis 3	Sandkörner sicht- und fühlbar, Feinsubstanz überwiegt	leicht mehlig Feinsubstanz haftet deutlich in Fingerrillen
	Ton-schluffe tu	stark toniger Schluff Ut4	17 bis < 25	65 bis < 83	0 bis < 18	3	3	Sandkörner nicht sicht- und fühlbar, nur Feinsubstanz	schwach mehlig Feinsubstanz haftet und klebt etwas, matte bis schwach glänzende Reibfläche, aufschuppend
		schluffiger Lehm Lu	17 bis < 30	50 bis < 65	5 bis < 33	3 bis 4	3 bis 4	Sandkörner nicht oder kaum sichtbar und nur schwach fühlbar, sehr viel Feinsubstanz	bindige Feinsubstanz, raue, matte bis schwach glänzende Reibfläche, körnig und aufschuppend
Tone t	Schluff-tone ut	mittel toniger Lehm Lt3	35 bis < 45	30 bis < 50	5 bis < 35	5	5	Sandkörner sicht- und fühlbar, sehr viel Feinsubstanz	zähplastische Feinsubstanz, schwach raue, schwach körnige, glänzende Reibfläche
		mittel schluffiger Ton Tu3	30 bis < 45	50 bis < 65	0 bis < 20	4 bis 5	5	Sandkörner nicht sicht- und fühlbar, fast nur Feinsubstanz	zähplastische Feinsubstanz, schwach raue, glänzende Reibfläche
		stark schluffiger Ton Tu4	25 bis < 35	65 bis < 75	0 bis < 10	4	4	Sandkörner nicht sicht- und fühlbar, nur Feinsubstanz	raue, schwach glänzende Reibfläche, knirscht zwischen den Zähnen
	Lehm-tone lt	schwach sandiger Ton Ts2	45 bis < 65	0 bis < 15	20 bis < 55	5	5	wenig Sandkörner sicht- und fühlbar, reich an Feinsubstanz	stark glänzende Reibfläche, knirscht zwischen den Zähnen
		lehmiger Ton Tl	45 bis < 65	15 bis < 30	5 bis < 40	5	5	sehr wenig Sandkörner sicht- und fühlbar, sehr viel Feinsubstanz	zähplastische Feinsubstanz, glänzende Reibfläche
		schwach schluffiger Ton Tu2	45 bis < 65	30 bis < 55	0 bis < 25	5	5	Sandkörner nicht sicht- und fühlbar, fast nur Feinsubstanz	stark plastische Feinsubstanz, schwach raue, glänzende Reibfläche
		reiner Ton Tt	65 bis ≤ 100	0 bis < 35	0 bis < 35	5	5	Sandkörner nicht sicht- und fühlbar, nur Feinsubstanz	stark plastische, mm-dünn ausrollbare Feinsubstanz, glatte, schwach glänzende bis glänzende Reibfläche

¹⁾ Unter Feinsubstanz werden in der Spalte Körnigkeit die Korngrößen Schluff und Ton zusammengefasst.

Tab. A-1 : typologie des segments de paysage (fiche de relevé annexe « FS » - segments)

orthotypes	variantes majeures	<i>intergrades</i>	description
segments de sommet, dynamique autonome			
acroèdre			facette sommitale, relief souvent rocheux, convexe à pentes modérées à fortes et le plus souvent divergentes, limités à l'aval par une concavité de raccordement ; (dans les milieux tropicaux : inselbergs limités à l'aval par un "knick")
	acroèdre supérieur		courbure longitudinale et transversale convexe
	acroèdre moyen		versant rectiligne (pas de courbure longitudinale notable) à pente modérée à forte
	acroèdre inférieur		courbure longitudinale concave,
		<i>ecta-acroèdre</i>	raccord concave entre un acroèdre et un métaèdre
		<i>supra-acroèdre*</i>	replat à profil transversal convexe dans un environnement acroédrique, relié en amont par un acroèdre (par exemple replat en position de crête)
supraèdre			facettes de sommet, pente faible (nulle) rectiligne ou faiblement convexe, dynamiques autonome, parfois transitives (légère pente) ; sommet des « croupes »
	supraèdre supérieur		légèrement convexe ou rectiligne
	supraèdre inférieur		légèrement concave
		<i>méta-supraèdre</i>	facette sommitale intermédiaire située dans le versant (sommet secondaire)
		<i>acro-supraèdre</i>	topographie relativement plane dans la partie supérieure d'un acroèdre, avec des pentes modérées
segment de raccord, érosif			
ectaèdre			facette de raccord qui relie deux facettes amont et aval, à limite nette et pente généralement forte (> 10 %), dynamique érosive ou trans-érosive (corniches, abrupts, escarpements, falaises), forme et valeur de pente significativement différents des formes adjacentes
		<i>supra-ectaèdre</i>	raccord entre un supraèdre et un acroèdre (moyen)
facettes de bas-fond , dynamique accumulative			
métaèdre.			correspond à pédiment, glacis; dynamique globalement transitive. Pente faibles (1,5-5%)*
	métaèdre supérieur		convexe
	métaèdre moyen		rectiligne

	métaèdre inférieur		concave
	métaèdre infraédrique		concave, forme de berceau, dynamique trans-accumulative ; rappelle à l'infraèdre et le remplace, se poursuit en aval par un cataèdre.
		<i>supra-métaèdre</i>	facette de pente faible, replat dans l'environnement métaédrique
		<i>acro-métaèdre</i>	dans un contexte acroédrique (pentes fortes) il constitue un (re)plat ou une pente assez modérée, relié en amont par un acroèdre, souvent en position inférieure sans pourtant constituer un cata-ou infraèdre (profil transversal et profil longitudinal à courbures diverses)
		<i>ecta-métaèdre</i>	facette de raccord reliant deux métaèdres; dynamique trans-érosive.
facettes de bas-fond, dynamique accumulative			
cataèdre			pente forte au profil rectiligne, entaille des rivières du talweg, lits mineurs à bords nets, tranchés, dynamique transitive à érosive
	cataèdre acroédrique*		Ravin, entaille, lits de torrents à formes transversales concaves dans un environnement acroédriques (acroèdre moyen ou supérieur)
infraèdre			petit bas-fond colluvial ou flat alluvial, à pente faible, et donc d'extension discontinue dans les parties amont du bassin versant, correspond souvent aux terrasses alluviales (récentes).
	infraèdre métaédrique		facette à pente transversale plus prononcée que celle de l'infraèdre
		<i>méta-infraèdre</i>	dépression localisée, segment trans-accumulatifs en position de versant. Souvent forme "en croissant" à la périphérie de certaines mornes rocheuses
		<i>ecta-infraèdre</i>	facette de raccord reliant une facette amont à un infraèdre en aval. Dynamique érosive

sources: Filleron 1995 ; Rambaud et Waechter 2001 ; Morschel 2006, Morschel et Fox 2008 sauf variantes et intergrades portant un astérisque (*).

*N.B. : d'après Jean Morschel on peut considérer les métaèdres aussi comme des systèmes de pentes subrectilignes faibles à fortes, définition qui n'a pas été retenue ici. En revanche, les pentes généralement accentuées à fortes en montagne ont été considérées comme des acroèdres supérieurs, moyens et inférieurs.

Tab. A-2: clé d'interprétation des géons

Géon2 (8cl.)		12classes		Géon3 (21cl.)		Géon3C (89cl.)		Nombre relevés réalisés		RC_LH (2-50m)		RC_LB		RC_H		RC_Z		description / interprétation	
AT	AT	ANT	ANT	ANT	ANT	URB	URB	URB	URB	63	>10%	>25%	>50%	>75%	>50%	>75%	>50%	>75%	artifices anthropiques indifférenciés: ruines, voirie, pylônes, barrages, décharges, parkings, entrepôts plein air....
EA	EA	EAU	EAU	POT	POT	CUL	CUL	CUL	CUL	9	<25%	<25%	<25%	<25%	<25%	<25%	<25%	<25%	bâtiments et zones adjacentes (incl. jardins, parkings, accès etc.)
ZH	ZH	PZH	PZH	ZHV	ZHV	ZHB	ZHB	RIP	RIP	18	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	petites parcelles cultivées
RI	RI	RIP	RIP	RIV	RIV	RO	RO	RO	RO	5	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	grandes parcelles cultivées
RO	RO	ROC	ROC	RO	RO	RO	RO	RO	RO	3	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	lacs, gorgs, étangs d'origine naturelle
RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	6	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	anthropique: retenue d'eau artificielle: 0.4ha
RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	20	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	zone humide gorgée de façon quasi-permanente (présence de sphagnoles), dominée par des herbacées
RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	28	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	zones humides linéaires des talwegs, sans boisement notable,
RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	114	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	sources, rus, moulinières et mégaphorbiates
RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	1	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	zones humides boisées (arbustes inclus)
RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	24	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	milieux forestier de bas-fond (en position de talweg) à régime hydrique plus favorable, si écoulement superficiel: présence d'espèces de ripisylve (peupliers, aulnes)
RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	44	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	milieux forestier de bas-fond (en position de talweg) à régime hydrique plus favorable, si écoulement superficiel: présence d'espèces de ripisylve (peupliers, aulnes)
RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	13	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	milieux forestier de bas-fond (en position de talweg) à régime hydrique plus favorable, si écoulement superficiel: présence d'espèces de ripisylve (peupliers, aulnes)
RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	83	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	milieux forestier de bas-fond (en position de talweg) à régime hydrique plus favorable, si écoulement superficiel: présence d'espèces de ripisylve (peupliers, aulnes)
RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	57	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	milieux forestier de bas-fond (en position de talweg) à régime hydrique plus favorable, si écoulement superficiel: présence d'espèces de ripisylve (peupliers, aulnes)
RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	17	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	milieux forestier de bas-fond (en position de talweg) à régime hydrique plus favorable, si écoulement superficiel: présence d'espèces de ripisylve (peupliers, aulnes)
RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	13	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	milieux forestier de bas-fond (en position de talweg) à régime hydrique plus favorable, si écoulement superficiel: présence d'espèces de ripisylve (peupliers, aulnes)
RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	10%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	milieux forestier de bas-fond (en position de talweg) à régime hydrique plus favorable, si écoulement superficiel: présence d'espèces de ripisylve (peupliers, aulnes)
RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	24	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	milieux forestier de bas-fond (en position de talweg) à régime hydrique plus favorable, si écoulement superficiel: présence d'espèces de ripisylve (peupliers, aulnes)
RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	45	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	milieux forestier de bas-fond (en position de talweg) à régime hydrique plus favorable, si écoulement superficiel: présence d'espèces de ripisylve (peupliers, aulnes)
RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	35	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	milieux forestier de bas-fond (en position de talweg) à régime hydrique plus favorable, si écoulement superficiel: présence d'espèces de ripisylve (peupliers, aulnes)
RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	162	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	milieux forestier de bas-fond (en position de talweg) à régime hydrique plus favorable, si écoulement superficiel: présence d'espèces de ripisylve (peupliers, aulnes)
RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	34	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	milieux forestier de bas-fond (en position de talweg) à régime hydrique plus favorable, si écoulement superficiel: présence d'espèces de ripisylve (peupliers, aulnes)
RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	94	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	milieux forestier de bas-fond (en position de talweg) à régime hydrique plus favorable, si écoulement superficiel: présence d'espèces de ripisylve (peupliers, aulnes)
RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	11	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	milieux forestier de bas-fond (en position de talweg) à régime hydrique plus favorable, si écoulement superficiel: présence d'espèces de ripisylve (peupliers, aulnes)
RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	43	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	milieux forestier de bas-fond (en position de talweg) à régime hydrique plus favorable, si écoulement superficiel: présence d'espèces de ripisylve (peupliers, aulnes)
RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	78	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	milieux forestier de bas-fond (en position de talweg) à régime hydrique plus favorable, si écoulement superficiel: présence d'espèces de ripisylve (peupliers, aulnes)
RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	79	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	milieux forestier de bas-fond (en position de talweg) à régime hydrique plus favorable, si écoulement superficiel: présence d'espèces de ripisylve (peupliers, aulnes)
RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	88	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	milieux forestier de bas-fond (en position de talweg) à régime hydrique plus favorable, si écoulement superficiel: présence d'espèces de ripisylve (peupliers, aulnes)
RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	57	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	milieux forestier de bas-fond (en position de talweg) à régime hydrique plus favorable, si écoulement superficiel: présence d'espèces de ripisylve (peupliers, aulnes)
RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	22	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	milieux forestier de bas-fond (en position de talweg) à régime hydrique plus favorable, si écoulement superficiel: présence d'espèces de ripisylve (peupliers, aulnes)
RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	42	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	milieux forestier de bas-fond (en position de talweg) à régime hydrique plus favorable, si écoulement superficiel: présence d'espèces de ripisylve (peupliers, aulnes)
RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	316	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	milieux forestier de bas-fond (en position de talweg) à régime hydrique plus favorable, si écoulement superficiel: présence d'espèces de ripisylve (peupliers, aulnes)
RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	57	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	milieux forestier de bas-fond (en position de talweg) à régime hydrique plus favorable, si écoulement superficiel: présence d'espèces de ripisylve (peupliers, aulnes)
RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	31	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	milieux forestier de bas-fond (en position de talweg) à régime hydrique plus favorable, si écoulement superficiel: présence d'espèces de ripisylve (peupliers, aulnes)
RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	65	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	milieux forestier de bas-fond (en position de talweg) à régime hydrique plus favorable, si écoulement superficiel: présence d'espèces de ripisylve (peupliers, aulnes)
RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	157	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	milieux forestier de bas-fond (en position de talweg) à régime hydrique plus favorable, si écoulement superficiel: présence d'espèces de ripisylve (peupliers, aulnes)
RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	113	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	milieux forestier de bas-fond (en position de talweg) à régime hydrique plus favorable, si écoulement superficiel: présence d'espèces de ripisylve (peupliers, aulnes)
RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	101	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	milieux forestier de bas-fond (en position de talweg) à régime hydrique plus favorable, si écoulement superficiel: présence d'espèces de ripisylve (peupliers, aulnes)
RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	41	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	milieux forestier de bas-fond (en position de talweg) à régime hydrique plus favorable, si écoulement superficiel: présence d'espèces de ripisylve (peupliers, aulnes)
RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	59	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	milieux forestier de bas-fond (en position de talweg) à régime hydrique plus favorable, si écoulement superficiel: présence d'espèces de ripisylve (peupliers, aulnes)
RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	158	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	milieux forestier de bas-fond (en position de talweg) à régime hydrique plus favorable, si écoulement superficiel: présence d'espèces de ripisylve (peupliers, aulnes)
RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	9	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	milieux forestier de bas-fond (en position de talweg) à régime hydrique plus favorable, si écoulement superficiel: présence d'espèces de ripisylve (peupliers, aulnes)
RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	10	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	milieux forestier de bas-fond (en position de talweg) à régime hydrique plus favorable, si écoulement superficiel: présence d'espèces de ripisylve (peupliers, aulnes)
RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	43	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	milieux forestier de bas-fond (en position de talweg) à régime hydrique plus favorable, si écoulement superficiel: présence d'espèces de ripisylve (peupliers, aulnes)
RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	60	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	milieux forestier de bas-fond (en position de talweg) à régime hydrique plus favorable, si écoulement superficiel: présence d'espèces de ripisylve (peupliers, aulnes)
RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	84	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	milieux forestier de bas-fond (en position de talweg) à régime hydrique plus favorable, si écoulement superficiel: présence d'espèces de ripisylve (peupliers, aulnes)
RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	97	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	milieux forestier de bas-fond (en position de talweg) à régime hydrique plus favorable, si écoulement superficiel: présence d'espèces de ripisylve (peupliers, aulnes)
RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	102	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	milieux forestier de bas-fond (en position de talweg) à régime hydrique plus favorable, si écoulement superficiel: présence d'espèces de ripisylve (peupliers, aulnes)
RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	34	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	milieux forestier de bas-fond (en position de talweg) à régime hydrique plus favorable, si écoulement superficiel: présence d'espèces de ripisylve (peupliers, aulnes)
PL	P	PLA	PLA	PEL	PEL	PER	PER	PER	PER	2	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	pelouses et gazons rases, assez continus (<25% Z) de l'étage subalpin et alpin, non boisés (<1 au moins <10%), généralement peu arbutives (<10% de LB), secs à frais (nadales)
PL	P	PLA	PLA	PEL	PEL	PER	PER	PER	PER	57	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	pelouses rases boisées de l'étage subalpin
PL	P	PLA	PLA	PEL	PEL	PER	PER	PER	PER	22	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	pré, le plus souvent près de fauche (souvent sur terrasses de cultures), (traces de mécanisation...)
PL	P	PLA	PLA	PEL	PEL	PER	PER	PER	PER	42	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	prairie et pâtures, milieu ouvert à dominante herbacée, possible présence d'arbutives, de sol nu, de blocs ou affleurements, parfois arboré, (parfois brûlage dirigé récent)
PL	P	PLA	PLA	PEL	PEL	PER	PER	PER	PER	316	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	prairies et pelouses à couverture herbacée continue, le plus souvent pâturées et situé sur des (anciennes) terrasses de culture ou alluviales, parfois présence d'arbutives,
PL	P	PLA	PLA	PEL	PEL	PER	PER	PER	PER	37	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	pelouses ou prairies sur sols superficiels, abondance de roche affleurante ou pierres et blocs (aspect "sec")
PL	P	PLA	PLA	PEL	PEL	PER	PER	PER	PER	31	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	>25%	prairies (pâturages) enrichies à arbutives et arbrisseaux nombreux (surtout genêts, gennévrier, etc.), herbacées encore dominants, moins de 10% de LH
PL	P	PLA	PLA	PEL	PEL														

GEON2 (cl.)	12 classes	GEON3 (21cl.)	Variantes	GEON3C (89cl.)	Nombre relevés réalisés	nd. polygones >100m²	RC_LH (2-50m)	RC_LB	RC_H	RC_Z	description / interprétation		
FF	FF	FRC	LPT	28	35	<10%	>25%	<50%	<25%		zones récemment déboisées vivable à tronc à terre, tirs d'exploitation et un couvert végétal irrégulier (présence de sol nu), friches sur terrasses : développement d'un milieu complexe à herbacées, arbustes, +/- arboré.		
			MAG	1	26	>25%						maquis, garrigues méditerranéennes indifférenciées (à cistes, genêts, thym, romarin, bruyères etc), le plus souvent arboré, voir boisé	
			FRM	1	9	<10%		<50%				friches de têtage méso à supraméditerranéen sur terrasses, végétation plus dense que pour les garrigues.	
			CVO	2	49	<25%		<50%				milieu subméditerranéen arbustif ou herbacée, à chênes verts; souvent sur terrasses, ("garriguettes")	
			FRC	2	80	>25%						formation végétale à feuillus, ouverte à fermé, mais d'extension verticale limitée (jeune)	
			FME	5	61	>50%						forêts du domaine méditerranéen à différents espèces de feuillus (>50%, dont moins d'un quart de résineux) chênaie (indifférencié, notamment chêne vert avec chêne pubescente) ouverte	
			CHO	36	>25%								
			CMR	19									milieu à chenale subméditerranéenne, notamment en taillis de chêne verts ouvert (arbres espacés) ("garriguettes")
			CHV	2	49	>25%							milieu à chenale subméditerranéenne, Yeuserai dense, souvent accompagné par des Pins sylvestres ou Chêne pubescent
			CVD	1	18	>50%							chêne pubescent (notamment, éventuellement autres feuillus accompagnatrices)
FM	FOM	FEU	FEU	76	>25%						forêt de feuillus (indifférencié) à hêtres, érables, chênes caducs, merisiers etc.		
			HET	2	31	>50%					forêt de hêtre (Hétrale) : <10% d'autres feuillus et conifères		
			FFR	4	25-50%						forêt de feuillus +/- ouverte (Erables, Noisetiers, Amelanchier, ...) notamment à fourrés; sur rochers et/ou éboulis fréquents		
			FFO	5	25-50%	<50%					feuillus (Erables, Frênes, Noisetiers, ...) forêt/bois ouvert(Le), arbres jeunes et adultes espacés, parfois sur terrasses et où sous-pâturé		
			FOM	6	79	>50%						forêt mixte de feuillus et conifères (notamment hêtre/pin et pin/chênes)	
			FMA	24	>50%							forêt mixte de feuillus caduques et sempervivents (notamment CVert et CPubescent)	
			FMO	7	>25%	<50%						forêts mixtes sur sols superficiels ou affleurements rocheux, souvent assez ouvertes...	
			FMR	6	>25%	<50%						forêt constituée des résineux différents (épicéas, sapins, pins, mélèzes) ou non différenciés	
			RES	25	>50%							plantation en ligne visible, parfois sur terrassements	
			REB	17	>50%							forêt claire à résineux différents (épicéas, sapins, pins, mélèzes) ou non différenciés	
RSO	PIO	PIN	PLJ	1	11	>50%					forêt (plantation) dominée d'épicéas		
			PID	4	30	>75%					jeune arbres de pin (reboisement & spontané)		
			PIN	8	257	>50%					pinède dense (>75% de recouvrement), tiges serrées		
			PIB	4								forêt de pin (Pinède adulte); recouvrant >50% de la surface dont moins d'un quart d'arbres et arbustes (>2m) feuillus	
			PIH	1	22	>50%							
			PIR	1	47	>50%							
			PIO	201	25-50%							pinède sur affleurement rocheux, éboulis et sols superficiels peu végétalisés	
			POH	2	113	25-50%	<25%					forêt de pin ouverte (arbres espacés) <50% de recouvrement	
			POL	33	25-50%	>50%							
			POB	5									
POR	115	25-50%	<50%										

Tableaux des relevés

Tab. A-3: Volumes des 103 CNL par relevé

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	R16	R17	R18
AER	5217720	1540050	3659290	15148290	5279960	9662950	1608200	9120700	9430500	8819050	15294000	3152000	7992700	1618050	8388700	9635415	4847000	5016730
HDR	0	0	0	13000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	90000	0	0	0
DEN	134000	0	0	197000	28500	123000	0	122000	250000	252000	200000	0	10000	0	39800	219000	466000	290000
NCDE	19500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	110000	0	0	0	17000	5000	88000	0
STY	64000	0	0	205000	12000	159300	0	120000	178800	219550	300000	3000	10000	0	40000	194880	0	120680
NCST	4500	0	0	60000	0	82300	0	18000	22200	59850	80000	0	0	0	40000	109960	0	7920
CON	0	0	0	0	191500	1588000	0	1076000	3500000	1480000	0	0	84000	0	0	2665000	0	0
SEM	913000	0	0	12000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CAD	0	0	0	1732000	0	0	0	0	210000	2416000	5570000	0	0	0	135500	42000	0	0
PNC	14000	0	0	0	126900	69000	0	221200	182500	248000	0	52000	25400	0	5500	84000	0	0
PNS	24000	0	0	6000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PND	1500	0	0	155400	0	0	0	214800	27500	376400	104000	49000	0	0	5500	34300	36500	0
NCPN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22000	0	0	0
NOC	0	0	0	0	0	0	0	350	1000	650	0	0	0	0	0	0	0	0
NOD	650	0	0	1500	0	0	0	520	120	2800	0	0	0	0	0	0	0	1700
NOS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NAC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16600	6000	0	0	259450	0	0
NAD	0	0	0	0	0	100600	0	240400	37000	0	0	58400	34900	0	0	0	0	0
NAG	3000	586650	0	0	194150	0	159400	32600	0	0	0	0	0	0	0	280950	0	0
NAS	4500	68000	149000	76200	35900	0	51100	0	0	0	0	5400	0	14500	15500	12500	0	0
NAL	10500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8500	0	0
KONA	11800	25750	0	3200	0	0	3400	3350	0	0	0	9600	5000	0	0	0	0	250
MPH	0	0	133210	0	0	0	0	732000	0	0	0	0	0	0	0	114200	1294000	1409000
CLG	0	166500	46500	10000	50840	10950	61280	6600	4200	0	0	6000	6000	5000	7500	135600	105000	0
NCCA	0	21000	10500	0	11300	0	2000	0	0	0	0	0	0	0	0	2960	0	0
OPH	1500	0	0	12840	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OPS	0	0	0	8490	0	1100	1900	0	0	0	0	0	0	0	0	5226	0	0
PLE	7000	0	0	58780	0	1300	4800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2200
PLS	0	0	0	19500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20100	0	0
KOPL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PTE	3030	0	0	8400	0	0	0	0	60	0	0	1800	0	0	0	0	0	15100
EQU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2600	0	0	0
KOR	10620	29000	19250	22700	7530	5350	19360	3890	7400	20800	3000	5800	1100	101600	80500	3575	47900	45700
KOC	3670	250	0	0	270	0	1460	0	0	0	0	200	0	0	0	0	0	0
NCKO	2500	0	4400	16000	600	0	5500	0	0	0	0	3000	0	9000	21700	0	0	0
NAKO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GRA	3990	52350	156000	144500	24690	66600	54520	10380	56000	43450	0	2000	7800	30800	131000	71850	25500	69300
NCGR	3310	2400	11300	44900	620	3000	1500	1450	11800	2750	0	4400	0	30100	8800	400	2200	0
BRY	0	0	0	0	0	2800	0	0	16800	2250	0	200	1000	50	0	0	1500	1280
PHC	0	0	0	0	0	0	0	2200	5000	4000	0	0	0	0	0	0	0	0
MYC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NEA	0	0	0	0	260	10400	0	800	9600	250	0	100	0	0	0	8900	0	0
NEF	14480	0	450	600	0	0	0	6100	120	4900	183800	0	0	0	1000	0	5050	240
NEG	80	1750	4500	3800	680	1550	1680	350	1200	400	0	200	100	1250	4000	1500	500	720
NEL	6420	1000	200	15200	3670	71600	1520	9580	7800	8700	79100	600	0	1600	0	19880	33400	6640
NES	120	0	0	0	0	2400	0	3080	2200	900	0	0	0	0	0	2570	200	300
NCNT	1280	350	250	11600	9600	17820	1220	180	28800	12050	38500	200	200	900	2000	7664	1000	1200
NCT	0	0	0	0	0	6560	200	0	4000	0	26400	0	0	0	0	3480	0	0
TPH	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HIT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MIZ	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	500
MSZ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	250	0	1000	880
MSC	0	0	0	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2350	0	0	0	780
MAZ	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MAC	0	0	0	0	0	820	1200	0	0	0	0	0	0	1150	0	700	550	780
MEZ	0	0	0	0	500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PEE	4200	1200	0	16000	5000	900	5500	19600	1800	350	10600	84000	0	13500	9500	41800	26000	21700
MEE	2270	0	3400	2900	2800	0	900	2630	800	300	600	47000	0	0	0	0	800	2420
MAE	3140	1000	1750	0	2930	0	680	840	0	750	0	3000	0	0	600	0	200	1040
EPAN	0	0	0	0	0	5170	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RZP	4950	18750	13500	43200	8600	17680	5900	9400	23300	31800	34000	630	500	23400	14000	9840	12500	14900
RZG	10350	5750	6600	23000	7500	5400	8300	22700	17900	15900	14000	550	10100	1500	4000	17000	14100	16000
GRZ	0	5250	4500	25300	2000	7000	7050	4200	4100	7800	0	400	500	27000	5000	20200	600	3740
HMT	63700	0	188400	46400	0	0	53950	0	0	0	0	0	500	0	0	0	128100	149750
HMP	0	0	0	0	81200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HMC	0	0	0	0	0	0	0	44000	126000	99300	83000	3120	0	0	0	0	0	0
HMH	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	212100	0	0	0	0
HMBC	0	0	0	34800	0	0	0	175200	67000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MLT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	298000	0	0	0
MNT	0	69750	0	0	0	53800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	111200	0	0
BCN	0	0	218400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	560700	221800	546700
BCC	0	0	0	0	0	0	0	221500	72000	0	250000	0	0	0	0	0	0	0
BCP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	189000	0	0	0	0	0	0	0	0
BCD	223400	443500	0	0	386400	281400	205300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BCHM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	142500	0	0	0	0
BCEF	0	0	0	69300	0	0	0	119000	0	0	0	0	0	480000	0	0	0	0
BCAT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BCAR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RTP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RDRT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RDP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	369000	0	0	0
EFBC	0	0	114000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	236500
EFAT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GNAN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GNAR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GNRE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PEG	0	0	0	83800	0													

	R41	R42	R43	R44	R45	R46	R47	R48	R49	R50	R51	R52	R53	R54	R55	R56	R57	R58
AER	13595310	10087050	13037575	13108670	11189010	6148510	834200	9832330	493160	11237855	10530570	364990	12423335	706340	10012433	875170	12782200	11608610
HDR	0	8000	0	0	0	0	0	20000	0	0	0	0	0	6000	0	0	0	0
DEN	395000	239000	180000	135000	245000	290000	0	90000	0	152000	281000	0	230000	0	192000	0	193800	286000
NCDE	0	95800	138000	40000	55100	136000	0	0	0	92000	57000	0	117000	0	34000	0	49600	122000
STY	400000	245000	220000	280000	320000	170000	0	80000	0	295000	200000	0	250000	0	120000	0	240000	360000
NCST	46800	78000	56890	74500	14500	6750	0	0	0	44500	0	0	7600	0	8000	0	16800	42250
CON	2215000	2393000	2010000	1685000	1520000	3016000	0	0	0	567000	2479000	0	2600000	0	1444750	0	2260000	3306000
SEM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CAD	0	0	0	0	578000	0	0	1536000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	85000
PNC	87980	187200	60700	18300	285500	2500	0	0	0	491450	227500	0	278000	0	46605	0	101300	0
PNS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PND	0	0	0	560	125700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NCPN	0	0	39500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NOC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	720	0	0	0	0	0	0	500	0
NOD	0	0	0	0	536	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NOS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NAC	410	920	1100	200	0	0	0	0	10700	1355	18500	0	0	0	1670	4000	0	34900
NAD	37150	0	35350	28000	40000	12900	0	0	0	3000	15100	0	8000	0	11760	6900	7700	74050
NAG	0	0	0	260	0	30000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	335300	0	0
NAS	0	0	0	3600	4200	0	0	0	0	0	5700	0	0	0	0	0	0	0
NAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29900	0	3500	0	0	0	0	94400
KONA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MPH	0	0	0	0	0	0	0	550	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CLG	7620	0	4050	6020	9080	21930	0	2880	1500	14160	0	0	0	0	1560	156320	20200	8650
NCCA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	94120	0	0
OPH	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OPS	202	360	2500	0	150	1225	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PLE	410	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PLS	0	4700	5245	0	970	4600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
KOPL	0	0	0	0	0	850	0	0	0	0	0	0	0	0	0	250	0	0
PTE	842	0	0	0	3800	0	0	0	52	0	790	0	15	0	0	0	2400	0
EQU	0	0	0	0	0	0	0	38600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
KOR	32100	13800	92250	19270	19460	29800	140590	108520	11740	25780	19700	1320	3400	2660	5000	21800	36640	12720
KOC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NCKO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NAKO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GRA	123980	102930	60000	67370	40020	72830	116020	302300	66568	35700	65800	58000	40100	173000	84600	141200	41860	41420
NCGR	1980	0	0	0	2180	1290	0	0	5400	0	0	9790	6350	0	4510	3840	3620	2710
BRY	0	0	6800	2600	3120	0	0	80	0	0	0	0	0	0	0	0	840	0
PHC	8500	5400	2800	0	4100	0	0	0	0	6200	4500	0	4000	0	6400	0	14900	10500
MYC	0	0	0	0	1600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NEA	3480	3820	2250	1919	2800	8500	0	0	400	740	0	2400	0	360	0	380	11700	
NEF	0	0	0	0	7466	0	0	340	0	0	0	0	0	0	0	0	580	0
NEG	4244	2560	1600	1970	1160	2420	5850	8280	3580	2050	3200	2000	4950	10300	1540	4000	4640	1870
NEL	27140	20610	5300	18240	21060	19630	0	300	1920	39580	11100	0	7300	0	16110	26540	45940	47460
NES	1780	3470	750	1970	2560	4480	0	0	750	1420	0	850	800	1310	0	34	9200	0
NCNT	6084	3646	1940	2030	2990	6074	2100	200	660	800	670	300	6800	5000	992	15160	716	7955
NCT	418	1614	0	400	318	806	0	0	0	1940	0	750	1000	200	6120	100	2525	0
TPH	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7500	0	0	0
HIT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	756400	0	0	0	0	0
MIZ	0	0	0	0	0	0	0	0	240	100	0	0	0	0	1040	0	0	0
MSZ	0	0	0	0	0	0	0	0	240	220	0	0	0	0	0	0	0	0
MSC	110	0	350	7	0	0	0	150	0	0	0	0	1100	0	0	400	950	0
MAZ	380	0	0	0	0	0	0	600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3200
MAC	0	970	0	84	0	565	0	1740	500	690	1550	650	0	6000	1200	490	0	0
MEZ	0	10000	9350	0	4500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PEE	1800	0	0	1200	0	4500	0	1500	0	30600	11000	1000	0	0	6500	11500	3000	0
MEE	400	0	0	790	420	1600	400	680	290	800	0	300	500	0	0	3180	1800	0
MAE	480	0	0	680	300	1540	480	120	260	580	0	590	1250	0	0	280	380	0
EPAN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RZP	12000	8600	6000	19160	21200	10000	10200	18500	33100	16000	16700	25100	6900	14700	9100	18480	16700	26150
RZG	13200	13000	9700	10000	16800	5400	0	3500	0	16800	19100	2000	19900	4100	2100	13200	8500	11000
GRZ	12400	150	7500	11200	10100	4200	22860	3200	12300	4000	7100	3760	3450	8000	2700	7360	7700	3200
HMT	0	0	0	62000	0	0	0	69000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HMP	0	100800	115500	0	0	0	93000	0	0	0	0	0	0	0	0	118500	92450	0
HMC	0	0	0	0	0	0	0	0	67200	0	0	43800	0	0	0	0	0	0
HMH	0	0	0	0	0	0	0	50400	0	49000	153000	0	0	43000	70800	0	0	0
HMBC	0	0	0	0	0	0	0	0	148400	117300	0	0	0	92400	0	0	0	0
MLT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	70400	0	0	0	0	0
MNT	74400	0	0	0	81000	63200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BCN	0	0	0	157500	0	0	289800	185000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BCC	0	0	0	0	0	0	0	0	90200	0	0	29600	0	0	0	0	0	0
BCP	255400	169000	180000	0	0	228900	0	69000	275000	0	0	0	0	0	0	221400	278900	0
BCD	0	0	0	134400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BCHM	0	0	0	0	0	0	0	127500	0	104000	239000	0	0	99500	374500	0	0	0
BCEF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	170000	193400	285000	0	0	0	0	0	0
BCAT	0	0	0	0	0	0	0	0	118800	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BCAR	78400	0	164500	0	0	116600	0	0	0	0	0	0	0	0	29700	77000	59250	0
RTP	0	424200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RDRT	0	0	0	0	0	0	0	67500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RDP	0	0	0	0	0	0	0	150000	0	0	0	0	29000	0	0	0	0	0
EFBC	0	0	0	48000	210900	0	51000	0	0	0	0	70400	0	15000	0	0	0	0
EFAT	0	0	156800	0	75000	37700	0	60000	0	0	0	0	0	45000	57000	0	0	0
GNAN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GNAR	168000	0	62500	0	0	39000	0	0	0	325000	0	0	0	0	0	16000	0	0
GNRE	0	0	37500	102500	175000	52000	224000	0	187500	90000	0	0	0	490000	323000	205000	90000	0
PEG	0	11000	0															

	R59	R60	R61	R62	R63	R64	R66	R67	R69	R70	R71	R72	R73	R74	R75	R76	R77	R79
AER	1882040	1080350	704907	982900	7451358	10635520	96728	11787160	385090	256060	473890	1027655	18582940	359600	13406075	11116670	8795140	5516420
HDR	0	52900	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DEN	0	0	0	0	0	360000	0	224000	0	0	0	0	330000	0	310000	259000	273000	264000
NCDE	0	0	0	0	0	1690000	0	0	0	0	0	0	0	0	44000	0	0	81000
STY	0	0	0	0	0	360000	0	240000	0	0	0	0	385000	0	300000	200000	74500	229300
NCST	0	0	0	0	0	1090000	0	27600	0	0	0	0	21500	0	22350	13000	16000	60000
CON	0	0	0	0	0	2927000	0	0	0	0	0	0	4487000	0	2009000	0	401000	2794000
SEM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CAD	0	0	0	0	0	0	0	3360000	0	0	0	0	787000	0	2526000	2890000	0	37500
PNC	39300	0	0	0	0	52000	0	0	0	0	0	0	198500	0	163900	10000	93600	375600
PNS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FND	0	0	0	0	0	0	0	64200	0	0	0	0	59700	0	95800	193000	58000	810
NCPN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	86600	0	0	58500
NOC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	760	0	0	0
NOD	0	0	0	0	0	0	0	1700	0	0	0	0	0	0	340	1550	0	0
NOS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NAC	5300	0	0	0	0	250	82	0	0	0	0	0	0	0	0	0	400	13830
NAD	50550	0	0	0	0	17900	0	105700	0	0	1940	0	0	0	0	0	26600	18300
NAG	160	0	0	0	0	0	0	0	0	26180	13070	112410	0	148300	0	0	1600	0
NAS	0	0	0	0	0	0	0	4500	0	970	10500	0	0	0	0	0	0	1350
NAL	45650	0	0	0	0	134900	0	440	0	0	0	0	0	0	300	500	344800	207300
KONA	0	0	0	0	0	0	0	2850	38550	144500	0	57820	0	0	0	250	0	0
MPH	0	0	0	0	0	0	0	43600	0	0	0	0	0	0	82750	10600	16900	0
CLG	10250	0	0	0	0	79980	30	10000	6260	11100	0	37200	0	22000	0	385	195000	79000
NCCA	1600	0	0	0	0	3900	0	0	0	0	56400	11970	0	1600	0	0	16250	0
OPH	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OPS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PLE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PLS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
KOPL	0	0	0	0	0	0	0	3350	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PTE	0	0	0	50	0	330	0	1050	0	0	0	0	150	0	0	8500	1920	0
EQU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
KOR	1700	26750	2170	50	144	7800	7980	5850	34430	6430	1140	19280	14900	17950	6750	1300	14200	15100
KOC	0	0	0	0	58	0	520	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NCKO	0	0	0	0	0	1480	0	6000	0	0	6195	0	0	0	0	0	0	0
NAKO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3250	0	0	0	0	0	0	0	0
GRA	7350	183800	127690	0	550	31640	6440	36400	59370	7770	6950	56000	74700	64700	0	10400	17400	0
NCGR	1000	2750	2880	0	0	1240	790	5450	3930	0	7600	0	3200	10600	850	0	0	0
BRY	0	0	0	0	0	0	110	90	0	0	0	0	800	0	205	0	0	2000
PHC	0	0	0	0	0	8900	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9800	132470
MYC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2800	0	0	0	0	0
NEA	550	0	0	0	0	3100	0	0	0	0	0	0	8000	0	6900	0	23600	14700
NEF	550	0	0	0	0	0	0	33700	0	0	0	0	2000	0	7800	56395	0	0
NEG	750	2500	3810	250	520	1600	780	4400	1880	630	2910	2200	1200	4950	1350	0	800	250
NEL	1150	1200	0	0	0	41200	350	9550	580	3140	990	640	14200	1500	40300	16760	34500	19500
NES	0	0	0	0	0	700	0	1700	0	0	0	0	400	0	1080	3600	2300	0
NCNT	14000	1500	1200	250	180	5600	600	13400	560	720	240	500	6010	9000	4650	4070	22000	13000
NCT	20300	0	0	0	30	2000	0	4500	0	0	0	0	3000	0	1500	200	12360	11800
TPH	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11340	0	0	0	0	0	0	0
HIT	0	425600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MIZ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	900	12190	0	0
MSZ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	0	40
MSC	0	0	8	0	0	0	270	0	750	150	0	210	0	500	70	0	60	0
MAZ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MAC	350	0	700	0	0	0	0	0	1200	600	770	0	0	0	0	0	570	30
MEZ	0	0	0	0	0	11000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PEE	11700	400	4800	194000	0	32500	5300	6450	1500	3350	8500	1700	31000	15800	16900	11700	50200	9900
MEE	1700	1400	990	22500	0	700	21810	2300	2400	5220	300	570	3400	9600	8600	1450	3400	3600
MAE	2300	150	445	0	0	1040	6640	900	2680	3480	730	500	1300	6100	3250	600	2700	1000
EPAN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RZP	31500	86700	38100	0	150	47500	18200	11700	2600	24700	51600	4850	22800	23200	17200	23600	12800	21600
RZG	4500	0	0	0	0	11300	240	8900	0	0	9900	970	11900	4800	16000	30400	12950	25800
GRZ	5750	16000	12400	0	0	12200	7290	4000	1120	2520	10800	3000	8400	14700	1950	0	0	4900
HMT	0	0	0	0	0	0	0	117600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HMP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	69600	0	0
HMC	0	0	0	0	0	0	41760	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HMH	207000	0	155400	0	4500	64900	0	0	0	0	0	0	0	57600	0	0	52800	0
HMBC	0	0	0	0	0	0	50600	0	0	0	0	63000	0	0	0	0	0	0
MLT	0	42400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MNT	0	0	0	0	0	0	0	0	29600	42000	107200	36600	42000	0	35400	0	0	99200
BCN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BCC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BCP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	338800	0	0
BCD	0	0	0	0	0	0	0	0	211400	31000	0	80700	180400	0	74100	0	0	144000
BCHM	252500	0	74800	0	0	164700	0	0	0	114100	0	0	153600	0	0	0	91500	0
BCEF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	134400	0	0
BCAT	0	0	0	0	0	0	91000	145500	0	0	10080	0	0	0	0	0	0	0
BCAR	0	0	39000	0	0	108800	0	0	0	0	96800	0	0	0	0	0	139800	0
RTP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RDRT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RDP	0	53200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EFBC	0	0	0	0	0	0	0	0	19000	37800	0	0	221100	0	63800	0	0	65600
EFAT	0	0	78600	0	0	27000	0	83000	118800	50000	0	0	114000	0	0	0	114750	0
GNAN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GNAR	62500	0	67500	0	0	15000	0	0	0	52000	0	0	0	0	0	0	108000	0
GNRE	112500	0	141000	0	0	408400	540500	0	66500	637500	157000	71000	0	176000	544900	0	225000	440000
PEG	0	17400	45300	755000	0	28100	0	0	26300	0	0	0	222000	30800	44000	244000	92700	18400
MEG	64000	241400	133900	227000	0	14600	8400	18400	56000	11000	34800	16						

Tab. A-4: Richesse et indices de diversité par relevé

Nb= nombre ; SIDI : Simpson's Diversity Index, SHDI : Shannon Diversity Index Vol : Volumes CNL en cm² pour 103 ou 102 CNL, dans le dernier cas en omettant l'aérophyse. Les coordonnées de localisation X, Y sont arrondis puisque un certain nombre des relevés ont été manuellement localisé (pas de GPS)

NomRel	NumREL	NbHPL	NbCNL	CNLtot	2S	3S	3C	SIDVol103	SIDVol102sa	SIDvol44	SIDivolPC103	SHDIvol103	X		Y		SP	SIDI	SHDI	SHEV
R20	20	12	27	71	PL	PRA	PRA	0,76	0,71	0,74	0,76	1,77	599600	3035300	13	0,89	2,4	0,94		
R21	21	17	50	181	FF	FME	FME	0,48	0,85	0,48	0,49	1,33	603100	3034100	39	0,83	2,73	0,75		
R22	22	17	45	177	FF	FME	CHP	0,50	0,83	0,50	0,50	1,34	603000	3034000	36	0,84	2,72	0,76		
R23	23	18	39	168	FF	FME	FME	0,56	0,57	0,56	0,56	1,26	602900	3033900	45	0,8	2,78	0,73		
R24	24	18	41	168	PL	MAG	MAG	0,44	0,82	0,44	0,44	1,16	603000	3033800	28	0,86	2,58	0,77		
R25	25	16	41	119	FF	FME	CHV	0,54	0,84	0,53	0,54	1,47	599700	3035100	21	0,69	2	0,66		
R26	26	19	44	161	FF	FME	FME	0,48	0,81	0,48	0,48	1,25	599700	3034900	43	0,84	2,74	0,73		
R27	27	16	36	152	PL	MAG	FRM	0,70	0,92	0,68	0,70	2,02	602600	3032600	30	0,93	3,09	0,91		
R28	28	15	33	112	PL	FRI	FRI	0,75	0,87	0,73	0,75	1,96	599700	3034900	35	0,95	3,32	0,93		
R29	29	14	34	114	PL	MAG	CVO	0,54	0,77	0,54	0,54	1,32	602000	3033300	30	0,86	2,65	0,78		
R30	30	18	36	165	FF	FME	FME	0,56	0,84	0,56	0,57	1,51	601800	3034500	36	0,82	2,66	0,74		
R31	31	17	38	144	PL	MAG	CVO	0,48	0,84	0,48	0,49	1,30	602200	3032900	29	0,88	2,79	0,83		
R32	32	16	38	115	FF	FME	CVD	0,50	0,70	0,50	0,51	1,25	601800	3034500	28	0,64	1,99	0,6		
R34	34	18	38	152	RS	PIN	PIN	0,43	0,92	0,42	0,43	1,26	601600	3034400	33	0,7	2,26	0,65		
R35	35	15	33	106	FF	FME	FME	0,50	0,66	0,49	0,50	1,20	598100	3029700	24	0,9	2,65	0,84		
R38	38	20	42	191	FM	FOM	FOM	0,61	0,89	0,61	0,62	1,71	597300	3035100	57	0,9	3,21	0,79		
R39	39	18	35	137	RS	PIN	PIN	0,60	0,52	0,60	0,61	1,34	595600	3037200	6	0,22	0,56	0,31		
R40	40	19	39	175	FF	FME	CHP	0,53	0,66	0,52	0,53	1,30	594900	3036300	36	0,83	2,72	0,76		
R41	41	17	38	135	RS	PIN	PID	0,41	0,72	0,41	0,42	1,04	584100	3037800	22	0,77	2,02	0,65		
R42	42	16	31	128	RS	PIO	PIH	0,49	0,68	0,49	0,49	1,17	584400	3037700	29	0,76	2,11	0,63		
R43	43	16	38	133	RS	PIN	PIN	0,40	0,73	0,40	0,40	1,04	583500	3034000	27	0,75	2,13	0,65		
R44	44	17	39	127	RS	PIN	PIN	0,36	0,73	0,36	0,36	0,93	592000	3036300	22	0,79	2,12	0,68		
R45	45	18	42	161	FM	FOM	FOM	0,47	0,84	0,47	0,47	1,25	591900	3036100	32	0,93	3,07	0,89		
R46	46	19	40	148	RS	PIN	PIJ	0,61	0,60	0,61	0,62	1,45	581900	3028400	33	0,88	2,67	0,76		
R47	47	13	17	52	PL	PRA	PRT	0,80	0,87	0,76	0,80	2,03	583900	3037800	27	0,89	2,72	0,82		
R48	48	16	29	89	ZH	ZHB	ZHB	0,41	0,74	0,41	0,42	1,04	583200	3037800	42	0,92	3,23	0,87		
R49	49	13	25	80	PL	PRA	PEL	0,84	0,86	0,76	0,85	2,18	585300	3037600	24	0,96	3,14	0,99		
R50	50	18	37	127	RS	PIN	PIN	0,35	0,90	0,35	0,36	1,02	584500	3036700	20	0,72	2,01	0,67		
R51	51	20	36	165	RS	PIO	POH	0,48	0,67	0,48	0,48	1,17	586800	3037300	47	0,87	3,1	0,81		
R52	52	13	19	74	PL	PRA	PRA	0,85	0,85	0,76	0,86	2,11	586700	3037200	8	0,84	1,95	0,94		
R53	53	18	34	135	RS	PIN	PID	0,44	0,66	0,44	0,45	1,06	587400	3036200	38	0,85	2,83	0,78		
R54	54	13	18	47	ZH	PZH	TOU	0,69	0,57	0,69	0,70	1,52	590800	3037900	12	0,42	1,12	0,45		
R55	55	19	33	134	RS	PIO	POH	0,39	0,73	0,39	0,40	0,99	585800	3037500	15	0,77	1,88	0,69		
R56	56	16	29	113	PL	LAN	LGD	0,84	0,87	0,82	0,85	2,26	585900	3039500	10	0,47	1,1	0,48		
R57	57	19	41	170	RS	RES	SAP	0,42	0,70	0,42	0,42	1,06	585300	3039100	29	0,83	2,56	0,76		
R58	58	23	37	178	RS	PIN	PID	0,49	0,61	0,49	0,50	1,18	583500	3028400	15	0,69	1,59	0,59		
R59	59	16	33	113	PL	LAN	LAP	0,62	0,90	0,61	0,62	1,69	586400	3039200	12	0,78	1,82	0,73		
R60	60	11	19	60	ZH	PZH	ZHV	0,72	0,80	0,72	0,73	1,73	585000	3037600	18	0,89	2,55	0,88		
R61	61	15	24	84	PL	PRA	PEL	0,82	0,91	0,77	0,83	2,23	586300	3040000	6	0,58	1,09	0,61		
R62	62	9	10	26	RO	EBU	EBC	0,66	0,55	0,59	0,67	1,26	586100	3039300	1	0	0	0		
R63	63	8	11	29	RO	ROC	CAF	0,48	0,41	0,48	0,48	0,82	586200	3039300	7	0,85	1,93	0,99		
R64	64	20	41	180	RS	PIN	PIN	0,52	0,68	0,52	0,53	1,29	584200	3032000	14	0,76	1,71	0,65		
R66	66	9	24	71	RO	EZR	EZP	0,71	0,67	0,71	0,72	1,68	588400	3035800	6	0,41	0,93	0,52		
R67	67	17	39	160	FF	FME	CHP	0,48	0,57	0,48	0,48	1,11	600200	3040300	32	0,73	2,33	0,67		
R69	69	13	28	91	PL	PRA	PRA	0,87	0,88	0,85	0,88	2,37	590800	3029400	28	0,93	3,06	0,92		
R70	70	11	26	82	PL	LPL	LPL	0,77	0,71	0,70	0,78	2,01	591400	3030100	7	0,32	0,79	0,41		
R71	71	15	31	123	PL	LAN	LAG	0,87	0,91	0,85	0,88	2,49	594000	3043900	7	0,81	1,8	0,93		
R72	72	16	30	118	PL	LAN	LAG	0,76	0,85	0,75	0,76	2,00	590500	3029700	12	0,68	1,54	0,62		
R73	73	20	33	156	RS	RES	SAP	0,46	0,61	0,46	0,46	1,06	594600	3041400	21	0,76	1,96	0,64		
R74	74	13	26	106	PL	LAN	LAG	0,90	0,91	0,84	0,91	2,57	588000	3034500	14	0,58	1,53	0,58		
R75	75	18	37	150	FM	FOM	FOM	0,52	0,75	0,52	0,53	1,25	595000	3040700	23	0,77	2,05	0,65		
R76	76	18	34	137	FF	FEU	HET	0,48	0,63	0,48	0,49	1,15	599100	3039100	13	0,44	1,17	0,46		
R77	77	19	40	179	PL	LAN	LAB	0,41	0,93	0,41	0,42	1,23	591900	3040900	33	0,79	2,34	0,67		
R79	79	18	42	187	RS	PIN	PIN	0,68	0,72	0,68	0,69	1,74	592800	3040500	15	0,74	1,67	0,62		

Tableaux supplémentaires

Tab. A-5 : AFC „présence absence“ des espèces végétales dans 54 relevés : coordonnées, contributions et cosinus carrés des fréquences.

Relevé	Poids relatif	Dist.	Coordonnées			Contributions			Cosinus carrés		
			Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 1	Axe 2	Axe 3
20	1,01	36,7	0,02	0,25	-1,20	0	0,10	2,45	0	0	0,04
21	3,04	5,5	-0,81	0,08	0,17	2,42	0,03	0,15	0,12	0	0,01
22	2,81	4,4	-0,88	0,01	0,10	2,62	0	0,05	0,17	0	0
23	3,51	9,3	-1,06	0,06	-0,22	4,75	0,02	0,29	0,12	0	0,01
24	2,19	10,7	-1,26	0,08	-0,84	4,20	0,02	2,60	0,15	0	0,07
25	1,64	18,0	-1,18	0,10	-0,17	2,75	0,03	0,08	0,08	0	0
26	3,36	9,4	-1,04	0,10	0,27	4,36	0,05	0,42	0,11	0	0,01
27	2,34	16,4	-1,46	0,13	-0,95	6,00	0,06	3,50	0,13	0	0,05
28	2,73	13,6	-0,86	0,39	0,39	2,42	0,63	0,68	0,05	0,01	0,01
29	2,34	12,5	-1,24	0,08	-0,69	4,34	0,02	1,88	0,12	0	0,04
30	2,81	8,3	-0,84	0,00	0,67	2,39	0	2,09	0,09	0	0,05
31	2,26	8,7	-1,24	0,10	-0,54	4,19	0,03	1,11	0,18	0	0,03
32	2,19	8,9	-0,89	0,13	0,41	2,08	0,06	0,62	0,09	0	0,02
34	2,58	6,5	-0,71	0,00	0,05	1,57	0	0,01	0,08	0	0
35	1,87	14,8	-1,03	0,08	0,56	2,42	0,02	1,00	0,07	0	0,02
38	4,45	7,1	-0,66	0,03	0,26	2,35	0	0,50	0,06	0	0,01
39	0,47	27,8	0,30	-0,33	-0,33	0,05	0,08	0,09	0	0	0
40	2,81	10,0	-0,59	0,18	0,54	1,20	0,14	1,35	0,04	0	0,03
41	1,72	12,5	0,48	-0,48	0,33	0,48	0,61	0,31	0,02	0,02	0,01
42	2,26	7,4	0,72	-0,51	0,23	1,41	0,89	0,19	0,07	0,03	0,01
43	2,11	9,6	0,58	-0,52	0,54	0,85	0,89	1,02	0,03	0,03	0,03
44	1,72	17,0	0,70	-0,42	0,46	1,01	0,47	0,60	0,03	0,01	0,01
45	2,50	14,0	0,76	-0,38	0,95	1,76	0,55	3,78	0,04	0,01	0,06
46	2,58	9,1	0,73	-0,52	0,22	1,67	1,09	0,21	0,06	0,03	0,01
47	2,11	20,2	0,58	0,10	-0,58	0,87	0,03	1,20	0,02	0	0,02
48	3,28	16,6	1,08	3,38	-0,22	4,66	57,81	0,27	0,07	0,69	0
49	1,87	15,4	1,05	-0,31	-0,42	2,51	0,29	0,54	0,07	0,01	0,01
50	1,48	25,6	0,96	-0,73	0,20	1,67	1,22	0,10	0,04	0,02	0
51	3,59	10,0	1,15	0,13	-0,20	5,72	0,10	0,25	0,13	0	0
52	0,62	53,3	0,88	0,13	-1,17	0,58	0,02	1,44	0,01	0	0,03
53	2,97	11,8	0,91	-0,24	-0,09	3,00	0,26	0,04	0,07	0	0
54	0,94	33,3	1,25	1,76	-0,08	1,78	4,46	0,01	0,05	0,09	0
55	1,17	18,1	0,90	-0,54	-0,45	1,15	0,52	0,39	0,05	0,02	0,01
56	0,78	19,4	0,60	-0,71	-0,21	0,34	0,61	0,06	0,02	0,03	0
57	2,26	14,9	0,93	-0,60	1,02	2,37	1,27	3,90	0,06	0,02	0,07
58	1,17	11,1	0,83	-0,21	0,58	0,97	0,08	0,66	0,06	0	0,03
59	0,94	47,3	1,19	-1,12	-0,73	1,59	1,80	0,83	0,03	0,03	0,01
60	1,41	29,4	1,33	2,69	-0,25	2,99	15,66	0,14	0,06	0,25	0
61	0,47	56,2	1,32	-0,77	-1,81	0,98	0,43	2,57	0,03	0,01	0,06
63	0,55	92,3	1,08	-1,51	-0,98	0,78	1,92	0,87	0,01	0,02	0,01
64	1,09	8,3	0,82	-0,48	0,62	0,88	0,38	0,70	0,08	0,03	0,05
67	2,50	8,5	-0,72	-0,03	0,61	1,58	0	1,57	0,06	0	0,04
69	2,19	22,0	0,12	-0,68	-2,80	0,04	1,54	28,62	0	0,02	0,36
70	0,55	29,7	0,47	-0,73	-1,70	0,15	0,45	2,64	0,01	0,02	0,10
71	0,55	69,1	1,05	-0,64	-0,92	0,73	0,34	0,77	0,02	0,01	0,01
72	0,94	28,6	0,53	-0,84	-2,03	0,32	1,03	6,45	0,01	0,02	0,14
73	1,64	17,7	0,56	-0,64	1,38	0,63	1,04	5,18	0,02	0,02	0,11
74	1,09	42,9	1,10	-0,99	-2,03	1,58	1,65	7,54	0,03	0,02	0,10
75	1,80	11,6	0,42	-0,45	0,95	0,38	0,55	2,73	0,02	0,02	0,08
76	1,01	29,2	-0,50	-0,18	1,17	0,31	0,05	2,34	0,01	0	0,05
77	2,58	13,2	1,04	-0,21	0,70	3,35	0,17	2,09	0,08	0	0,04
79	1,17	13,2	0,75	-0,53	0,76	0,79	0,51	1,14	0,04	0,02	0,04

code	nom espèce	TB	CNL	n	R20	R21	R22	R23	R24	R25	R26	R27	R28	R29	R30	R31	R32	R34	R35	R38	R39	R40	R41	R42	R43	R44	R45	R46	R47	R48	R49	R50	R51	R52	R53	R54	R55	R56	R57		
silevu	Silene vulgaris	H	KOR	2							r												+																		
smilas	Smilax aspera	C	PLE	1								2m																													
solivi	Solidago virgaurea	H	KOR	9	1						+				+		+				2a	1																	+		
sorbar	Sorbus aria	P	CAD	3	+																																				
sorbau	Sorbus aucuparia	P	CAD	13	+	+												+					+	+			1												1		
sorbdo	Sorbus domestica	P	CAD	1				+																																	
stacof	Stachys officinalis	H	KOR	1																			+																		
stelho	Stellaria holostea	H	KOR	15			+						1										1		+	+	1	+	+										+	1	
tamuco	Tamus communis	T	KOPL	2																			+																		
taraal	Taraxacum alpinum	H	KOR	1																																					
taraof	Taraxacum officinale	H	KOR	2																																					
tarapy	Taraxacum pyrenaicum	H	KOR	1																																					
teucau	Teucrium aureum	C	KOR	1									+																												
teusch	Teucrium chamaedrys	C	KOR	11	1	+	1	1						1		+	+	1		+			+																		
teusc	Teucrium scorodonia	H	KOR	2																				2a																	
thalmi	Thalictrum minus	H	KOR	1																			1																		
thesal	Thesium alpinum	H	KOR	1																																					
thespy	Thesium pyrenaicum	H	KOR	1																																					
thylsa	Thymelaea sanamunda	H	KOR	1				+																																	
thymse	Thymus serpyllum	C	KOR	9																																					
thymvu	Thymus vulgaris	C	KONA	9				+	2a	1	+	2m		2a		1						+																			
tofica	Tofieldia calyculata	H	KOR	1																																					
tragpr	Tragopogon pratensis	H	KOR	1																																					
trifal	Trifolium alpinum	G	KOR	5																																					
trifar	Trifolium arvense	T	KOR	1																																					
trifme	Trifolium medium	G	KOR	1																																					
trifmi	Trifolium michelianum	T	KOR	2	r																																				
trifmo	Trifolium montanum	H	KOR	1																																					
trifpr	Trifolium pratense	H	KOR	6										1																											
trifre	Trifolium repens	H	KOR	5	2																																				
trifsp	Trifolium spadicum	T	KOR	2																																					
ulmumi	Ulmus minor	P	CAD	1				1																																	
umbiru	Umbilicus rupestris	G	KOR	1							+																														
urtidi	Urtica dioica	G	KOR	1																																					
vaccmy	Vaccinium myrtillus	C	NAD	18																				2b	1	3	4	2a	2a												
vaccul	Vaccinium uliginosum	C	NAD	1																																					
valeap	Valeriana apula	G	KOR	3																																					
valemo	Valeriana montana	G	KOR	1																																					
valeof	Valeriana officinalis	H	KOR	1																																					
valepy	Valeriana pyrenaica	H	KOR	1																																					
veraal	Veratrum album	H	KOR	7																																					
verobe	Veronica beccabunga	H	KOR	2																																					
verofr	Veronica fruticulosa	C	KOR	1																																					
veromo	Veronica montana	H	KOR	2																																					
veroor	Veronica officinalis	H	KOR	10																				+			+	+													
verose	Veronica serpyllifolia	H	KOR	2																																					
verour	Veronica urticifolia	H	KOR	2																																					
vibuta	Viburnum lantana	P	NAD	2												+		+																							
vicicr	Vicia cracca	H	KOR	4	1								+																												
vicion	Vicia onobrychioides	H	KOR	1							+																														
vicise	Vicia sepium	H	KOR	3																																					
vinchi	Vincetoxicum hircundinaria	H	KOR	3																																					
violdi	Viola diversifolia	H	KOR	1																																					
violpa	Viola palustris	H	KOR	1																																					
violtr	Viola tricolor	T	KOR	2																																					
vitivi	Vitis vinifera	P	PLE	1												+																									

code	nom espèce	TB	CNL	n	R58	R59	R60	R61	R62	R63	R64	R66	R67	R69	R70	R71	R72	R73	R74	R75	R76	R77	R79
abieal	Abies alba	P	CON	6																			
acerca	Acer campestre	P	CAD	8																			
acermo	Acer monspessulanum	P	MSP	9																			
acerop	Acer opalus	P	CAD	7																			
achimi	Achillea millefolium	H	KOR	14																			
achipt	Achillea ptarmica	G	KOR	1																			
aconna	Aconitum napellus	H	KOR	5			1																
adenal	Adenostyles alliariae	H	KOR	1																			
agroca	Agrostis capillaris	H	GRA	2																			
agrocu	Agrostis curtisii	H	GRA	1																			
agrodu	Agrostis durieui	H	GRA	1																			
agrogi	Agrostis gigantea	H	GRA	1																			
agroru	Agrostis rupestris	H	GRA	2																			
alchpa	Alchemilla pallens	H	KOR	1																			
aliape	Alliaria petiolata	T	KOR	3																			
alysal	Alyssum alyssoides	T	KOR	1																			
amelov	Amelanchier ovalis	P	NAD	10																			
anemne	Anemone nemorosa	G	KOR	2																			
angesy	Angelica sylvestris	H	KOR	1																			
antedi	Antennaria dioica	H	KOR	4																			
antxor	Anthoxanthum odoratum	H	GRA	5																			
anthvu	Anthyllis vulneraria	H	KOR	1																			
aphymo	Aphyllanthes monspeliensis	H	KOR	5																			
aquivu	Aquilegia vulgaris	H	KOR	2																			
arabau	Arabis auriculata	H	KOR	1																			
arabce	Arabis cebennensis	H	KOR	1																			
arabpa	Arabis pauciflora	H	KOR	1																			
arabso	Arabis soyeri	H	KOR	1																			
arabtu	Arabis turrita	H	KOR	1																			
arenli	Arenaria ligericina	H	KOR	1																			
argyza	Argyrobolus zanonii	C	KOR	2																			
arisp	Aristolochia pistolochia	G	KOR	5																			
arrhel	Arrhenatherum elatius	H	GRA	1																			
arteab	Artemisia absinthium	H	KONA	1																			
arteca	Artemisia campestris	G	KOR	1																			
aspaac	Asparagus acutifolius	C	PLE	8																			
aspecy	Asperula cynanchica	H	KOR	1																			
asplad	Asplenium adiantum-nigrum	H	PTE	3																			
asplon	Asplenium onopteris	H	PTE	6																			
aspltr	Asplenium trichomanes	H	PTE	6																			
astgmo	Astragalus monspessulanus	H	KOR	2																			
astrma	Astrantia major	H	KOR	2																			
athydi	Athyrium distentifolium	H	PTE	1																			
athyfi	Athyrium filix-femina	H	PTE	3																			
betupe	Betula pendula	P	CAD	2																			
bisca	Biscutella laevigata	H	KOR	1																			
bitubi	Bituminaria bituminosa	H	KOR	2																			
botriu	Botrychium lunaria	H	PTE	2																			
bracre	Brachypodium retusum	H	GRA	7																			
bracsy	Brachypodium sylvaticum	H	GRA	1																			
brizme	Briza media	H	GRA	2																			
brizmi	Briza minor	T	GRA	1																			
bromst	Bromus sterilis	T	GRA	1																			
bryodi	Bryonia dioica	G	KOPL	1																			
buplfa	Bupleurum falcatum	H	KOR	2																			
buplfr	Bupleurum fruticosum	P	NAL	3																			
buxuse	Buxus sempervirens	P	NAL	2																			
caluvu	Calluna vulgaris	C	NAL	3																			
caltpa	Caltha palustris	H	KOR	4																			
camper	Campanula erinus	T	KOR	1																			
campla	Campanula lanceolata	H	KOR	1																			
camppe	Campanula persicifolia	H	KOR	2																			
campro	Campanula rotundifolia	H	KOR	6																			
campsc	Campanula scheuchzeri	H	KOR	8																			
careec	Carex echinata	H	GRA	2																			
careha	Carex halleriana	H	GRA	4																			
carepi	Carex pilulifera	H	GRA	2																			
carede	Carex viridula	H	GRA	1																			
carlat	Carlina acanthifolia	H	KOR	3																			
carlac	Carlina acaulis	H	KOR	4																			
carlva	Carlina vulgaris	H	KOR	3																			
castsa	Castanea sativa	P	CAD	4																			
cataaq	Catabrosa aquatica	H	GRA	3																			
centja	Centaurea jacea	H	KOR	1																			
centpa	Centaurea paniculata	H	KOR	1																			
centpe	Centaurea pectinata	H	KOR	1																			
center	Centaurium erythraea	T	KOR	1																			
cephda	Cephalanthera damasonium	G	KOR	3																			
cephlo	Cephalanthera longifolia	G	KOR	7																			
ceprle	Cephalaria leucantha	H	KOR	2																			
cerafo	Cerastium fontanum	H	KOR	2																			
ceragl	Cerastium glomeratum	T	KOR	1																			
cercl	Ceratocarpus clavulata	T	KOPL	2																			
ceteof	Ceterach officinarum	H	PTE	2																			
chenbo	Chenopodium bonus-henricus	H	KOR	2																			
chrpop	Chrysosplenium oppositifolium	H	KOR	1																			
cirsac	Cirsium acaule	H	KOR	2																			
cirsr	Cirsium eriophorum	H	KOR	3																			

code	nom espèce	TB	CNL	n	R58	R59	R60	R61	R62	R63	R64	R66	R67	R69	R70	R71	R72	R73	R74	R75	R76	R77	R79
cirspa	Cirsium palustre	H	KOR	3			2a																
cirsvu	Cirsium vulgare	H	KOR	1																			
cistla	Cistus laurifolius	C	NAL	3																			
clemal	Clematis alpina	P	PLE	1																			
clemfl	Clematis flammula	P	PLE	4																			
clemvi	Clematis vitalba	P	PLE	3																			
clinvu	Clinopodium vulgare	H	KOR	3																			
coluar	Colutea arborescens	P	NAD	1																			
conoma	Conopodium majus	G	KOR	2																			
conopy	Conopodium pyrenaicum	G	KOR	1																			
convar	Convolvulus arvensis	H	KOR	1																			
convca	Convolvulus cantabrica	C	KOR	1																			
cornsa	Cornus sanguinea	P	NAD	5																			
coromi	Coronilla minima	C	KOR	1																			
coryav	Corylus avellana	P	MSP	6									1					+			r		
cotone	Cotoneaster nebrodensis	P	NAD	1																			
cratla	Crataegus laevigata	P	NAS	1																			
cratmo	Crataegus monogyna	P	NAS	9									2a									r	
crocnu	Crocus nudiflorus	G	KOR	1																			
crucgl	Cruciata glabra	H	KOR	23	1		1			1											+		+
crucla	Cruciata laevipes	H	KOR	1																			
cynoof	Cynoglossum officinale	H	KOR	1																			
cytnhy	Cytinus hypocistis	G	PAR	1																			
cytsse	Cytisophyllum sessilifolium	P	NAD	4																			
cytior	Cytisus oromediterraneus	C	NAG	10		+								1	2a	4		4				+	
cytisc	Cytisus scoparius	P	NAG	4									+										
dactgl	Dactylis glomerata	H	GRA	16										1							+		
daphgn	Daphne gnidium	P	KONA	1																			
daphla	Daphne laureola	C	KONA	8									1									+	
daphme	Daphne mezereum	C	KONA	9	+						+												
descfl	Deschampsia flexuosa	H	GRA	21	2b					1	3		2m					3	1	2b		1	2a
diande	Dianthus deltoides	H	KOR	1																			
dianhy	Dianthus hyssopifolius	H	KOR	8																			
dianpy	Dianthus pyrenaicus	C	KOR	2									1				+						
digilu	Digitalis lutea	H	KOR	5									+							+			
dorype	Dorycnium pentaphyllum	C	KOR	6																			
dryaoc	Dryas octopetala	C	KOR	1								3											
dryoca	Dryopteris carthusiana	H	PTE	1																			
dryofi	Dryopteris filix-mas	H	PTE	5																			
endrpy	Endressia pyrenaica	H	KOR	4																			+
epikpy	Epikeros pyrenaicus	H	KOR	1			1																
epilan	Epilobium angustifolium	H	KOR	1																			
epildu	Epilobium duriae	H	KOR	3																	+		
epilmo	Epilobium montanum	H	KOR	2																			
epilpa	Epilobium palustre	H	KOR	2			+																
epipmi	Epipactis microphylla	G	KOR	3																			
equisy	Equisetum sylvaticum	G	EQU	1																			
erodgr	Erodium glandulosum	H	KOR	1										+									
erynca	Eryngium campestre	H	KOR	4										2a									
euoneu	Euonymus europaeus	P	MSP	2									+										
euphch	Euphorbia characias	C	KOR	1																			
euphcy	Euphorbia cyparissias	H	KOR	5																			
euphhy	Euphorbia hyberna	H	KOR	2																			
euphni	Euphorbia nicaeensis	C	KOR	3																			
euprhi	Euphrasia hirtella	T	KOR	1																			
euprmi	Euphrasia minima	T	KOR	3		+																	
fagusy	Fagus sylvatica	P	CAD	6																			r
festes	Festuca eskia	H	GRA	8				4		+					1	+		3	2a		4	4	
festga	Festuca gautieri	H	GRA	1																	1		
festpa	Festuca paniculata	H	GRA	2				1													1		
festru	Festuca rubra	G	GRA	1																			
ficuca	Ficus carica	P	MSP	1																			
filiul	Filipendula ulmaria	H	KOR	1																			
fragve	Fragaria vesca	H	KOR	5																			
fraxex	Fraxinus excelsior	P	CAD	6									1									+	
fumaer	Fumana ericoides	C	KOR	3																			
fumapr	Fumana procumbens	C	KOR	1																			
galepy	Galeopsis pyrenaica	T	KOR	1																			
galiap	Galium aparine	T	KOR	7										1							+		
galiar	Galium aristatum	H	KOR	1																			
galigl	Galium glaucum	G	KOR	2																			
galima	Galium maritimum	H	KOR	11										+									
galimo	Galium mollugo	H	KOR	21	+						+	1									+		
galiod	Galium odoratum	G	KOR	1																			
galipu	Galium pumilum	H	KOR	2																			+
galiro	Galium rotundifolium	H	KOR	2																	1	1	+
galiul	Galium uliginosum	H	KOR	1																			+
galive	Galium verum	H	KOR	15									+	1			+					+	+
genian	Genista anglica	C	NAS	2																			
genisa	Genista sagittalis	H	KOR	7	+																		
genisc	Genista scorpius	C	NAS	5																			
gentlu	Gentiana lutea	H	KOR	1																			
gentpn	Gentiana pneumonanthe	H	KOR	1																			
gerapr	Geranium pratense	H	KOR	1																			
geraro	Geranium robertianum	H	KOR	2																			
gerart	Geranium rotundifolium	T	KOR	1																			
global	Globularia alypum	C	KOR	1																			
globbi	Globularia bisnagarica	H	KOR	2																			

code	nom espèce	TB	CNL	n	R58	R59	R60	R61	R62	R63	R64	R66	R67	R69	R70	R71	R72	R73	R74	R75	R76	R77	R79
goodre	Goodyera repens	H	KOR	1																			
gymndr	Gymnocarpium dryopteris	G	PTE	1																			
gymnro	Gymnocarpium robertianum	G	PTE	1																			
hedehe	Hedera helix	P	PLE	10								+											
heliap	Helianthemum apenninum	C	KOR	1																			
helinu	Helianthemum nummularium	C	KOR	3																			
helioe	Helianthemum oelandicum	C	KOR	1																			
hltcse	Helictotrichon sedenense	H	GRA	4																			
hellfo	Helleborus foetidus	G	KOR	7																			
hellvi	Helleborus viridis	G	KOR	3																			
hepano	Hepatica nobilis	H	KOR	9																+	r		
hierce	Hieracium cerinthoides	H	KOR	1														1					
hiermu	Hieracium murorum	H	KOR	4									+										
hierpi	Hieracium pilosella	H	KOR	7										1	1	1							
hippco	Hippocrepis comosa	C	KOR	2																			
hippem	Hippocrepis emerus	P	NAD	3																			
homoal	Homogyne alpina	H	KOR	3																		1	
hypehy	Hypericum hyssopifolium	C	KOR	1																			
hypema	Hypericum maculatum	H	KOR	8							+											1	
hypepe	Hypericum perforatum	H	KOR	2																			
iberse	Iberis sempervirens	C	KOR	2																			
ilexaq	Ilex aquifolium	P	MSP	1																	1		
impeos	Imperatoria ostruthium	H	KOR	2																		+	
jasimo	Jasione montana	H	KOR	1															1				
jasmfr	Jasminum fruticans	C	NAG	1																			
juglre	Juglans regia	P	CAD	2																			
juncac	Juncus acutiflorus	G	GRA	1																			
juncal	Juncus alpinoarticulatus	G	GRA	1																			
juncal	Juncus alpinoarticulatus	G	GRA	1																			
juncal	Juncus conglomeratus	G	GRA	2																			
juncce	Juncus effusus	G	GRA	1																			
juncce	Juncus effusus	G	GRA	1																			
juncct	Juncus trifidus	G	GRA	1																			
junico	Juniperus communis	P	NAC	16	1																		+
junico	Juniperus communis	P	NAC	16	1																		+
junisi	Juniperus sibirica	C	NAC	4																			
knauma	Knautia maxima	H	KOR	2																			
knauti	Knautia timeroyi	H	KOR	1																			
knauti	Knautia timeroyi	H	KOR	1																			
lactpe	Lactuca perennis	H	KOR	3																			
lasene	Laserpitium nestleri	H	KOR	1																			
lasesi	Laserpitium siler	H	KOR	1																			
lathap	Lathyrus aphaca	T	KOR	1																			
lathli	Lathyrus linifolius	H	KOR	3																			
lathli	Lathyrus linifolius	H	KOR	3																			
lathni	Lathyrus nissolia	T	KOR	1																			
lathpr	Lathyrus pratensis	H	KOR	4																			
lathpr	Lathyrus pratensis	H	KOR	4																			
lathsy	Lathyrus sylvestris	H	KOR	1																			
lathve	Lathyrus vernus	H	KOR	1																			
laurno	Laurus nobilis	P	SEM	1																			
lavala	Lavandula latifolia	C	KONA	3																			
lavast	Lavandula stoechas	C	KONA	1																			
leonau	Leontodon autumnalis	H	KOR	1																			
leonhi	Leontodon hispidus	H	KOR	1																			
leonpy	Leontodon pyrenaicus	H	KOR	2																			
leusal	Leucanthemopsis alpina	H	KOR	1																			
leusal	Leucanthemopsis alpina	H	KOR	1																			
leucvu	Leucanthemum vulgare	H	KOR	1																			
leuzco	Leuzea conifera	H	KOR	2																			
liguvu	Ligustrum vulgare	P	NAL	5																			
lilima	Lilium martagon	G	KOR	1																			
linare	Linaria repens	H	KOR	2																			
linuna	Linum narbonense	H	KOR	1																			
lonial	Lonicera alpigena	C	NAD	1																			
loniet	Lonicera etrusca	P	PLE	1																			
loniim	Lonicera implexa	P	PLE	5																			
lonipe	Lonicera periclymenum	C	PLE	8																			
lonipy	Lonicera pyrenaica	C	NAD	1																			
lonixy	Lonicera xylosteum	P	NAD	6																			
lotual	Lotus alpinus	H	KOR	3																			
lotuco	Lotus corniculatus	H	KOR	7																			
lotupe	Lotus pedunculatus	H	KOR	2																			
lotupe	Lotus pedunculatus	H	KOR	2																			
luzuca	Luzula campestris	H	GRA	3																			
luzuca	Luzula campestris	H	GRA	3																			
luzufo	Luzula forsteri	H	GRA	1																			
luzulu	Luzula luzulooides	H	GRA	1																			
luzuni	Luzula nivea	H	GRA	9	1																		
luzuni	Luzula nivea	H	GRA	9	1																		
luzunu	Luzula nutans	H	GRA	2	1																		+
luzusu	Luzula sylvatica	H	GRA	1																			+
medisa	Medicago sativa	H	KOR	1																			
medisa	Medicago sativa	H	KOR	1																			
medisu	Medicago suffruticosa	H	KOR	2																			
melapr	Melampyrum pratense	T	KOR	5	1																		+
melapr	Melampyrum pratense	T	KOR	5	1																		+
melasy	Melampyrum sylvaticum	T	KOR	1																			
melasy	Melampyrum sylvaticum	T	KOR	1																			
meliun	Melica uniflora	H	GRA	3																			
mentar	Mentha arvensis	H	KOR	2																			
mentlo	Mentha longifolia	H	KOR	1																			
mentpu	Mentha pulegium	H	KOR	1																			
meumat	Meum athamanticum	H	KOR	1																			
meumat	Meum athamanticum	H	KOR	1																			
milief	Milium effusum	H	GRA	2																			
milief	Milium effusum	H	GRA	2																			
moehtr	Moehringia trinervia	T	KOR	5																			
moehtr	Moehringia trinervia	T	KOR	5																			
molica	Molinia caerulea	H	GRA	1																			
molica	Molinia caerulea	H	GRA	1																			
monohy	Monotropa hypopitys	G	PAR	1																			
monohy	Monotropa hypopitys	G	PAR	1																			
montfo	Montia fontana	H	KOR	2																			
montfo	Montia fontana	H	KOR	2</																			

code	nom espèce	TB	CNL	n	R58	R59	R60	R61	R62	R63	R64	R66	R67	R69	R70	R71	R72	R73	R74	R75	R76	R77	R79	
mysosar	Myosotis arvensis	T	KOR	2																				
mysosc	Myosotis scorpioides	H	KOR	1																				
nardst	Nardus stricta	H	GRA	5				3																
omalno	Omalotheca norvegica	H	KOR	2																				
omatsy	Omalotheca sylvatica	H	KOR	3				+																
ononna	Ononis natrix	C	KONA	1																				
origvu	Origanum vulgare	H	KOR	4																				
orobgr	Orobancha gracilis	G	PYS	1																				
osyral	Osyris alba	C	PYS	6																				
oxalac	Oxalis acetosella	H	KOR	4							1								+			+		
phillan	Phillyrea angustifolia	P	NAL	1																				
philla	Phillyrea latifolia	P	NAL	3																				
philme	Phillyrea media	P	NAL	1																				
phleal	Phleum alpinum	H	GRA	5				1																
phlepr	Phleum pratense	H	GRA	2																				
phytsp	Phyteuma spicatum	H	KOR	5														1		+				
piceab	Picea abies	P	CON	1																				
pimpsa	Pimpinella saxifraga	H	KOR	3																				
pinuni	Pinus nigra	P	CON	3																				
pinusy	Pinus sylvestris	P	CON	10																				
pinuun	Pinus uncinata	P	CON	13	5	2a					5											2b	5	
pistte	Pistacia terebinthus	P	MSP	7																				
planho	Plantago holosteum	C	KOR	3										1	+		2a							
planla	Plantago lanceolata	H	KOR	6										+										
poaxch	Poa chaixii	H	GRA	2																				
poaxne	Poa nemoralis	H	GRA	1																				
polaal	Polygala alpestris	H	KOR	2																				
pogobi	Polygonum bistorta	H	KOR	4				+															+	
popovu	Polypodium vulgare	G	PTE	2															1		+			
postlo	Polystichum lonchitis	H	PTE	3					+															
popuni	Populus nigra	P	CAD	1																				
potear	Potentilla argentea	H	KOR	1										+										
potecr	Potentilla crantzii	H	KOR	1																				
poteer	Potentilla erecta	H	KOR	3																				
potemi	Potentilla micrantha	H	KOR	1																				
potere	Potentilla reptans	H	KOR	1																				
prenpu	Prenanthes purpurea	H	KOR	7														1					1	
primve	Primula veris	H	KOR	5																				
prungr	Prunella grandiflora	H	KOR	1																				
prunha	Prunella hastifolia	H	KOR	5																				
prunav	Prunus avium	P	CAD	4																			1	
prunma	Prunus mahaleb	P	MSP	8																				
prunsp	Prunus spinosa	P	NAS	9									1	+										
pteraq	Pteridium aquilinum	G	PTE	2																			1	
queril	Quercus ilex	P	SEM	15																				
querpe	Quercus petraea	P	CAD	1																				
querpu	Quercus pubescens	P	CAD	13										5									1	
ranuac	Ranunculus aconitifolius	H	KOR	1																			+	
ranupa	Ranunculus parnassifolius	H	KOR	1																				
reseph	Reseda phyteuma	T	KOR	2										+										
rhamat	Rhamnus alaternus	P	MSP	4																				
rhama	Rhamnus alpina	P	NAD	2																				
rhamsa	Rhamnus saxatilis	C	NAD	8																				
rhinan	Rhinanthus angustifolius	T	KOR	1																				
rhodfe	Rhododendron ferrugineum	C	NAL	6							4												5	3
ribeal	Ribes alpinum	P	NAD	1				+																
robips	Robinia pseudoacacia	P	CAD	1																				
rosaca	Rosa canina	P	NAS	1																				
rosapi	Rosa pimpinellifolia	C	NAS	1																				
rosaru	Rosa rubiginosa	P	NAS	1																				
rubipe	Rubia peregrina	H	KOR	13																				
rumeac	Rumex acetosa	H	KOR	1																				
rumear	Rumex acetosella	H	KOR	3													1			+				
rumesc	Rumex scutatus	H	KOR	1													+							
ruscac	Ruscus aculeatus	C	NAS	3																				
salica	Salix caprea	P	MSP	2																				
saliel	Salix eleagnos	P	MSP	1																				
sangmi	Sanguisorba minor	H	KOR	5																+				
sangof	Sanguisorba officinalis	H	KOR	1																				
sapooc	Saponaria ocyroides	H	KOR	2																				
saxiop	Saxifraga oppositifolia	H	KOR	1																				
saxipa	Saxifraga paniculata	H	KOR	1							1													
saxiro	Saxifraga rotundifolia	H	KOR	1																			+	
scabco	Scabiosa columbaria	H	KOR	1																				
seduru	Sedum rupestre	C	KOR	5																				
seduse	Silene rupestris	C	KOR	3										+										
sempmo	Sedum sediforme	C	KOR	1																				
senead	Sempervivum montanum	H	KOR	3																				
senein	Senecio adonidifolius	C	KONA	12																				
senepy	Senecio inaequidens	H	KOR	1										2b	4			3						
serrti	Senecio pyrenaicus	H	KOR	1																			1	
seslca	Serratula tinctoria	G	GRA	3																				
sherar	Sesleria caerulea	T	KOR	1									1											
sileac	Sherardia arvensis	C	KOR	1									+											
sileci	Silene acaulis	H	KOR	2																				
silenu	Silene ciliata	H	KOR	4																				
sileru	Silene nutans	H	KOR	1																				
silesa	Silene saxifraga	H	KOR	1							1													

code	nom espèce	TB	CNL	n	R58	R59	R60	R61	R62	R63	R64	R66	R67	R69	R70	R71	R72	R73	R74	R75	R76	R77	R79	
silevu	Silene vulgaris	H	KOR	2																				
smilas	Smilax aspera	C	PLE	1																				
solivi	Solidago virgaurea	H	KOR	9																		1	1	
sorbar	Sorbus aria	P	CAD	3									+											
sorbau	Sorbus aucuparia	P	CAD	13	+						+							+		+		1	1	
sorbdo	Sorbus domestica	P	CAD	1																				
stacof	Stachys officinalis	H	KOR	1																				
stelho	Stellaria holostea	H	KOR	15									2m			+		1		1		1	+	
tamuco	Tamus communis	T	KOPL	2									1											
taraal	Taraxacum alpinum	H	KOR	1																				
taraof	Taraxacum officinale	H	KOR	2																				
tarapy	Taraxacum pyrenaicum	H	KOR	1																				
teucau	Teucrium aureum	C	KOR	1																				
teucch	Teucrium chamaedrys	C	KOR	11									+											
teusc	Teucrium scorodonia	H	KOR	2									1											
thalmi	Thalictrum minus	H	KOR	1																				
thesal	Thesium alpinum	H	KOR	1																				
thespy	Thesium pyrenaicum	H	KOR	1																				
thylsa	Thymelaea sanamunda	H	KOR	1																				
thymse	Thymus serpyllum	C	KOR	9										1	1		2a		+					
thymvu	Thymus vulgaris	C	KONA	9										2a										
tofica	Tofieldia calyculata	H	KOR	1																				
tragpr	Tragopogon pratensis	H	KOR	1																				
trifal	Trifolium alpinum	G	KOR	5		+		2																
trifar	Trifolium arvense	T	KOR	1										+										
trifme	Trifolium medium	G	KOR	1																				
trifmi	Trifolium michelianum	T	KOR	2																				
trifmo	Trifolium montanum	H	KOR	1																				
trifpr	Trifolium pratense	H	KOR	6																				
trifre	Trifolium repens	H	KOR	5																				
trifsp	Trifolium spadiceum	T	KOR	2																				
ulmumi	Ulmus minor	P	CAD	1																				
umbiru	Umbilicus rupestris	G	KOR	1																				
urtidi	Urtica dioica	G	KOR	1																				
vaccmy	Vaccinium myrtillus	C	NAD	18	4		2a															1	3	4
vaccul	Vaccinium uliginosum	C	NAD	1			3																	
valeap	Valeriana apula	G	KOR	3																				
valemo	Valeriana montana	G	KOR	1																				
valeof	Valeriana officinalis	H	KOR	1																				
valepy	Valeriana pyrenaica	H	KOR	1																				
veraal	Veratrum album	H	KOR	7																			1	+
verobe	Veronica beccabunga	H	KOR	2																				
verofr	Veronica fruticulosa	C	KOR	1																				
veromo	Veronica montana	H	KOR	2																			+	
veroor	Veronica officinalis	H	KOR	10	1																			
verose	Veronica serpyllifolia	H	KOR	2																				
verour	Veronica urticifolia	H	KOR	2																				
vibula	Viburnum lantana	P	NAD	2																				
vicicr	Vicia cracca	H	KOR	4																				
vicion	Vicia onobrychioides	H	KOR	1																				
vicise	Vicia sepium	H	KOR	3										+										
vinchi	Vincetoxicum hirsutinaria	H	KOR	3																				
violdi	Viola diversifolia	H	KOR	1																				
violpa	Viola palustris	H	KOR	1																				
violtr	Viola tricolor	T	KOR	2																			+	
vitivi	Vitis vinifera	P	PLE	1																				

Caractéristiques des horizons pédologiques

nom horizon (*)	Relevé	Horizonttyp (BKA)	type d'horizon (RP2008)	limite supérieure [cm]	limite inférieure [cm]	épaisseur horizon [cm]	hoplexol correspondant	teneur en éléments grossiers (>2mm)	teneur en éléments grossiers (>2cm)	Code éléments grossiers	présence de charbons	Niveau d'enracinement	code MUNSELL (humide)	niveau de teneur en matière organique	matière organique / minérale	classe texturale "terrain" (Bodenart) BKA	teneur moyenne en sables	teneur moyenne en limons	teneur moyenne en argiles
R200*	R20	L	OL	0,5	0	0,5	H20201	19	14	5	3			h7	holorganique	org			2
R201	R20	Ah	A	0	4	4	H20202	21	16	5	3	3	8,75 YR 3,5/4	h1-2	organo-minéral	Lu	57	23	21
R202	R20	Bv-Ah	A-S (L)	4	14	10	H20203	7	5	2	2	1	4,5Y 4/6	h1	organo-minéral	Uls	30	58	13
R203	R20	Bv-Cv+mC	S-C	14	40	26	H20204	91	1	90	6	1	8,75YR 4/6	h1	organo-minéral	Sl4	61	25	15
R204**	R20	mC	R	40	100	60	H20205												
R210*	R21	L	Olh	2	1,6	0,4	H21201	21	8	13	3	0		h7	holorganique	org			2
R211	R21	L	Olv	1,6	0	1,6	H21202	11	6	5	3	1	10YR 2/3	h7	holorganique	org			2
R212	R21	Ah	A	0	7	7	H21203	25	17	8	4	2	10YR 3/3	h3	organo-minéral	Ls2	34	45	21
R212b*	R21	Bv	S	7	14	7	H21204	25	15	10	4	4	10YR 5/4	h0	minéral	Slu	43	45	13
R213	R21	Bv	S	14	26	12	H21205	25	10	15	4	4	10YR 5/4	h0	minéral	Slu	43	45	13
R214*	R21	Cv	C	26	40	14	H21206	84	4	80	6	0	10YR 5/4	h0	minéral	Slu	43	45	13
R215**	R21	mC	R	40	100	60	H21207												
R220	R22	L	Olv	0,6	0	0,6	H22101	13	0	13	3	1	10YR 2,5/3	h7	holorganique	org			2
R221	R22	Ah	Aci	0	1,5	1,5	H22102	15	5	10	3	1	10YR 4/4	h1	organo-minéral	Lu	19	58	24
R222	R22	Ah	Aca	1,5	7	5,5	H22202	15	5	10	3	1	10YR 4,5/4	h1	organo-minéral	Lu	19	58	24
R223	R22	Bv-Ah	Aca-Sca	7	12	5	H22203	11	4	7	3	3	10YR 4/3	h1-2	organo-minéral	Lt2	30	40	30
R224	R22	Bv-Cv	Xp	12	32	20	H22204	62	2	60	5	2	10YR 4/4	h1	organo-minéral	Lu	19	58	24
R225**	R22	mC	R	32	100	68	H22205												
R230	R23	L	Olv	0,3	0	0,3	H23201	70	35	35	5	1	10YR 2/2	h7	holorganique	org			2
R231	R23	Ah	Aca	0	4	4	H23202	15	12	3	3	5	10YR 2/3	h4+	à	Lt2	30	40	30
R231b*	R23	Ah	Aca	4	14	10	H23203	12	10	2	3	3	10YR 3/3	h3-4	organo-minéral	Lt2	30	40	30
R232	R23	Bv-Ah	A-Sdo	14	23	9	H23204	56	6	50	5	2	10YR 3/3	h3-4	organo-minéral	Lt2	30	40	30
R233	R23	cCv	C	23	40	17	H23205	84	4	80	6	3	10YR 3/3	h3	organo-minéral	Ls2	34	45	21
R234**	R23	cmC	R	40	100	60	H23206												
R241	R24	Ah	Aca	0	8	8	H24201	22	15	7	3	1	3 10YR 4/6	h1	organo-minéral	Uls	30	58	13
R242	R24	Bh	Sho	8	18	10	H24202	19	10	9	3	3	7,5YR 4/6	h1	organo-minéral	Lt2	30	40	30
R243	R24	Bv	Sca	18	36	18	H24203	40	15	25	4	2	7,5YR 3/4	h2-3	organo-minéral	Lu	19	58	24
R244**	R24	clCv+mC	R	36	100	64	H24204	65	5	55	5								
R250	R25	L	Olv	0,4	0	0,4	H25101	41	20	21	4	3	2,5Y 3/3	h7	holorganique	org			2
R250b*	R25	Ah	A	0	5	5	H25201	36	25	11	4	3	2,5Y 3/3	h3-4	organo-minéral	Uls	30	58	13
R251	R25	Ah	A	5	14	9	H25202	25	20	5	4	2	2,5Y 3/3	h3-4	organo-minéral	Uls	30	58	13
R252	R25	Bv	S	14	27	13	H25203	18	15	3	3	2	2,5Y 4/4	h1	organo-minéral	Uls	30	58	13
R253	R25	Bv	S	27	67	40	H25204	38	20	18	4	1	2,5Y 4/6	h1	organo-minéral	Slu	43	45	13
R254	R25	Cv	C	67	78	11	H25206	85	10	75	6	1	2,5Y 4/4	h1	organo-minéral	Uls	30	58	13
R255**	R25	mC	R	78	100	22	H25207												
R261	R26	Ah	A	0	6	6	H26201	45	40	5	4	2	2,5Y 2/1	h4+	à	Su4	51	45	4
R262	R26	Bv	S	6	28	22	H26202	45	35	10	4	3	5Y 4/2	h1	organo-minéral	Sl4	61	25	15
R263	R26	Bv-Cv	Xc	28	38	10	H26203	65	30	35	5	1	5Y 4/3	h1	organo-minéral	Sl4	61	25	15
R264*	R26	Cv+imC	C	38	48	10	H26204	70	15	55	5	0	5Y 4/3	h1	organo-minéral	Sl4	61	25	15
R265**	R26	Cv-imC	R	48	100	52	H26205	97			6	0							
R270	R27	L	OL	0,8	0	0,8	H27101	35	20	15	4	0	7,5YR 2/2	h7	holorganique	org			2
R271	R27	Ah	Aca	0	10	10	H27201	10	3	7	3	1	2 10YR 2/3	h4+	à	Su3	64	33	4
R272	R27	Bv	Sca	10	33	23	H27202	26	15	11	4	1	10YR 3/3	h3	organo-minéral	Sl4	61	25	15
R272b*	R27	Bv	Sca	33	45	12	H27203	42	20	22	4	1	10YR 3/3	h3	organo-minéral	Su3	64	33	4
R273	R27	Bv	Sca	45	60	15	H27204	35	20	15	4	2	10YR 3/3	h3	organo-minéral	Su3	64	33	4
R274	R27	clCv	Xp	60	75	15	H27205	65	5	60	5	2	10YR 4/4	h1	organo-minéral	Sl2	76	18	7
R275**	R27	clCv+cmC	D ou R	75	100	25	H27206	80	8	75									
R280	R28	L	OL	0,8	0	0,8	H28101	8	2	6	2	1	2,5Y 3/3	h7	holorganique	org			2
R281a	R28	Ah (ex-Ap)	LA	0	6	6	H28202	17	12	5	3	1	5 2,5Y 4/3	h1-2	organo-minéral	Lt2	30	40	30
R281b	R28	Bh	S	6	24	18	H28203	21	15	6	3	5	2,5Y 4/3	h1-2	organo-minéral	Ls4	57	23	21
R282	R28	M (Bv)	S	24	50	26	H28204	35	30	5	4	2	2,5Y 4/3,5	h1	organo-minéral	Lt2	30	40	30
R283	R28	M (Bv)	S	50	80	30	H28205	40	30	10	4	2	2,5Y 4/2,5	h1-2	organo-minéral	Lu	19	58	24
R284	R28	M (Bv)	Xp	80	100	20	H28206	50	35	15	5	2	2,5Y 4/2	h1-2	organo-minéral	Ls3	44	35	21
R290	R29	Ah	A	0	10	10	H29202	35	25	10	4	3	10YR 2/2	h4+	à	Lu	19	58	24
R291	R29	Axh+clCv	Ah+C	10	20	10	H29203	40	10	30	4	2	10YR 2/3	h4+	à	Lu	19	58	24
R292**	R29	clCv+cmC	D ou R	20	100	80	H29204												
R311	R31	Ah	A	0	7	7	H31201	15	10	5	3	2	10YR 3/4	h2-3	organo-minéral	Lt2	30	40	30
R312	R31	Bv	S	7	17	10	H31202	20	10	10	3	4	10YR 3,5/4	h1-2	organo-minéral	Lt2	30	40	30
R313	R31	Bv	S	17	34	17	H31203	35	10	25	4	3	10YR 3/4	h2-3	organo-minéral	Lt2	30	40	30
R314	R31	Bv-lCv	X	34	48	14	H31204	55	10	45	5	2	10YR 3/5	h2-3	organo-minéral	Lt2	30	40	30
R315*	R31	Bv-lCv	X	48	65	17	H31205	70	10	60	5	1	10YR 3/5	h2-3	organo-minéral	Lt2	30	40	30
R316**	R31	lCv	D	65	100	35	H31206	80	15	65	6								
R321	R32	Ah	Aci	0	8	8	H32201	30	20	10	4	2	2,5Y 3/3	h3	organo-minéral	Sl4	61	25	15
R322	R32	Bv	Sca	8	32	24	H32202	45	25	20	4	3	2,5Y 4/4	h1	organo-minéral	Ls3	44	35	21
R323	R32	Bv-Cv	X	32	42	10	H32203	60	10	50	5	2	2,5Y 4/3	h1	organo-minéral	Ls4	57	23	21
R324*	R32	Cv	C	42	54	12	H32204	70	15	55	5	1	2,5Y 5/3	h1	organo-minéral	Ls4	57	23	21
R325*	R32	Cv+mC	C	54	72	18	H32205	85	10	75	6	1	2,5Y 5/3	h1	organo-minéral	Ls4	57	23	21
R326**	R32	mC	R	72	100	28	H32206												
R340	R34	Of	OF	0,8	0	0,8	H34101	17	10	7	3	1	10YR 3/4	h7	holorganique	org			2
R341	R34	Ai	A	0	2	2	H34201	22	12	10	3	3	10YR 4/4	h1	organo-minéral	Sl4	61	25	15
R342	R34	M	S	2	13	11	H34202	45	25	20	4	2	10YR 4/4	h1	organo-minéral	Ls4	57	23	21
R343	R34	fBv	S	13	37	24	H34203	45	15	30	4	2	10YR 3,5/4	h1-2	organo-minéral	Ls2	34	45	21
R343b*	R34	fBv	S	37	55	18	H34204	43	15	28	4	1	10YR 4/3	h1-2	organo-minéral	Lt2	30	40	30

nom horizon(*)	Relevé	Horizonttyp (BKA)	type d'horizon (RP2008)	limite supérieure [cm]	limite inférieure [cm]	épaisseur horizon [cm]	nomenclature correspondant	teneur en éléments grossiers [kg/m ³]	teneur en éléments grossiers <2cm >2mm	éléments grossiers >2cm	Code éléments grossiers	présence de charbons organiques	Niveau d'enracinement	code MUNSSELL (humide)	niveau de teneur en matière organique	matière organique / minérale	classe texturale "terrain" (Bodenart) BKA	teneur moyenne en sables	teneur moyenne en limons	teneur moyenne en argiles	
R344	R34	fBv	S	55	79	24	H34205	33	8	25	4										
R345**	R34	Cv	C	79	100	21	H34206														
R351	R35	Ai	A	0	8	8	H35201	40	25	15	4			3	2,5Y 2/1	h4+	à	Su4	51	45	4
R352	R35	M	S	8	25	17	H35202	50	30	20	5			2	2,5Y 5/4	h0	minéral	St4	61	25	15
R352b*	R35	M	Xc	25	55	30	H35203	55	25	30	5				2,5Y 5/5	h1	organo-minéral	Ls3	44	35	21
R353	R35	M	Xc	55	80	25	H35204	64	10	54	6			0	2,5Y 5/5	h1	organo-minéral	Lt2	30	40	30
R354**	R35	M	Xc	80	100	20	H35205	78	8	70	6										
R390	R39	Of/Oh	OF/OH	3,3	0	3,3	H39201	14	10	4	3			2	10YR 1,7/1	h7	holorganique	org			2
R391	R39	Ah	A	0	10	5,5	H39202	30	20	10	4	1	3	10YR 2/2	h4+	à	Uls	30	58	13	
R392	R39	Bh	Sho	10	25	15	H39203	40	25	15	4	1	4	10YR 2/1	h4+	à	Uls	30	58	13	
R393	R39	Bv	Sal	25	45	20	H39204	35	30	5	4	1	3	10YR 3/2	h3	organo-minéral	Stu	43	45	13	
R394	R39	Cv	C	45	52	7	H39205	70	25	45	5	1		10YR 3,5/2	h1-2	organo-minéral	Uls	30	58	13	
R395**	R39	mC	R	52	100	48	H39206														
R401	R40	Ah	A	0	16	16	H40201	40	35	5	4			4	10YR 2,5/4	h3	organo-minéral	Stu	43	45	13
R402	R40	Bv	S	16	45	29	H40202	40	15	25	4			2	10YR 3/4	h2-3	organo-minéral	Lt2	30	40	30
R403	R40	Bv-Cv	S-C	45	75	30	H40203	47	32	15	4			2	10YR 3,5/5	h1-2	organo-minéral	Ls3	44	35	21
R404	R40	ICv	C	75	100	25	H40204	55	35	20	5			2	10YR 4/5	h1	organo-minéral	Lt2	30	40	30
R411	R41	Ah	A	0	12	12	H41201	18	15	3	3			4	10YR 3/4	h2	organo-minéral	Su4	51	45	4
R412	R41	Bv	S	12	34	22	H41202	30	25	5	4			3	10YR 4/4	h1	organo-minéral	Su3	64	33	4
R413	R41	Bv	S	34	54	20	H41203	42	30	12	4			2	10YR 4/4	h1	organo-minéral	Su3	64	33	4
R414	R41	Cv	C	54	70	16	H41204	50	30	20	5			1	10YR 6,5/6	h0	minéral	Su3	64	33	4
R415	R41	Cv+ IC	C (D)	70	100	30	H41205	65	40	25	5			1	10YR 6/8	h0	minéral	Su2	80	18	3
R421	R42	Ah	A	0	12	12	H42201	14	8	6	3			2	2,5Y 2,5/3	h4+	à	Stu	43	45	13
R422	R42	Bv	S	12	38	26	H42202	31	15	16	4			2	2,5Y 3/3	h3	organo-minéral	St4	61	25	15
R423	R42	Bv-Gos	S	38	60	22	H42203	55	25	20	5			3	2,5Y 4/2	h1	organo-minéral	Su4	51	45	4
R424	R42	Gos	S-Go	60	100	40	H42204	20	15	5	3			0	2,5Y 6/3	h0	minéral	Stu	43	45	13
R431	R43	Ah	A	0	15	15	H43201	16	15	1	3			3	10YR 3/3	h3	organo-minéral	St2	76	18	7
R432	R43	Bv	S	15	40	25	H43202	30	25	5	4			2	10YR 3/4	h2	organo-minéral	St3	65	25	10
R433	R43	Bv-Cv	S-C	40	65	25	H43203	33	25	8	4	1		1	2,5Y 4/4	h1	organo-minéral	Ss	93	5	3
R434	R43	Cv	C	65	100	35	H43204	55	40	15	5			1	2,5Y 4/5	h1	organo-minéral	Su2	80	18	3
R440	R44	Of	OF	0,8	0	0,8	H44101	0	0	0	1				10YR 2,5/4	h7	holorganique	org			2
R441	R44	Ah	A	0	10	10	H44201	17	15	2	3			5	10YR 2/3	h4+	à	St4	61	25	15
R442	R44	Bv	S	10	25	15	H44202	35	25	10	4			3	10YR 2,5/4	h3	organo-minéral	St4	61	25	15
R443	R44	Bv-Cv	S-C	25	40	15	H44203	55	5	50	5			2	10YR 4/5	h1	organo-minéral	St2	76	18	7
R444*	R44	Cv	C	40	60	20	H44204	75	5	70	6			1	10YR 4/5	h1	organo-minéral	St2	76	18	7
R445**	R44	mC	R	60	100	40	H44205														
R450	R45	Of/Oh	OF/OH	1,2	0	1,2	H45101	7	5	2	2			2	10YR 3/2	h7	holorganique	org			2
R451	R45	Ah	A	0	14	14	H45201	25	15	10	4			3	10YR 4/4	h1	organo-minéral	St4	61	25	15
R452	R45	Bv	S	14	38	24	H45202	40	20	20	4	1		2	10YR 4,5/4	h1	organo-minéral	St4	61	25	15
R453	R45	Bv	S	38	75	37	H45203	40	25	15	4			2	10YR 5/5	h1	organo-minéral	Lu	19	58	24
R454	R45	Bv-Cv	S-C	75	100	25	H45204	70	35	35	5			2	2,5Y 5/5	h0	minéral	St4	61	25	15
R461	R46	Ah	A	0	8	8	H46201	14	10	4	3			2	10YR 2,5/4	h3	organo-minéral	Su3	64	33	4
R462	R46	Bv	S	8	25	17	H46202	25	15	10	4	1	3	10YR 3/4	h2	organo-minéral	St2	76	18	7	
R463	R46	Bv	S	25	40	15	H46203	27	15	12	4			2	10YR 4/4	h1	organo-minéral	Su3	64	33	4
R463b*	R46	Bv	S	40	62	22	H46204	45	20	25	4			1	10YR 4/4	h1	organo-minéral	Su3	64	33	4
R464	R46	Bv	Xp	62	75	13	H46205	65	30	35	5			0	2,5Y 4,5/6	h1	organo-minéral	Su2	80	18	3
R465	R46	Cv	C	75	100	25	H46206	75	0	75	6				2,5Y 4,5/6	h1	organo-minéral	Su2	80	18	3
R471	R47	Ah	A	0	15	15	H47201	20	15	5	3			3	10YR 2/3	h4+	à	Su3	64	33	4
R472	R47	Bv	S	15	57	42	H47202	30	15	15	4			1	10YR 3/4	h2	organo-minéral	St3	65	25	10
R473	R47	Bv+ICv	Xp	57	72	15	H47203	70	20	50	5			0	10YR 3/4	h2	organo-minéral	St3	65	25	10
R474**	R47	ICv	C	72	100	28	H47204	80	15	70	6				10YR 3/4	h2	organo-minéral	St3	65	25	10
R481	R48	Ah	A	0	10	10	H48201	18	8	10	3			4	10YR 2/3	h4+	à	Su3	64	33	4
R482	R48	Bv	S	10	45	35	H48202	27	12	15	4			3	10YR 3/3	h3	organo-minéral	Su3	64	33	4
R483	R48	Go	Go -Xc	45	60	15	H48204	55	35	20	5			0	10YR 3/4	h1-2	organo-minéral	Ss	93	5	3
R484	R48	Gr	Gr	60	80	20	H48205	45	30	15	4			0	2,5Y 3,5/2	h2	organo-minéral	Su2	80	18	3
R485**	R48	aCl	D	80	100	20	H48206	65	35	25	5										
R491	R49	Ah	Aho	0	8	8	H49201	12	10	2	3			4	2,5Y 2/3	h4+	à	Su3	64	33	4
R491b*	R49	Bv	S	8	25	17	H49202	22	17	5	3				2,5Y 3/4	h2	organo-minéral	St3	65	25	10
R492	R49	Bv	S	25	50	25	H49203	28	22	6	4			2	2,5Y 3/4	h2	organo-minéral	St3	65	25	10
R493	R49	Bv-ICv	Xp	50	75	25	H49204	55	25	30	5				2,5Y 3,5/4	h1	organo-minéral	St3	65	25	10
R494	R49	ICv+Cv	C	75	100	25	H49205	75	30	45	6			1	2,5Y 3/3	h3	organo-minéral	St2	76	18	7
R501	R50	Ah	Aca	0	8	8	H50201	7	5	2	2			5	10YR 1,7/1	h4+	à	Us	31	65	4
R502	R50	Bv-Ah	Sca	8	36	28	H50202	40	25	15	4			3	10YR 2/3	h4+	à	Lu	19	58	24
R503	R50	Bv-clCv	Xp	36	58	22	H50203	55	20	35	5			2	10YR 2/2,5	h4+	à	Stu	43	45	13
R504**	R50	cCv+cmC	C	58	100	42	H50204	75	15	60	6										
R511	R51	Ah	Aho	0	7	7	H51201	9	5	4	2			5	10YR 2/3	h4+	à	Su4	51	45	4
R512	R51	Bv-Ah	Aho-Sho	7	24	17	H51202	22	10	12	3			4	10YR 2/3	h4+	à	Su4	51	45	4
R513	R51	Bv-Ah+iC	Xp	24	50	26	H51203	57	12	45	5			2	2,5Y 3/3	h3	organo-minéral	Su4	51	45	4
R514**	R51	Bv+iCv	Xp-D	50	100	50	H51204	75	0	75	6				2,5Y 3/3	h3	organo-minéral	Su4	51	45	4
R521	R52	Ah	Aho	0	18	18	H52201	9	5	4	2			5	10YR 2,5/3	h4+	à	Su4	51	45	4
R522	R52	Bh	Sho	18	38	20	H52202	20	10	10	3	1		3	10YR 2/3	h4+	à	St3	65	25	10
R523	R52	Bv	S	38	53	15	H52203	40	10	30	4			2	2,5Y 3/3	h3	organo-minéral	Stu	43	45	13
R524	R52	Bv-ICv	S-D	53	74	21	H52204	47	12	35	4			1	2,5Y 3/4	h2	organo-minéral	St3	65	25	10

nom horizon(*)	Relevé	Horizonttyp (BKA)	type d'horizon (RP2008)	limite supérieure [cm]	limite inférieure [cm]	épaisseur horizon [cm]	nomenclature correspondant	teneur en éléments grossiers [vol%]	éléments grossiers <2cm >2mm	éléments grossiers >2cm	Code éléments grossiers	présence de charbons macérobitum.	Niveau d'enracinement	code MUNSELL (humide)	niveau de teneur en matière organique	matière organique / minérale	Classe texturale "terrain" (Bodenart) BKA	teneur moyenne en sables	teneur moyenne en limons	teneur moyenne en argiles
R525**	R52	Cv	D	74	100	26	H52205	65	20	45	5			2,5Y 3/4	h2	organo-minéral	S13	65	25	10
R531	R53	Ah	Aca	0	6	6	H53201	19	15	4	3	1	3	10YR 2/3	h4+	à	Stu	43	45	13
R532	R53	Bv	Sca	6	14	8	H53202	40	10	30	4	2	10YR 3/3,5	h2-3	organo-minéral	Uls	30	58	13	
R532*b	R53	M1	Xp	14	30	16	H53203	60	20	35	5		10YR 3,5/5	h1-2	organo-minéral	Ls2	34	45	21	
R533	R53	M2	Xc	30	55	25	H53204	65	25	40	5	1	10YR 3,5/5	h1-2	organo-minéral	Ls2	34	45	21	
R534**	R53	fBv	Sca	55	100	45	H53205	55	15	40	5		10YR 4/4	h1	organo-minéral	Lu	19	58	24	
R540	R54	nAa	Aho	2	0	2	H54101	0	0	0	1		10YR 1,7/1	h6	hemiorganique	org			2	
R541	R54	nHw	Hm	0	25	25	H54201	0	0	0	1	5	10YR 1,7/1	h7	holorganique	org			2	
R542	R54	nHw	Hm	25	35	10	H54202	0	0	0	1	4	10YR 2/2	h7	holorganique	org			2	
R543	R54	nHw	Hf	35	55	20	H54203	0	0	0	1	2	10YR 1,7/1	h7	holorganique	org			2	
R543b*	R54	nHw	Hs	55	66	11	H54204	2	1	1	2		10YR 1,7/1	h7	holorganique	org			2	
R544	R54	Fo	Go	66	88	22	H54205	7	5	2	2	1	4	2,5Y 2/1	h4+	à	Uls	30	58	13
R545**	R54	Fw	Gr	88	100	12	H54206	80	10	70	6			2,5Y 2/1	h4+	à	Stu	43	45	13
R550	R55	L/Of	OL/OF	1,5	0	1,5	H55101	6	5	1	2	1	10YR 3/2	h7	holorganique	org			2	
R551	R55	Ah	Aho	0	5	5	H55201	7	5	2	2	4	10YR 3/4	h2	organo-minéral	S14	61	25	15	
R552	R55	Ah	Aho	5	16	11	H55202	13	8	5	3	1	3	10YR 3/4	h2	organo-minéral	S14	61	25	15
R552b*	R55	Bv-ICv	Sho-C	16	26	10	H55203	62	12	50	5		10YR 3/4	h2	organo-minéral	S14	61	25	15	
R553	R55	Bv-ICv	S-C	26	45	19	H55204	64	14	50	5	1	2,5Y 3/3	h3	organo-minéral	S14	61	25	15	
R554	R55	ICv	C	45	55	10	H55206	85	15	70	6	1	1	2,5Y 4/4	h1	organo-minéral	Ls4	57	23	21
R555**	R55	Cv+mC	R	55	100	45	H55207	90	10	80	6									
R561	R56	Ah	Aho	0	16	16	H56202	3	2	1	2	5	10YR 2/1	h4+	à	Su4	51	45	4	
R562	R56	Bh+ICv	Sho	16	53	37	H56204	10	5	5	3	3	2,5Y 2/1	h4+	à	Stu	43	45	13	
R563	R56	Bv-ICv	Sho-C	53	62	9	H56205	65	10	55	5	2	10YR 2/2	h4+	à	Stu	43	45	13	
R564**	R56	ICv	D	62	100	38	H56206	75	10	65	6									
R571	R57	Ah	Aho	0	15	15	H57201	9	5	4	2	3	10YR 2/3	h4+	à	Su3	64	33	4	
R572	R57	Bv	S	15	32	17	H57202	45	5	40	4	3	10YR 3/4	h2	organo-minéral	S12	76	18	7	
R573	R57	Bv-ICv	S-C	32	70	38	H57203	63	3	60	5	2	10YR 4/5	h1	organo-minéral	S12	76	18	7	
R574*	R57	ICv	C	70	90	20	H57204	68	3	65	5		10YR 4/5	h1	organo-minéral	S12	76	18	7	
R575**	R57	ICv-mC	C-R	90	100	10	H57205	85	10	75	6									
R591	R59	Ah	Aho	0	10	10	H59201	10	9	1	3	4	2,5Y 2/1	h4+	à	Su3	64	33	4	
R592	R59	Bh	Sho	10	25	15	H59202	7	5	2	2	3	2,5Y 2/1	h4+	à	Su4	51	45	4	
R593	R59	Bh	Sho	25	55	30	H59203	35	15	20	4	2	5Y 2/2	h4+	à	Su4	51	45	4	
R594	R59	Cv	C	55	80	25	H59204	70	0	70	5	0	5Y 4/4	h1	organo-minéral	Su2	80	18	3	
R595**	R59	mC	R	80	100	20	H59205	85	0	85	6									
R601	R60	qAa	Hs	0	22	22	H60201	2	1	1	2	5	10YR 1,7/1	h6	hemiorganique	org			2	
R602	R60	qGo	Hs	22	55	33	H60203	8	6	2	2	4	2,5Y 2/1	h4+	à	Su3	64	33	4	
R603	R60	qIC oder qGr	D	55	72	17	H60204	48	8	40	4	0	2,5Y 3/2	h3	organo-minéral	Su3	64	33	4	
R604**	R60	qIC	D	72	100	28	H60205	75	10	65	6									
R611	R61	Ah	Aho	0	8	8	H61201	14	10	4	3	5	10YR 2/1	h4+	à	Su3	64	33	4	
R611b*	R61	Ah	A	8	23	15	H61202	20	12	8	3	4	10YR 2/1	h4+	à	Su3	64	33	4	
R612	R61	Bv-Ah	Sho	23	45	22	H61203	60	15	45	5	4	10YR 1,7/1	h4+	à	Su3	64	33	4	
R612b*	R61	Cv	C	45	58	13	H61204	73	18	55	5	2	10YR 3/4	h2	organo-minéral	S12	76	18	7	
R613	R61	Cv	C	58	67	9	H61205	80	20	65	6	1	10YR 3/4	h2	organo-minéral	S12	76	18	7	
R614**	R61	Cv+imC	R	67	100	33	H61206	90	15	75	6									
R621*	R63	xC	D	0	30	30	H62201	90	0	90	6	0								
R622*	R63	xC	D	30	60	30	H62202	95	0	95	6	0								
R623*	R63	xC	D	60	100	40	H62203	100	0	100	6	0								
R631*	R64	mC	O-R	0	15	15	H63201	95	0	95	6	0								
R632*	R64	mC	R	15	100	85	H63202	100	0	100	6	0								
R641	R64	Ah	Aho	0	11	11	H64201	14	12	2	3	1	4	2,5Y 3/3	h3	organo-minéral	Su2	80	18	3
R642	R64	Bh	Sho	11	38	27	H64202	30	15	15	4	1	3	10YR 3/3	h3	organo-minéral	Su2	80	18	3
R643	R64	Bh-ICv	Xp	38	70	32	H64203	62	12	50	5	1	2	10YR 2/3	h4+	à	S12	76	18	7
R644**	R64	Cv+mC	R	70	100	30	H64204	85	0	85	6									
R661	R66	Ah	Aca	0	12	12	H66201	55	10	45	5		10YR 1,7/1	h4+	à	Su3	64	33	4	
R662	R66	Ah-clC	Xp	12	35	23	H66202	75	10	65	6		10YR 1,7/1	h4+	à	Su3	64	33	4	
R663**	R66	cmC	R	35	100	65	H66203	85	5	85	6									
R301	R30	Ah	A	0	12	12	H30201	17	15	2	3	3	10YR 4/2	h1	organo-minéral	S14	61	25	15	
R302a	R30	M (Bv)	S	12	44	32	H30202	24	20	4	3	2	10YR 5/3	h1	organo-minéral	Ls3	44	35	21	
R302ab*	R30	M	S	44	53	9	H30203	30	15	15	4	1	10YR 5/4	h1	organo-minéral	Lt2	30	40	30	
R302b	R30	M	Xp	53	73	20	H30204	75	5	70	6	1	10YR 5/3	h1	organo-minéral	Lt2	30	40	30	
R303	R30	E (Kohle)	charbon (O)	73	90	17	H30205	17	12	5	3	1	2	10YR 2/1	h4+	à	Uls	30	58	13
R304	R30	B	Sb	90	100	10	H30206	59	25	34	5	1	1	10YR 4/3	h1-2	organo-minéral	Lt2	30	40	30
R380	R38	Of	OF	2	0	2	H38101	28	6	22	4	2	10YR 3/2	h7	holorganique	org			2	
R381a	R38	Ai	A	0	4	4	H38201	15	10	5	3	2	10YR 3/2	h3	organo-minéral	Su2	80	18	3	
R381b	R38	M1	S	4	13	9	H38202	37	20	17	4	3	10YR 5/2	h1	organo-minéral	Su2	80	18	3	
R382	R38	M2	S	13	34	21	H38203	52	20	32	5	2	10YR 4,5/2	h1	organo-minéral	Su2	80	18	3	
R383	R38	fAh	Ab	34	45	11	H38204	24	12	12	3	2	10YR 4/2	h1	organo-minéral	Su4	51	45	4	
R384*	R38	fBv	Sb	45	65	20	H38205	68	15	45	5		10YR 4/2	h1	organo-minéral	Slu	43	45	13	
R384**	R38	clCv	C	65	100	35	H38206	80	20	60	6									
R580*	R58	Oh	OH	0,5	0	0,5	H58201	9	8	1	2				h7	holorganique	org			2
R581	R58	Ah	A	0	12	12	H58202	9	8	1	2	4	2,5Y 4/4	h1	organo-minéral	S13	65	25	10	
R582	R58	Bv	S	12	30	18	H58203	13	10	3	3	1	3	2,5Y 4/3	h1	organo-minéral	Stu	43	45	13
R583d	R58	Bv	S	12	30	18	H58204	13	10	3	3	1	3	2,5Y 4/3	h1-2	organo-minéral	Ls4	57	23	21

nom horizon(*)	Relevé	Horizonttyp (BKA)	type d'horizon (RP2008)	limite supérieure [cm]	limite inférieure [cm]	épaisseur horizon [cm]	nomenclature correspondant	teneur en éléments grossiers (% vol)	éléments grossiers <2cm >2mm	éléments grossiers >2cm	Code éléments grossiers	présence de charbons macroscopiques	Niveau d'enracinement	code MUNSELL (humide)	niveau de teneur en matière organique	matière organique / minérale	Classe texturale "terrain" (Bodenart) BKA	teneur moyenne en sables	teneur moyenne en limons	teneur moyenne en argiles
R584	R58	Bv	S	30	46	16	H58204	40	15	25	4		2	2,5Y 4,5/3	h1	organo-minéral	St3	65	25	10
R585	R58	Bv-ICv	C	46	60	14	H58205	58	18	50	5		1	2,5Y 5/3	h1	organo-minéral	Su2	80	18	3
R586*	R58	ICv	C	60	75	15	H58206	60	5	55	5			2,5Y 5/3	h1	organo-minéral	Su2	80	18	3
R587**	R58	ICv+mC	R	75	100	25	H58207	75	0	75	6									
R670	R67	Of	OF	3	0	3	H67101	10	3	7	3			2,5Y 2/2	h7	holorganique	org			2
R671	R67	Ah	A	0	14	14	H67201	8	2	6	2		3	2,5Y 3/2	h3-4	organo-minéral	Su2	80	18	3
R672a	R67	Bv-ICv+mC	S+R	14	50	36	H67202	42	0	42	4		2	2,5Y 3,5/2	h2-3	organo-minéral	Lu	19	58	24
R672d	R67	Bv-ICv+mC	S+R	14	50	36		42	0	42	4		2	2,5Y 4/3,5	h1	organo-minéral	Lu	19	58	24
R673	R67	ICv-mC	C-R	50	75	25	H67203	70	0	70	5		1	2,5Y 3,5/2	h2-3	organo-minéral	Lt2	30	40	30
R674**	R67	mC	R	75	100	25	H67204	85	0	85	6					organo-minéral		31	65	4
R691	R69	Ah	A	0	4	4	H69201	23	18	5	3			2,5Y 3/3	h3-4	organo-minéral	Us	51	45	4
R692	R69	Bv (ex-Ap)	S (L)	4	16	12	H69202	37	25	12	4		1	2,5Y 5/3	h1	organo-minéral	Su4	30	58	13
R693	R69	Bv	S	16	36	20	H69203	45	30	15	4		1	2,5Y 4/3	h1-2	organo-minéral	Uls	19	58	24
R694	R69	Bv-Cv	C	36	55	19	H69204	70	0	70	5		0	2,5Y 5/4	h1	organo-minéral	Lu	19	58	24
R695**	R69	Cv	C	55	100	45	H69205	90	0	90	6			2,5Y 5/4	h1		Lu			
R701	R70	Ah	A	0	3	3	H70201	40	15	25	4		1	2,5Y 3/3	h3-4	organo-minéral	Stu	43	45	13
R702	R70	Ah	A	3	9	6	H70202	48	15	33	4		2	2,5Y 3,5/3	h2	organo-minéral	St4	61	25	15
R702b*	R70	Bv-Ah	Xc	9	19	10	H70203	65	10	55	5		3	2,5Y 4/3	h1	organo-minéral	Stu	43	45	13
R703	R70	Bv	Xc	19	40	21	H70204	75	10	65	6		2	2,5Y 4/4	h1	organo-minéral	Lu	19	58	24
R704**	R71	ICv-mC	C-R	40	100	60	H70205	80	10	70	6									
R711	R71	Ah	Aho	0	6	6	H71201	9	5	4	2		3	10YR 2/2	h4+	à	Us	31	65	4
R712	R71	Bh	Sho	6	28	22	H71203	9	5	4	2		2	10YR 3/2	h3-4	organo-minéral	Uls	30	58	13
R713	R71	Bv-ICv	S	28	70	42	H71205	55	15	40	5		4	10YR 3/3	h3-4	organo-minéral	Lu	19	58	24
R714**	R71	mC	R	28	100	30	H71206	85		85	6									
R721	R72	Ah	A	0	6	6	H72201	33	25	8	4		1	2,5Y 3/3	h3-4	organo-minéral	Stu	43	45	13
R722	R72	Bv	S	6	18	12	H72202	45	20	25	4		1	2,5Y 4/3	h1	organo-minéral	Ls2	34	45	21
R723	R72	Bv	S	18	33	15	H72203	45	15	30	4		2	2,5Y 4/3	h1	organo-minéral	Ls2	34	45	21
R724*	R72	Cv	C	33	40	7	H72204	80	0	80	6			2,5Y 4/3	h1	organo-minéral	St4	61	25	15
R725*	R72	Cv+Cm	C-R	40	60	20	H72205	95			6									
R726**	R72	Cm	R	60	100	40	H72206	100			6									
R731	R73	Ah	A	0	8	8	H73201	30	15	15	4		2	10YR 3/3	h3	organo-minéral	Su3	64	33	4
R732	R73	Bv	S	8	50	42	H73202	57	12	45	5		3	10YR 4/4	h1	organo-minéral	Ls4	57	23	21
R733	R73	Bv	S	50	80	30	H73203	48	10	38	4		1	10YR 4/4	h1	organo-minéral	Uls	30	58	13
R734	R73	Bv-ICv	S-C	80	100	20	H73204	65	15	50	5		1	2,5Y 4/4	h1	organo-minéral	Uls	30	58	13
R741	R74	Ah	Aho	0	24	24	H74202	40	30	10	4		5	2,5Y 3/3	h3-4	organo-minéral	Su3	64	33	4
R742	R74	Bv-Ah	A-S	24	48	24	H74203	48	25	23	4		2	2,5Y 4/4	h1	organo-minéral	Su3	64	33	4
R743	R74	Bv-ICv	C	48	68	20	H74204	55	20	35	5		1	2,5Y 6/4	h0	minéral	Lu	19	58	24
R744**	R74	Cv+Cm	R	68	100	32	H74205	50	15	40	5									
R751	R75	Ah	A	0	6	6	H75201	35	10	25	4		2	2,5Y 3/3	h3	organo-minéral	Ls2	34	45	21
R752	R75	Bv-ICv	Xp	6	25	19	H75202	55	12	43	5		3	2,5Y 4/3	h1	organo-minéral	Ls2	34	45	21
R753	R75	ICv	D	25	47	22	H75203	67	12	55	5		2	2,5Y 4/3	h1	organo-minéral	Lt2	30	40	30
R754**	R75	ICv+mC	D	47	100	53	H75204	75	15	60	6									
R761	R76	Ah	Ah	0	12	12	H76201	29	5	24	4		2	10YR 3/2	h3	organo-minéral	Ls2	34	45	21
R762	R76	Bv	S	12	44	32	H76202	30	5	25	4		4	10YR 3/3	h3-4	organo-minéral	Lu	19	58	24
R763	R76	Bv	S	44	72	28	H76203	45	6	39	4		3	10YR 3/3	h3-4	organo-minéral	Lu	19	58	24
R764	R76	Bv-Cv	S-C	72	100	28	H76204	48	5	43	4		3	10YR 3/4	h2-3	organo-minéral	Lu	19	58	24
R770	R77	Oh	OH	3	0	3	H77101	14	2	12	3		3	2,5Y 3/2	h7	holorganique	org			2
R771	R77	Ah	Aho	0	8	8	H77201	25	10	15	4		3	10YR 2/2	h4+	à	Su3	64	33	4
R772	R77	Ah	Aho	8	23	15	H77202	35	12	23	4		2	10YR 3/3	h3	organo-minéral	St2	76	18	7
R773	R77	Bv-Ah	Sho	23	38	15	H77203	49	14	35	4		1	10YR 3/4	h2	organo-minéral	St2	76	18	7
R774	R77	Bv-Cv	S-C	38	55	17	H77204	65	20	45	5		1	10YR 3/4	h2	organo-minéral	St2	76	18	7
R775**	R77	iCv-imC	R	55	100	45	H77205	74			5									
R790	R79	Of	OF	2	0	2	H79101	12	5	7	3		3	10YR 3/3	h7	holorganique	org			2
R791	R79	A	A	0	16	16	H79201	27	15	12	4		2	2,5Y 3/2	h3	organo-minéral	St3	65	25	10
R792	R79	Bv	S	16	40	24	H79202	35	10	25	4		2	2,5Y 3,5/2	h2	organo-minéral	St4	61	25	15
R793a	R79	Bv-ICv	S-C	40	56	16	H79203	55	25	30	5		2	2,5Y 4/2	h1-2	organo-minéral	Ls4	57	23	21
R793d	R79	Bv-ICv	S-C	40	56	16		55	25	30	5			2,5Y 4/1,5	h1	organo-minéral	St2	76	18	7
R794**	R79	ICv	D	56	100	44	H79204	80	35	45	6			2,5Y 4/1,5	h1	organo-minéral	Ss	93	5	3

nom horizon(*)	description classe texturale BKA	correspondance triangle GEPPA 1963 (approx.)	TextureTriangleASNEabr	classe textural (Analyse granulométrique)	sables [%]	limons [%]	argiles [%]	matière organique (C org)	azote (N)	rapport C/N	teneur en CaCO3	pH_CaCl2	pH_H2O	pH arrondi	saturation (approximation par le pH eau)	
R200*	organischer Horizont	organique												5,5	50-80%	
R201	stark sandiger Lehm	argileuse ou argilo-limoneuse	SA ou LSA (voir LS)					4,9	0,3	17,3		5,5	6,1	5,5	50-80%	
R202	sandig-lehmiger Schluff	limoneuse (voir argilo-limoneuse)	LMS, voir LSA	Uts	33,5	57,2	9,3					5,3	5,9	5,5	50-80%	
R203	stark lehmiger Sand	sablo-argileuse, voir limoneuse	SA, voir LS									5,3	6,1	5,5	50-80%	
R204**														5,5		
R210*	organischer Horizont	organique												6,5	80-100%	
R211	organischer Horizont	organique						12,4	0,4	32,5		6,5	7,1	6,5	80-100%	
R212	schwach sandiger Lehm	argilo-limoneuse, voir limoneuse	LAS ou LSA								0	6,2	6,6	6	80-100%	
R212b*	schluffig-lehmiger Sand	limoneuse	LS (voir LMS)											5,5	50-80%	
R213	schluffig-lehmiger Sand	limoneuse	LS (voir LMS)	Stu	42,4	44	13,6					4,9	5,8	5	50-80%	
R214*	schluffig-lehmiger Sand	limoneuse	LS (voir LMS)											5	50-80%	
R215**																
R220	organischer Horizont	organique									0,5	6,8	7,3	7	80-100%	
R221	schluffiger Lehm	argilo-limoneuse	LAS ou LA					8,6	0,4	23,3	1,3	7,2	7,9	7	80-100%	
R222	schluffiger Lehm	argilo-limoneuse	LAS ou LA								0,7	7,0	7,6	7	80-100%	
R223	schwach toniger Lehm	argilo-limoneuse	A ou LAS ou LSA, voir AL								2,1	7,4	8,2	7,5	80-100%	
R224	schluffiger Lehm	argilo-limoneuse	LAS ou LA	Lu	18	52,8	29,2				0,4	7,2	8,1	7	80-100%	
R225**														7		
R230	organischer Horizont	organique										7,3	7,8	7,5	80-100%	
R231	schwach toniger Lehm	argilo-limoneuse	A ou LAS ou LSA, voir AL					10,0	0,4	23,2	7	7,6	8,3	7,5	80-100%	
R231b*	schwach toniger Lehm	argilo-limoneuse	A ou LAS ou LSA, voir AL											7,5	80-100%	
R232	schwach toniger Lehm	argilo-limoneuse	A ou LAS ou LSA, voir AL	Lt2	25,6	48,3	26,1				10,1	7,7	8,5	7,5	80-100%	
R233	schwach sandiger Lehm	argilo-limoneuse, voir limoneuse	LAS ou LSA									12,1	7,6	8,4	7,5	80-100%
R234**														7,5		
R241	sandig-lehmiger Schluff	limoneuse (voir argilo-limoneuse)	LMS, voir LSA					7,4	0,2	40,9	9,5	7,7	7,5	7,5	80-100%	
R242	schwach toniger Lehm	argilo-limoneuse	A ou LAS ou LSA, voir AL	Lt2	25,4	47,6	27				10,9	7,6	8,6	7,5	80-100%	
R243	schluffiger Lehm	argilo-limoneuse	LAS ou LA								7,9	7,6	8,6	7,5	80-100%	
R244**														7,5		
R250	organischer Horizont	organique										5,8	6,6	6	80-100%	
R250b*	sandig-lehmiger Schluff	limoneuse (voir argilo-limoneuse)	LMS, voir LSA											6	80-100%	
R251	sandig-lehmiger Schluff	limoneuse (voir argilo-limoneuse)	LMS, voir LSA									6,1	6,6	6	80-100%	
R252	sandig-lehmiger Schluff	limoneuse (voir argilo-limoneuse)	LMS, voir LSA									6,2	6,9	6	80-100%	
R253	schluffig-lehmiger Sand	limoneuse	LS (voir LMS)									5,8	6,8	6	80-100%	
R254	sandig-lehmiger Schluff	limoneuse (voir argilo-limoneuse)	LMS, voir LSA	Uts	39,6	51	9,5					5,8	6,9	6	80-100%	
R255**														5,5		
R261	stark schluffiger Sand	limoneuse à sableuse	LLS, voir SL					8,8	0,2	41,7		5,9	6,6	6	80-100%	
R262	stark lehmiger Sand	sablo-argileuse, voir limoneuse	SA, voir LS									4,4	5,4	4,5	20-50%	
R263	stark lehmiger Sand	sablo-argileuse, voir limoneuse	SA, voir LS									4,5	5,5	4,5	20-50%	
R264*	stark lehmiger Sand	sablo-argileuse, voir limoneuse	SA, voir LS											4,5	20-50%	
R265**														4,5		
R270	organischer Horizont	organique										7,3	8,1	7,5	80-100%	
R271	mittel schluffiger Sand	sableuse	SL (voir LLS)					6,3	0,2	30,1	22,5	7,6	8,5	7,5	80-100%	
R272	stark lehmiger Sand	sablo-argileuse, voir limoneuse	SA, voir LS									29,4	7,7	8,7	7,5	80-100%
R272b*	mittel schluffiger Sand	sableuse	SL (voir LLS)											8	80-100%	
R273	mittel schluffiger Sand	sableuse	SL (voir LLS)									26,3	7,8	8,8	8	80-100%
R274	schwach lehmiger Sand	sableuse	S ou SA									22,5	7,8	8,9	8	80-100%
R275**														8		
R280	organischer Horizont	organique										6,6	7,2	6,5	80-100%	
R281a	schwach toniger Lehm	argilo-limoneuse	A ou LAS ou LSA, voir AL					2,0	0,2	10,2		6,4	7,0	6,5	80-100%	
R281b	stark sandiger Lehm	argileuse ou argilo-limoneuse	SA ou LSA (voir LS)									6,5	6,8	6,5	80-100%	
R282	schwach toniger Lehm	argilo-limoneuse	A ou LAS ou LSA, voir AL									5,8	6,5	6	80-100%	
R283	schluffiger Lehm	argilo-limoneuse	LAS ou LA									5,8	6,6	6	80-100%	
R284	mittel sandiger Lehm	argileuse ou limoneuse	LSA (voir LS)									5,9	6,8	6	80-100%	
R290	schluffiger Lehm	argilo-limoneuse	LAS ou LA									7,2	7,7	7	80-100%	
R291	schluffiger Lehm	argilo-limoneuse	LAS ou LA					20,0	0,9	21,7	17,9	7,3	7,8	7,5	80-100%	
R292**														7,5		
R311	schwach toniger Lehm	argilo-limoneuse	A ou LAS ou LSA, voir AL									30	7,5	8,2	7,5	80-100%
R312	schwach toniger Lehm	argilo-limoneuse	A ou LAS ou LSA, voir AL									33,1	7,5	8,3	7,5	80-100%
R313	schwach toniger Lehm	argilo-limoneuse	A ou LAS ou LSA, voir AL									51,8	7,7	8,5	7,5	80-100%
R314	schwach toniger Lehm	argilo-limoneuse	A ou LAS ou LSA, voir AL									48,6	7,7	8,5	7,5	80-100%
R315*	schwach toniger Lehm	argilo-limoneuse	A ou LAS ou LSA, voir AL											8	80-100%	
R316**														8		
R321	stark lehmiger Sand	sablo-argileuse, voir limoneuse	SA, voir LS					7,1	0,3	28,5	1,4	7,4	7,9	7,5	80-100%	
R322	mittel sandiger Lehm	argileuse ou limoneuse	LSA (voir LS)									22,4	7,7	8,5	7,5	80-100%
R323	stark sandiger Lehm	argileuse ou argilo-limoneuse	SA ou LSA (voir LS)									10,2	7,7	8,4	7,5	80-100%
R324*	stark sandiger Lehm	argileuse ou argilo-limoneuse	SA ou LSA (voir LS)											7,5	80-100%	
R325*	stark sandiger Lehm	argileuse ou argilo-limoneuse	SA ou LSA (voir LS)											8	80-100%	
R326**														8		
R340	organischer Horizont	organique										4,7	5,1	4,5	20-50%	
R341	stark lehmiger Sand	sablo-argileuse, voir limoneuse	SA, voir LS									0	4,9	5,4	5	50-80%
R342	stark sandiger Lehm	argileuse ou argilo-limoneuse	SA ou LSA (voir LS)									1	7,2	7,7	7	80-100%
R343	schwach sandiger Lehm	argilo-limoneuse, voir limoneuse	LAS ou LSA									2,2	7,4	8,2	7,5	80-100%
R343b*	schwach toniger Lehm	argilo-limoneuse	A ou LAS ou LSA, voir AL											7,5	80-100%	

nom horizon(*)	description classe texturale BKA	correspondance triangle GEPPA 1963 (approx.)	TextureTriangleMSEabr	classe textural (Analyse granulométrique)	sables [%]	limons [%]	argiles [%]	matière organique (C org)	azote (N)	rapport C/N	teneur en CaCO3	pH_CaCl2	pH_H2O	pH arrondi	saturation (approximation par le pH eau)	
R344	schwach toniger Lehm	argilo-limoneuse	A ou LAS ou LSA, voir AL								1,9	7,5	8,3	7,5	80-100%	
R345**															7,5	
R351	stark schluffiger Sand	limoneuse à sableuse	LLS, voir SL					17,7	0,6	28,6		6,5	6,8	6,5	80-100%	
R352	stark lehmiger Sand	sablo-argileuse, voir limoneuse	SA, voir LS	Sl4	51,3	33,9	14,9					6,5	7,2	6,5	80-100%	
R352b*	mittel sandiger Lehm	argileuse ou limoneuse	LSA (voir LS)											6,5	80-100%	
R353	schwach toniger Lehm	argilo-limoneuse	A ou LAS ou LSA, voir AL									6,6	7,4	6,5	80-100%	
R354**														6,5		
R390	organischer Horizont	organique										3,7	4,7	3,5	5-20%	
R391	sandig-lehmiger Schluff	limoneuse (voir argilo-limoneuse)	LMS, voir LSA					10,8	0,3	36,1		4,1	4,8	4	20-50%	
R392	sandig-lehmiger Schluff	limoneuse (voir argilo-limoneuse)	LMS, voir LSA									4,2	4,9	4	20-50%	
R393	schluffig-lehmiger Sand	limoneuse	LS (voir LMS)									4,2	5,0	4	20-50%	
R394	sandig-lehmiger Schluff	limoneuse (voir argilo-limoneuse)	LMS, voir LSA									4,4	5,2	4,5	20-50%	
R395**														4,5		
R401	schluffig-lehmiger Sand	limoneuse	LS (voir LMS)									5,3	6,0	5,5	50-80%	
R402	schwach toniger Lehm	argilo-limoneuse	A ou LAS ou LSA, voir AL									5,2	6,2	5	50-80%	
R403	mittel sandiger Lehm	argileuse ou limoneuse	LSA (voir LS)									5,0	6,0	5	50-80%	
R404	schwach toniger Lehm	argilo-limoneuse	A ou LAS ou LSA, voir AL									4,6	5,6	4,5	20-50%	
R411	stark schluffiger Sand	limoneuse à sableuse	LLS, voir SL									4,3	5,1	4,5	20-50%	
R412	mittel schluffiger Sand	sableuse	SL (voir LLS)									4,4	5,3	4,5	20-50%	
R413	mittel schluffiger Sand	sableuse	SL (voir LLS)									4,3	5,2	4,5	20-50%	
R414	mittel schluffiger Sand	sableuse	SL (voir LLS)	Su3	64,1	31,4	4,5					4,3	5,4	4,5	20-50%	
R415	Sand	sableuse	S ou SL									4,4	5,0	4,5	20-50%	
R421	schluffig-lehmiger Sand	limoneuse	LS (voir LMS)					9,6	0,3	35,5		4,6	5,4	4,5	20-50%	
R422	stark lehmiger Sand	sablo-argileuse, voir limoneuse	SA, voir LS									4,4	5,3	4,5	20-50%	
R423	stark schluffiger Sand	limoneuse à sableuse	LLS, voir SL									4,3	5,4	4,5	20-50%	
R424	schluffig-lehmiger Sand	limoneuse	LS (voir LMS)	Stu	49,1	40,1	10,8					4,2	5,6	4	20-50%	
R431	schwach lehmiger Sand	sableuse	S ou SA					7,4	0,2	36,9		4,7	5,5	4,5	20-50%	
R432	mittel lehmiger Sand	sableuse à sablo-argileuse	SL (voir S ou SA)									4,9	5,8	5	50-80%	
R433	reiner Sand	sableuse	S	Ss	88,9	7,1	4					5,0	6,0	5	50-80%	
R434	Sand	sableuse	S ou SL									5,2	6,3	5	50-80%	
R440	organischer Horizont	organique										4,2	4,9	4	20-50%	
R441	stark lehmiger Sand	sablo-argileuse, voir limoneuse	SA, voir LS					10,6	0,4	29,4		4,3	5,1	4,5	20-50%	
R442	stark lehmiger Sand	sablo-argileuse, voir limoneuse	SA, voir LS									4,5	5,3	4,5	20-50%	
R443	schwach lehmiger Sand	sableuse	S ou SA									4,5	5,5	4,5	20-50%	
R444*	schwach lehmiger Sand	sableuse	S ou SA											4,5	20-50%	
R445**																
R450	organischer Horizont	organique										4,4	5,3	4,5	20-50%	
R451	stark lehmiger Sand	sablo-argileuse, voir limoneuse	SA, voir LS					9,0	0,3	32,2		3,9	4,8	4	20-50%	
R452	stark lehmiger Sand	sablo-argileuse, voir limoneuse	SA, voir LS	Sl4	43,5	39,5	17					4,4	5,3	4,5	20-50%	
R453	schluffiger Lehm	argilo-limoneuse	LAS ou LA									4,5	5,4	4,5	20-50%	
R454	stark lehmiger Sand	sablo-argileuse, voir limoneuse	SA, voir LS									4,6	5,6	4,5	20-50%	
R461	mittel schluffiger Sand	sableuse	SL (voir LLS)					9,6	0,3	32,1		4,1	4,7	4	20-50%	
R462	schwach lehmiger Sand	sableuse	S ou SA									4,5	5,3	4,5	20-50%	
R463	mittel schluffiger Sand	sableuse	SL (voir LLS)									4,5	5,5	4,5	20-50%	
R463b*	mittel schluffiger Sand	sableuse	SL (voir LLS)									4,5	5,6	4,5	20-50%	
R464	Sand	sableuse	S ou SL									4,5	5,6	4,5	20-50%	
R465	Sand	sableuse	S ou SL									4,5	5,6	4,5	20-50%	
R471	mittel schluffiger Sand	sableuse	SL (voir LLS)					13,1	0,5	27,9		4,9	5,8	5	50-80%	
R472	mittel lehmiger Sand	sableuse à sablo-argileuse	SL (voir S ou SA)									4,4	5,6	4,5	20-50%	
R473	mittel lehmiger Sand	sableuse à sablo-argileuse	SL (voir S ou SA)											4,5	20-50%	
R474**	mittel lehmiger Sand	sableuse à sablo-argileuse	SL (voir S ou SA)											4,7	20-50%	
R481	mittel schluffiger Sand	sableuse	SL (voir LLS)					10,5	0,4	27,7		4,1	4,6	4	20-50%	
R482	mittel schluffiger Sand	sableuse	SL (voir LLS)									4,3	5,1	4,5	20-50%	
R483	reiner Sand	sableuse	S	Ss	85,9	9,3	4,8					4,4	5,5	4,5	20-50%	
R484	Sand	sableuse	S ou SL	Su2	75,2	20,5	4,3					4,2	4,7	4	20-50%	
R485**																
R491	mittel schluffiger Sand	sableuse	SL (voir LLS)					15,6	0,6	26,0		4,0	4,6	4	20-50%	
R491b*	mittel lehmiger Sand	sableuse à sablo-argileuse	SL (voir S ou SA)											4	20-50%	
R492	mittel lehmiger Sand	sableuse à sablo-argileuse	SL (voir S ou SA)									4,1	4,9	4	20-50%	
R493	mittel lehmiger Sand	sableuse à sablo-argileuse	SL (voir S ou SA)	Sl3	61	27,3	11,7					4,2	5,1	4	20-50%	
R494	schwach lehmiger Sand	sableuse	S ou SA									4,4	5,2	4,5	20-50%	
R501	sandiger Schluff	limoneuse	LLS, voir LL					25,4	0,7	34,4		7,2	7,8	7	80-100%	
R502	schluffiger Lehm	argilo-limoneuse	LAS ou LA									58,4	7,4	8,1	7,5	80-100%
R503	schluffig-lehmiger Sand	limoneuse	LS (voir LMS)	Stu	47,1	42,7	10,2					34,3	7,6	8,3	7,5	80-100%
R504**														7,5		
R511	stark schluffiger Sand	limoneuse à sableuse	LLS, voir SL					15,9	0,5	32,4		4,3	5,2	4,5	20-50%	
R512	stark schluffiger Sand	limoneuse à sableuse	LLS, voir SL									4,5	5,0	4,5	20-50%	
R513	stark schluffiger Sand	limoneuse à sableuse	LLS, voir SL									4,6	5,3	4,5	20-50%	
R514**	stark schluffiger Sand	limoneuse à sableuse	LLS, voir SL											4,5	20-50%	
R521	stark schluffiger Sand	limoneuse à sableuse	LLS, voir SL					19,1	0,8	23,3		4,2	4,7	4	20-50%	
R522	mittel lehmiger Sand	sableuse à sablo-argileuse	SL (voir S ou SA)	Sl3	52,2	36,2	11,6					4,2	4,6	4	20-50%	
R523	schluffig-lehmiger Sand	limoneuse	LS (voir LMS)									4,5	5,2	4,5	20-50%	
R524	mittel lehmiger Sand	sableuse à sablo-argileuse	SL (voir S ou SA)									4,6	5,5	4,5	20-50%	

nom horizon(*)	description classe texturale BKA	correspondance triangle GEPPA 1963 (approx.)	TextureTriangleASNEabr	classe textural (Analyse granulométrique)	sables [%]	limons [%]	argiles [%]	matière organique (C org)	azote (N)	rapport C/N	teneur en CaCO3	pH_CaCl2	pH_H2O	pH arrondi	saturation (approximation par le pH eau)
R525**	mittel lehmiger Sand	sableuse à sablo-argileuse	SL (voir S ou SA)												5 50-80%
R531	schluffig-lehmiger Sand	limoneuse	LS (voir LMS)					17,7	0,6	31,7	0,1	5,7	6,2	5,5	50-80%
R532	sandig-lehmiger Schluff	limoneuse (voir argilo-limoneuse)	LMS, voir LSA	Uls	29,2	57,3	13,5				2	6,4	7,4	6,5	80-100%
R532*b	schwach sandiger Lehm	argilo-limoneuse, voir limoneuse	LAS ou LSA											7	80-100%
R533	schwach sandiger Lehm	argilo-limoneuse, voir limoneuse	LAS ou LSA								23,4	7,4	8,2	7,5	80-100%
R534**	schluffiger Lehm	argilo-limoneuse	LAS ou LA											7,5	80-100%
R540	organischer Horizont	organique										4,2	5,3	4	20-50%
R541	organischer Horizont	organique						62,9	2,1	29,7		4,3	5,8	4,5	20-50%
R542	organischer Horizont	organique										4,2	5,4	4	20-50%
R543	organischer Horizont	organique										4,2	5,3	4	20-50%
R543b*	organischer Horizont	organique												4	20-50%
R544	sandig-lehmiger Schluff	limoneuse (voir argilo-limoneuse)	LMS, voir LSA									4,2	5,4	4	20-50%
R545**	schluffig-lehmiger Sand	limoneuse	LS (voir LMS)											4	20-50%
R550	organischer Horizont	organique										4,2	5,5	4	20-50%
R551	stark lehmiger Sand	sablo-argileuse, voir limoneuse	SA, voir LS					11,6	0,3	36,3		4,1	5,0	4	20-50%
R552	stark lehmiger Sand	sablo-argileuse, voir limoneuse	SA, voir LS	SL4	48,1	35,9	16					4,3	5,1	4,5	20-50%
R552b*	stark lehmiger Sand	sablo-argileuse, voir limoneuse	SA, voir LS											4,5	20-50%
R553	stark lehmiger Sand	sablo-argileuse, voir limoneuse	SA, voir LS									4,4	5,2	4,5	20-50%
R554	stark sandiger Lehm	argileuse ou argilo-limoneuse	SA ou LSA (voir LS)									4,5	5,3	4,5	20-50%
R555**														4,5	
R561	stark schluffiger Sand	limoneuse à sableuse	LLS, voir SL					21,5	1,0	22,6		4,0	4,8	4	20-50%
R562	schluffig-lehmiger Sand	limoneuse	LS (voir LMS)									4,4	5,0	4,5	20-50%
R563	schluffig-lehmiger Sand	limoneuse	LS (voir LMS)									4,5	5,0	4,5	20-50%
R564**														4,5	
R571	mittel schluffiger Sand	sableuse	SL (voir LLS)					15,1	0,4	36,0		4,3	5,1	4,5	20-50%
R572	schwach lehmiger Sand	sableuse	S ou SA									4,4	5,3	4,5	20-50%
R573	schwach lehmiger Sand	sableuse	S ou SA									4,6	5,4	4,5	20-50%
R574*	schwach lehmiger Sand	sableuse	S ou SA											4,5	20-50%
R575**															
R591	mittel schluffiger Sand	sableuse	SL (voir LLS)					26,8	0,7	39,4		4,2	5,1	4	20-50%
R592	stark schluffiger Sand	limoneuse à sableuse	LLS, voir SL									4,4	5,4	4,5	20-50%
R593	stark schluffiger Sand	limoneuse à sableuse	LLS, voir SL									4,3	5,3	4,5	20-50%
R594	Sand	sableuse	S ou SL									4,8	5,6	5	50-80%
R595**														5	
R601	organischer Horizont	organique										5,4	6,6	5,5	50-80%
R602	mittel schluffiger Sand	sableuse	SL (voir LLS)					26,6	0,9	30,9		4,5	5,2	4,5	20-50%
R603	mittel schluffiger Sand	sableuse	SL (voir LLS)									4,6	5,6	4,5	20-50%
R604**														4,5	
R611	mittel schluffiger Sand	sableuse	SL (voir LLS)					15,6	0,5	33,9		4,2	4,7	4	20-50%
R611b*	mittel schluffiger Sand	sableuse	SL (voir LLS)											4	20-50%
R612	mittel schluffiger Sand	sableuse	SL (voir LLS)									4,4	4,9	4,5	20-50%
R612b*	schwach lehmiger Sand	sableuse	S ou SA											4,5	20-50%
R613	schwach lehmiger Sand	sableuse	S ou SA	SL2	76,3	16,8	7					4,6	5,2	4,5	20-50%
R614**														4,5	
R621*															
R622*															
R623*															
R631*															
R632*															
R641	Sand	sableuse	S ou SL					17,3	0,4	44,3		4,1	5,0	4	20-50%
R642	Sand	sableuse	S ou SL									4,6	5,5	4,5	20-50%
R643	schwach lehmiger Sand	sableuse	S ou SA	SL2	81,6	11,9	6,4					4,6	5,4	4,5	20-50%
R644**														4,5	
R661	mittel schluffiger Sand	sableuse	SL (voir LLS)									7,1	7,8	7	80-100%
R662	mittel schluffiger Sand	sableuse	SL (voir LLS)					18,4	0,8	24,6	52	7,3	8,0	7,5	80-100%
R663**														7,5	
R301	stark lehmiger Sand	sablo-argileuse, voir limoneuse	SA, voir LS											7,5	80-100%
R302a	mittel sandiger Lehm	argileuse ou limoneuse	LSA (voir LS)											7,5	80-100%
R302ab*	schwach toniger Lehm	argilo-limoneuse	A ou LAS ou LSA, voir AL											7,5	80-100%
R302b	schwach toniger Lehm	argilo-limoneuse	A ou LAS ou LSA, voir AL											7,5	80-100%
R303	sandig-lehmiger Schluff	limoneuse (voir argilo-limoneuse)	LMS, voir LSA											7,5	80-100%
R304	schwach toniger Lehm	argilo-limoneuse	A ou LAS ou LSA, voir AL											7	80-100%
R380	organischer Horizont	organique												6,5	80-100%
R381a	Sand	sableuse	S ou SL											7,5	80-100%
R381b	Sand	sableuse	S ou SL											8	80-100%
R382	Sand	sableuse	S ou SL											8	80-100%
R383	stark schluffiger Sand	limoneuse à sableuse	LLS, voir SL											8	80-100%
R384*	schluffig-lehmiger Sand	limoneuse	LS (voir LMS)											8	80-100%
R384**														8	
R580*	organischer Horizont	organique												5	50-80%
R581	mittel lehmiger Sand	sableuse à sablo-argileuse	SL (voir S ou SA)											5	50-80%
R582	schluffig-lehmiger Sand	limoneuse	LS (voir LMS)											5	50-80%
R583d	stark sandiger Lehm	argileuse ou argilo-limoneuse	SA ou LSA (voir LS)											4,5	20-50%

nom horizon(*)	description classe texturale BKA	correspondance triangle GEPPA 1963 (approx.)	TextureTriangleMSEabr	classe textural (Analyse granulométrique)	sables [%]	limons [%]	argiles [%]	matière organique (C org)	azote (N)	rapport C/N	teneur en CaCO3	pH_CaCl2	pH_H2O	pH arrondi	saturation (approximation par le pH eau)
R584	mittel lehmiger Sand	sableuse à sablo-argileuse	SL (voir S ou SA)											4,5	20-50%
R585	Sand	sableuse	S ou SL											4	20-50%
R586*	Sand	sableuse	S ou SL											4	20-50%
R587**														4	
R670	organischer Horizont	organique												6	80-100%
R671	Sand	sableuse	S ou SL											5	50-80%
R672a	schluffiger Lehm	argilo-limoneuse	LAS ou LA											5	50-80%
R672d	schluffiger Lehm	argilo-limoneuse	LAS ou LA											5	50-80%
R673	schwach toniger Lehm	argilo-limoneuse	A ou LAS ou LSA, voir AL											5	50-80%
R674**	sandiger Schluff	limoneuse	LLS, voir LL											5	20-50%
R691	stark schluffiger Sand	limoneuse à sableuse	LLS, voir SL											4	50-80%
R692	sandig-lehmiger Schluff	limoneuse (voir argilo-limoneuse)	LMS, voir LSA											5	50-80%
R693	schluffiger Lehm	argilo-limoneuse	LAS ou LA											5	50-80%
R694	schluffiger Lehm	argilo-limoneuse	LAS ou LA											5	50-80%
R695**														5	
R701	schluffig-lehmiger Sand	limoneuse	LS (voir LMS)											4	20-50%
R702	stark lehmiger Sand	sablo-argileuse, voir limoneuse	SA, voir LS											4	20-50%
R702b*	schluffig-lehmiger Sand	limoneuse	LS (voir LMS)											4	20-50%
R703	schluffiger Lehm	argilo-limoneuse	LAS ou LA											4	20-50%
R704**														4	
R711	sandiger Schluff	limoneuse	LLS, voir LL											4	20-50%
R712	sandig-lehmiger Schluff	limoneuse (voir argilo-limoneuse)	LMS, voir LSA											4	20-50%
R713	schluffiger Lehm	argilo-limoneuse	LAS ou LA											4	20-50%
R714**														4	
R721	schluffig-lehmiger Sand	limoneuse	LS (voir LMS)											5	50-80%
R722	schwach sandiger Lehm	argilo-limoneuse, voir limoneuse	LAS ou LSA											4,5	20-50%
R723	schwach sandiger Lehm	argilo-limoneuse, voir limoneuse	LAS ou LSA											5	50-80%
R724*	stark lehmiger Sand	sablo-argileuse, voir limoneuse	SA, voir LS											5	50-80%
R725*														5	
R726**														5	
R731	mittel schluffiger Sand	sableuse	SL (voir LLS)											4	20-50%
R732	stark sandiger Lehm	argileuse ou argilo-limoneuse	SA ou LSA (voir LS)											4	20-50%
R733	sandig-lehmiger Schluff	limoneuse (voir argilo-limoneuse)	LMS, voir LSA											4	20-50%
R734	sandig-lehmiger Schluff	limoneuse (voir argilo-limoneuse)	LMS, voir LSA											4	20-50%
R741	mittel schluffiger Sand	sableuse	SL (voir LLS)											4	20-50%
R742	mittel schluffiger Sand	sableuse	SL (voir LLS)											4	20-50%
R743	schluffiger Lehm	argilo-limoneuse	LAS ou LA											5	50-80%
R744**														5	
R751	schwach sandiger Lehm	argilo-limoneuse, voir limoneuse	LAS ou LSA											5	50-80%
R752	schwach sandiger Lehm	argilo-limoneuse, voir limoneuse	LAS ou LSA											5	50-80%
R753	schwach toniger Lehm	argilo-limoneuse	A ou LAS ou LSA, voir AL											5	50-80%
R754**														5	
R761	schwach sandiger Lehm	argilo-limoneuse, voir limoneuse	LAS ou LSA											4	20-50%
R762	schluffiger Lehm	argilo-limoneuse	LAS ou LA											5	50-80%
R763	schluffiger Lehm	argilo-limoneuse	LAS ou LA											5	50-80%
R764	schluffiger Lehm	argilo-limoneuse	LAS ou LA											4	20-50%
R770	organischer Horizont	organique												4	20-50%
R771	mittel schluffiger Sand	sableuse	SL (voir LLS)											4,5	20-50%
R772	schwach lehmiger Sand	sableuse	S ou SA											4,5	20-50%
R773	schwach lehmiger Sand	sableuse	S ou SA											4,5	20-50%
R774	schwach lehmiger Sand	sableuse	S ou SA											4,5	20-50%
R775**														4,5	
R790	organischer Horizont	organique												4,5	20-50%
R791	mittel lehmiger Sand	sableuse à sablo-argileuse	SL (voir S ou SA)											4,5	20-50%
R792	stark lehmiger Sand	sablo-argileuse, voir limoneuse	SA, voir LS											4,5	20-50%
R793a	stark sandiger Lehm	argileuse ou argilo-limoneuse	SA ou LSA (voir LS)											4,5	20-50%
R793d	schwach lehmiger Sand	sableuse	S ou SA											4,5	20-50%
R794**	reiner Sand	sableuse	S											4,5	20-50%

nom horizon(*)	Qualificatif saturation	conductivité électrique (µS/cm)	teneur en sels [mg/l]	capacité d'échange cationique (K(KaKeff))	description capacité au champ (horizons organo-minéraux seulement)	densité (Lagerungsdichtestufe Ld)	pT	Réserve utile (horizon)	capacité au champ - nutzbare Fe(dkapazität) (nFK)
R200*	mésosaturé			117		0	1		0,5
R201	mésosaturé	258	168	13	hoch	1	1	4,7	6,6
R202	mésosaturé	145	94	10	mittel	1	1	14,2	22,3
R203	mésosaturé	105	68	10	mittel	2	2	3,3	5,1
R204**						3	3		
R210*	saturé			136		0	1		0,4
R211	saturé	254	165	136		0	1		1,9
R212	saturé	308	200	17	hoch	1	1	6,9	12,6
R212b*	mésosaturé			9	mittel	1	1	7,6	12,1
R213	mésosaturé	57	37	9	mittel	2	2	13,1	20,7
R214*	mésosaturé			9	mittel	3	3	3,2	4,7
R215**						3	3		
R220	saturé	842	547	136		0	1		0,7
R221	saturé	654	425	16	hoch	1	1	2,3	2,7
R222	saturé	318	207	16	hoch	1	1	8,4	9,8
R223	saturé	199	129	19	hoch	2	2	7,6	8,9
R224	saturé	188	122	16	hoch	3	3	13,7	12,9
R225**						3	3		
R230	saturé	820	533	155		0	1		0,1
R231	saturé	443	288	37	extrem hoch	1	1	5,8	9,2
R231b*	saturé			26	sehr hoch	1	1	15	19,4
R232	saturé	227	148	26	sehr hoch	2	2	6,7	8,7
R233	saturé	225	146	19	hoch	2	2	4,6	6,5
R234**						3	3		
R241	saturé	260	169	10	mittel	1	1	9,5	15
R242	saturé	166	108	18	hoch	1	1	13,8	14,6
R243	saturé	154	100	20	sehr hoch	2	2	19,4	27
R244**						3	3		
R250	saturé			117		0	1		0,1
R250b*	saturé			14	hoch	1	1	4,9	9
R251	saturé	245	159	14	hoch	1	1	10,3	18,9
R252	saturé	68	44	10	mittel	1	1	16,3	25,6
R253	saturé	34	22	10	mittel	2	2	36	57
R254	saturé	22	14	10	mittel	3	3	2,5	3,6
R255**						3	3		
R261	saturé	288	187	16	hoch	1	2	3,6	10,2
R262	oligosaturé	58	38	9	mittel	1	1	16,9	26,6
R263	oligosaturé	35	23	9	mittel	2	2	4,9	7,7
R264*	oligosaturé			9	mittel	2	2	4,2	6,6
R265**						3	3		
R270	saturé			155		0	1		0,3
R271	saturé	172	112	24	sehr hoch	1	2	9,9	26,1
R272	saturé	132	86	15	hoch	1	1	23,8	42,5
R272b*	saturé			10	mittel	2	3	7,7	16,7
R273	saturé	110	72	10	mittel	2	3	10,7	23,4
R274	saturé	108	70	5	gering	2	3	4,5	9,5
R275**						2	3		
R280	saturé	288	187	136		0	1		1
R281a	saturé	148	96	19	hoch	1	1	8,5	9,5
R281b	saturé	74	48	14	hoch	1	1	21,3	29,9
R282	saturé	63	41	18	hoch	1	1	28,7	30,4
R283	saturé	44	29	16	hoch	1	1	32,4	41,4
R284	saturé	39	25	13	hoch	2	2	16,5	22
R290	saturé	485	315	31	extrem hoch	1	1	11,7	18,9
R291	saturé	57	37	35	extrem hoch	1	1	10,8	17,4
R292**						2	3		
R311	saturé	254	165	22	sehr hoch	1	1	10,1	13,1
R312	saturé	191	124	19	hoch	1	1	13,6	16
R313	saturé	175	114	22	sehr hoch	1	1	18,8	24,3
R314	saturé	155	101	22	sehr hoch	2	2	10,7	13,9
R315*	saturé			22	sehr hoch	2	2	8,7	11,2
R316**						2	3		
R321	saturé	372	242	15	hoch	1	1	7,8	14
R322	saturé	142	92	13	hoch	1	1	21,8	27,7
R323	saturé	124	81	13	hoch	2	2	6	8
R324*	saturé			13	hoch	2	2	5,4	7,2
R325*	saturé			13	hoch	2	2	4,1	5,4
R326**						3	3		
R340	oligosaturé	752	489	98		0	1		0,9
R341	mésosaturé	602	391	9	mittel	1	1	2,2	3,4
R342	saturé	221	144	13	hoch	1	1	9,1	12,1
R343	saturé	164	107	15	hoch	1	1	22,4	29
R343b*	saturé			19	hoch	2	2	17,4	20,5

nom horizon(*)	Qualificatif saturation	conductivité électrique (µS/cm)	teneur en sels [mg/l]	capacité d'échange cationique (K(KaKeff))	description capacité au champ (horizons organo-minéraux seulement)	densité (Lagerungsdichtestufe Ld)	pT	Réserve utile (horizon)	capacité au champ - nutzbare Fe(dkapazität) (nFK)
R344	saturé	143	93	19	hoch	2	2	27,3	32,2
R345**						2	3		
R351	saturé	733	476	20	sehr hoch	1	2	5,3	14,9
R352	saturé	107	70	9	mittel	1	1	11,9	18,7
R352b*	saturé			13	hoch	1	1	22,3	28,4
R353	saturé	57	37	18	hoch	2	2	15,3	16,2
R354**						3	3		
R390	desaturé			84		0	1		3,7
R391	oligosaturé	117	76	14	hoch	1	1	5,9	11,6
R392	oligosaturé	83	54	14	hoch	1	1	13,7	27
R393	oligosaturé	38	25	11	mittel	1	1	18,9	32,5
R394	oligosaturé	27	18	10	mittel	2	2	3,2	5,7
R395**						3	3		
R401	mésosaturé	118	77	13	hoch	1	1	13,9	24
R402	mésosaturé	24	16	19	hoch	1	1	29,6	38,3
R403	mésosaturé	27	18	13	hoch	2	2	26,2	35
R404	oligosaturé	29	19	17	hoch	2	2	19,1	20,3
R411	oligosaturé	78	51	5	gering	1	2	10,8	27,6
R412	oligosaturé	35	23	4	gering	1	2	16,9	38,5
R413	oligosaturé	25	16	4	gering	1	2	12,8	29
R414	oligosaturé	20	13	4	gering	2	3	8,8	16,8
R415	oligosaturé	18	12	2	sehr gering	2	3	8,9	18,9
R421	oligosaturé	130	85	17	hoch	1	1	15	28,9
R422	oligosaturé	80	52	11	mittel	1	1	25,1	44,9
R423	oligosaturé	41	27	4	gering	2	3	10,9	22,8
R424	oligosaturé	24	16	9	mittel	2	2	46,4	73,6
R431	oligosaturé	79	51	6	gering	1	2	10,7	29
R432	mésosaturé	55	36	7	gering	1	2	18,8	40,3
R433	mésosaturé	31	20	2	sehr gering	2	3	11,7	11,7
R434	mésosaturé	27	18	2	sehr gering	2	3	13,4	28,35
R440	oligosaturé	205	133	84		0	1		1
R441	oligosaturé	113	73	17	hoch	1	1	11,6	22,4
R442	oligosaturé	84	55	11	mittel	1	1	13,7	24,4
R443	oligosaturé	26	17	4	gering	2	3	5,7	12,2
R444*	oligosaturé			4	gering	2	3	4,2	9
R445**						3	3		
R450	oligosaturé	226	147	98		0	1		1,5
R451	oligosaturé	78	51	9	mittel	1	1	14,7	23,1
R452	oligosaturé	50	33	9	mittel	1	1	20,2	31,7
R453	oligosaturé	36	23	15	hoch	2	2	40	46,6
R454	oligosaturé	24	16	9	mittel	2	2	10,5	16,5
R461	oligosaturé	208	135	6	gering	1	2	7,6	19,3
R462	oligosaturé	62	40	5	gering	1	2	10,8	28,1
R463	oligosaturé	28	18	4	gering	2	3	12	23
R463b*	oligosaturé			4	gering	1	2	13,3	30,3
R464	oligosaturé	13	8	2	sehr gering	2	3	3,9	8,2
R465	oligosaturé	14	9	2	sehr gering	2	3	5,3	11,3
R471	mésosaturé	142	92	12	hoch	1	2	13,2	34,8
R472	oligosaturé	45	29	7	gering	1	2	31,6	67,6
R473	oligosaturé			7	gering	2	3	4,8	8,6
R474**	oligosaturé			7	gering	2	3	6	
R481	oligosaturé	585	380	9	mittel	2	3	9	20,5
R482	oligosaturé	84	55	6	gering	2	3	28,1	61,3
R483	oligosaturé	25	16	3	sehr gering	2	3	4,7	4,7
R484	oligosaturé	88	57	3	sehr gering	2	3	9,4	22
R485**						3	3		
R491	oligosaturé	158	103	9	mittel	1	2	7,7	20,4
R491b*	oligosaturé			7	gering	1	2	14,3	30,5
R492	oligosaturé	58	38	7	gering	1	2	19,4	41,4
R493	oligosaturé	29	19	6	gering	2	3	12,1	20,3
R494	oligosaturé	17	11	6	gering	2	3	5,3	13,1
R501	saturé	308	200	21	sehr hoch	1	2	9,3	25,3
R502	saturé	213	138	35	extrem hoch	1	1	30,2	47
R503	saturé	238	155	29	sehr hoch	1	1	14,4	27,7
R504**						2	3		
R511	oligosaturé	17	11	12	hoch	1	2	7	19,7
R512	oligosaturé	50	33	12	hoch	1	2	14,6	41,1
R513	oligosaturé	25	16	6	gering	1	2	12,3	32,4
R514**	oligosaturé			6	gering	2	3	13,8	31,3
R521	oligosaturé	169	110	9	mittel	1	2	18	50,8
R522	oligosaturé	103	67	11	mittel	1	2	17,2	43,2
R523	oligosaturé	75	49	11	mittel	1	1	13,1	22,5
R524	oligosaturé	49	32	7	gering	2	3	12	21,1

nom horizon(*)	Qualificatif saturation	conductivité électrique (µS/cm)	teneur en sels [mg/l]	capacité d'échange cationique (KAKeff)	description capacité au champ (horizons organo-minéraux seulement)	densité (Lagerungsdichtstufe Ld)	pT	Réserve utile (horizon)	capacité au champ - utilisable Fe(kapazität) (nFK)
R525**	mésosaturé			7	gering	2	3	9,8	17,3
R531	mésosaturé	191	124	21	sehr hoch	1	1	7	13,6
R532	saturé	189	123	13	hoch	2	2	7,3	13,4
R532*b	saturé			15	hoch	2	2	10,9	14,1
R533	saturé	130	85	15	hoch	2	2	14,9	19,3
R534**	saturé			16	hoch	2	2	36,5	42,5
R540	oligosaturé	339	220	71		1	1		10,2
R541	oligosaturé	338	220	98		1	1		140
R542	oligosaturé	175	114	84		1	1		56
R543	oligosaturé	119	77	84		1	1		112
R543b*	oligosaturé			84		1	1		60,4
R544	oligosaturé	125	81	14	hoch	2	2	31,2	61,4
R545**	oligosaturé			14	hoch	2	2	3,5	6,5
R550	oligosaturé	384	250	84		0	1		1,8
R551	oligosaturé	74	48	11	mittel	1	1	6,5	11,2
R552	oligosaturé	47	31	10	mittel	1	1	13,4	23
R552b*	oligosaturé			10	mittel	1	1	5,3	9,1
R553	oligosaturé	34	22	11	mittel	2	2	9,6	17,1
R554	oligosaturé	18	12	12	hoch	2	2	2,3	3
R555**						3	3		
R561	oligosaturé	87	57	9	mittel	1	2	17,1	48,1
R562	oligosaturé	37	24	17	hoch	1	1	48,3	93,2
R563	oligosaturé	31	20	17	hoch	1	1	4,6	8,8
R564**						2	3		
R571	oligosaturé	114	74	12	hoch	1	2	15	39,6
R572	oligosaturé	50	33	5	gering	1	2	7,9	20,6
R573	oligosaturé	18	12	4	gering	2	3	12	25,3
R574*	oligosaturé			4	gering	2	3	5,4	11,5
R575**						2	3		
R591	oligosaturé	91	59	9	mittel	1	2	9,9	26,1
R592	oligosaturé	34	22	12	hoch	1	2	15,3	43,2
R593	oligosaturé	15	10	12	hoch	1	2	21,5	60,5
R594	mésosaturé	8	5	2	sehr gering	2	3	6,4	13,5
R595**						3	3		
R601	mésosaturé	360	234	87		1	1		110
R602	oligosaturé	272	177	12	hoch	2	3	33,4	75,9
R603	oligosaturé	70	46	6	gering	2	3	9,7	21,2
R604**						3	3		
R611	oligosaturé	78	51	9	mittel	1	2	7,6	20
R611b*	oligosaturé			9	mittel	1	2	13,2	34,8
R612	oligosaturé	37	24	12	hoch	1	2	9,7	25,5
R612b*	oligosaturé			5	gering	2	3	3	7
R613	oligosaturé	12	8	5	gering	2	3	1,5	3,6
R614**						3	3		
R621*						1	2		
R622*						1	2		
R623*						2	3		
R631*						0	1		
R632*						1	2		
R641	oligosaturé	103	67	4	gering	1	2	8	21,8
R642	oligosaturé	52	34	4	gering	1	2	16,1	43,5
R643	oligosaturé	23	15	12	hoch	2	3	10,3	28
R644**						2	3		
R661	saturé	366	238	20	sehr hoch	1	2	5,9	15,7
R662	saturé	403	262	24	sehr hoch	1	2	6,3	16,7
R663**						2	3		
R301	saturé			10	mittel	1	1	13,9	21,9
R302a	saturé			13	hoch	2	2	40,1	51,1
R302ab*	saturé			18	hoch	2	2	10,7	11,3
R302b	saturé			18	hoch	3	3	8,5	7
R303	saturé			29	sehr hoch	3	3	21,5	39,5
R304	saturé			19	hoch	3	3	7	6,6
R380	saturé			136		0	1		1,9
R381a	saturé			8	mittel	1	2	2,9	7,8
R381b	saturé			3	sehr gering	1	2	4,8	11,3
R382	saturé			3	sehr gering	2	3	8,6	18,1
R383	saturé			5	gering	2	3	9,2	19,2
R384*	saturé			10	mittel	2	2	9,3	14,7
R384**						3	3		
R580*	mésosaturé			98		0	1		0,6
R581	mésosaturé			6	gering	1	2	11,2	24
R582	mésosaturé			9	mittel	1	1	22,7	36
R583d	oligosaturé			13	hoch	1	1	23,5	32,9

nom horizon(*)	Qualificatif saturation	conductivité électrique (µS/cm)	teneur en sels [mg/l]	capacité d'échange cationique (KAKeff)	description capacité au champ (horizons organo-minéraux seulement)	densité (Lagerungsdichtstufe Ld)	pT	Réserve utile (horizon)	capacité au champ - utilisable Fe(kapazität) (nFK)
R584	oligosaturé			6	gering	2	3	10,3	17,3
R585	oligosaturé			2	sehr gering	2	3	5	10,6
R586*	oligosaturé			2	sehr gering	2	3	5,1	10,8
R587**						3	3		
R670	saturé			117		0	1		3,5
R671	mésosaturé			6	gering	1	2	10,9	30,9
R672a	mésosaturé			17	hoch	2	2	37,6	52,2
R672d	mésosaturé			15	hoch	2	2	37,6	43,8
R673	mésosaturé			19	hoch	3	3	12,8	13,5
R674**	oligosaturé			7	gering				
R691	mésosaturé			4	gering	1	2	3,9	9,5
R692	mésosaturé			10	mittel	2	3	8,3	17,4
R693	mésosaturé			15	hoch	2	2	16,8	28,6
R694	mésosaturé			15	hoch	3	3	10,3	9,7
R695**						3	3	8,1	7,7
R701	oligosaturé			11	mittel	1	1	2,6	4,7
R702	oligosaturé			10	mittel	1	1	4,4	7,5
R702b*	oligosaturé			9	mittel	1	1	5,1	8,4
R703	oligosaturé			15	hoch	2	2	9,5	11
R704**						2	3		
R711	oligosaturé			10	mittel	1	2	6,8	17,5
R712	oligosaturé			11	mittel	1	1	30,5	56,1
R713	oligosaturé			17	hoch	2	2	34	51
R714**						3	3		
R721	mésosaturé			13	hoch	1	1	5,8	10,5
R722	oligosaturé			13	hoch	1	1	11,2	13,9
R723	mésosaturé			13	hoch	2	2	14	17,3
R724*	mésosaturé			9	mittel	3	3	2	2,5
R725*						3	3		
R726**						3	3		
R731	oligosaturé			6	gering	1	2	6,2	15,7
R732	oligosaturé			12	hoch	2	2	27,1	36,1
R733	oligosaturé			9	mittel	2	2	23,8	37,4
R734	oligosaturé			9	mittel	2	2	10,7	16,8
R741	oligosaturé			6	gering	1	2	15,8	40,3
R742	oligosaturé			4	gering	1	2	13,7	31,2
R743	mésosaturé			15	hoch	2	2	16,2	18,9
R744**						2	3		
R751	mésosaturé			15	hoch	1	1	6,6	9,4
R752	mésosaturé			13	hoch	2	2	15,5	18
R753	mésosaturé			17	hoch	2	2	12,3	13,1
R754**						3	3		
R761	oligosaturé			15	hoch	1	1	14,5	20,4
R762	mésosaturé			19	hoch	1	1	40,3	60,5
R763	mésosaturé			19	hoch	2	2	27,7	41,6
R764	oligosaturé			16	hoch	2	2	26,2	36,4
R770	oligosaturé			84		0	1		3,4
R771	oligosaturé			12	hoch	1	2	6,6	17,4
R772	oligosaturé			6	gering	1	2	8,3	22,4
R773	oligosaturé			5	gering	2	3	6,5	15,3
R774	oligosaturé			5	gering	2	3	5,1	11,9
R775**						3	3		
R790	oligosaturé			98		0	1		2,3
R791	oligosaturé			8	mittel	1	2	12,6	29,2
R792	oligosaturé			10	mittel	2	2	21,8	37,4
R793a	oligosaturé			13	hoch	2	2	10,8	15,1
R793d	oligosaturé			4	gering	2	3	6,1	13
R794**	oligosaturé			2	sehr gering	2	3	6,2	6,2

Noms et codes des espèces végétales relevés

Famille	code	Espèces des relevés retenus	synonymes courants
Pinaceae	abieal	Abies alba Mill.	A. pectinata
Aceraceae	acerca	Acer campestre L.	
Aceraceae	acermo	Acer monspessulanum L.	
Aceraceae	acerop	Acer opalus Mill.	A. opulifolium, A. italum
Asteraceae	achimi	Achillea millefolium L.	A. millefolium
Asteraceae	achipt	Achillea ptarmica L.	A. pyrenaica
Ranunculaceae	aconna	Aconitum napellus L.	A. vulgare
Asteraceae	adenal	Adenostyles alliariae (Gouan) A.Kern.	A. petasites, Cacalia alliariae
Poaceae	agroca	Agrostis capillaris L.	
Poaceae	agrocu	Agrostis curtisii Kerguélen	
Poaceae	agrodu	Agrostis durieui Boiss. & Reut. ex Gand.	
Poaceae	agrog	Agrostis gigantea Roth	A. nigra
Poaceae	agrору	Agrostis rupestris All.	
Rosaceae	alchpa	Alchemilla pallens Buser	
Brassicaceae	aliape	Alliaria petiolata (M. Bieb.) Cavara & Grande	A. officinalis
Brassicaceae	alysal	Alyssum alyssoides (L.) L.	A. calycinum
Rosaceae	amelov	Amelanchier ovalis Medik.	A. rotundifolia
Ranunculaceae	anemne	Anemone nemorosa L.	
Apiaceae	angesy	Angelica sylvestris L.	
Asteraceae	antedi	Antennaria dioica (L.) Gaertner	
Poaceae	antxor	Anthoxanthum odoratum L.	
Fabaceae	anthvu	Anthyllis vulneraria L.	
Aphyllanthaceae	aphymo	Aphyllanthes monspeliensis L.	
Ranunculaceae	aquivu	Aquilegia vulgaris L.	
Brassicaceae	arabau	Arabis auriculata Lam	
Brassicaceae	arabce	Arabis cebennensis DC.	
Brassicaceae	arabpa	Arabis pauciflora (Grimm) Garcke	Fourraea alpina
Brassicaceae	arabso	Arabis soyeri Reut. & A.L.P.Huet	A. subcoriacea
Brassicaceae	arabtu	Arabis turrata L.	
Caryophyllaceae	arenli	Arenaria ligericina Lecoq & Lamotte	
Fabaceae	argyza	Argyrobium zanonii (Turra) P.W. Ball	A. linnaeanum
Aristolochiaceae	arisp	Aristolochia pistolochia L.	
Poaceae	arrhel	Arrhenatherum elatius (L.) P. Beauv. ex J. & C. Presl	
Asteraceae	arteab	Artemisia absinthium L.	
Asteraceae	arteca	Artemisia campestris L.	
Asparagaceae	aspaac	Asparagus acutifolius L.	
Rubiaceae	aspecy	Asperula cynanchica L.	
Aspleniaceae	asplad	Asplenium adiantum-nigrum L.	
Aspleniaceae	asplon	Asplenium onopteris L.	A. adiantum-nigrum ssp. onopteris
Aspleniaceae	aspltr	Asplenium trichomanes L.	
Fabaceae	astgmo	Astragalus monspessulanus L.	
Apiaceae	astrma	Astrantia major L.	
Woodsiaceae	athydi	Athyrium distentifolium Tausch ex Opiz	A. alpestre
Woodsiaceae	athyfi	Athyrium filix-femina (L.) Roth.	
Betulaceae	betupe	Betula pendula Roth	B. verrucosa
Brassicaceae	biscla	Biscutella laevigata L.	
Fabaceae	bitubi	Bituminaria bituminosa (L.) C.H.Stirt.	Psoralea bituminosa, Asphaltium bituminosum
Ophioglossaceae	botrtu	Botrychium lunaria (L.) Swartz	
Poaceae	bracre	Brachypodium retusum (Pers.) P. Beauv.	B. ramosum
Poaceae	bracsy	Brachypodium sylvaticum (Hudson) P. Beauv.	
Poaceae	brizme	Briza media L.	
Poaceae	brizmi	Briza minor L.	B. minima
Poaceae	bromst	Bromus sterilis L.	
Cucurbitaceae	bryodi	Bryonia dioica Jacq.	
Apiaceae	buplfa	Bupleurum falcatum L.	
Apiaceae	buplfr	Bupleurum fruticosum L.	
Buxaceae	buxuse	Buxus sempervirens L.	
Ericaceae	caluvu	Calluna vulgaris (L.) Hull.	
Ranunculaceae	caltpa	Caltha palustris L.	
Campanulaceae	camper	Campanula erinus L.	
Campanulaceae	campla	Campanula lanceolata Lapeyr.	C. recta, C. linifolia
Campanulaceae	camppe	Campanula persicifolia L.	
Campanulaceae	campro	Campanula rotundifolia L.	
Campanulaceae	campsc	Campanula scheuchzeri Vill.	
Cyperaceae	careec	Carex echinata Murray	
Cyperaceae	careha	Carex halleriana Asso	
Cyperaceae	carepi	Carex pilulifera L.	
Cyperaceae	carede	Carex viridula Michx.	C. demissa

Famille	code	Espèces des relevés retenus	synonymes courants
Asteraceae	carlat	Carlina acanthifolia All.	
Asteraceae	carlac	Carlina acaulis L.	
Asteraceae	carlvu	Carlina vulgaris L.	
Fagaceae	castsa	Castanea sativa Mill.	
Poaceae	cataaq	Catabrosa aquatica (L.) P.Beauv.	
Asteraceae	centja	Centaurea jacea L.	C. amara .
Asteraceae	centpa	Centaurea paniculata L.	
Asteraceae	centpe	Centaurea pectinata L.	
Gentianaceae	center	Centaurium erythraea Rafn	
Orchidaceae	cephda	Cephalanthera damasonium (Miller) Druce	C.pallens
Orchidaceae	cephlo	Cephalanthera longifolia (L.) Fritsch	C. xiphophyllum
Dipsacaceae	ceprle	Cephalaria leucantha (L.) Schrad. ex Roem. & Schult.	
Caryophyllaceae	cerafo	Cerastium fontanum Baumg.	C. caespitosum, C. triviale
Caryophyllaceae	ceragl	Cerastium glomeratum Thuill.	C. viscosum
Papaveraceae	cerccl	Ceratocarpus claviculata (L.) Lidén	Corydalis claviculata
Aspleniaceae	ceteof	Ceterach officinarum Willd.	Asplenium ceterach
Chenopodiaceae	chenbo	Chenopodium bonus-henricus L.	
Saxifragaceae	chrpop	Chrysosplenium oppositifolium L.	
Asteraceae	cirsac	Cirsium acaule Scop.	
Asteraceae	cirser	Cirsium eriophorum (L.) Scop.	
Asteraceae	cirspa	Cirsium palustre (L.) Scop.	
Asteraceae	cirsvu	Cirsium vulgare (Savi) Ten	
Cistaceae	cistla	Cistus laurifolius L.	
Ranunculaceae	clemal	Clematis alpina (L.) Mill.	
Ranunculaceae	clemfl	Clematis flammula L.	
Ranunculaceae	clemvi	Clematis vitalba L.	
Lamiaceae	clinvu	Clinopodium vulgare L.	Calamintha clinopodium, C.vulgare
Fabaceae	coluar	Colutea arborescens L.	
Apiaceae	conoma	Conopodium majus (Gouan) Loret	C. denudatum
Apiaceae	conopy	Conopodium pyrenaicum (Loisel.) Miégev.	
Convolvulaceae	convar	Convolvulus arvensis L.	
Convolvulaceae	convca	Convolvulus cantabrica L.	
Cornaceae	cornsa	Cornus sanguinea L.	
Fabaceae	coromi	Coronilla minima L.	
Corylaceae	coryav	Corylus avellana L.	
Rosaceae	cotone	Cotoneaster nebrodensis (Guss.) C. Koch	C. tomentosa
Rosaceae	cratla	Crataegus laevigata (Poir.) DC.	C. oxyacanthoides
Rosaceae	cratmo	Crataegus monogyna Jacq.	
Iridaceae	crocnu	Crocus nudiflorus Sm.	
Rubiaceae	crucgl	Cruciata glabra (L.) Ehrend.	Galium vernum
Rubiaceae	crucla	Cruciata laevipes Opiz	Galium cruciata
Boraginaceae	cynoof	Cynoglossum officinale L.	
Cytinaceae	cytnhy	Cytinus hypocistis (L.) L.	
Fabaceae	cytsse	Cytisophyllum sessilifolium (L.) O.Lang	Cytisus sessilifolius, Cytisus sessilibus
Fabaceae	cytior	Cytisus oromediterraneus Rivas Mart. & al.	C. purgans
Fabaceae	cytisc	Cytisus scoparius (L.) Link	Sarothamnus scoparius
Poaceae	dactgl	Dactylis glomerata L.	
Thymelaeaceae	daphgn	Daphne gnidium L.	
Thymelaeaceae	daphla	Daphne laureola L.	
Thymelaeaceae	daphme	Daphne mezereum L.	
Poaceae	descfl	Deschampsia flexuosa (L.) Trin.	Avenella flexuosa
Caryophyllaceae	diande	Dianthus deltoides L.	
Caryophyllaceae	dianhy	Dianthus hyssopifolius L.	D. monspessulanus L.
Caryophyllaceae	dianpy	Dianthus pyrenaicus Pourr.	
Scrophulariaceae	digilu	Digitalis lutea L.	
Fabaceae	dorype	Dorycnium pentaphyllum Scop.	
Rosaceae	dryaoc	Dryas octopetala L.	
Dryopteridaceae	dryoca	Dryopteris carthusiana (Vill.) H.P. Fuchs	
Dryopteridaceae	dryofi	Dryopteris filix-mas (L.) Schott	Polystichum filix-mas
Apiaceae	endrpy	Endressia pyrenaica (Gay ex DC.) Gay	
Apiaceae	epikpy	Epikerus pyrenaicus (L.) Raf.	Selinum pyrenaicum
Oenotheraceae	epilan	Epilobium angustifolium L.	E.spicatum
Oenotheraceae	epildu	Epilobium duriaei Gay ex Godron	
Oenotheraceae	epilmo	Epilobium montanum L.	
Oenotheraceae	epilpa	Epilobium palustre L.	
Orchidaceae	epipmi	Epipactis microphylla (Ehrh.) Swartz	
Equisetaceae	equisy	Equisetum sylvaticum L.	
Geraniaceae	erodgr	Erodium glandulosum (Cav.) Willd.	

Famille	code	Espèces des relevés retenus	synonymes courants
Apiaceae	erynca	Eryngium campestre L.	
Celastraceae	euoneu	Euonymus europaeus L.	Evonymus europaeus
Euphorbiaceae	euphch	Euphorbia characias L.	
Euphorbiaceae	euphcy	Euphorbia cyparissias L.	
Euphorbiaceae	euphhy	Euphorbia hyberna L.	
Euphorbiaceae	euphni	Euphorbia nicaeensis All.	
Scrophulariaceae	euprhi	Euphrasia hirtella Jordan ex Reuter	
Scrophulariaceae	euprmi	Euphrasia minima Jacq. ex DC.	
Fagaceae	fagusy	Fagus sylvatica L.	
Poaceae	festes	Festuca eskia Ramond ex DC.	
Poaceae	festga	Festuca gautieri (Hackel) K. Richter	
Poaceae	festpa	Festuca paniculata (L) Schinz et Thelling	
Poaceae	festru	Festuca rubra L.	
Moraceae	ficuca	Ficus carica L.	
Rosaceae	filiul	Filipendula ulmaria (L.) Maxim.	
Rosaceae	fragve	Fragaria vesca L.	
Oleaceae	fraxex	Fraxinus excelsior L.	
Cistaceae	fumaer	Fumana ericoides (Cav.) Gandoger	
Cistaceae	fumapr	Fumana procumbens (Dunal) Gren. & Godron	
Lamiaceae	galepy	Galeopsis pyrenaica Bartl.	
Rubiaceae	galiap	Galium aparine L.	
Rubiaceae	galiar	Galium aristatum L.	
Rubiaceae	galigl	Galium glaucum L.	
Rubiaceae	galima	Galium maritimum L.	
Rubiaceae	galimo	Galium mollugo L.	
Rubiaceae	galiod	Galium odoratum (L.) Scop.	Asperula odorata
Rubiaceae	galipu	Galium pumilum Murray	G. sylvestre
Rubiaceae	galiro	Galium rotundifolium L.	
Rubiaceae	galiul	Galium uliginosum L.	
Rubiaceae	galive	Galium verum L.	
Fabaceae	genian	Genista anglica L.	
Fabaceae	genisa	Genista sagittalis L.	Chamaespartium sagittale, Genistella sagittalis
Fabaceae	genisc	Genista scorpius (L.) DC.	
Gentianaceae	gentlu	Gentiana lutea L.	
Gentianaceae	gentpn	Gentiana pneumonanthe L.	
Geraniaceae	gerapr	Geranium pratense L.	
Geraniaceae	geraro	Geranium robertianum L.	
Geraniaceae	gerart	Geranium rotundifolium L.	
Globulariaceae	global	Globularia alypum L.	
Globulariaceae	globbi	Globularia bisnagarica L.	G. punctata
Orchidaceae	goodre	Goodyera repens (L.) R. Br.	
Woodsiaceae	gymndr	Gymnocarpium dryopteris (L.) Newman	
Woodsiaceae	gymnro	Gymnocarpium robertianum (Hoffm.) Newman	Dryopteris robertianum
Araliaceae	hedehe	Hedera helix L.	
Cistaceae	heliap	Helianthemum apenninum (L.) Mill.	H. polifolium
Cistaceae	helinu	Helianthemum nummularium (L.) Miller	
Cistaceae	helioe	Helianthemum oelandicum (L.) Dum.Cours.	H. canum
Poaceae	hltcse	Helictotrichon sedenense (DC.) Holub	
Ranunculaceae	hellfo	Helleborus foetidus L.	
Ranunculaceae	hellvi	Helleborus viridis L.	
Ranunculaceae	hepano	Hepatica nobilis Schreber	H. triloba; Anemone hepatica
Asteraceae	hierce	Hieracium cerinthoides L.	
Asteraceae	hiermu	Hieracium murorum L.	H. nemorense
Asteraceae	hierpi	Hieracium pilosella L.	
Fabaceae	hippco	Hippocrepis comosa L.	
Fabaceae	hippem	Hippocrepis emerus (L.) Lassen	Coronilla emerus
Asteraceae	homoal	Homogyne alpina (L.) Cass.	
Hypericaceae	hypehy	Hypericum hyssopifolium Chaix	
Hypericaceae	hypema	Hypericum maculatum Crantz	
Hypericaceae	hypepe	Hypericum perforatum L.	
Brassicaceae	iberse	Iberis sempervirens L.	
Aquifoliaceae	ilexaq	Ilex aquifolium L.	
Apiaceae	impeos	Imperatoria ostruthium L.	Peucedanum ostruthium
Campanulaceae	jasimo	Jasione montana L.	
Oleaceae	jasmfr	Jasminum fruticans L.	
Juglandaceae	juglre	Juglans regia L.	
Juncaceae	juncac	Juncus acutiflorus Ehrh. ex Hoffm.	J. silvaticus
Juncaceae	juncal	Juncus alpinoarticulatus Chaix	J. alpinus

Famille	code	Espèces des relevés retenus	synonymes courants
Juncaceae	juncoc	Juncus conglomeratus L.	
Juncaceae	juncéf	Juncus effusus L.	
Juncaceae	junctr	Juncus trifidus L.	
Cupressaceae	junico	Juniperus communis L.	
Cupressaceae	junisi	Juniperus sibirica Lodd. ex Burgsd.	J. nana, J. communis ssp. nana
Dipsacaceae	knauma	Knautia maxima (Opiz) J.Ortmann	K. dipsacifolia, K. sylvatica
Dipsacaceae	knauti	Knautia timeroyi Jord.	K. purpurea, K.sylvatica
Asteraceae	lactpe	Lactuca perennis L.	
Apiaceae	lasene	Laserpitium nestleri Soyer-Willemet	
Apiaceae	lasesi	Laserpitium siler L.	
Fabaceae	lathap	Lathyrus aphaca L.	
Fabaceae	lathli	Lathyrus linifolius (Reichard) Bässler	L. macrorrhizus
Fabaceae	lathni	Lathyrus nissolia L.	
Fabaceae	lathpr	Lathyrus pratensis L.	
Fabaceae	lathsy	Lathyrus sylvestris L.	
Fabaceae	lathve	Lathyrus vernus (L.) Bernh.	
Lauraceae	laurno	Laurus nobilis L.	
Lamiaceae	lavala	Lavandula latifolia Medik.	
Lamiaceae	lavast	Lavandula stoechas L.	Salvia stoechas
Asteraceae	leonau	Leontodon autumnalis L.	
Asteraceae	leonhi	Leontodon hispidus L.	
Asteraceae	leonpy	Leontodon pyrenaicus Gouan	
Asteraceae	leusal	Leucanthemopsis alpina (L.) Heywood	
Asteraceae	leucvu	Leucanthemum vulgare Lam.	
Asteraceae	leuzco	Leuzea conifera (L.) DC.	
Oleaceae	liguvu	Ligustrum vulgare L.	
Liliaceae	lilima	Lilium martagon L.	
Scrophulariaceae	linare	Linaria repens (L.) Miller	L. striata
Linaceae	linuna	Linum narbonense L.	
Caprifoliaceae	lonial	Lonicera alpigena L.	
Caprifoliaceae	loniet	Lonicera etrusca G. Santi	
Caprifoliaceae	loniim	Lonicera implexa Aiton	
Caprifoliaceae	lonipe	Lonicera periclymenum L.	
Caprifoliaceae	lonipy	Lonicera pyrenaica L.	
Caprifoliaceae	lonixy	Lonicera xylosteum L.	
Fabaceae	lotual	Lotus alpinus (DC.) Schleicher ex Ramond	L. corniculatus var. alpinus
Fabaceae	lotuco	Lotus corniculatus L.	
Fabaceae	lotupe	Lotus pedunculatus Cav.	L. utiginosus
Juncaceae	luzuca	Luzula campestris (L.) DC.	
Juncaceae	luzufo	Luzula forsteri (Sm.) DC.	
Juncaceae	luzulu	Luzula luzuloides (Lam.) Dandy & Wilmott	
Juncaceae	luzuni	Luzula nivea (L.) DC.	
Juncaceae	luzunu	Luzula nutans (Vill.) Duval-Jouve	L. pediformis
Juncaceae	luzusy	Luzula sylvatica (Huds.) Gaudin	
Fabaceae	medisa	Medicago sativa L.	
Fabaceae	medisu	Medicago suffruticosa Ramond ex DC.	
Scrophulariaceae	melapr	Melampyrum pratense L.	
Scrophulariaceae	melasy	Melampyrum sylvaticum L.	
Poaceae	meliun	Melica uniflora Retz.	
Lamiaceae	mentar	Mentha arvensis L.	M. pumila
Lamiaceae	mentlo	Mentha longifolia (L.) Hudson	
Lamiaceae	mentpu	Mentha pulegium L.	
Apiaceae	meumat	Meum athamanticum Jacq.	
Poaceae	milief	Milium effusum L.	
Caryophyllaceae	moehtr	Moehringia trinervia (L.) Clairv.	
Poaceae	molica	Molinia caerulea (L.) Moench	
Ericaceae	monohy	Monotropa hypopitys L.	
Portulacaceae	montfo	Montia fontana L.	
Hyacinthaceae	muscco	Muscari comosum (L.) Miller	
Asteraceae	mycemu	Mycelis muralis (L.) Dumort.	
Boraginaceae	myosar	Myosotis arvensis (L.) Hill.	
Boraginaceae	myossc	Myosotis scorpioides L.	
Poaceae	nardst	Nardus stricta L.	
Asteraceae	omalno	Omalotheca norvegica (Gunn.) Schultz & Schultz	Gnaphalium subalpinum; G. norvegicum
Asteraceae	omalsy	Omalotheca sylvatica (L.) Schultz & Schultz	Gnaphalium sylvaticum
Fabaceae	ononna	Ononis natrix L.	
Lamiaceae	origvu	Origanum vulgare L.	
Scrophulariaceae	orobgr	Orobanche gracilis Sm.	O. cruenta

Famille	code	Espèces des relevés retenus	synonymes courants
Santalaceae	osyral	Osyris alba L.	
Oxalidaceae	oxalac	Oxalis acetosella L.	
Oleaceae	philan	Phillyrea angustifolia L.	
Oleaceae	philla	Phillyrea latifolia L.	
Oleaceae	philme	Phillyrea media L.	
Poaceae	phleal	Phleum alpinum L.	
Poaceae	phlepr	Phleum pratense L.	
Campanulaceae	phytsp	Phyteuma spicatum L.	
Pinaceae	piceab	Picea abies (L.) H.Karst. subsp. abies	
Apiaceae	pimpsa	Pimpinella saxifraga L.	
Pinaceae	pinuni	Pinus nigra Arnold	
Pinaceae	pinusy	Pinus sylvestris L.	
Pinaceae	pinuun	Pinus uncinata Ramond ex DC.	P. mugo var. uncinata, P. montana ssp. arborea
Anacardiaceae	pistte	Pistacia terebinthus L.	
Plantaginaceae	planho	Plantago holosteum Scop.	P. recurvata
Plantaginaceae	planla	Plantago lanceolata L.	
Poaceae	poaxch	Poa chaixii Vill.	
Poaceae	poaxne	Poa nemoralis L.	Agrostis alba L.
Polygalaceae	polaal	Polygala alpestris Reincheb.	
Polygonaceae	pogobi	Polygonum bistorta L.	
Polypodiaceae	popovu	Polypodium vulgare L.	
Dryopteridaceae	postlo	Polystichum lonchitis (L.) Roth	
Salicaceae	popuni	Populus nigra L.	
Rosaceae	potear	Potentilla argentea L.	
Rosaceae	potecr	Potentilla crantzii (Crantz) G. Beck ex Fritsch	
Rosaceae	poteer	Potentilla erecta (L.) Rauschel	
Rosaceae	potemi	Potentilla micrantha Ramond ex DC.	
Rosaceae	potere	Potentilla reptans L.	
Asteraceae	prenpu	Prenanthes purpurea L.	
Primulaceae	primve	Primula veris L.	
Lamiaceae	prungr	Prunella grandiflora (L.) Scholler	Brunella grandiflora
Lamiaceae	prunha	Prunella hastifolia Brot.	Brunella hastifolia, P.grandiflora ssp. pyrenaica
Rosaceae	prunav	Prunus avium L.	Cerasus avium
Rosaceae	prunma	Prunus mahaleb L.	
Rosaceae	prunsp	Prunus spinosa L.	
Dennstaedtiaceae	pteraq	Pteridium aquilinum (L.) Kuhn	Pteris aquilina L.
Fagaceae	queril	Quercus ilex L.	
Fagaceae	querpe	Quercus petraea Liebl.	Q. sessiliflora
Fagaceae	querpu	Quercus pubescens Willd.	Q. humilis, Q. lanuginosa
Ranunculaceae	ranuac	Ranunculus aconitifolius L.	
Ranunculaceae	ranupa	Ranunculus parnassifolius L.	
Resedaceae	reseph	Reseda phyteuma L.	
Rhamnaceae	rhamat	Rhamnus alaternus L.	
Rhamnaceae	rhamal	Rhamnus alpina L.	
Rhamnaceae	rhamsa	Rhamnus saxatilis Jacq.	
Scrophulariaceae	rhinan	Rhinanthus angustifolius C.C. Gmel	R. glaber, R. major
Ericaceae	rhodfe	Rhododendron ferrugineum L.	
Grossulariaceae	ribeal	Ribes alpinum L.	
Fabaceae	robips	Robinia pseudoacacia L.	
Rosaceae	rosaca	Rosa canina L.	R.puzinii, corymbifera, obtusifolia, stylosa ..
Rosaceae	rosapi	Rosa pimpinellifolia L.	R. spinosissima
Rosaceae	rosaru	Rosa rubiginosa L.	
Rubiaceae	rubipe	Rubia peregrina L.	
Polygonaceae	rumear	Rumex acetosa L.	
Polygonaceae	rumear	Rumex acetosella L.	
Polygonaceae	rumesc	Rumex scutatus L.	
Ruscaceae	ruscac	Ruscus aculeatus L.	
Salicaceae	salica	Salix caprea L.	
Salicaceae	saliel	Salix eleagnos Scop.	S. incana
Rosaceae	sangmi	Sanguisorba minor Scop.	Poterium sanguisorba L.
Rosaceae	sangof	Sanguisorba officinalis L.	
Caryophyllaceae	sapooc	Saponaria ocyroides L.	
Saxifragaceae	saxiop	Saxifraga oppositifolia L.	
Saxifragaceae	saxipa	Saxifraga paniculata Miller	S. aizoon
Saxifragaceae	saxiro	Saxifraga rotundifolia L.	
Dipsacaceae	scabco	Scabiosa columbaria L.	
Crassulaceae	seduru	Sedum rupestre L.	S. reflexum
Crassulaceae	seduse	Sedum sediforme (Jacq.) Pau	S. altissimum, S. ochroleucum

Famille	code	Espèces des relevés retenus	synonymes courants
Crassulaceae	sempmo	Sempervivum montanum L.	
Asteraceae	senead	Senecio adonidifolius Loisel.	Jacobaea adonidifolia
Asteraceae	senein	Senecio inaequidens DC	
Asteraceae	senepy	Senecio pyrenaicus L.	S. tournefortii
Asteraceae	serrti	Serratula tinctoria L.	
Poaceae	seslca	Sesleria caerulea (L.) Ard.	S. albicans
Rubiaceae	sherar	Sherardia arvensis L.	
Caryophyllaceae	sileac	Silene acaulis (L.) Jacq.	
Caryophyllaceae	sileci	Silene ciliata Pourret	
Caryophyllaceae	silenu	Silene nutans L.	
Caryophyllaceae	sileru	Silene rupestris L.	
Caryophyllaceae	silesa	Silene saxifraga L.	
Caryophyllaceae	silevu	Silene vulgaris (Moench) Garcke	Silene inflata
Smilacaceae	smilas	Smilax aspera L.	
Asteraceae	solivi	Solidago virgaurea L.	
Rosaceae	sorbar	Sorbus aria (L.) Crantz	
Rosaceae	sorbau	Sorbus aucuparia L.	
Rosaceae	sorbdo	Sorbus domestica L.	
Lamiaceae	stacof	Stachys officinalis (L.) Trévis.	
Caryophyllaceae	stelho	Stellaria holostea L.	
Dioscoreaceae	tamuco	Tamus communis L.	
Asteraceae	taraal	Taraxacum alpinum (Hoppe) Hegetschw.	
Asteraceae	taraof	Taraxacum officinale Web.	
Asteraceae	tarapy	Taraxacum pyrenaicum Reut.	
Lamiaceae	teucau	Teucrium aureum Schreber	
Lamiaceae	teucch	Teucrium chamaedrys L.	
Lamiaceae	teusc	Teucrium scorodonia L.	
Ranunculaceae	thalmi	Thalictrum minus L.	
Santalaceae	thesal	Thesium alpinum L.	
Santalaceae	thespy	Thesium pyrenaicum Pourret	
Thymelaeaceae	thylsa	Thymelaea sanamunda All.	
Lamiaceae	thymse	Thymus serpyllum L.	
Lamiaceae	thymvu	Thymus vulgaris L.	
Melanthiaceae	tofica	Tofieldia calyculata (L.) Wahlenb.	
Asteraceae	tragpr	Tragopogon pratensis L.	
Fabaceae	trifal	Trifolium alpinum L.	
Fabaceae	trifar	Trifolium arvense L.	
Fabaceae	trifme	Trifolium medium L.	
Fabaceae	trifmi	Trifolium michelianum Savi	
Fabaceae	trifmo	Trifolium montanum L.	
Fabaceae	trifpr	Trifolium pratense L.	
Fabaceae	trifre	Trifolium repens L.	
Fabaceae	trifsp	Trifolium spadiceum L.	
Ulmaceae	ulmumi	Ulmus minor Mill.	
Crassulaceae	umbiru	Umbilicus rupestris (Salisb.) Dandy	U. pendulinus
Urticaceae	urtidi	Urtica dioica L.	
Ericaceae	vaccmy	Vaccinium myrtillus L.	
Ericaceae	vaccul	Vaccinium uliginosum L.	
Valerianaceae	valeap	Valeriana apula Pourr.	V. globulariifolia
Valerianaceae	valemo	Valeriana montana L.	
Valerianaceae	valeof	Valeriana officinalis L.	
Valerianaceae	valepy	Valeriana pyrenaica L.	
Melanthiaceae	veraal	Veratrum album L.	
Scrophulariaceae	verobe	Veronica beccabunga L.	
Scrophulariaceae	verofr	Veronica fruticulosa L.	
Scrophulariaceae	veromo	Veronica montana L.	
Scrophulariaceae	veroor	Veronica officinalis L.	
Scrophulariaceae	verose	Veronica serpyllifolia L.	
Scrophulariaceae	verour	Veronica urticifolia Jacq.	
Caprifoliaceae	vibula	Viburnum lantana L.	
Fabaceae	vicicr	Vicia cracca L.	V. incana
Fabaceae	vicion	Vicia onobrychioides L.	
Fabaceae	vicise	Vicia sepium L.	
Asclepiadaceae	vinchi	Vincetoxicum hirundinaria Medik.	
Violaceae	violdi	Viola diversifolia (DC.) W. Becker	
Violaceae	violpa	Viola palustris L.	
Violaceae	violtr	Viola tricolor L.	
Vitaceae	vitivi	Vitis vinifera L.	

Espèces végétales- noms vernaculaires

code	nom vernaculaire	nom allemand
abieal	Sapin pectiné, Sapin blanc	Weisstanne, Silbertanne
acerca	Erable champêtre	Feldahorn
acermo	Erable de Montpellier	Französischer Ahorn
acerop	Erable à feuilles d'obier	Schneeballblättriger Ahorn
achimi	Achillée millefeuille, A. à feuilles de Camomille	Gemeine Schafgarbe
achipt	Achillée des Pyrénées	Sumpf-Schafgarbe
aconna	Casque de Jupiter, Aconit	Blauer Eisenhut
adenal	Adénostyle à feuilles d'Alliaire	Grauer Alpendost
agroca	Agrostide capillaire	Haar-Straussgras
agrocu		
agrodu		
agrog	Agrostide stolonifère	Kriechendes Straussgras
agroru	Agrostide des rochers	Felsen-Straussgras
alchpa	Alchémille pâtissante	
aliape	Alliaire officinale	Knoblauchhederich
alysal	Passerage Faux-Alysson	Gemeines Steinkraut
amelov	Amélanchier (à feuilles ovales)	Gemeine Felsenbirne
anemne	Anémone des bois, Anémone Sylvie	Busch-Windröschen
angesy	Angélique des bois	Wilde Brustwurz
antedi	Antennaire dioïque	
antxor	Flouve odorante, Flouve à épi ovale	Gemeines Ruchgras
anthvu	Anthyllide	
aphymo	Aphyllante de Montpellier	
aquivu	Ancolie vulgaire	Gemeine Akelei
arabau		
arabce		
arabpa	Arabette glauca	Armbütige Gänsekresse
arabso	Arabette de Soyer-Willemet	Bach-Gänsekresse
arabtu	Arabette Tourette	Turm-Gänsekresse
areni	Sabline de Lozère	
argyza	Argyrolobe de Zanon	
arisp	Aristolochie pistoloche	Rundknollige Pfeifenblume
arrhel	Flouve / Avoine élevé	Glatthafer
arteab	Absinthe	
arteca	Armoise	Feld-Beifuss
aspaac	Aspérge sauvage, A. à feuilles pointues	Stechender Spargel
aspecy	Aspérule à l'équinancie	Hügel-Waldmeister
asplad	Capillaire noire, Asplenium Adiantum Noir	Schwarzstieliger Streifenfarn
asplon	Asplenium onopteris L.	Spitzer Streifenfarn
aspltr	Capillaire des murailles, Doradille chevelu	Braunstieliger Streifenfarn
astgmo		
astrma	Grande Astrante	Grosse Sterndolde
athydi	Athyrium des Alpes	Alpen-Waldfarn
athyfi	Athyrium Fougère-femelle	Wald-Frauenfarn
betupe	Bouleau verveux (blanc), Bouleau pleureur	Hängebirke, Weissbirke
biscla	Lunetière lisse	Gemeines Brillenschötchen
bitubi	Trèfle bitumineux	Asphaltklee
botrlu	Botryche lunaire	Gemeine Mondraute
bracre	Brachypode rameux	
bracsy	Brachypode des forêts	Wald-Zwencke
brizme	Brize intermédiaire	Gemeines Zittergras
brizmi	Petite Brize	
bromst	Brome stérile	
bryodi	Bryone dioïque	Zweihäsige Zaurübe
buplfa		
buplfr	Buplèvre épineux	Strauchiges Hasenohr
buxuse	Buis	Buchsbaum
caluvu	Callune	Heidekraut
caltpa	Populage / Caltha	Sumpf-Dotterblume
camper		
campla	Campanule à feuilles lancéolées	
camppe	Campanule à feuilles de pêcher	Pfirsichblättrige Glockenblume
campro	Campanule à feuilles rondes	Rundblättrige Glockenblume
campsc	Campanule de Scheuchzer	Scheuchzers Glockenblume
careec	Laïche en petite étoile	Igelfrüchtige Segge
careha	Carex de Haller	Hallers Segge
carepi	Laïche à pilules	Pillenträgende Segge
carede	Laïche appauvrie	

code	nom vernaculaire	nom allemand
carlat	Carlina à feuilles d'acanthé	Akanthusblättrige Eberwurz
carlac	Carlina sans tige	Silberdistel
carlvu	Carlina commune	Golddistel
castsa	Châtaigner	Eßkastanie, Edelkastanie
cataaq	Catabrose aquatique	Quellgras
centja	Centauree jacée	Wiesen-Flockenblume
centpa	Centauree en panicule	Rispige Flockenblume
centpe	Centauree pectinée	
center	Petite-Centauree	Echtes Tausendgüldenkraut
cephda	Céphalanthère blanche, blanchâtre ou pâle	Weisses Waldvögelein
cephlo	Céphalanthère à feuilles étroites	Langblättriges Waldvögelein
ceprle		
cerafo	Céraiste commun	Gewöhnliches Hornkraut
ceragl	Céraiste aggloméré	Knäuel-Hornkraut
cercll		
ceteof	Céterach officinal	Schriftfarn, Milz-Farn
chenbo	Chénopode Bon-Henri	Guter Heinrich
chrpop	Dorine à feuilles opposées	
cirsac	Cirse sans tige	Stengellose Kratzdistel
cirser	Cirse laineux	Wollköpfige Kratzdistel
cirspa	Cirse des marais	Sumpf-Kratzdistel
cirsvu	Cirse commun	Gemeine Kratzdistel
cistla	Ciste à feuilles de Laurier	Lorbeerblättrige Zistrose
clemal		
clemfl	Clematite brûlante, Clématite Flammette	Mandel-Waldrebe
clemvi	Clématite Vigne-Blanche	Walrebe
clinvu	Calament clinopode	Wirbeldost
coluar	Baguenaudier	(Gewöhnlicher) Blasenstrauch
conoma	Conopode dénudé	
conopy		
convar	Liseron des champs	
convca	Liseron de Biscaye	
cornsa	Cornouiller sanguin	Roter Hartriegel
coromi	Petite coronille	Kleine Kronwicke
coryav	Coudrier, Noisetier	Haselnuss
cotone	Cotonéaster tomenteux	Filzige Steinmispel
cratla	Aubépine épineuse	Gemeiner Weissdorn
cratmo	Aubépine monogyne	Eingriffeliger Weissdorn
crocnu	Safran / Crocus à fleurs nues	
crucgl	Gaillet de printemps	Frühlings-Kreuzlabkraut
cruclo	Croisette commune, Croisette velue	Gewöhnliches Kreuzlabkraut
cynoof	Cynoglosse officinale, langue de chien	Gebräuchliche Hundszunge
cytnhy	Cytinet	
cytsse	Cytise à feuille sessile	Italienischer Geißklee
cytior	Cytise (Genêt) purgatif	
cytisc	Genêt à balais	Besenginster
dactgl	Dactyle aggloméré	Wiesen-Knäuelgras
daphgn	Daphne gnidium, Daphné Garou	Herbst-Seidelbast
daphla	Lauréole, Laurier des bois	Lorbeer-Seidelbast
daphme	Bois Joli, Morillon, Daphné Bois-Gentil	Gewöhnlicher Seidelbast
descfl	Canche flexueuse	Draht-Schmiele
diande	Œillet à tige pubescente	Heide-Nelke
dianhy	Œillet de Montpellier	Montpellier-Nelke
dianpy		
digilu	Digitale jaune	Gelber Fingerhut
dorype	Dorycnie (Badasse)	
dryaoc	Dryade à huit pétales	Silberwurz
dryoca	Dryopteris de la Chartreuse	dorniger Wurmfarn
dryofi	Dryopteris fougère-male, Fougère mâle	Gemeiner Wurmfarn
endrpy		
epikpy	Angélique des Pyrénées, Sétin des Pyrénées	
epilan	Épilobe en épi	Wald-Weidenröschen
epildu	Épilobe de Durieu	Durieux Weidenröschen
epilmo	Épilobe des montagnes	Berg-Weidenröschen
epilpa	Épilobe des marais	Sumpf-Weidenröschen
epipmi	Épipactis à petites feuilles	schmalblättrige Sumpfwurz
equisy	Prêle des forêts	Wald-Schachtelhalm
erodgr		

code	nom vernaculaire	nom allemand
erynca	Panicaut des champs	Feld-Mannstreu
euoneu	Fusain d'Europe	Pfaffenhütchen
euphch	Euphorbe Characias	
euphcy	Euphorbe Petit-Cyprès	Zypressenwolfsmilch
euphhy	Euphorbe d'Irlande	
euphni	Euphorbe de Nice	
euprhi	Euphrase hérissée, Euphrase un peu hérissée	Zottiger Augentrost
euprmi	Petite Euphrase	Zwerg-Augentrost
fagusy	Hêtre	Rotbuche
festes	Gispet, Fétuque Eskia	
festga	Fétuque de Gautier	
festpa	Fétuque paniculée, Coutille, Queyrelle	Gelber Schwingel
festru	Fétuque rouge	Roter Schwingel / Rotschwingel
ficuca	Caprifiguier	Feigenbaum
filiul	Reine des prés, Filipendule	Moor Geissbart
fragve	Fraisier des bois	Wald-Erdbeere
fraxex	Frêne	Esche
fumaer	Fumana Fausse-Bruyère	Aufrechtes Heideröschen
fumapr	Fumana couché	Niederliegendes Heideröschen
galepy		
galiap	Gaillet gratteron	Kletten-Labkraut
galiar	Gaille aristé	Begranntes Labkraut
galigl		
galima	Gaillet maritime	
galimo	Gaillet commun	Wiesen-Labkraut
galiod	Aspérule odorante, Gaillet odorant	Echter Waldmeister
galipu	Gaillet nain	Niedriges Labkraut
galiro	Gaillet à feuilles rondes	Rundblättriges Labkraut
galiul	Gaillet aquatique	Moor-Labkraut
galive	Gaillet vrai	Echtes Labkraut
genian	Genêt d'Angleterre	Engl. Ginster, Steckelheide
genisa	Genêt sagitté	Flügelginster
genisc	Genêt scorpion	
gentlu	Gentiane jaune	Gelber Enzian
gentpn		
gerapr	Géranium des prés	Wiesen-Storchschnable
geraro	Géranium Herbe à Robert	Ruprechtskraut
gerart	Géranium à feuilles rondes	
global		
globbi	Globulaire ponctuée	Gemeine Kugelblume
goodre	Goodyère rampante	Moosorchis
gymndr	Gymnocarpium dryoptéris	Eichenfarn
gymnro	Gymnocarpium Herbe à Robert	Ruprechtsfarn
hedehe	Lièrte grimpanche	Efeu
heliap	Helianthème des Apennins	Apennin-Sonnenröschen
helinu	Hélianthème nummulaire	Gemeines Sonnenröschen
helioe	Hélianthème blanchâtre	Graufilziges Sonnenröschen
hltcse	Avoine de montagnes	
hellfo	Hellebore fétide	Stinkende Nieswurz
hellvi	Hellebore verte	Grüne Nieswurz
hepano	Hépatique à trois lobes, Anémone Hépatique	Leberblümchen
hierce		
hiermu	Epervière des murs	Mauer-Habichtskraut
hierpi	Epervière piloselle, Piloselle	Kleines Habichtskraut
hippco	Comosa, Hippocrévide chevelue	Schopfiger Hufeisenklee
hippem	Coronille arbrisseau	Strauchwicke, Strauchige Kronwicke
homoal	Homogyne des Alpes	Alpenlattich
hypehy		
hypema	Millepertuis maculé	Geflecktes Johanniskraut
hypepe	Millerpertuis perforé	Gemeines Johanniskraut
iberse	Ibérisme toujours vert	Immergrüner Bauernsenf
ilexaq	Houx	Stechpalme
impeos	Impératoire, Peucedant ostruthium	Meisterwurz
jasimo	Jasione des montagnes	Berg-Jasione
jasmfr	Jasmin (arbrisseau)	Strauchiger Jasmin
juglre	Noyer commun	Walnussbaum
juncac	Jonc à fleurs (ou tépales) aigues	Spitzblütige Binse
juncal	Jonc alpin, Jonc articulé des Alpes, Jonc des Alpes	Alpen-Binse

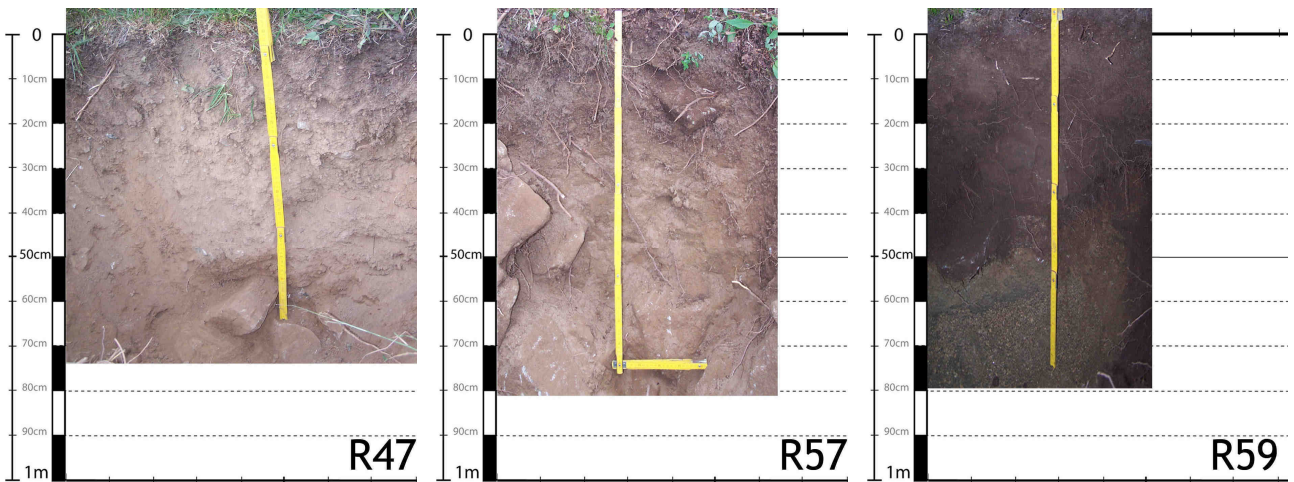
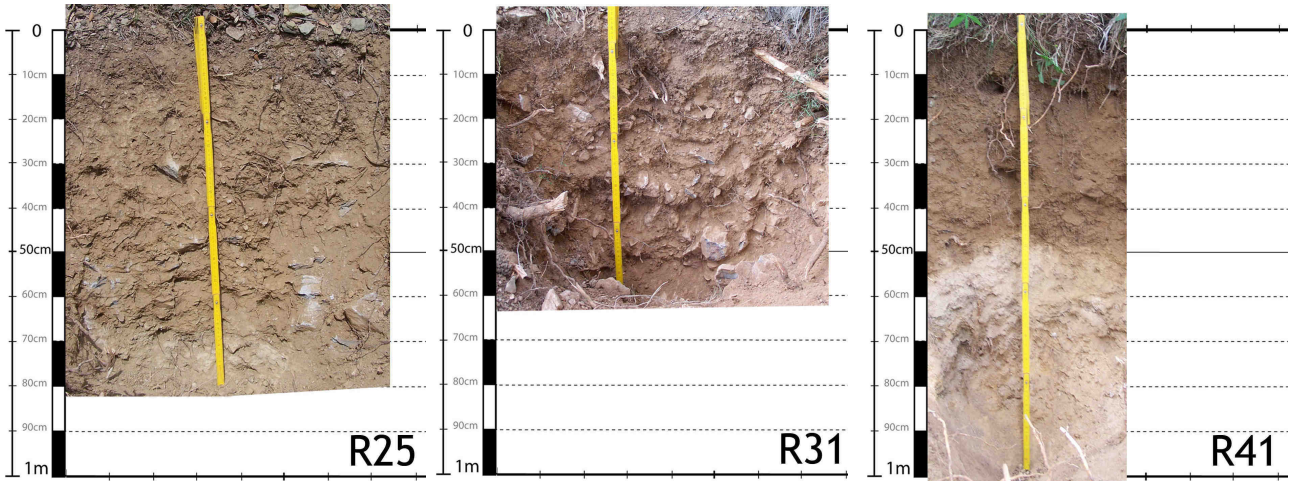
code	nom vernaculaire	nom allemand
juncco	Jonc aggloméré	Knäuel-Binse
juncef	Jonc épars, Jonc diffus	Flatter-Binse
junctr		
junico	Genévrier commun	gemeiner Wacholder
junisi	Genévrier nain	Zwerg-Wacholder
knauma	Knautie à feuilles de cardère, Knautie des bois	Wald-Witwenblume
knauti	Knautie des collines, Knautie du Midi ou pourpre	Purpur-Witwenblume
lactpe	Laitue vivace	Blauer Lattich
lasene		
lasesi	Laser siler	Berg-Laserkraut
lathap	Gesse sans feuille	Ranken-Platterbse
lathli		
lathni	Gesse sans vrilles	Gras-Platterbse
lathpr	Gesse des près	Wiesen-Platterbse
lathsy	Gesse des bois	Wald-Platterbse
lathve	Gesse de printemps	Frühlings-Platterbse
laurno	Laurier (noble)	(Edel-)Lorbeer
lavala	Lavande à large feuilles	
lavast	Lavande des maures (stoechas), Lavande à toupet	Schopflavendel
leonau	Liondent d'automne	Herbst-Milchkraut
leonhi	Liondent hispide	Steifhaariges Milchkraut
leonpy		
leusal	Marguerite des Alpes	Alpenmargerite
leucvu	Margerite	Gemeine Margerite
leuzco	Leuzée conifère	
liguvu	Troène commun	Gemeiner Liguster, Rainweide
lilima	Lis Martagon	
linare	Linaire striée	Gestreiftes Leinkraut
linuna	Lin de Narbonne	Südfranzösischer Lein
lonial	Chèvrefeuille des Alpes	Alpen-Heckenkirsche
loniet	Chèvrefeuille étrusque, Chèvrefeuille d'Étrurie	Etruskisches Geißblatt
loniim	Chèvrefeuille de Baléares	Windendes Geißblatt
lonipe	Chèvrefeuille des bois (periclymène)	Waldgeißblatt
lonipy	Chèvrefeuille des Pyrénées	
lonixy	Camérisier à balais	Beinholz
lotual	Lotier des Alpes	Alpen-Hornklee
lotuco	Lotier commun	Gemeiner Hornklee
lotupe	Lotier des marais, Lotier des fanges	Sumpf-Hornklee
luzuca	Luzule des champs	Feld-Hainsimse
luzufo	Luzule de Forster	Forsters Hainsimse
luzulu	Luzule blanche, blanchâtre ou des bosquets	Weissliche Hainsimse
luzuni	Luzule blanc-de-neige, Luzule couleur de neige	Schneeweisse Hainsimse
luzunu	Luzule penchée	
luzusy	Luzule des forêts	Wald-Hainsimse
medisa		Saat-Luzerne
medisu	Luzerne	
melapr	Mélampyre des près	Heide-Wachtelweizen
melasy	Mélampyre des forêts	Wald-Wachtelweizen
meliun	Mélique uniflore, Mélique à une fleur	Einblütiges Perlgras
mentar	Menthe des champs	Acker-Minze
mentlo	Menthe à longues feuilles	Ross-Minze
mentpu	Menthe pouliot	Polei-Minze
meumat	Fenouil des Alpes	
milief	Millet étalé	Wald-Hirse
moehtr	Moehringie à trois nervures	Dreinerlige Nabelmiere
molica	Molinie bleue, Canche bleu	Blaues Pfeifengras
monohy	Monotrope sucepin	Fichtenspargel
montfo	Montie des sources	Bach-Quellkraut
muscco	Muscari à toupet, Muscari chevelu	Schopfige Bisamhyazinthe
mycemu	Laitue des murs	Mauterlattich
myosar		
myossc	Myosotis des marais, Myosotis Queue-de-Scorpion	Sumpf-Vergissmeinnicht
nardst	Nard (raide)	Borstengras
omalno	Gnaphale de Norvège	Norwegisches Ruhrkraut
omalsy	Gnaphale des bois	Wald-Ruhrkraut
ononna	Bugrane jaune	Gelbe Hauhechel
origvu	Origan vulgaire, Marjolaine sauvage	Dost
orobgr	Orobanche grêle	Schlanker Würger

code	nom vernaculaire	nom allemand
osyral	Osyris blanc	Honigduftender Rutenstrauch
oxalac	Oxalide, petite oseille	Wald-Sauerklee
philan	Filaire à feuilles étroites	Schmalblättrige Steinlinde
philla	Filaire à larges feuilles	Breitblättrige Steinlinde
philme		
phleal	Fléole des Alpes	Alpen-Lieschgras
phlepr	Fléole des près	Wiesen-Lieschgras
phytsp	Raiponce en épi	Ährige Rapunzel
piceab	Epicéa commun, Sapin rouge	Fichte, Rottanne
pimpsa	Boucage saxifrage	Kleine Bibernelle
pinuni	Pin noir d'Autriche	Schwarz-Kiefer
pinusy	Pin sylvestre	"Waldkiefer" Rotföhre
pinuun	Pin à crochets	Berg-Föhre
pistte	Térébinthe	Terpentin-Pistazie
planho	Plantain carené	Kiel-Wegerich
planla	Plantain lancéolé	Spitzwegerich
poaxch	Pâturin de Chaix	Chaix' Rispengras
poaxne	Pâturin des bois, Pâturin des forêts	Hain-Rispengras
polaal	Polygale alpestre, Polygala des Alpes	Voralpen-Kreuzblume
pogobi	Renouée bistorte	Schlagen-Knöterich
popovu	Polypode vulgaire, Polypode commun	Gemeiner Tüpfelfarn
postlo	Polystic en fer de lance	Lanzenfarn
popuni	Peublier noir	Schwarzpappel
potear	Potentille argentée	
potecr	Potentille de Crantz	Crantz' Fingerkraut
poteer	Tormentille, Potentille dressé	Gemeiner Tormentill
potemi	Potentille à petites fleurs	Kleinblütiges Fingerkraut
potere	Potentille rampante	
prenpu	Préanthe pourpre	Hasenlattich
primve	Primevère vraie	Frühlings-Schlüsselblume
prungr	Brunelle à grandes fleurs	Grossblütige Brunelle
prunha	Brunelle à feuilles hastées	
prunav	Merisier (Guignier), Cerisier des oiseaux	Vogelkirsche, Wildkirsche
prunma	Cerisier de Sainte-Lucie, Cerisier odorant	Felsenkirsche; Stein-Weichsel
prunsp	Prunellier (épineux) commun	Schwarzdorn
pteraq	Fougère aigle	Adlerfarn
queril	Chêne vert, Yeuse	Steineiche, Grüneiche
querpe	Chêne sessile, Chêne rouvre	Traubeneiche, Dureiche, bergeiche
querpu	Chêne pubescent, Chêne blanc	Flaum-Eiche
ranuac	Renoncule à feuilles d'aconit	Eisenhutblättriger Hahnenfuß
ranupa	Renoncule à feuilles de parnassie	Herzblatt-Hahnenfuß
reseph	Réseda raiponce	Rapunzel-Reseda
rhamat	Neprun Alaterne	Immergrüner Kreuzdorn
rhamal	Neprun des Alpes	Alpenkreuzdorn
rhamsa	Neprun des rochers	Felsen-Kreuzdorn
rhinan	Rhinanthe à feuilles étroites	Schmalblättriger Klappertopf
rhodfe	Rhododendron ferrugineux	Rostblättrige Alpenrose
ribeal	Groseiller des Alpes	Alpenribisel, Alpen-Johannisbeere
robips	Robinier faux-acacia	Robinie, Silberregen
rosaca	Eglantier (Rosier des chiens / de Pouzin)	Hundsrose, Heckenrose
rosapi	Rosier pimprenelle	Bibernellrose reichstachelige R
rosaru	Rosier rouillé, Eglantier rouge ou couleur de rouille	Weinrose
rubipe	Garance (voyageuse), Gaillet gratteron	Levantine Krappwurzel
rumeac		
rumeal	Rumex petite oseille	Kleiner Sauerampfer
rumesc	Rumex à écussons	Schmildblättriger Ampfer
ruscac	petit Houx, Fragon épineux, Fragon Faux-Houx	Mäusedorn
salica	Saule marsault, Marsaule, Saule des chèvres	Salweide, Palmweide
saliel	Saule drapé	Grauweide, Lavelweide
sangmi	Petite pimprenelle, Sanguisorbe	Kleiner Wiesenknopf
sangof	Pimprenelle officinale	Grosser Wiesenknopf
sapoc	la Saponaire Faux-Basilic	Rotes Seifenkraut
saxiop		
saxipa	Saxifrage en panicules, Saxifrage paniculée	Trauben-Steinbrech
saxiro	Saxifrage à feuilles rondes	Rundblättriger Steinbrech
scabco	Scabieuse colombaire	Gemeine Skabiose
seduru	Orpin des rochers	Felsen-Mauerpfeffer
seduse	Sedum de Nice (sédiforme), Orpin de Nice	Nizza-Mauerpfeffer

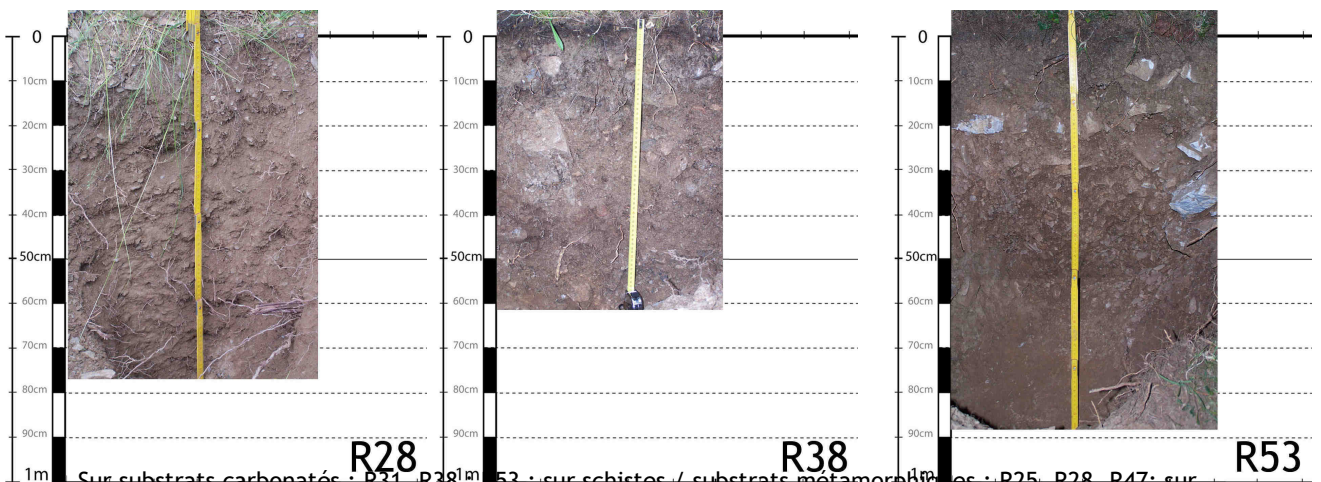
code	nom vernaculaire	nom allemand
sempmo	Joubarbe des montagnes	Berg-Hauswurz
senead	Séneçon à feuilles d'Adonis	
senein	Séneçon sud-africain	Südafrikanisches Greiskraut
senepy	Séneçon des Pyrénées	
serrti	Serratule des teinturiers	Färber-Scharte
seslca	Seslérie blanchâtre / bleue	Kalk-Blaugras
sherar	Shérardie des champs	
sileac	Silène acaule	Kalk-Polsternelke
sileci		
silenu	Silène penché	Nickendes Leimkraut
sileru	Silène des rochers	Felsen-Leimkraut
silesa	Silène Saxifrage	
silevu	Silène enflé, Taquet, Patard, Cornillet	Gemeines Leimkraut, Traubenkropf
smilas	Salsepareille d'Europe	Stechwinde
solivi	Solidage verge d'or	Echte Goldrute
sorbar	Alisier blanc, Allouchier	Mehlbeerbaum, Weisslaub
sorbau	Sorbier des oiseleurs	Eberesche, Vogelbeerbaum
sorbdo	Cormier, Sorbier domestique	Sperierling, Spierapfel
stacof	Epiaire ou Bétonie officinale	Gebräuchliche Bétonie
stelho	Stellaire holostée	Grossblumige Sternmiere
tamuco	Tamier commun	Schmerwurz
taraal	Pissenlit des Alpes	Alpen-Kuhblume, Alpen-Löwenzahn
taraof	Pissenlit	Löwenzahn
tarapy		
teucau		
teucch	Germandrée Petit-Chêne (officinale)	Echter Gamander
teucsc	Germandrée scorodoine	Salbei-Gamander
thalmi	Petit pigamon	Kleine Wiesenraute
thesal	Thésium des Alpes	
thespy		
thylsa		
thymse	Serpolet	Feld-Thymian
thymvu	Thym	Garten-Thymian
tofica	Tofieldie à calicule	Kelch-Liliensimse
tragpr	Salsifides des près	Wiesen-Bocksbart
trifal	Trèfle des Alpes, Réglisse de montagne	Alpen-Klee
trifar	Trèfle des champs	Hasen-Klee
trifme		
trifmi		
trifmo	Trèfle des montagnes	Berg-Klee
trifpr	Trèfle des près	Rot-Klee
trifre	Trèfle rampant	Kriechender Klee
trifsp	Trèfle marron	Brauner Moor-Klee
ulmumi	Orme champêtre	Feld-Ulme
umbiru	Nombriil-de-Vénus commun	
urtidi	Grande Ortie	Grosse Brennnessel
vaccmy	Myrtille	Heidelbeere, Blaubeere
vaccul	Airelle des marais	Moorbeere
valeap	Valériane à feuilles de globulaire	
valemo	Valériane des montagnes	Berg-Baldrian
valeof	Valériane	
valepy	Valériane des Pyrénées	Pyrenäen-Baldrian
veraal	Verâtre blanc	Weisser Germer
verobe	Cresson de cheval, Véronique Fausse-Pâquerette	Bechabunga-Ehrenpreis
verofr	Véronique sous-ligneuse, Véronique des rochers	Halbstrauchiger Ehrenpreis
veromo	Véronique des montagnes	Berg-Ehrenpreis
verooof	Véronique officinale	Gebräuchlicher Ehrenpreis
verose	Véronique à feuilles de serpolet	Quendelblättriger Ehrenpreis
verour	Véronique à feuilles d'ortie	Nesselblättriger Ehrenpreis
vibula	Viorne Lantane	Wolliger Schneeball, Schlingstrauch
vicicr	Vesce cracca	Vogel-Wicke
vicion	Vesce Faux-Sainfoin	Esparetten-Wicke
vicise	Vesce des haies	Zaun-Wicke
vinchi	Dompte-Venin	Gewöhnliche Schwalbenwurz
violdi	Pensée de Lapeyrouse	
violpa	Violette des marais	Sumpf-Veilchen
violtr	Pensée tricolore	Feld-Stiefmütterchen
vitivi	Vigne	Europäische Weinrebe

Images des sols

Exemples de sols bruns (Braunerden)

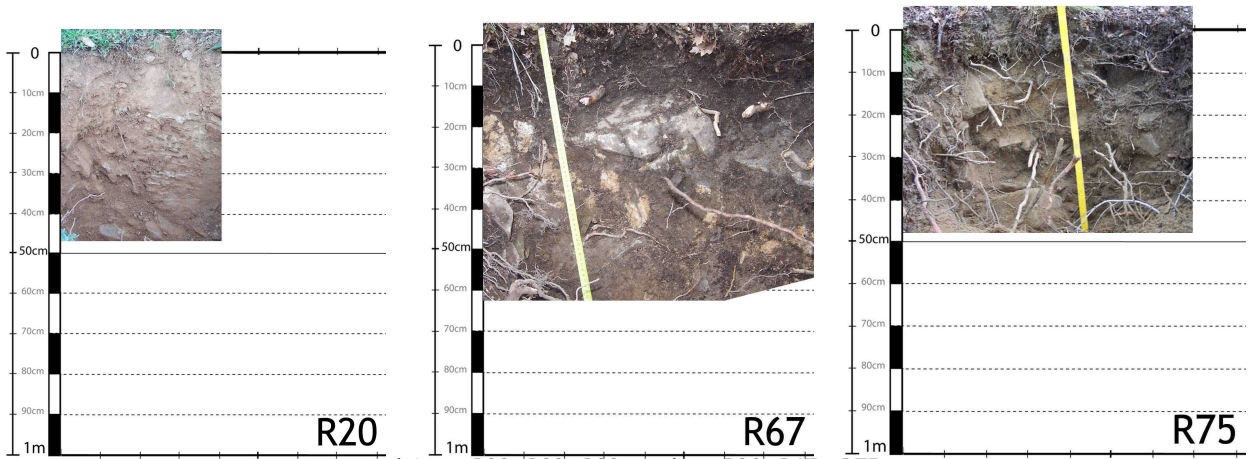
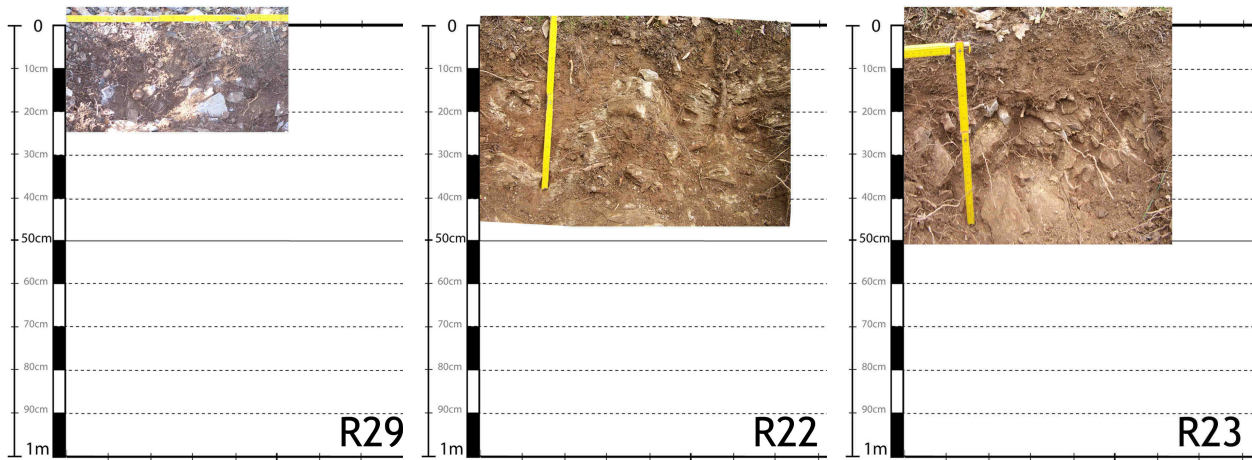


Exemples de sols (bruns) colluviaux (Kolluvisole)



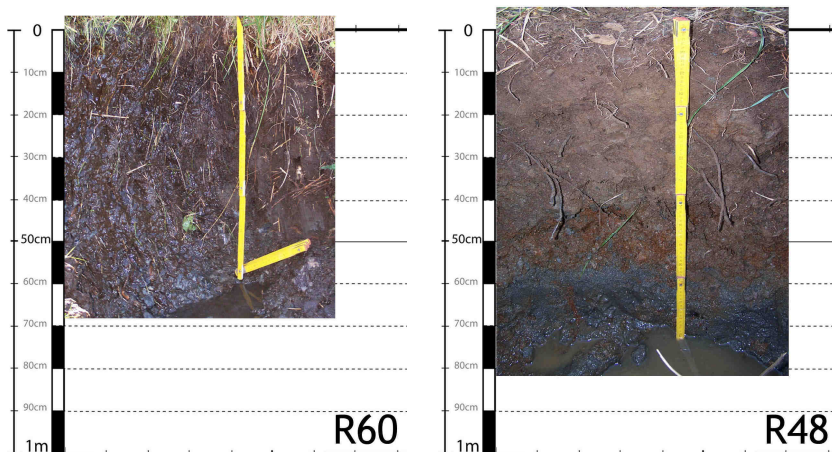
Sur substrats carbonatés : R31, R38, R53 ; sur schistes / substrats métamorphiques : R25, R28, R47; sur substrats granitoïdes : R41, R57, R59

Les sols superficiels (rendzines et rankers)



rendzines: R29, R22, R23, rankers R20, R67 ; R75

Les sols hydromorphes



Deutsche Kurzfassung

(Résumé substantiel allemand)

Hinweis : Die Zusammenfassung orientiert sich weitgehend an den Hauptkapiteln der französischen Version, stellt aber keine direkte Übersetzung dar. Quellenverweise, Daten und Illustrationen sind im französischen Originaltext angeführt.

Einführung (présentation)

Die dem Blick offensichtlich erscheinende Landschaftsdiversität drückt sich in den durch die Dynamik der ökologischen und physischen Prozesse sowie durch kulturelle Überprägung überformten Landschaftsmustern aus. Räumliche Disparitäten in der Landschaft stellen bevorzugte geographische Objekte dar und bieten interessante Perspektiven zur Untersuchung der Interaktionen der Gesellschaft mit ihrer Umwelt und für ein nachhaltiges Umwelt- und Landschaftsmanagement.

Die sich in der Umwelt manifestierende Raumdiversität kann aus geographischer Sicht als Landschaftsdiversität oder auch als Geodiversität verstanden werden, je nachdem welche Definitionen man in Betracht zieht und welche Konzepte mit diesen Definitionen verbunden werden. Dabei kann man beobachten, dass die Begriffe im deutschen, französischen und englischen Sprachraum und in verschiedenen Wissenschaftsgemeinschaften meist eine sehr ähnliche Bedeutung aufweisen; teilweise werden aber auch signifikante Unterschiede und abwechselnde hierarchische Einordnungen deutlich.¹⁴⁷ Beide Begriffe werden im Kontext des Landschafts- und Naturschutzes und in der Raumplanung angewendet, aber nicht immer eindeutig definiert. Aufgrund der begrifflichen Nähe von Landschafts- und Geodiversität zur Biodiversität stellt sich unter anderem auch die Frage einer sinnvollen Anwendung der beiden Konzepte im internationalen Schutzgebietsmanagement.

Aus diesem Grund orientiert sich die Arbeit an einer theoretischen Betrachtung der beiden Begriffe, die als Grundlage einer empirischen Studie zur Geodiversität - angewendet am Madres-Coronat-Massiv in den Ostpyrenäen - dienen soll. Geodiversität im Sinne vieler französischer Autoren kann im Sinne der meisten deutschsprachigen und englischsprachigen Autoren auch als Landschaftsdiversität aufgefasst werden (siehe auch Kapitel 1.2.3 und 1.2.4). Insbesondere wird mit der Wahl des Begriffes „Geodiversität“ vermieden, mit dem in der französischen Geographie eher subjektiven Landschaftsbegriff zu kollidieren. Als globales Konzept einer Diversität der Geosphäre (und somit geographische Auslegung der Raumdiversität an der Erdoberfläche) handelt es sich um eine andere Geodiversität als die auf abiotische Komponenten begrenzte Geodiversität, wie

¹⁴⁷ Dies liegt unter anderem daran, dass auch die sowohl in englischer, deutscher und französischer Sprache geläufigen Grundbegriffe Umwelt, Landschaft, Natur, Geosystem nicht immer auf die gleiche Weise benutzt und verstanden werden und einige Begriffe sich nur schwer von einem Sprachraum in den nächsten übersetzen lassen. Ein Beispiel stellt das „milieu (naturel)“ dar, das je nach Kontext als Standort im physiogeographischen oder ökologischen Sinn, Umwelt im weiteren Sinn oder Lebensraum im biologischen Sinn interpretiert werden kann. Dabei handelt es sich um nicht ganz einwandfreie Übersetzungen, da es sich eher um konkrete und relativ homogene „Landschaftsausschnitte“ verschiedener Dimensionen handelt (siehe Kapitel 1.3.1)

sie oft von Geologen und auch Landschaftsökologen verstanden wird. Die Geodiversität wird somit als Diversität der materiellen, physischen Landschaft oder der „*milieux naturels*“¹⁴⁸ begriffen, die sowohl biotische, abiotische als auch anthropogene Komponenten mit einbezieht. Eine geographische Studie zur Landschaftsdiversität („*diversité paysagère*“) im französischen Sprachraum käme kaum umhin, auch kulturelle, ästhetische, soziale Gesichtspunkte der Diversität und insbesondere ihre subjektive Wahrnehmung in Betracht zu ziehen.

Da sich eine empirische Studie der Geodiversität im Rahmen einer Dissertation selbstverständlich nicht mit der gesamten Raumdiversität der Erdoberfläche beschäftigen kann, stellt sich die Frage, wie sich die Geodiversität eines Gebietes effizient beschreiben lässt. Hierzu ist eine Systembetrachtung nützlich, die impliziert, dass die Beschreibung der Landschaftsstruktur als partielle Studie der Geodiversität auch die Prozesse und die Dynamik in der Landschaft widerspiegelt. Als Grundfrage erscheint demnach, ob die Beschreibung der morphologischen Geodiversität - also der Physiognomie der materiellen Landschaft - auch geoökologische Prozesse widerspiegeln kann.

Die Beschreibung und „Messung“ der Geodiversität bezieht sich im Rahmen der vorliegenden Arbeit mit dem materiellen Aufbau der „*milieux naturels*“, die man - stark vereinfacht - als Landschaftseinheiten übersetzen kann (siehe Fußnote). Die Struktur und die Inhalte der Landschaftseinheiten bieten die Möglichkeit einer Messung der Diversität. Wenn man davon ausgeht, dass die Phytodiversität (die Artendiversität der Vegetation, also eine Form der Biodiversität) als auch die Diversität der Böden (die man als Boden- oder Pedodiversität bezeichnen könnte) in einer allgemeinen Interpretation der Geodiversität inbegriffen sind bzw. sich mit letzterer überschneiden, stellt sich die Frage, ob der morphologische Aufbau der „*milieux naturels*“ (als eine Form der Geodiversität) mit der Biodiversität in Beziehung steht. Als Leithypothese wird davon ausgegangen, dass dies der Fall ist. Im Zusammenhang mit Umwelt - und Landschaftsschutz als potentiellem Anwendungsgebiet ist es von Interesse, ob sich aus der morphologischen Geodiversität somit auch geoökologische Parameter erschließen lassen.

Die Arbeit behandelt in einem ersten Teil relativ ausführlich die Definitionen, Quellen, Vorstellungen und Grundlagen zu den Begriffen Landschaftsdiversität und Geodiversität, die in den drei erwähnten Sprachräumen anzutreffen sind und zum Verständnis der Geodiversität beitragen, um sich anschließend mit einer stufenweisen Konzeptualisierung der morphologischen Geodiversität im Rahmen einer Systembetrachtung zu befassen, und schließlich die Basis einer Messmethode dieser so konzipierten Geodiversität zu erstellen.

¹⁴⁸ Als „*milieux naturels*“ wird in der französischen Geographie im Allgemeinen die konkrete, mehr oder minder natürliche Umwelt beschrieben (im Gegensatz zu dem sehr allgemeinen Begriff „*environnement*“ der dem englischen „environment“ und dem deutschen „Umwelt“ eher entspricht), die sich, wie es der Plural von „milieu“ andeutet, auf ein gewisse Menge verschiedener Typen von Räumen in, denen die natürlichen Prozessen dominieren, bezieht; die jedoch durchaus anthropogen mehr oder minder stark überformt sein können. Aus diesem Grund wird auf das „naturel“ inzwischen meist ganz verzichtet, oder man fügt „*dit naturel*“ an um es vom sozialen Milieu zu unterscheiden. Ein „milieu (naturel)“ ist relativ dimensionlos und kann somit sowohl ein Biom als auch einen Lebensraum oder einen ganz konkreten Standort bezeichnen, der gleichzeitig Biozönose und Biotop charakterisiert ohne ein rein biologisches Konzept darzustellen. Die „*géographie physique*“ betrachtet die „*milieux naturels*“ als ihr Studienobjekt „par excellence“ und in diesem Sinne bestehen die *milieux „dits“ naturels* gleichzeitig aus biotischen abiotischen und eventuell auch anthropogenen Komponenten. In der vorliegenden Arbeit besitzen die „*milieux*“ eine topische bis chorische Größenordnung und werden als dreidimensionale Einheiten betrachtet. Eine Kombination verschiedener „milieux“ lokaler Größenordnung ergibt demnach das Landschaftsmuster („*mosaïque des milieux*“).

Das Untersuchungsgebiet wird in einem zweiten Teil vorgestellt, der es ermöglicht, durch eine klassische Beschreibung unter anderem auch mittels thematischer Karten eine Vorstellung von der Landschaftsdiversität des Madres-Coronat-Massivs zu gewinnen.

Der dritte Teil der Arbeit erläutert die praktische Umsetzung der Untersuchung der Geodiversität und geht auf die Methoden der Aufnahmeflächenauswahl, Geländeaufnahmen, Kartographie und der Datenauswertung ein.

Im vierten Teil werden die Ergebnisse der Auswertung der Gelände- und Kartierdaten vorgestellt, welche die Phyto-, Boden- und Geodiversität beschreiben und deren Zusammenhang erläutern.

Ein kurzer fünfter und letzter Teil diskutiert die Ergebnisse und liefert einen allgemeinen Ausblick zum Thema der Geo- und Landschaftsdiversität.

ERSTER TEIL - Hintergrund und Theorie

1.1 Problemstellung

Vor dem Hintergrund des Landschaftswandels und dem damit in Verbindung gebrachten Verlust der Biodiversität durch einen Verlust der Lebensräume stellt sich die Frage nach dem Zusammenhang zwischen Ökosystemdiversität und der auf den ersten Blick scheinbar leichter zu erfassenden Landschaftsdiversität. Dabei kristallisiert sich heraus, dass sich die Konzeptionen der Landschaftsdiversität offensichtlich sehr unterscheiden; je nachdem ob man - vereinfacht zusammengefaßt - die Landschaft und ihre Diversität aus einem ökologischen Blickwinkel als (quasi) Synonym der Ökosystemdiversität oder im allgemeineren Sinn als die sich aus dem Landschaftsbild erschließende Diversität betrachtet. Es bleibt auch zu erwähnen, dass eine ausschließlich ökologische Zuordnung dem Ausmaß des vieldiskutierten Landschaftsbegriffs und den vielfältigen Funktionen der Landschaft nicht unbedingt gerecht wird. Im Zusammenhang mit der immer weiteren Verbreitung des Begriffs der Landschaftsdiversität im Kontext des Natur- und Landschaftsschutzes läßt diese oft fehlende Zuordnung zu Missverständnissen ein und fordert daher zu einer mehrsprachlichen Betrachtung des Begriffs auf. In der Geographie wurde und wird der Landschaftsbegriff viel diskutiert, und eine ausschließlich physische oder biozentrische Betrachtung ist gerade im französischen Sprachraum oftmals der Kritik ausgesetzt, da soziale Aspekte und die Wahrnehmung der Landschaft vernachlässigt werden.

Daraus ergibt sich die Frage, wie Landschaftsdiversität aufgenommen werden kann, wenn es sich nicht nur um eine höhere Organisationsebene der Biodiversität handeln soll. Tatsächlich erscheint eine komplette Aufnahme aller sozialen, physischen, ökologischen oder gar subjektiven Aspekte der Landschaftsdiversität schwer realisierbar und verlangt nach verschiedenen Aufnahmemethoden. Eine Teilbetrachtung einer „physiogeographischen“ Landschaftsdiversität, die sowohl biologische als auch physische und anthropogene Elemente der Landschaft mit einbezieht, jedoch soziale, historische oder wahrnehmungsspezifische Aspekte ausklammert - sich also mit einer physisch-materiellen Landschaft beschäftigt - kommt in diesem Sinne einer Studie zur Diversität der schon genannten „*milieux naturels*“ gleich.

Das im deutschen (und russischen) Sprachraum oft behandelte Thema der Landschaftsaufnahme dieser im Wesentlichen physischen Landschaft wird in der Geosynergetik,

Landschaftsforschung und Landschaftslehre oft mit dem Systembegriff assoziiert. Generell hat die Abstraktion der Landschaft im Geosystem-Modell den Vorteil, die Komplexität des Objekts durch die Beschreibung der interagierenden Elemente sowie die Zuordnung von Strukturen, Prozessen und Dynamiken der Systeme fassbarer zu machen. Die Landschaft als System kann in Teilsysteme, z.B. biotischer, abiotischer und anthropogener Natur zerlegt werden. Anstatt die Diversität des Systems nach klassischer Art in einer analytischen Betrachtung der Prozesse oder Strukturen der Teilsysteme zu untersuchen, ist im vorliegenden Fall allerdings eine andere Herangehensweise gewählt worden: Da die Summe der Teile in der Systembetrachtung nicht dem Ganzen entspricht und die Prozesse langwierig und messtechnisch intensiv sind und sich daher kaum vollständig untersuchen lassen, wird im vorliegenden Fall zu einer holistischen Beschreibung der Landschaftsstruktur gegriffen. Auch wenn es sich hier immer noch um eine Teilbeschreibung handelt, in der die Prozesse und Dynamik nicht direkt erfasst werden, so soll durch eine transdisziplinäre, integrative Beschreibung aller Objekte im Raum mit ein- und derselben Methode dem systematischen Ansatz gerecht werden. Die Diversität der Objekte sowie der Strukturen im Geosystem kann somit eine mögliche Form der „Geosystem-Diversität“ darstellen. Demnach taucht die Frage auf, ob man in diesem Fall nicht auch den im weiteren Sinne gebrauchten Geodiversitätsbegriff dem Landschaftsdiversitätsbegriff vorziehen sollte. Daraus ergibt sich wiederum die Frage nach der Abgrenzung dieser beiden Begriffe sowie der Objekte, die jeweils beschrieben werden. Außerdem wären auch andere Begriffe, wie z.B. Umwelt („*environnement*“) und Milieu („*milieux*“) für eine Beschreibung der Diversität denkbar.

„Was bedeutet Geodiversität?“ ist demnach die Eingangsfrage, bevor man sich Gedanken über die Art und Weise machen kann, wie Geodiversität aufzunehmen oder zu „messen“ ist. Die schon erwähnte Leitfrage, ob die im Raum sichtbaren „Formen“ (die Anordnung der Komponenten in der Raumstruktur) auch charakteristische abiotische, biotische oder anthropogene Prozesse abbilden - die ja zum Entstehen der Geodiversität beitragen - soll durch die angewandte Methode erläutert werden. Demnach war es für die Auswahl der Methoden erforderlich zu erläutern, wie biotische abiotische und anthropogene Komponenten simultan aufgenommen werden können, welche „Deskriptoren“ denn die Geodiversität charakterisieren können und welche Maßstäbe für eine Beschreibung der Geodiversität überhaupt in Frage kommen. Um die dreidimensionale Raumstruktur zu beschreiben bietet es sich an, sowohl die vertikale Struktur der Standorte (hier auch „*milieux*“, siehe Fußnote oben) als auch die horizontale Konfiguration der „*milieux*“ in der Landschaft zu charakterisieren. Die Geländeaufnahmen untersuchen somit die Komposition, die vertikale Struktur und die Stratifizierung der *milieux*, dazu ermöglicht eine Kartierung die horizontalen Strukturen der Landschaftseinheiten (hier *Geons*, „*géons*“) zu analysieren. Eine hypothetische Korrelation der Geodiversität mit der Phytodiversität kann natürlich nur im Maßstab der Standortaufnahme erfolgen, die eine direkte Gegenüberstellung der Daten erlaubt.

Somit ergibt sich eine induktive Grundlagenforschung zur auf Umwelt und Landschaft bezogenen Raumdiversität, die durch eine empirische Studie unterlegt wird und damit gleichzeitig methodische Aspekt zur Evaluierung der Geodiversität untersucht.

1.2 Die Begriffe Landschaftsdiversität und Geodiversität - Definitionen und Interpretation

Nach der Eingangsbetrachtung des Begriffs der Diversität ist eine Auseinandersetzung mit der von Métaillé und Bertrand (2006) diskutierten Definition erforderlich, welche die Geodiversität als ein Konzept auffasst, das - im Gegensatz zu Arbeiten englischer Verfassern - von französischen Autoren als „Diversität der *milieux* und Landschaften“ interpretiert würde und das sich aus der anthropogenen Überformung ergäbe. Die hieraus resultierende Divergenz zwischen einer „globalen“ und einer eher geophysikalisch, geologisch oder geomorphologisch ausgerichteten „abiotischen“ Geodiversität erfordert eine Betrachtung der in der Geographie oft gehandelten Diversität der Landschaften (im Deutschen auch Landschaftsvielfalt genannt).

Der Begriff der Landschaftsdiversität taucht gerade in europäischen Texten, wie in der von Deutschland nicht unterzeichneten *Europäischen Landschaftskonvention* oder der *pan-europäischen Strategie zur Landschafts- und Artenvielfalt* auf, was die Klärung der Frage nach einer allgemeinen oder international gängigen Auffassung der Landschaftsdiversität noch dringender erscheinen lässt. Somit werden die gängigen Interpretationen von *landscape diversity*, *Landschaftsdiversität* und *diversité paysagère* untersucht, die verdeutlichen, dass sie von der Interpretation des Landschaftsbegriffes an sich abhängen.

Obwohl er viel diskutiert und oft definiert wurde, erscheint der Landschaftsbegriff doch oftmals unscharf, da er unter anderem mit einer einfachen kartographischen Raumeinheit, einem hochkomplexen - von der Systemanalyse erforschem- Objekt oder mit einem die Sinne reizendes Landschaftsbild assoziiert wird. Da gerade in der französischen Geographie das Landschaftsbild und die sozialen Beziehungen zur Landschaft nur schwerlich von der „physisch-materiellen“ Landschaft trennbar sind, erschien es der Verfasserin problematisch, eine Studie der Diversität der Landschaft als realem Objekt (*paysage-objet*) - fernab von subjektiven und symbolischen Betrachtungen - im französischen Sprachraum als *diversité paysagère* zu definieren. Im deutschen und englischen Sprachraum kommt die hier vorgenommene Studie jedoch eher den oft üblichen Auffassungen der *Landschaftsdiversität* oder *landscape diversity* näher; was auch bestimmend für den Titel der Dissertation wurde, der beide Begriffe - Landschaftsdiversität und Geodiversität - beinhaltet.

Demnach war es unerlässlich, auch auf die im englischen und deutschen Sprachraum üblicheren Definitionen einer „abiotischen“ Geodiversität einzugehen und die Unterschiede in den Definitionen herauszuarbeiten. Dabei hat sich herausgestellt, dass recht allgemein gehaltene Interpretationen des Begriffs *geodiversity* schon bei Preston James (1972) und Pauli Karjaleinen (1986) auftauchen. Es bestätigt sich auch die These einer allgemeineren Auffassung der Geodiversität im französischen Sprachraum, wie sie gerade bei Pourtier (2003, 2004), Grenier (2000), Pumain (1999, 2005) oder Bertand (2005) zu finden sind. Dennoch ist neuerdings eine restriktivere Auffassung der Geodiversität als „Diversität der abiotischen Natur“ - gerade bei Geologen - auch im französischen Sprachraum zu beobachten.

Die Koexistenz verschiedener Interpretation der Geodiversität und der Landschaftsdiversität fordert somit zu einer Diskussion der hier benutzten Begriffe auf. Die bei Geographen schließlich nicht ganz unübliche, weit gefasste Betrachtung der Geodiversität im Sinne einer „geographischen Diversität“ wird somit als Diversität der Geosphäre *sensu lato*, also als Diversität an der Erdoberfläche begriffen. Die Landschaftsdiversität, die auch subjektive Betrachtungen, kulturelle

und soziale Aspekte sowie das Landschaftsbild einbeziehen sollte, ist unseres Erachtens auf den Landschaftsmaßstab begrenzt.

Um eine somit sehr „allgemeine“, „globale“ und „weit gefasste“ Geodiversität zu untersuchen und eine Studie der *géodiversité* der *milieux* und physisch-materiellen Landschaften klarer zu umreißen, wird hier zwischen einer „*diversité mésologique*“ (von *mesos*, Milieu) und einer „*diversité paysagique*“ (*paysagique*: die Landschaft betreffend) unterschieden.

1.3 Grundlagen, wissenschaftlicher und konzeptueller Hintergrund

Im vorliegenden Fall wird also eine Geodiversität untersucht, die sich auf den landschaftlichen und standörtlichen Maßstab begrenzt. Eine als Diversität der „*milieux naturels*“ und Landschaften („*diversité des milieux et paysages*“) eingegrenzte Geodiversität setzt sich demnach auch mit dem Charakter des „*milieux naturels*“ auseinander, die im Französischen - wenn auch oft so übersetzt - weder ausschließlich die Umwelt („*environnement*“) noch einzig und alleine die Lebensräume im biologischen Sinn darstellen. Hier kann unter anderem auf die Definition von Meynen (1985) verwiesen werden, in dem die *milieux* auch als konkrete Teile einer Landschaft aufgefasst werden können. Oft ist von - nicht immer sehr natürlichen - „*milieux naturels*“ die Rede, um diese von einem sozialen oder „geographischen“ Milieu zu unterscheiden. Forst, Heide, Ufervegetation, Schurwiese oder Blockhalden können somit als *milieux* oder Milieu-Typen (*types de milieu*) bezeichnet werden. Die räumliche Anordnung der *milieux* kann auch als Landschaftsmuster, *mosaïques des milieux* im Sinne der *land mosaics* (Forman 1995), verstanden werden.

Um die Komplexität der *milieux* und *paysages* zu untersuchen, werden außerdem der systematische Ansatz in den Umweltwissenschaften, der Systembegriff an sich und die „natürlichen“ Systeme „Ökosystem“ und „Geosystem“ diskutiert. Dies war deswegen erforderlich, weil das hier gebrauchte Modell des Geosystems russischen Ursprungs (Socava, 1974) im deutschen Sprachraum unterschiedlich interpretiert und teilweise als Gegenstück zum Biosystem als abiotisches Teilsystem des Landschaftsökosystems aufgefasst wird. Das in Frankreich durch Bertrand (1968) eingeführte Verständnis des Geosystems bezieht sich jedoch sowohl auf abiotische als auch auf biotische und anthropogene (technogene) interagierende Elemente des Systems. Damit unterscheiden sich die hier festgehaltenen Konzeptionen des Geosystems und der Geodiversität von den restriktiveren Auffassungen, wie sie v.a. von Leser (1997 a, b, c) verstanden werden, und nähern sich den Darstellungen des Geosystems von Neef (1968, 1972) und Haase (1977, 1991) an. Für eine geographische Interpretation der Geodiversität im allgemeinen Sinn (oder Landschaftsdiversität) kann - wenn man den systematischen Ansatz beibehält - aber ebenso das in der Landschaftsökologie meist angewandte Modell des Landschaftsökosystems oder das von französischen Autoren vor kurzem eingeführte Anthroposystem verwendet werden.

Die vorliegende Arbeit positioniert sich hinsichtlich der Erfassung der Landschafts-/Geodiversität also im Rahmen der physischen Geographie und orientiert sich auch an den Methoden und Konzepten der historisch nah verwandten Landschaftsökologie. Außerdem wird auf die holistische Sichtweise der Methode der an der Elfenbeinküste entwickelten „*école franco-ivoirienne*“ (oder *Schule von Abidjan*) verwiesen, die eine neue Art der Beschreibung der *milieux* und Landschaften eingeführt hat.

Wesentlich für eine geographische Arbeit ist zudem die Festlegung des Maßstabs, mit der auch die Benennung der tropischen und chorischen Landschaftseinheiten angesprochen wird. Als kartographische Grundeinheit wird demnach das Geon („*géon*“) im Sinne einer „Fliese“ eines „Geo-“ oder „Ökotopt“ beibehalten.

Um zur Frage nach der Erfassung und Messung der Geodiversität überzuleiten, wird schließlich die „Natur“ der Geodiversität (Landschaftsdiversität) diskutiert, die sich an der bereits besser entwickelten Konzeption der Biodiversität zu orientieren versucht. So könnte man von einer α -, β - und γ -Geodiversität sprechen und sich verschiedene Äquivalente zur genetischen, spezifischen und Ökosystem-Diversität vorstellen. Damit ergeben sich verschiedene Organisationsebenen der Geodiversität, die demnach auf vielfältige Weise erfasst werden können.

1.4 Konzeptueller Hintergrund der Arbeit

Wie schon angesprochen, wird für die empirische Untersuchung die Geodiversität auf die räumliche Diversität in *milieux* und Landschaften eingegrenzt. Die *diversité mésologique* bezeichnet auf topischem Maßstab die Diversität der Standorte. Die *diversité paysagique* stellt auf chorischem Maßstab die Diversität des Landschaftsmusters dar. Demnach befasst sich die *diversité mésologique* vor allem mit einer „vertikalen“ Raumdiversität, die *diversité paysagique* eher mit einer horizontalen, lateralen Raumdiversität. Zur leichteren Abgrenzung der Begriffe werden verschiedene, an Umwelt und Natur gebundene Diversitätsbegriffe angeführt.

Hinsichtlich der Auswahl jeweils geeigneter Methoden werden auch einige Grundbegriffe erläutert, mit denen das Inventar der für die Diversität relevanten Objekte in Berührung kommt, wie z.B. Grenzen, Diskontinuitäten, Elemente, Komponenten. Dabei kann man „Inhalte“ („*contenus*“) und „Behältnisse bzw. Hüllen“ („*contenants*“) unterscheiden; das heißt, Objekte wie z.B. Arten oder sogenannte „Bausteine“ („*matériaux*“), die sich innerhalb gewisser Einheiten organisieren (wie z.B. Vegetationsschichten, Bodenhorizonten oder Landschaftseinheiten). Die räumliche Diversität kann generell durch die Variabilität der „Komposition“ („*composition*“) beschrieben werden, d.h. durch die materielle Zusammensetzung der *milieux* (und Landschaften) oder durch die Diversität der Strukturen („*structures*“), also im räumlichen Aufbau oder der Anordnung der Elemente in Gefügen.

Der integrative¹⁴⁹ Ansatz der *école franco-ivoirienne* ermöglicht es, alle durch ihre Formen, Textur, Farbe etc. visuell erkennbaren Objekte in einem Raum durch ein spezifisches Vokabular zu beschreiben, indem gleichzeitig ihr Volumen aufgenommen wird. Derartig kann das gesamte Volumen eines *milieu* beschrieben werden. Das spezielle Vokabular wurde entwickelt, um eine „ungenau“ oder uneindeutige Abgrenzung der in den physiogeographischen Teildisziplinen üblichen Begriffe zu vermeiden und Wortkombinationen zu ermöglichen. Außerdem werden verschiedene Teile eines heterogenen Objekts, die verschiedene Funktionen aufweisen und visuell zu differenzieren sind, durch unterschiedliche verschiedene Begriffe definiert. Ein Baum, der aus Laubwerk, Ästen, toten Ästen, Stamm, Feinwurzeln und Hauptwurzeln besteht, wird dementsprechend durch Volumina von *caduphyse*, *dendrigé*, *nécodendrigé*, *stylagé*, *rhizophytion*

¹⁴⁹ die als *Analyse intégrée des milieux*, AIM (Integrierte Milieu-Analyse) oder *Analyse transdisciplinaire des milieux* ATM (Transdisziplinäre Milieu-Analyse) gehandelt wird: Sie integriert (im Sinne von einbinden, zusammenführen) verschiedene Komponenten der Umwelt in einer einzigen Aufnahmemethode

und *rhizagé* beschrieben. Das „Lexikon“ („*lexique des matériaux*“ oder „*lexique des CNL*“) aller beschreibbaren Objekte, Luftvolumen inbegriffen, und die zu den angenommenen Objekten passenden Übersetzungen ins Deutsche sind im Anhang einzusehen. Diese als „*corps naturels localisés*“ (CNL) (verortete, natürliche Körper) oder *matériaux* (Bausteine) bezeichneten Objekte beschreiben somit den Inhalt und die materielle Zusammensetzung (*composition*) eines *milieu* oder einer Landschaft. Die Struktur wird durch die Aufnahme der CNL innerhalb von Geohorizonten, den sogenannten *hoplexols* erörtert. Die *hoplexols* werden vor Ort nach der „natürlichen“ Stratifizierung der *milieux* festgelegt und können in fünf Gruppen (den *hoplexions*) eingeteilt werden, die dem Unterboden (*infraplexion*), dem Oberboden (*métaplexion inférieure*), dem Humus und der Auflage (*métaplexion strict*), der Krautschicht (*métaplexion supérieure*) und der Baumschicht (*supraplexion*) entsprechen.

Neben diesem integrativen Ansatz kann man einen eher disziplinären Ansatz unterscheiden, der auf klassische Weise die verschiedenen in einer Landschaft interaktiven Teilsysteme (Klima, Topographie/Relief, Geologie, Boden, Hydrologie, Vegetation, Fauna, Mensch) durch die Methoden der physiogeographischen Teildisziplinen beschreibt. Einfache aufzunehmende Parameter des Reliefs oder des anthropogenen Einwirkens werden in einer allgemeinen Geländebeschreibung verwendet. Die auf Standortebene dominanten Teile „Boden“ und „Vegetation“ werden durch gesonderte Aufnahmen beschrieben.

Abgesehen von der Darstellung der Diversität der Standorte auf topologischer Ebene (diversité mésologique) durch integrative und disziplinäre Aufnahmemethoden, kann die Diversität auf chorischer Ebene durch eine Landschaftskartierung der Geons beschrieben werden.

ZWEITER TEIL - Untersuchungsgebiet

2.1 Auswahl des Untersuchungsgebietes

Die Wahl eines geeigneten Untersuchungsgebietes zur Studie der Geodiversität fiel auf die Pyrenäen aufgrund der in Berggebieten zu erwartenden hohen Landschaftsdiversität. Außerdem war es von Interesse, die Untersuchung im Rahmen eines Schutzgebietes durchzuführen, um dort auch die Frage einer möglichen praktischen Anwendung des Konzepts zu diskutieren. Aufgrund seines speziellen Status als eines der 35 Testgebiete zur Einführung der Habitatrichtlinie in Frankreich und seiner Lage im Einflussbereich mediterraner sowie atlantischer Klimabedingungen, wurde das Madres-Coronat-Massiv in den Ostpyrenäen (Frankreich) ausgewählt. Durch die Umsetzung der Habitatrichtlinie stand bereits eine relativ reichhaltige Dokumentation des Gebietes zur Verfügung.

2.2 Vorstellung des Untersuchungsgebietes

Das Testgebiet wurde am 22.12.2003 als alpine biogeographische Region zum FFH-Gebiet „Massif de Madres-Coronat“ (FR9101473) erklärt. Nach einer Neuaufteilung der HFF-Gebiete wurde das bisher 266km² fassende Gebiet auf das Département der *Pyrénées Orientales* beschränkt und betrifft seit 2006 ein nur mehr 214km² großes Areal. Für die Studie wurde das Massiv darüber hinaus in seinen geomorphologisch relevanten Grenzen betrachtet, die sich auf eine Fläche von 384km² bezieht. Um das FFH-Gebiet Madres-Coronat vom morphologisch definierten Massiv zu unterscheiden, wird für das FFH-Gebiet das Kürzel PNN (périmètre Natura 2000 nouveau)

verwendet; für das gesamte Untersuchungsgebiet, das sich aus der Vereinigungsmenge der beiden Flächen (FFH und geomorphologische Definition) ergibt und 3191km² umfasst, das Kürzel PT (*périmètre total*). Es wird kurz auf die Landschaftsgeschichte und die kulturhistorischen Aspekte des noch mediterran beeinflussten Gebirgsmassiv eingegangen, bevor eine physiogeographische Beschreibung des Gebiets erfolgt.

2.3 Physiogeographie des Madres-Coronat-Massivs

Die starke „Kompartimentierung“ der Massive in den Ostpyrenäen sowie die Ausbildung von Hochflächen („*plas*“) werden im Rahmen der geologischen Entstehung der Pyrenäen angesprochen. Im westlichen Teil des Massivs dominieren sgranitische Gesteine der Plutone von Mont Louis und Quérigut, während der östliche Teil von paläozoischen, vielfach metamorphisierten Sedimentgesteinen gebildet wird. Entlang der „*faille de Mérens*“ - einer Verwerfung, die das Gebiet in Ost-West Richtung durchzieht - treten vor allem devonische Kalke, Dolomite und Marmor auf. Nördlich und südlich der karbonatischen Gesteine dominieren Schiefergesteine. Die glaziale Überformung betrifft im wesentlichen die Gipfelregionen und die wichtigsten Täler bis etwa 1350m Meereshöhe, und man kann eine gewisse Asymmetrie der Formen glazialen Ursprungs feststellen, die aufgrund der dominierenden Windrichtung an Osthängen (Leehang) stärker ausgeprägt ist. Es folgt eine Beschreibung und Kartierung des Reliefs des Untersuchungsgebiets (PT), durch die Exposition, Hangneigung, Wölbung und Reliefformentypen quantifiziert werden. Außerdem erfolgt eine Einteilung des sich von 310m bis 2469m Meereshöhe erstreckenden Gebiets in sieben Einzugsgebiete (*bassins versants*) bzw. Teilen von Einzugsgebieten, die im Westen und Norden von der *Aude* und im Süden und Osten vom *Têt* vorgeflutet werden. Die Böden sind aufgrund der Hangneigung und teilweise jahrhundertelanger Weidenutzung mit der damit verbundenen Erosion meist wenig mächtig und unterscheiden sich je nach Meereshöhe (klimatischer Einfluss) und Ausgangssubstrat. Außerdem wird auf eine nicht unwesentliche Terrassierung der Hänge in den tieferen Lagen (bis etwa 1500m) eingegangen. Klimatische Kontraste zwischen der atlantischen und mediterranen Flanke des Massivs können anhand von pluviometrischen und thermischen Mittelwerten von sieben das Gebiet umgebenden Stationen nachgewiesen werden. Die Verteilung der dominanten Vegetationsformen wird anhand der Vegetationskarte von Henri Gaussen und der noch sehr lückenhaften Lebensraumkartierung (FFH-Richtlinie) sowie einer Satellitenbildklassifikation des NDVI (Normalized Differenced Vegetation Index) illustriert und beschrieben.

2.4 Landnutzung, Demographie und Landschaftsentwicklung

Die durch das CORINE-Land Cover-Projekt zugänglichen Landnutzungsdaten und Karten stellen den durch forstliche und weidewirtschaftliche Nutzung geprägten Charakter des Massivs dar; auch wenn deutlich wird, dass der Maßstab dieser Kartierung und die Klassifikation für die Beschreibung des Massivs etwas unzulänglich ist.

Eine wichtige Einflussgröße stellt die durch demographische Daten dargestellte Landflucht dar, die sich seit der industriellen Revolution und auch in der letzten Nachkriegszeit abgezeichnet hat. Seit den 80er Jahren scheint diese Tendenz jedoch zu schwinden bzw. sich wieder umzukehren. Wenngleich man nicht von einer direkten Übertragung der Bevölkerungsdaten auf das

Landschaftsbild ausgehen kann, so ist die Veränderung des menschlichen Einflusses doch im Landschaftsbild sichtbar und drückt sich durch eine Verbuschung und Verwaldung ehemals genutzter Weiden und Felder aus.

DRITTER TEIL - Methodik

3.1 Aufnahme der Geodiversität

Hier werden die praktischen Elemente der Methode zur Aufnahme der Geodiversität im Gelände angesprochen, deren theoretische Aspekte im Kapitel 1.4 behandelt wurden. Aufnahmetyp und pragmatische Betrachtungen wie Aufnahmezeitpunkt, Dauer einer Aufnahme und Zugang zu den Aufnahmeflächen gehen in die Bestimmung der Aufnahmeflächen (*échantillonnage*) ein. Es wird ein Quotenverfahren (Quotenstichproben) ausgewählt, das zu den subjektiven Verfahren der Aufnahmeflächenauswahl gezählt wird, aber eine Stratifizierung des Gebiets berücksichtigt.

Als Grundlage der Stratifikation werden die Kriterien Exposition, Hangneigung, Substrat, Landbedeckung und eine Verteilung der Aufnahmeflächen über verschiedene Sektoren des Massivs bestimmt. Die Sektoren ergeben sich aus der Kreuzung der sieben Einzugsgebiete mit fünf Höhenstufen, die an bioklimatische Vegetationshöhenstufen angelehnt sind. Die Landbedeckung erschließt sich aus der durch eine überwachte Klassifikation gewonnenen Karte mit 22 Landbedeckungstypen. Die Größe der Aufnahmeflächen wird vor Ort in Abhängigkeit vom Vegetationstyp bestimmt. Benötigtes Material, Aufnahmebögen und Art und Vorgang der Aufnahmen werden ausführlich beschrieben. Es wird zwischen einem allgemeinen Teil der Aufnahmen (RG), der vor allem das Relief und Spuren der Landnutzung beschreibt, den Aufnahmen zu Vegetation und Boden (RF, RS) sowie den Aufnahmen der integrierten Aufnahmemethode - dem *relevé mésologique* (RM) - unterschieden.

Wie schon erläutert, werden bei den *relevés mésologiques* der *méthode franco-ivoirienne* verschiedene Dimensionen (genauer topische bis regionische Dimensionen) beachtet, wobei hier vor allem auf die topischen und chorischen Dimensionen durch Aufnahme der CNL (*matériaux* oder Bausteine), der *hoplexols* (elementare Geohorizonte) und der *géons* (elementare Landschaftseinheiten) eingegangen wird (Fig.3.6). Nach der Erläuterung der verwendeten Begriffe und Aufnahmetechniken wird auf die Ausarbeitung des im Gelände relevanten Lexikons der CNL (siehe Anhang) eingegangen, das sich je nach *milieu*-Typ und Gelände für beliebige Gegenden der Erde erweitern lässt. So wurde im vorliegenden Fall das für die Elfenbeinküste relevante Lexikon an temperierte bis mediterrane Gebirgsregionen angepasst, und es enthält somit diverse neue Elemente (*variantes majeures*), die im Anhang durch graue Lettern gekennzeichnet sind. Vor Ort wurden 103 verschiedene Arten von Objekten/Bausteinen (CNL) identifiziert, die in 44 Haupttypen (*orthotypes*) und 25 Gruppen (*grands ensembles*) eingeteilt werden können. Zu diesen Gruppen zählen zum Beispiel das Festgestein (*régolite*), die Lockersedimente (*entaferon*), das Oberbodenmaterial (*Humichron*), tierische Ausscheidungen (*zoolite*), Farne (*ptéridophytion*), Sträucher (*nanophytion*) oder Lianen (*pléiophytion*). Die Natur der CNL, die in den *hoplexols* beschrieben werden, erlaubt es schließlich auch, letztere in fünf oder sechs *hoplexions* zusammenzufassen, die beispielsweise die Streuauflage, Kraut- oder Baumschicht beschreiben (Tab. 3.11).

Die Phytodiversität wird durch eine klassische Artenaufnahme mit Abondanz-Dominanz-Werten nach Braun-Blanquet (modifiziert durch Wilmanns) sowie durch Biovolumina beschrieben. Dabei hat sich die Wahl eines „tragbaren“, für die Region einigermaßen kompletten Bestimmungsschlüssels als nicht gerade anspruchlos erwiesen.

Die Bodenansprache erfolgt nach der bodenkundlichen Kartieranleitung, doch wird auch auf die französische Bodennomenklatur (*référentiel pédologique*) eingegangen, um das gegenseitige Verständnis der Bodenbeschreibungen in Deutschland und Frankreich zu erleichtern. Vor Ort werden unter anderem Substrattyp, Gründigkeit, Textur und Skelettgehalt, Bodenfarbe und pH (mit Hellige Pehameter) beschrieben sowie Lagerungsdichte, Durchwurzelung und Bodenfeuchte geschätzt. Die den beschriebenen Horizonten entnommenen Mischproben wurden im bodenkundlichen Labor des IfGG untersucht. Die elektronische Leitfähigkeit und der de pH-Wert wurde für alle 144 Proben bestimmt, für einige weitere Proben wurde der Kalkgehalt, das C/N-Verhältnis und die Korngrößenverteilung analysiert. Unter Zuhilfenahme der so ermittelten Parameter konnten somit die nutzbare Feldkapazität und die Kationenaustauschkapazität geschätzt werden.

3.2 Kartierung und Auswertungsmöglichkeiten

Zur Aufnahmeflächenauswahl und Kartierung waren thematische Karten erforderlich, die teilweise schon zu Verfügung standen oder unter zu Zuhilfenahme anderer Quellen generiert wurden. Die Kartierung der elementaren Landschaftseinheiten (*géons*) erfolgte durch Luftbildinterpretation mittels eines Kartierschlüssels, der auf einer physiognomischen Unterscheidung der Landschaftseinheiten basiert (siehe Anhang). Es konnten 89 Landschaftseinheiten differenziert werden, die in mehreren Integriationsebenen (3S, 2S) zu Gruppen mit 21, 12, 9 oder 8 verschiedenen Typen zusammengefasst werden können. Es bot sich die Anwendung von Landschaftsstrukturmaßen an, wobei vor allem Kompositionsparameter genutzt wurden, um die Diversität der Landschaftseinheiten zu beschreiben. Als Beispiel wird die Berechnung der Diversitätsindizes von Simpson und Shannon (sowie deren Vor- und Nachteile) angeführt.

Die Datenbearbeitung und statistische, multivariate Auswertung der Aufnahme- und Kartierdaten wird in einem letzten Kapitel erläutert. Es fanden vor allem Faktoren- und Hauptkomponentenanalysen Anwendung, um die Differenzen der Aufnahmen zu beschreiben. Ihnen folgten meist Clusteranalysen, die es ermöglichten, vergleichbare Aufnahmen durch Gruppenbildung zu identifizieren.

VIERTER TEIL - Resultate

4.1 Die Aufnahmen im Madres-Coronat-Massif

Die Aufnahmen wurden zum größten Teil (47 Aufnahmen) im Sommer 2006 realisiert, 12 weitere kamen im Frühsommer 2007 dazu, um die Quoten der Aufnahmeflächenauswahl der Neuaufteilung der FFH-Gebiete anzupassen. Des Weiteren konnten 18 im Rahmen einer Masterarbeit vorgenommenen „mesologischen“ Aufnahmen von 2004 berücksichtigt werden. Von den insgesamt 77 Aufnahmen wurden 72 beibehalten. Die 54 Aufnahmen von 2006 und 2007 ermöglichen einen Vergleich der Aufnahmedaten von Vegetation, Boden und „morphologischem Milieu“. Die

Charakteristika und Lokalisierung der Aufnahmen können den entsprechenden Karten und Tabellen entnommen werden (Carte 4.1, Tab. 4.1 und Anhang). Es wird außerdem die Verteilung der Aufnahmen bezüglich der oben genannten Aufnahmekriterien kommentiert und auf anthropogene Spuren, die Landnutzung und das Relief eingegangen.

4.2 Floristische Diversität und Diversität der Böden

Die Artenaufnahme erfolgt mittels der Braun-Blanquet-Skala auf den im Gelände ausgegrenzten Flächen, die je nach Vegetationstyp eine Fläche zwischen 4 und 400m² einnahmen. Die 54 floristischen Aufnahmen, die beibehalten wurden, weil sie mit dem 2005 festgelegten Geländeprotokoll konform waren, haben die Bestimmung von 408 verschiedenen Gefäßpflanzen ermöglicht. In 201 von 1687 Fällen war eine Bestimmung bis zum Artenniveau nicht möglich, meist weil die Individuen nicht alle die zu ihrer Bestimmung nötigen Charakteristiken aufwiesen, wie zum Beispiel das Fehlen der Blüten. Man kann daran ablesen, dass das Aufnahmeprotokoll sich an einer Gesamtaufnahme der *milieux* und nicht an einer phytosoziologisch einwandfreien Aufnahmemethode mit mehreren Wiederholungsaufnahmen zu verschiedenen Zeitpunkten der Vegetationsperiode ausrichtet. Dennoch wurde darauf geachtet, die Aufnahmen während des Sommers auf progressive Weise den Höhenstufen anzupassen. Insgesamt wurden im Mittel 24 Arten und maximal 57 Arten pro Aufnahmefläche bestimmt. Der Variationskoeffizient von 52,4% deutet auf starke Schwankungen der Artenvielfalt hin. Nur 154 Arten wurden öfter als zweimal aufgenommen. Eine phytosoziologische Auswertung war demnach wenig sinnvoll, da nur die supramediterranen Eichenwälder und die subalpinen Hakenkieferwälder einen ausreichenden Similaritätsindex aufwiesen. Die höchsten Artenzahlen waren vor allem in der supramediterranen Höhenstufen in komplex strukturierten, offenen Eichen- oder Mischwäldern, in Uferformationen und in offenen Kiefernwäldern der subalpinen Stufe anzutreffen. Die Diversitätsindizes von Shannon und Simpson wurden durch Umwandlung der Braun-Blanquet-Skala in Deckungsprozenten mit Turboweg berechnet. Da die Diversitätsindizes auch die Gleichverteilung der Arten miteinbeziehen, wiesen komplexe und offene Pflanzenformationen ebenso hohe Werte auf. Eine Korrespondenzanalyse der Präsenzwerte der 408 Arten ergab eine sehr eindeutige Differenzierung der Aufnahmen der supraméditerranéen von den montanen und subalpinen Aufnahmen (1. Faktor), der Aufnahmen in Feuchtezonen (2. Faktor) und der Aufnahmen in geschlossenen und offenen Vegetationsformationen (3.Faktor).

Die Bodenansprache der 54 beibehaltenen Aufnahmen führte zur Identifizierung von 14 Bodentypen, die man in 8 Gruppen einteilen kann. Braunerden waren mit 50% am häufigsten vertreten, gefolgt von Rankern, Rendzinen und Kolluvisolen. Des Weiteren wurden O/C-Böden und verschiedene Typen von Gleyen sowie ein Niedermoor und ein Auenboden beschrieben. Die Mittelwerte der 234 beschriebenen Horizonte ergaben einen hohen, für Bergböden wohl kaum unüblichen Skelettanteil von 38,8% sowie schwache Tonanteile. Selbst auf karbonathaltigen Böden dominiert immer der Schluffanteil, die meist grusigen Böden auf granitischem Substrat kennzeichneten sich durch einen sehr hohen Sandanteil. Die Böden auf Schiefer oder alluvialen/kolluvialen Sedimenten nahmen eine mittlere Stellung ein und waren meist den sandigen Schluffen und lehmigen Sanden zuzuordnen. Die pH-Werte ermöglichten ebenso eine klare Differenzierung der karbonathaltigen Böden einerseits und der sauren Böden auf Schiefer und Granit

andererseits. Nur die ehemals kultivierten Böden der Tallagen oder Terrassen sowie die Böden auf saurem Gestein, die durch karbonathaltige Kolluvien beeinflusst wurden, ergaben schwach saure oder neutrale Bedingungen und weniger ungünstige C/N-Verhältnisse. Die für 31 Aufnahmen vorliegenden metrischen Parameter C/N-Verhältnis, mittlerer pH-Wert (für A- und B-Horizont) und Kationenaustauschkapazität eigneten sich für eine Hauptkomponentenanalyse zur chemischen Differenzierung der aufgenommenen Böden. Diese gestattete wieder eine klare Differenzierung der sauren und karbonathaltigen Böden, ermöglichte aber auch eine weitere Differenzierung der ehemals genutzten Terrassen und der weidewirtschaftlich genutzten Zonen mit engeren C/N-Verhältnissen. Die quantitativen Daten zu den physikalischen Parametern Bodenmächtigkeit, Auflagemächtigkeit (von Oh, Of und Ol getrennt betrachtet) und die nutzbare Feldkapazität gestatteten es, tiefgründigen Boden mit vorteilhafter nutzbarer Feldkapazität von weniger tiefgründigen Böden mit starker Humussauflage zu unterscheiden und von den meist karbonathaltigen, weniger tiefgründigen Böden mit einem Humus de Typs Mull zu trennen. Die gleichzeitige Betrachtung physikalischer und chemischer Bodenparameter erlaubt schließlich eine sehr klare Unterscheidung der Böden auf Graniten, Schiefer und karbonathaltigem Substrat, die sich aber noch von einer recht heterogenen Gruppe tiefgründiger Böden mit mittleren pH-Werten unterscheidet. Alle Hauptkomponentenanalysen ermöglichen eine deutliche Abgrenzung der Böden mit Hydromorphie-Merkmalen und suggerieren eine größere Ähnlichkeit zwischen Böden auf saurem als auf karbonathaltigem Substrat.

4.3 „Mesologischer“ Ansatz : morphologische vertikale und horizontale Diversität

Die 72 „mesologischen“ Aufnahmen eignen sich sowohl für Hauptkomponenten- als auch Korrespondenzanalysen, je nachdem, welche Formen der Information betrachtet werden. Eine Hauptkomponentenanalyse, die sich allein auf die Anzahl an verschiedenartigen Objekten (CNL) und Geohorizonten (hoplexols) in einer Aufnahme bezieht, kann somit ohne Probleme Wald von Offenlandschaften sowie von Fels oder Rohböden dominierten Milieus unterscheiden. Eine Beschreibung der „Inhalte“ der Milieus durch die CNL ist jedoch von besonderem Interesse, da hiermit die Aufnahmen durch ihre Komposition unterschieden werden. Die Hauptkomponenten und Korrespondenzanalysen der CNL pro holoplexion (also der Objektvolumina oder Präsenz pro Aufnahme) erlauben es daher, in erster Linie die Aufnahmen der Feuchtgebiete und der felsigen Milieus durch die besondere Art ihrer Komposition und Objektkombination durch die Ausrichtung der ersten Komponenten bzw. Faktoren abzusondern. Die verschiedenen Waldtypen (Misch-, Laub-, Nadel- oder Hartlaubwald), Offenlandschaften und Strauchformationen auf verschiedenen Boden- und Substrattypen lassen sich ohne weiteres unterscheiden und klassifizieren. Um Unterschiede herauszuarbeiten, kann die Analyse der CNL anschließend für die fünf *hoplexions* einzeln untersucht werden. Für das *supraplexion* (Baumschicht) lassen sich derart die Waldformationen unterscheiden, im *métaplexion supérieur* die verschiedenen Heide- und Weidelandchaften, im *métaplexion strict* können die Milieus nach der Art der Bodenoberfläche unterschieden werden, im *métaplexion inférieur* tritt eine deutliche Differenzierung der Böden zutage und das *infraplexion* erlaubt eine deutliche Unterscheidung der Substrattypen. Jedes Niveau der Analyse erlaubt demnach eine feine Auswertung der dominierenden Unterschiede zwischen den verschiedenen Milieus und beschreibt ihre Diversität. Die Objekte können direkt miteinander verglichen und ihre Diversität quantifiziert

werden, wenn man die der Hauptkomponentenanalyse zugrunde liegende Korrelationsmatrix betrachtet oder die Dreiecksmatrix der Chi-Quadrat-Distanzen der Korrespondenzanalyse zu Rate zieht. Natürlich kann die Objekt- und Strukturvielfalt durch Diversitätsindizes beschrieben werden: Waldtypen zeichnen sich durch eine hohe Objektvielfalt aus, während die Objektdiversität durch den Effekt der *evenness* (Gleichverteilung) in komplexen Strauchformationen ausgeprägter ausfällt.

Die *diversité paysagique* wird hier durch die Kartierung der elementaren Landschaftseinheiten, den „géons“ dargestellt. Die Kartierung ermöglicht eine Auswertung des Landschaftsmosaiks durch Diversitätsindizes und andere Landschaftsstrukturmaßen. Einfache Maße - z.B. Anzahl und Fläche der Landschaftseinheiten pro übergeordnete Raumeinheit - charakterisieren die in der Landschaft sichtbare Diversität. Es ist bekannt, dass die Quantifizierung dieser Diversität von der Anzahl kartierter Einheiten, dem Maßstab und auch der Art und Anzahl der untersuchten Flächen (also der übergeordneten Raumeinheiten) abhängt. Der Vergleich verschiedener Vielfalts- oder Diversitätskarten kann somit besser die Unterschiede der Landschaftsstrukturdiversität hervorheben. Je nachdem, ob zwischen 89, 21, 12 oder 9 verschiedenen Landschaftseinheiten unterschieden wird, bietet sich ein anderes Bild von der Diversität des Madres-Coronat. Auf der Ebene der höchsten Auflösung (89 Milieu-Typen oder *géons*) zeigt sich, daß das Landschaftsmuster gerade in den höher gelegenen glazial überformten Teilen des Massivs sowie in den stärker besiedelten und Tallagen besonders ausgeprägt ist. Hohe Reliefenergie, stark differenzierte edaphische Bedingungen, der Einfluss der Beweidung, die durch extremere klimatische Bedingungen und Expositionseffekte stärker akzentuierte Verteilung der Vegetationsformationen in der „Kampfzone“ der höheren Lagen und die durch Flußauen und Ufervegetation gebildeten Korridore und ackerbaulich am ehesten genutzten Flächen der Tallagen stellen hier anschauliche Interpretationsmöglichkeiten dar.

Die Daten des mesologischen Organisationsniveaus - insbesondere die mesologische Diversität - können des Weiteren mit der landschaftlichen Ebene - der *diversité paysagique* - verbunden werden, wie es die Kartenbeispiele zeigen.

4.4 Ausblick zu den Beziehungen zwischen der morphologischen, mesologischen Geodiversität und der Phytodiversität

Die bereits charakterisierte Phytodiversität kann den Milieu-Typen zugeordnet werden. Dies gilt ebenso für die morphologische Diversität, die sich durch die Anzahl und die Diversität der CNL und hoplexols beschreiben lässt. Ein Vergleich der Mittel- und Streuwerte lässt ein ähnliches Verhalten von Phytodiversität und morphologischer Geodiversität erscheinen, obwohl es sich um zwei sehr unterschiedliche Arten der Diversität handelt. Tatsächlich können die mesologische morphologische Geodiversität und die Phytodiversität in Beziehung zueinander gesetzt werden: ein stärker horizontal stratifiziertes Milieu enthält oft mehr Arten, eine große Anzahl von Objekten verschiedener Natur fällt meist mit einer komplexen, stark entwickelten Pflanzenformation zusammen, in der zahlreiche Arten angetroffen werden können. Hier wurde nicht versucht zu beweisen, dass man von der Geodiversität auf die Biodiversität schließen könne, da es sich um zwei sehr unterschiedliche Arten der Diversität handelt; aber die Beziehung ist von Interesse, da sie beide eine greifbare, materielle Mannigfaltigkeit ausdrücken.

FÜNFTER TEIL: Diskussion und Ausblick

Geodiversität ist nicht gleich Geodiversität, Landschaftsdiversität ist nicht gleich Landschaftsdiversität; aber Geodiversität kann Landschaftsdiversität sein. Verschiedene Auffassungen, unterschiedliche Definitionen und mannigfache Aufnahmemethoden setzen sich mit den räumlichen Disparitäten in der Umwelt auseinander. Es geht nicht darum, hier einen weiteren Vorschlag oder auch nur eine neue Kombination bereits eingebrachter Vorschläge zur Definition und Messung der Landschafts- bzw. Geodiversität zu unterbreiten. Es geht vielmehr darum, die bestehenden Unterschiede aufzuzeigen und zur Diskussion zu stellen; und daneben auch um das Unterfangen, über den sprachlichen Tellerrand zu blicken. Eine Studie der Diversität der - nicht korrekt übersetzbaren - *milieux naturels*, die als Studie der *géodiversité* begriffen werden kann, ist somit auch eine Studie der physischen *Landschaftsdiversität*.

Der Utopiegehalt der Landschaft (Hard 1983, 2002) wird beim Thema der Landschaftsdiversität besonders deutlich: landschaftsphysiognomische und landschaftsökologische Utopien bilden sich in den Definitionen und Methoden ab. Es ist ein Leichtes, theoretische Überlegungen zu diskutieren, von holistischen und systematischen Ansätzen zu sprechen; wenn es aber darum geht, die Diversität - ohne große Mittel einzusetzen - möglichst vollständig und dennoch effizient zu beschreiben, schließen sich viele Türen. Mit Spitzhacke und Bestimmungsbuch, Metermaß und Bussole der Landschaftsdiversität der physischen Landschaft - einer Form der allgemeinen Geodiversität - auf den Leib zu rücken, um gleichermaßen die Beziehung der morphologischen und geoökologischen Landschaftsdiversität zu untersuchen, erwies sich als ein Unterfangen, in das viele methodische Überlegungen eingingen. Das Resultat - die vorliegende Arbeit - war ein Versuch, die Diversität der Standorte, der Landschaftsmuster und eines ganzen Massivs zu beschreiben. Viele Wege und Möglichkeiten dies zu tun blieben unbeschritten.

Für eine Diskussion zum Potential der Geo-/Landschaftsdiversität im Management von Umwelt und Landschaft (siehe frz. *Conclusion*) resultiert hieraus, dass mit einer Beschreibung der Physiognomie der Landschaft eben nur die physiognomische Landschaft, nicht aber die ökologische Landschaft gekennzeichnet wird; dass sie demnach andere Ziele hat, selbst wenn beide Dimensionen durch ein- und dieselbe materielle, physische Landschaft und ihre Diversität vertreten sind.

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, daß ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung aller angegebenen Quellen und Hilfsmittel angefertigt habe.

Toulouse, den 30.05.2011

..... - Anja Müller.

Informations sur l'auteur

Anja Maria MÜLLER

Née le 23 novembre 1976 à Munich (Allemagne)
Nationalité : allemande et française
Contact : muller@univ-tlse2.fr / anjageo@gmail.com

Laboratoires de rattachement :

Laboratoire de géographie de l'Environnement GEODE (CNRS /UMR 5602)
5, allées Antonio Machado
F- 31058 Toulouse cedex

Institut für Geographie und Geoökologie 1 des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT)
Kaiserstraße 12
D-76129 Karlsruhe

Formation :

1997 : Abitur, Mathematisch-Naturwissenschaftliches Gymnasium Olching
1997-2000 : Studium der Geographie an der Ludwig-Maximilians-Universität zu München
Vordiplom und Hauptstudium - Ausrichtung Physische Geographie
Nebenfächer: Botanik (Institut für Botanik, Fakultät für Biologie); Landschaftsplanung und Naturschutz (Institut für Meteorologie et Institut für Bodenkunde, Fakultät für Forstwissenschaften, Freising)
2001 : licence de géographie, option Aménagement, Université de Savoie, Chambéry
2003 : maîtrise de géographie, option Environnement, Université de Toulouse II le Mirail
2004 : DEA (Diplôme d'études approfondies, aujourd'hui Master 2), option Environnement et paysage, Université de Toulouse II le Mirail
2005-2011 : doctorat de géographie ; rattachement au laboratoire de géographie de l'environnement GEODE (UMR /CNRS), Université de Toulouse II le Mirail en co-tutelle de thèse avec l'Université de Karlsruhe, Institut für Geographie und Geoökologie 1
2005-2008 : allocation de recherche du Ministère de l'Éducation Nationale et de la Recherche
2008-2010 : Attaché temporaire d'enseignement et de recherche

Enseignement :

Département de géographie, Université de Toulouse le Mirail :

UE GE0001Y : Introduction à la géographie : les fleuves - approche environnementale (2008-2010)

UE GE0005Y : Géopolitique : États et territoires (2009/2010)

UE GE0009Y : Les milieux naturels (2008-2010)

UE GE0016Y : Anthropisation des milieux (2008/2009)

Intervention en Master 2 Recherche « environnement et paysage » (janvier 2006) : « la diversité paysagère »

Institut für Geographie und Geoökologie 1, Universität Karlsruhe:

Sorties & stage pratique « écologie du paysage et géographie physique » avec les étudiants de géoécologie de l'Institut de Geografie et de Geoökologie 1, Universität Karlsruhe (août 2007)

