



HAL
open science

Evolution comparée de lacs de maars en Auvergne et Velay (France). Datation et contribution à la connaissance des paléoclimats pléistocènes

Jean-Paul Raynal

► **To cite this version:**

Jean-Paul Raynal. Evolution comparée de lacs de maars en Auvergne et Velay (France). Datation et contribution à la connaissance des paléoclimats pléistocènes. Actes du Colloque Travaux Français en Paléolimnologie. Le Puy-en-Velay, 4-5-6 Octobre 1985. Documents du C.E.R.L.A.T., 1987, France. pp.65-96. halshs-00004084

HAL Id: halshs-00004084

<https://shs.hal.science/halshs-00004084>

Submitted on 19 Jul 2005

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.

**EVOLUTION COMPAREE DE LACS DE MAARS EN AUVERGNE
ET VELAY (FRANCE)
DATATION ET CONTRIBUTION A LA CONNAISSANCE DES
CLIMATS PLEISTOCENES**

Jean-Paul RAYNAL*

* Université de Bordeaux I, Institut du Quaternaire - Centre François BORDES,
U.A. 133 C.N.R.S., Avenue des Facultés, 33405 - TALENCE Cedex.

Résumé :

Dans le Massif Central français, les zones où le phréatomagmatisme de type maar a créé des structures circulaires et profondes ont permis le développement de systèmes lacustres par stades successifs (phases pro-lacustre, pléni-lacustre, tardi-lacustre) qui révèlent de longues séquences stratigraphiques, enregistreurs privilégiés de paléoclimats pléistocènes. L'articulation des faciès sédimentaires entre les différentes zones de ces dépressions (coeur de lac, anneau détritique, péri-lac) permet nombre de corrélations. La nature éruptive du phénomène initial autorise la mise en oeuvre de la méthode de datation par thermoluminescence. Les premiers résultats obtenus sur quatre de ces systèmes en Velay et Basse-Auvergne sont présentés : dépôts de l'anneau détritique et du péri-lac de Soleilhac éclairant la succession des paléoclimats lors de la transition d'un interglaciaire au pléniglaciaire du Pléistocène moyen en Velay; sédiments de l'anneau détritique de Sainzelles précisant les successions climatiques de la fin du Pléistocène ancien en Velay; anneau détritique du paléo-lac de Saint-Hyppolyte révélant les conditions d'établissement du pléniglaciaire du Würm ancien en Basse-Auvergne après 94 k.a. B.P. ; complexe lacustre de Clermont, reconnu sur 86 mètres de puissance, livrant l'histoire des 156 derniers millénaires en Basse-Auvergne.

Mots-clés : Pléistocène, lacs, maars, Massif Central, France, thermoluminescence, paléoclimats.

Summary : Compared evolution of maar lakes in Auvergne and Velay (France). Dating and contribution to knowledge of pleistocene climates.

In the french Massif Central, phreatomagmatic volcanoes (maars) created circular and deep structures where developed lacustrine systems by successive stages (pro-lacustrine phase, full-lacustrine phase, late-lacustrine phase). These lakes yield long stratigraphic sequences which recorded pleistocene paleoclimates with high accuracy. Different zones (lake-heart, detritic ring, lake-periphery) of lakes present different synchronous sedimentary facies which allow correlations. The eruptive nature of the

original phenomenon, allows to employ the thermoluminescence dating method up to 300 ky. First results obtained on four examples in Basse-Auvergne and Velay are presented here : deposits of the detritic ring and peri-lake from Soleilhac revealing the paleoclimatic succession during the transition from an interglacial period to a Middle Pleistocene pleniglacial period in Velay; detritic ring of Sainzelles which precises the climatic trends at the end of Lower Pleistocene in Velay; detritic ring of Saint-Hippolyte in which are recognized several phases which lead to pleniglacial of Lower Würm after 94 ky BP in Basse-Auvergne; lake complex of Clermont, in which a 86 m core tells us the story of the last 156 ky in Basse-Auvergne.

Key-words : Pleistocene, lakes, maars, Massif Central, France, thermoluminescence, paleoclimates.

Les structures volcaniques phréatomagmatiques de type "maar", particulièrement abondantes en Auvergne et Velay, suscitent depuis quelques années un intérêt grandissant de la part des quaternaristes. Sub-circulaires et profondes, elles ont été généralement occupées par des lacs dans lesquels se sont accumulées de puissantes séries sédimentaires réputées continues, enregistreurs privilégiés des transformations des milieux physiques et biotiques, donc des paléoclimats en domaine continental. Ces masses d'eaux lacustres ont, dans le passé, joué un rôle attractif considérable pour les faunes fossiles et par voie de conséquence pour l'homme préhistorique : les très anciens indices d'activité humaine découverts en Velay en témoignent. Enfin, on sait aujourd'hui dater avec une précision très acceptable (Thermoluminescence, K/Ar), d'une part les manifestations phréatomagmatiques qui sont à l'origine du phénomène lacustre, d'autre part les produits du volcanisme - en particulier les coulées - qui, bien souvent, scellent les séries sédimentaires. Les maars du Massif Central français offrent par conséquent un champ d'investigations pluridisciplinaires considérable dont les résultats constitueront sans aucun doute, dans les prochaines années, un référentiel étroitement corrélable aux données océaniques.

Nous rappellerons tout d'abord brièvement les différents facteurs qui règlent la vie d'un lac de maar (alimentation en eau, sédimentation détritique, exutoire) et en fixerons les principales étapes (phase pro-lacustre, phase pléni-lacustre, phase tardi-lacustre). Nous définirons ensuite les principales zones de sédimentation et leurs caractéristiques (péri-lac, anneau détritique, coeur de lac). Nous illustrerons ces propositions à l'aide de quatre exemples pris dans des systèmes paléolacustres d'Auvergne et Velay :

- anneau détritique et péri-lac du maar de Soleilhac (Haute-Loire),
- anneau détritique de Sainzelles (Haute-Loire),
- maar de Saint-Hippolyte (Puy-de-Dôme),
- paléolac de Clermont (Puy-de-Dôme).

et en discuterons les principaux apports d'ordre chronologique, dynamique et paléoclimatique (1).

(1) Ce travail a bénéficié des soutiens suivants :

* A.T.P. "Transfert de technologie" de l'IN2P3, programme : Datation par thermoluminescence et volcanisme quaternaire de la Chaîne des Puys, direction J. FAIN,

* A.T.P. "Archéologie Métropolitaine" du Ministère de la Recherche, aide DGRST 81 D O 378 : Recherche des plus anciens hominidés d'Europe, de leurs civilisations matérielles et de leur environnement naturel dans les séries volcano-sédimentaires du Velay, direction E. Bonifay,

* A.T.P. "Approches nouvelles en Archéologie par le biais des Mathématiques, de la Physique, de la Chimie et des Sciences de la Terre" du C.N.R.S., programme: Peuplement préhistorique en zone volcanique active, direction J.P. Raynal.

1 - ORIGINE ET EVOLUTION D'UN LAC DE MAAR

1.1 - Facteurs de contrôle

La formation et la durée de vie d'un lac de maar dépendent principalement de trois facteurs :

- *Alimentation en eau* : elle est fonction des apports météoriques, de la taille des affluents, mais également de l'existence de venues profondes ; bien que largement liée au climat, elle dépend aussi des caractéristiques géomorphologiques et pétrographiques du bassin versant. Dans le cas du lac d'Issarlès par exemple, la tranche d'eau météorique annuelle est de 1200 mm (BOUT, 1973).

- *Sédimentation détritique* : exceptés les apports allochtones éoliens, la sédimentation est réglée par l'aptitude à l'érosion du bassin versant et la capacité de transport des affluents ; le rôle fixateur de la végétation, donc du climat, semble ici largement prépondérant mais il convient de ne pas sous-estimer les contraintes et les réajustements morphologiques nécessaires dans ces zones volcaniques sujettes à des modifications importantes et brutales du relief.

- *Exutoire* : La création d'un exutoire est la conséquence logique de l'élévation du plan d'eau jusqu'à son maximum mais peut aussi relever de manifestations tectoniques. Sa présence peut accélérer l'abaissement du plan d'eau lacustre et provoquer à terme sa disparition, en l'absence d'affluent et/ou si les venues d'eau profonde sont inexistantes. Le jeu combiné d'un exutoire et d'un affluent suffisamment compétent peut conduire à l'érosion régressive des dépôts antérieurs et à l'emboîtement de banquettes détritiques.

Si les deux premiers facteurs (alimentation en eau et sédimentation détritique) sont largement dépendants des paléoclimats et commandent les processus de comblement, le jeu des exutoires reste en grande partie aléatoire.

1.2 - Etapes principales dans la vie d'un lac de maar

On peut, très schématiquement, distinguer trois étapes dans la vie d'un lac de maar (RAYNAL et alii, 1984) :

- *Phase pro-lacustre* : elle correspond à la remontée du plan d'eau jusqu'à son maximum et voit le début du comblement progressif de la dépression.

- *Phase pléni-lacustre* : le plan d'eau est au maximum, avec possibilité de création d'un exutoire ; le comblement se poursuit.

- *Phase tardi-lacustre* : le comblement s'achève ; le plan d'eau peut rester à sa cote maximum ou s'abaisser progressivement : on assiste alors à l'érosion des dépôts antérieurs avec possibilité d'étagement de plages comme au lac du Bouchet et à Saint-Front (BOUT, 1973). L'assèchement progressif peut être suivi de la formation de tourbières.

La plupart des lacs actuels de Basse-Auvergne (Pavin, Tazenat...) et Velay (Bouchet, Issarlès, Saint-Front...) sont en phase pléni-lacustre ou tardi-lacustre. Nombreux sont ceux ayant évolué en tourbières (La Sauvetat, Landos, Limagne, Chaudeyrolles...).

1.3 - Zonation d'un lac de maar

De la périphérie du lac à son centre, trois zones sont le siège de processus

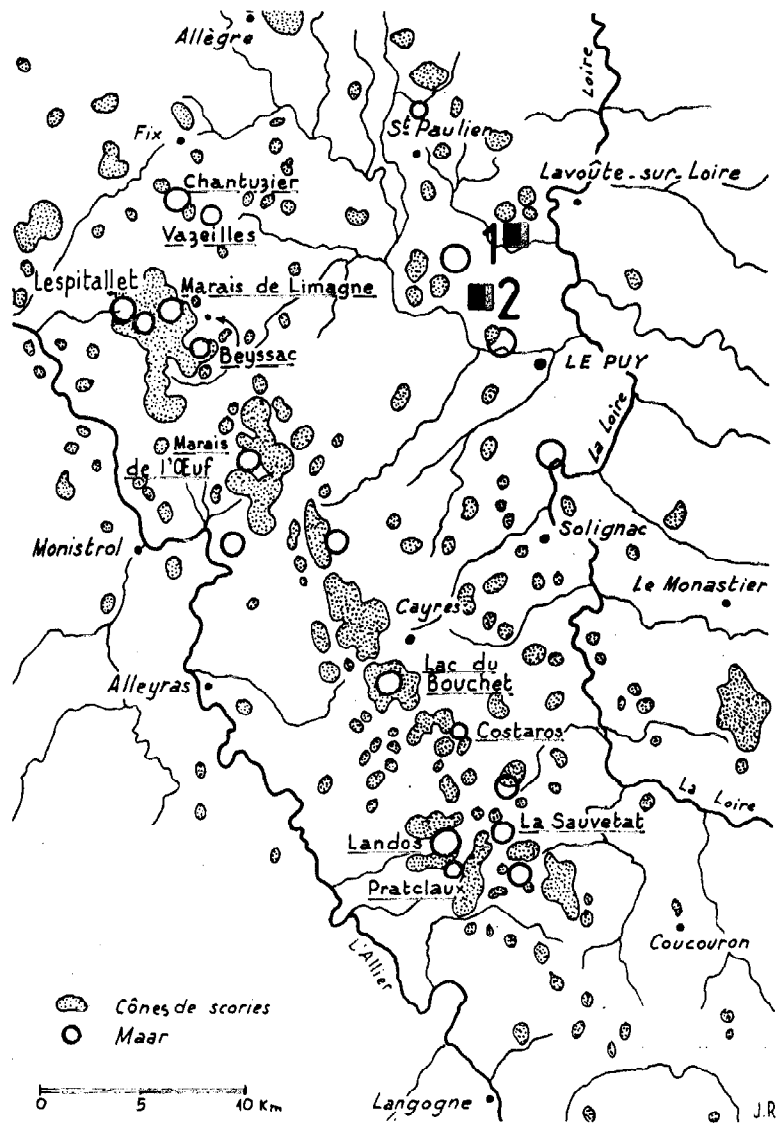


Figure 1 : Les paléolacs de Soleihac (1) et Sainzelles (2) dans le contexte des maars du Velay (d'après P. BOUT, 1973, complété).

sédimentaires et diagénétiques synchrones, d'importance variable :

- *Le coeur de lac*, où prédomine une sédimentation calme (sils, sablons, tephra en retombée directe, argiles, carbonates...), plus ou moins organogène, entrecoupée de turbidites, parfois de passées de graviers. La structure est le plus souvent rythmique.

- *L'anneau détritique*, ou banquette périphérique (BOUT, 1970), ou encore prisme littoral (BONIFAY et TRUZE, 1984a et b) - est le siège d'une sédimentation généralement plus grossière. Il se raccorde avec la zone de coeur de lac par un talus plus ou moins abrupt et présente généralement une structure sédimentaire de progradation de type "deltaïque". Les projections de maar constituent la source principale de matériaux détritiques et la morphologie du croissant de pyroclastites commande une disposition dissymétrique de l'anneau : elle peut-être compensée, voire exagérée, par les apports d'affluents.

- *Le péri-lac* : la sédimentation présente ici un caractère plus spasmodique, dépôts d'affluents et/ou de versant (alluvions, éboulis, colluvions, produits de gélifluxions...) alternant avec le développement de profils pédologiques; elle s'interface avec l'anneau détritique par un système de plages.

Dans le cas idéal d'un lac de maar sans affluent et dont les projections constituent le seul bassin versant, la quasi-totalité des éléments du remplissage, excepté des apports éoliens, existent dans l'anneau de pyroclastites : l'interprétation des faciès en termes de climatologie se doit alors d'être nuancée. Ce cas existe. Cependant, les exemples qui suivent le montreront, les phénomènes phréatomagmatiques se produisent dans des situations topographiques variées qui compliquent souvent la nature du bassin versant et l'on observe souvent l'existence d'affluent(s) : la sédimentation dans un lac de maar obéit alors aux mêmes règles que celle d'un lac ordinaire.

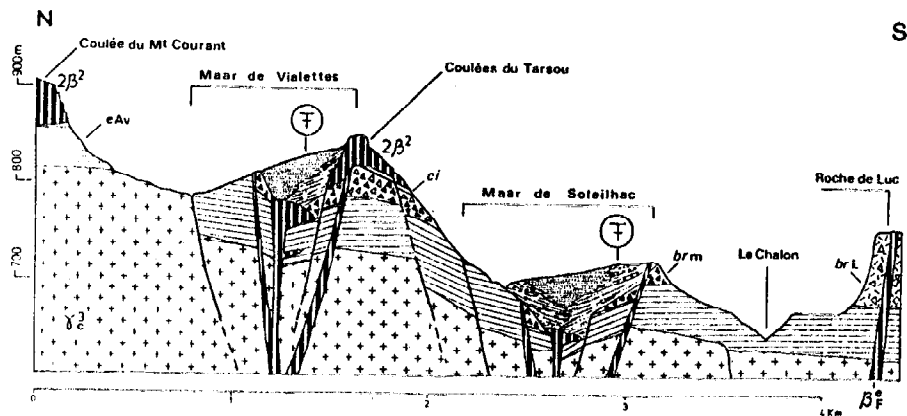


Figure 2 : Le dispositif phréatomagmatique de Soleihac dans son contexte topographique et géologique.

2 - EXEMPLES D'AUVERGNE ET VELAY

Pour illustrer la zonation des faciès et leur contribution respective aux restitutions paléoclimatiques et chronostratigraphiques, nous examinerons les cas suivants : péri-lac et anneau détritique de Soleilhac, anneau détritique de Sainzelles, anneau détritique de Saint-Hippolyte et complexe lacustre de Clermont.

2.1 - Péri-lac et anneau détritique de Soleilhac (Blanzac, Haute-Loire)

Soleilhac (ou Solilhac) est le nom d'une ferme de la commune de Blanzac située à sept kilomètres au Nord - Nord-Ouest du Puy en Velay. Elle occupe le fond d'une vaste dépression semi-circulaire, dominée à l'Est par le volcan Tarsoux et le plateau de Rachac, ouverte à l'Ouest sur le Chalon, affluent de rive gauche de la Loire (figure 1).

F. ROBERT fait connaître en 1928 l'existence de dépôts fossilifères à Soleilhac. Plusieurs géologues s'attachent ensuite à déterminer l'origine des formations : A. AYMARD, M. TOURNAIRE, M. JULIEN, M. BOULE et plus récemment P. BOUT, D. BARRIER, E. ET M.F. BONIFAY. Le site et ses environs font actuellement l'objet d'une étude pluridisciplinaire coordonnée par E. BONIFAY.

F. ROBERT, A. AYMARD et M. TOURNAIRE considéraient les dépôts de Soleilhac comme le résultat d'éruptions boueuses. M. JULIEN (1886) y voyait des moraines. M. BOULE pensait à "une sorte de lac produit par un barrage basaltique" dans lequel les "produits de désagrégation des plateaux environnants ont formé de petits cônes de déjection à l'entrée de tous les ravins" (1892, p. 212). Plus récemment, P. BOUT reprend l'hypothèse de M. BOULE et attribue l'origine du barrage à la coulée de Rochelimaque (1960). Sans approuver totalement P. BOUT, E. BONIFAY donne une interprétation dynamique et paléoclimatique des dépôts : il attribue les brèches de base à une formation cryonivale et considère le reste de la série comme lacustre, à l'exception des termes sommitaux témoins d'une activité volcanique récente (BONIFAY et TIERCELIN, 1977). L'existence d'un maar à Soleilhac est ensuite proposée (MERGOIL et *alii.*, 1979). Elle concorde avec les conceptions déduites de la révision, entreprise par nous-même des dépôts jusqu'alors considérés comme des coulées de solifluxion et des épanchages cryonivaux (la Malouteyre, le Brunelet, Soleilhac, etc.). Elle permet d'expliquer la genèse de formations lacustres d'extension limitée et la micro-tectonique mise en évidence lors des fouilles. Les sondages profonds, effectués depuis, ont confirmé, voire compliqué, cette conception (existence probable de deux maars partiellement emboîtés, E. BONIFAY, com. pers.) qui permet de rendre compte de la morphologie actuelle, de la totalité des faciès observés et de leur disposition. Le schéma (figure 2) montre la position du dispositif phréatomagmatique de Soleilhac dans la topographie actuelle et ses rapports avec les formations environnantes.

2.1.1 - Eléments de stratigraphie et datation

La stratigraphie générale du gisement sera très certainement précisée par l'examen détaillé des sondages profonds effectués en 1983. Seules les grandes lignes en seront exposées ici et on s'attachera plus particulièrement à la description des formations de l'anneau détritique et des atterrissements sus-jacents. Six ensembles majeurs ont été définis, notés F à A, du plus ancien au plus récent (E. BONIFAY et *alii.*, 1976 et com. pers.) :

Ensemble F : pyroclastites en place ou remaniées sur la pente interne du cratère, puissance d'ordre métrique à décimétrique.

Ensemble E : argiles bleues et marnes, puissantes de plusieurs dizaines de mètres vers le centre du lac.

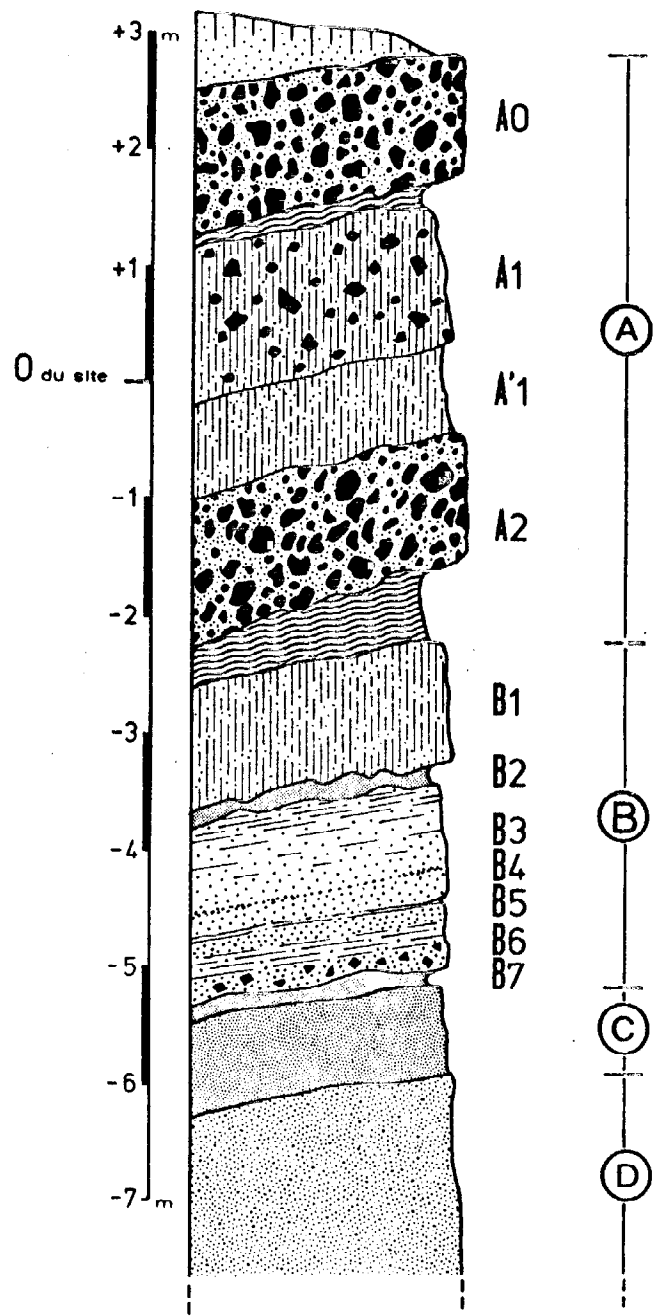


Figure 3 : Soleihac : Log synthétique des formations étudiées dans la tranchée sud et le sondage sud-est en 1980. Légende dans le texte.

Ensemble D : "sables roux", commencent par des intercalations silteuses et argileuses au sein du sommet de E et passent ensuite à des sédiments grossiers sableux et graveleux. Leur puissance est d'une dizaine de mètres.

Ensemble C : ce sont des sables gris, plus ou moins grossiers et graveleux, d'une puissance moyenne d'un mètre. Ils contiennent l'essentiel de la faune et l'industrie préhistorique.

Ensemble B : alternance de sables graveleux et de sapropels, puissance d'environ trois mètres.

Ensemble A : colluvions anciennes et coulées de blocs, d'une puissance d'environ cinq mètres.

Cette succession a été précisée en divers secteurs par des sondages à la pelle mécanique et des forages. La tranchée sud et le sondage sud-est de 1980 permettent une bonne approche des ensembles D à A (figure 3). La numérotation des ensembles n'a pas été actualisée.

Ensemble D : "sables roux" à passées argiluses vers le bas, puissance reconnue 2,50 m, sommet généralement oxydé. La fraction grossière du sédiment est principalement constituée d'éléments volcaniques basaltiques, très émoussés, avec quelques éléments de socle dans la classe des granules (2-5 mm).

Ensemble C : sables gris, 0,50 m, nombreux lits d'oxydes à la base. La fraction grossière est ici également très émoussée et roulée et les éléments du socle sont abondants dans la classe des granules.

Ensemble B avec de la base au sommet :

- sapropel B7, 0,20 m de puissance moyenne, présentant dans le sondage sud-est de nombreux fuseaux de sables gris et passant vers le Sud à une argile brune; vers l'Ouest, B7 surmonte C mais les contacts pourraient également laisser envisager un passage latéral de B7 à C,
- sables jaunes à passées sapropéliques, B6, 0,60 m. Les grains de la fraction grossière sont très roulés et on note la présence de fragments de brèche de maar,
- lit argileux sapropèlique B5, 0,05 m,
- sables B4, 0,50 m. La fraction grossière est assez peu roulée et comporte de très nombreux quartz et éléments du socle sub-anguleux dans la classe des granules,
- sables B3, 0,70 m. La fraction grossière présente les mêmes caractères qu'en B4,
- sapropel B2, 0,20 m, montrant de nombreuses déformations (figures de charge) et des indices de glissement en masse vers le Sud-Est,
- sables limono-argileux B1, 1,00 m. La fraction grossière est peu roulée et on note de très nombreux éléments du socle dans toutes les classes.

Ensemble A avec de la base au sommet :

- "convoi de blocs" basaltiques A2, puissance 1,30 m, avec une "semelle" de sédiments argileux en grande partie d'origine oligocène sur 0,30 m,
- colluvions A'1, 0,80 m, fraction grossière riche en fragments de basalte (lave et scories) accompagnés d'éléments du socle, peu émoussés à anguleux. Ces colluvions passent vers le Nord (coupe est) à des dépôts plus fins vraisemblablement lacustres,
- colluvions grossières A1, 1,40 m. La fraction grossière est très abondante au sommet, peu ou pas émoussée, toujours dominée par les produits basaltiques mais on note la présence d'éléments du socle parfois volumineux,

- "convoi de blocs" basaltique A0, 1,40 m, avec une "semelle" de matériaux argileux en grande partie d'origine oligocène sur 0,20 m.

Ces dépôts sont surmontés de colluvions récentes qui portent le sol actuel. Le pendage général à partir de l'ensemble C est de dix à vingt degrés vers le Sud-Est.

Des déformations souples et cassantes ont été observées dans les dépôts. Le sommet de l'ensemble D montre des pliations qui ont été interprétées comme pouvant résulter d'un mécanisme de solifluxion (BONIFAY et alii, 1976) mais pourraient également traduire un phénomène de "slumping" ou représenter des figures de charge. L'ensemble C et l'ensemble B (B3 et B6) présentent des figures de "cryoturbation" dont l'origine cryogénique devra être confirmée par une étude micromorphologique ultérieure. Les déformations des unités B2 et B7 peuvent être la conséquence de glissements en masse et certaines sont des figures de charge. Le sommet de l'ensemble D et l'ensemble C sont parcourus de micro-failles subverticales, orientées Nord-Est - Sud-Ouest, de rejet décimétrique (BONIFAY et alii, op. cit.) ; elles résultent très vraisemblablement de tassements au sein des diatèmes, postérieurement au dépôt de l'ensemble C contenant l'occupation humaine et antérieurement à la mise en place de l'ensemble B.

Des éléments de datation d'ordre différent existent à Soleilhac. Les faunes sont post-villafranchiennes (postérieures à 1 M.A. environ) et le paléomagnétisme indique une polarité directe pour les ensembles D et C, soit donc l'épisode de Jaramillo (0,96 à 0,90 M.A.) ou la période de Brunhes (après 0,73 M.A.) (BONIFAY, 1983).

2.2.2 - Analyse et discussion :

Une analyse sédimentologique classique a été pratiquée sur la fraction fine, complétée par une caractérisation des minéraux argileux et l'examen de lames minces. Elle a été complétée par une analyse des palynoflores (travaux M.M. PAQUEREAU). Les dépôts ont été étudiés sur les coupes sud et sud-est du site. Ils se mettent en place pendant la fin de la phase pléni-lacustre et la phase tardi-lacustre. On est là en présence du sommet de l'anneau détritique, à l'interface entre le domaine lacustre et le péri-lac.

2.2.2.1 - Ensemble D :

Sa masse est constituée de sables à intercalations argilo-limoneuses (coupe sud). La fraction grossière est relativement abondante et composée principalement de graviers de basalte très émoussés avec quelques éléments de socle dans la classe des granules (2-5 mm). La fraction fine est sableuse, faiblement argilo-limoneuse, bien à normalement classée ; le classement est mauvais dans les intercalations plus fines dont la fraction argileuse est formée principalement d'illites et de smectites avec une bien moindre proportion de kaolinite. Les courbes cumulatives sont unimodales, le mode établi sur les sables grossiers (coupe sud) se déplaçant vers les sables fins lorsqu'on s'éloigne vers le Sud du site. La structure sédimentaire de cet ensemble est de type deltaïque, caractéristique des faciès de l'anneau détritique. Elle traduit des apports rythmiques par ruissellement. De bas en haut de l'ensemble D étudié, les données palynologiques indiquent un paléoclimat de type interglaciaire à son optimum thermique, puis une dégradation climatique vers un pôle frais et très humide.

2.2.2.2 - Ensemble C :

Ce sont des sables argilo-limoneux (coupe sud). La fraction grossière, très émoussée et roulée, est discrète et son importance décroît régulièrement de bas en haut du dépôt. La fraction fine est très homogène dans la coupe sud, très mal classée à faiblement classée. Les courbes cumulatives sont unimodales et proches de celles de l'ensemble D. Le cortège argileux comporte des smectites dominantes, des illites et un mélange de kaolinite et de chlorite. Ces faciès appartiennent également à l'anneau détritique dont ils

constituent les termes de bordure (plage). Les données palynologiques indiquent un paléoclimat doux et très humide.

Les ensembles D et C se mettent en place pendant une période d'amélioration climatique de rang interglaciaire que les différentes données chronologiques permettraient de rapporter à une partie du Günz-Mindel de la chronologie alpine.

2.2.2.3 - Ensemble B :

Il débute dans les secteurs étudiés par B7, de texture limono-argileuse et très faiblement sableuse, très riche en smectites avec en moindres proportions des illites et un mélange de kaolinite et de chlorite. La palynoflore indique alors un climat frais et humide.

L'unité B6 est riche en fraction grossière dans une matrice sableuse argilo-limoneuse généralement très mal à faiblement classée (excepté le sommet normalement classé). Les courbes cumulatives sont à tendance bimodale. Dans la fraction argileuse, les smectites dominent un cortège composé également d'illites, de kaolinites et de chlorites ; au sommet de l'unité, les smectites sont seules présentes.

Les unités B4-B3, étudiées sur les coupes sud et sud-est, montrent un granoclassement positif de la fraction grossière. La fraction fine est sablo-argilo-limoneuse (coupe sud), très mal classée, sablo-limono-argileuse (coupe sud-est). Les courbes cumulatives sont unimodales à plurimodales. Le cortège des minéraux argileux est dominé par les smectites, devant les illites (parfois en assez forte proportion), les interstratifiés illite-smectite, un peu de kaolinite et de chlorite.

L'unité B2 est de texture limono-argileuse, très peu sableuse dans laquelle la fraction grossière n'est représentée que par quelques granules. Le classement est très mauvais. La fraction argileuse est dominée par les smectites, les illites, avec une moindre proportion d'interstratifiés illite-smectite et de kaolinite.

L'unité B1 a été étudiée sur les coupes est et sud-est. Dans les deux cas, elle montre un granoclassement positif : diminution progressive vers le haut de la fraction grossière et de la fraction sableuse, augmentation progressive de la fraction argileuse, relative importance et stabilité de la fraction limoneuse. On note, dans la fraction grossière, l'existence de galets mous d'argiles oligocènes. La fraction fine, sables limono-argileux sur la coupe est, argilo-limoneux sur la coupe sud-est, est généralement très mal classée (importance des limons). Les courbes cumulatives sont bimodales à trimodales. Les cortèges minéralogiques sont dominés par les illites et les smectites et comportent en moindres proportions des interstratifiés illite-smectite, des kaolinites et des chlorites.

De B6 à B1 on assiste à l'installation de conditions rhéxistatiques, de plus en plus fraîches et toujours très humides, provoquant des apports spasmodiques de matériaux mal classés en bordure de lac. Les couvertures pédologiques sont profondément érodées et le substratum oligocène partiellement mis à nu. Les figures de cryergie indiquent le franchissement d'un seuil thermique. A plusieurs reprises, la sédimentation lacustre fine reprend le pas sur les apports de versant mais il est difficile de dire s'il s'agit de petites remontées du plan d'eau (par surcroît de charge solide ou par excès d'apports aqueux) ou d'un enfoncement saccadé contrôlé par un tassement de l'anneau détritique ou des rejeux des failles du diatrême. Ces dépôts marquent par conséquent l'installation progressive d'une période de type glaciaire du Pléistocène moyen ("Mindel" de la chronologie alpine).

2.2.2.4 - Ensemble A :

Il se subdivise en quatre unités principales. Certaines ont été étudiées sur les coupes est et sud-est.

L'unité A2 est un convoi de blocs dont la "semelle" est constituée exclusivement de fraction fine, sédiments argilo-limoneux très faiblement sableux ("argiles" oligocènes remaniées), limono-sablo-argileux et limono-argilo-sableux ("argiles" oligocènes et sommet de B1 remaniés), très mal classés. Les courbes cumulatives sont bimodales. Les minéraux argileux sont essentiellement des smectites, un peu d'illite, de kaolinite et d'interstratifiés illite-smectite. Ce type de dépôt implique la mise en place de conditions rigoureuses de nature périglaciaire autorisant la destruction active des abrupts basaltiques environnants et l'établissement de pergélisols.

L'unité A'1 est constituée (coupe sud-est) de sables limono-argileux très mal classés. Vers le Nord (coupe est) elle est limono-sablo-argileuse. Les courbes cumulatives sont à tendance plurimodale. Les minéraux argileux appartiennent aux familles des smectites et des illites en proportions équivalentes; on note également un mélange de kaolinite et de chlorite et la présence d'interstratifiés illite-smectite vers le Nord.

L'unité A1 est formée de sables généralement limono-argileux, parfois argilo-limoneux, très mal classés. Les courbes cumulatives sont plurimodales. Le cortège des minéraux argileux est dominé par les illites avec un peu de smectites, toutes peu abondantes et très mal cristallisées.

Ces deux ensembles témoignent de conditions rhéxistatiques postérieures à une amélioration climatique ayant permis la reconstitution des couvertures pédologiques (paléoandosols). Leur mise en place se fait par colluvionnement et par glissement de couche active de gélisols saisonniers. La palynoflore indique un paléoclimat de plus en plus froid et relativement sec.

L'unité A0 est un nouveau convoi de blocs reposant sur une "semelle" de texture très fine. Il dénote le retour de conditions rigoureuses périglaciaires.

Dans leur ensemble, les dépôts de l'ensemble A appartiennent à la phase tardi-lacustre et traduisent l'instauration des conditions pléniglaciaires du Pléistocène moyen ("Mindel") au sein desquelles deux péjorations attestées par la mise en place des convois de blocs encadrent une période moins rigoureuse. Bien que les corrélations avec d'autres domaines soient délicates en l'absence de repère chronologique absolu, on retiendra cependant que les formations alluviales de l'Allier en Basse-Auvergne présentent également une division tripartite et d'appréciation climatique comparable. En l'absence de datation absolue, il reste difficile d'évaluer la durée de chacune des unités stratigraphiques étudiées, qu'elles expriment de courts moments dont l'enregistrement est localement privilégié ou qu'elles représentent les bilans sédimentaires de périodes très longues.

Les formations de l'anneau détritique et du péri-lac de Soleilhac étudiées ici se sont déposées pendant les phases pléni et tardi-lacustres; elles apportent des données nouvelles et abondantes sur une période encore très mal connue, le début du Pléistocène moyen. Il n'est pas ici place pour une synthèse à laquelle concourent plusieurs disciplines et chercheurs. On retiendra cependant qu'au sein des conditions interglaciaires (fin du "Günz-Mindel" ?), une phase plus fraîche et très humide représente le signal de la dégradation climatique; on observe ensuite l'installation de conditions de plus en plus fraîches et toujours très humides puis, après franchissement d'un seuil, l'instauration d'un pléniglaciaire globalement froid et sec : cette évolution caractérise le début d'un stade glaciaire du Pléistocène moyen ("Mindel"). Selon les données chronologiques précédemment exposées (§ 2.1.1) et les conclusions tirées de l'étude de l'anneau détritique de Sainzelles (§ 2.2.3) dont la faune est un peu plus ancienne, la séquence étudiée pourrait se situer à cheval sur la limite Matuyama-Brunhes.

2.2 - Anneau détritique de Sainzelles (Polignac, Haute-Loire)

Le gisement paléontologique de Sainzelles (ou Sinzelles) se trouve à six kilomètres au Nord-Ouest du Puy, au sommet d'un petit vallon, sur la rive gauche de la Borne, à trois cents mètres environ au Nord du hameau du même nom. Il est dominé à l'Est par la Montagne de Sainte-Anne, à l'Ouest par la Garde de Sainzelles (figure 1).

Signalé dès 1846 par A. AYMARD, il est visité en 1888 par M. BOULE (BOULE, 1889, 1892) qui établit la liste des espèces présentes. Par la suite, la stratigraphie est étudiée par DÉPERET, MAYET et ROMAN (1923), puis plus récemment par P. BOUT (1960). Entre 1965 et 1970, des fouilles y sont conduites par E. et M.F. BONIFAY. En 1981, dans le cadre des travaux d'une action (contrat D.G.R.S.T.) coordonnée par E. BONIFAY, un sondage et une série de tranchées sont effectués à proximité immédiate des anciennes fouilles pour préciser la stratigraphie et effectuer un échantillonnage complet pour une étude sédimentologique, palynologique et paléomagnétique (travaux J.P. RAYNAL, M.M. PAQUEREAU et N. THOUVENY).

2.2.1 - Le lac de Sainzelles

La présence d'un maar au sens strict n'est pas avérée à Sainzelles. La stratigraphie étudiée repose sur des brèches volcaniques litées, pyroclastites en position primaire, peu altérées, dont la puissance n'est pas connue et qui présentent ici une déformation d'allure anticlinale. Leur examen en lame mince révèle la présence de lapillis accrétionnés et de pisolithes caractéristiques des faciès de cheminée explosive (G. CREVOLA, com. pers.). Toutefois, ces brèches pourraient être rattachées au complexe surtseyen de Sainte-Anne, d'âge pliocène. Mais immédiatement au Nord du site, un abrupt de plusieurs dizaines de mètres reconnu par forage (E. BONIFAY, com. pers.) se situe exactement dans le prolongement de l'accident d'orientation N 170° E joignant le méandre des Farges à Espaly puis aux maars de Nolhac : il peut en être l'expression locale (miroir de faille), ou représenter la paroi d'un diatrême : il s'agit en fait très probablement de la conjugaison des deux (figure 4). Quelle que soit la réalité, l'existence d'une dépression immédiatement au Nord de la zone étudiée est attestée par la disposition topographique actuelle et par les directions d'épanchement des coulées de la Garde de Sainzelles. La disposition générale des strates sédimentaires indique un appel à la sédimentation avec un épaississement notable vers le Nord : la série volcano-sédimentaire y atteint soixante mètres de puissance (E. BONIFAY, com. pers.) et se trouve donc limitée vers le Sud par un contact sub-vertical avec le substrat éocène.

Les formations sédimentaires étudiées à Sainzelles appartiennent par conséquent à un paléolac dont elles représentent les termes de bordure (anneau détritique). L'accumulation de vestiges fauniques et une possible présence humaine y sont donc logiques (paléoplage). La cuvette lacustre est actuellement occupée par l'épanchement basaltique de la Garde de Sainzelles, de magnétisme rémanent inverse.

2.2.2 - Stratigraphie

L'examen stratigraphique a été conduit selon une direction nord-sud. Il révèle l'existence d'une série détritique à pendage nord reposant sur des pyroclastites fines et fossilisée par des tephra basaltiques (projections et coulée) (figure 5). Elle constitue la partie supérieure du comblement d'une vaste structure et les racines de phénomènes de plus grande ampleur sans doute pleinement développés au Nord, vers le centre du paléo-lac. La stratigraphie relevée est la suivante, avec de bas en haut :

Unité 8 : ce sont des pyroclastites en position primaire.

Unité 7 : pyroclastites colluviées intercalées de bancs sableux gris. Puissance visible, 2,00 m, va en augmentant vers le Nord. Ce dépôt, bien lité, fossilise les bancs consolidés

sous-jacents et s'interstratifie avec eux. Son pendage apparent est de 20° Nord. On y observe de nombreux lits d'oxydes métalliques millimétriques et plusieurs lits argileux centimétriques brun-rose à fort pendage vers le Nord (45°) qui soulignent de petites failles de tassement.

Unité 6 : argiles roses. Puissance moyenne, 1,30 m. Ces "argiles" sont en fait partiellement constituées de paquets d'argile beige à rose, mélangés de colluvions de pyroclastites, de blocs de scories, de sables grossiers oxydés. Les déformations de la base traduisent des glissements en masse et des arrachements des dépôts sous-jacents, à l'état semi-plastique, postérieurement à un épisode de sédimentation fine en milieu calme.

Ensemble 5 : on y observe de bas en haut :

- 0,30 m de sables argileux gris,
- 0,30 m de sables argileux gris avec quelques granules de basalte,
- 0,20 à 0,25 m de sables grossiers gris riches en granules basaltiques,
- 0,15 m de sables gris non lités contenant quelques granules de basalte et quelques gros nodules de basalte altéré (diamètre de 0,02 à 0,03 m),
- 0,40 m de sables gris à la base, de plus en plus orangés vers leur sommet. Leur pendage apparent est de 13° vers le Nord. Leur sommet est souligné par un lit d'argile beige clair. Généralement limono-argileux, ils sont riches en granules basaltiques et de plus en plus grossiers vers leur base (granoclassement positif). Ils sont intercalés d'un lit plus sableux, gris, riche en granules, à pendage régulier de 4° vers le Nord, qui semble souligner une ancienne troncature au sein de 5.

Le sommet de l'ensemble, durci et oxydé, témoigne peut-être d'une émergence temporaire. Les déformations de la base de 5, sans incorporation d'argile rose à leur base, attestent d'une phase de déformation postérieure à leur dépôt, à l'état semi-plastique.

Ensemble 4 : Il s'installe sur 5 par une discordance de ravinement.

Sa base (4b) est grossière, constituée d'un lit de galets et granules dans une matrice sableuse grise de 0,10 m de puissance. Puis, se développe sur 0,50 m d'épaisseur, une alternance d'argile beige à granules de basalte et de sables grossiers sous forme de lentilles entrecroisées. Un lit d'argile beige épais de 0,02 m scelle cette partie inférieure.

La partie supérieure (4a) débute par une sédimentation grossière qui cède rapidement la place à des dépôts plus fins, non lités, dans lesquels s'observent des granules de quartz et de basalte ainsi que quelques cailloux de basalte et des nodules métalliques. La puissance atteint 1,00 m. Des ossements fossiles s'y rencontrent à différents niveaux.

Ensemble 3 : puissant de 0,45 m, il comporte de bas en haut :

- sables grossiers très oxydés à fuseaux d'argile et lits de graviers à oxydes métalliques,
- argiles brunes à granules basaltiques, sommet et base soulignés par des oxydes métalliques,
- argiles vertes à grains de basalte altérés,
- sables jaunes à ocres surmontés d'argiles vert-gris, beige, marron, à passées limoneuses ocres plissotées et localement fortement concrétionnées en croûte métallique,
- argiles vertes plissotées à lits de minéraux lourds et d'oxydes.

Unité 2 : projections volcaniques très altérées, lits de lapillis bien conservés à la base, puissance 0,90 m.

Unité 1 : brèche de poussée très altérée, 0,50 m.

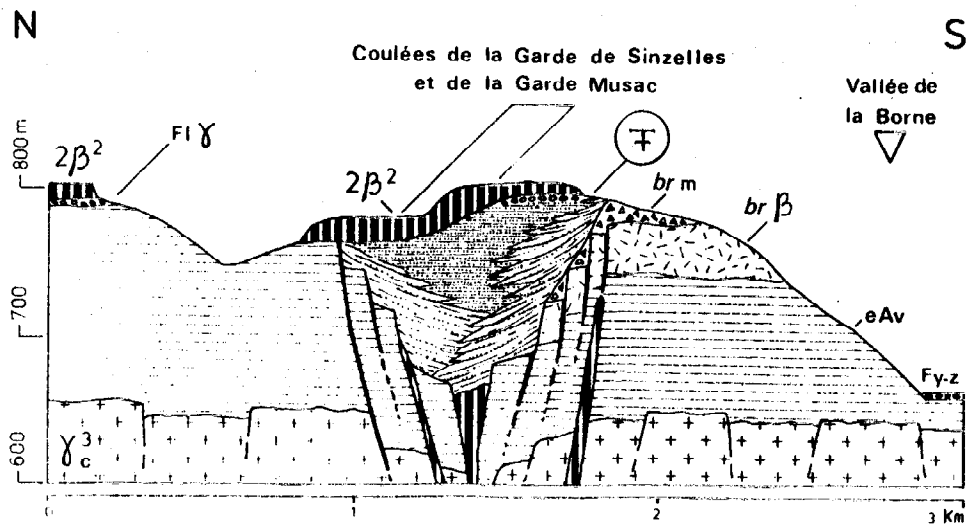


Figure 4 : Disposition possible des formations volcano-sédimentaires de Sainzelles, dans leur contexte topographique et géologique, dans le cas de l'existence d'un maar.

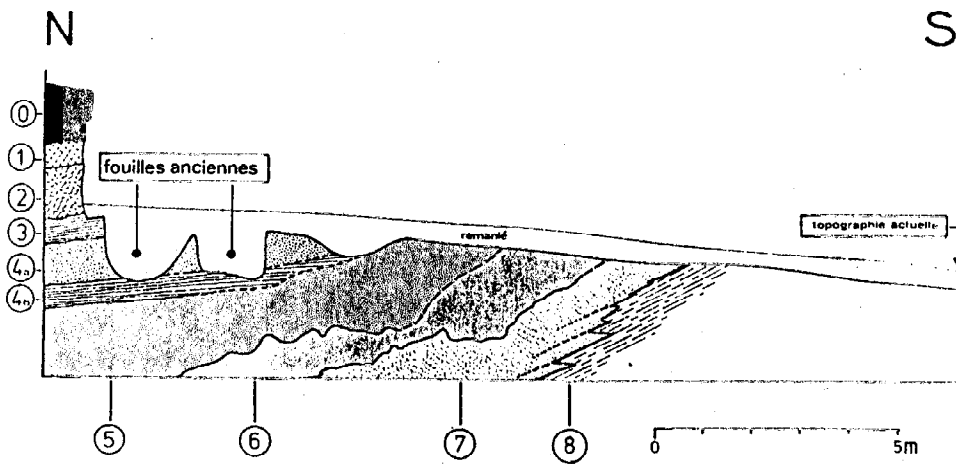


Figure 5 : Stratigraphie des formations reconnues à Sainzelles par pelletage en 1981. Légende dans le Texte.

Unité 0 : coulée basaltique, vacuolaire à l'affleurement.

2.2.3 - *Eléments de chronologie*

L'étude paléomagnétique de la série sédimentaire a porté sur les niveaux de granulométrie fine (THOUVENY, 1983). Les unités et ensembles 6 à 2 ont été étudiés. La coulée sommitale a également fait l'objet d'une recherche de polarité. Les résultats sont les suivants :

Unité 6 : aimantation de polarité directe pour la majeure partie du dépôt, transition à une aimantation primaire inverse au sommet.

Ensembles et unités 5 à 2 : aimantation primaire inverse.

Unité 0 : aimantation primaire thermorémanente inverse.

Les âges K/Ar initialement attribués à la coulée (BELLON, 1971) étaient de 1,35 à 1,45 M.A. et permettaient de penser que la polarité inverse avait été acquise pendant la période Matuyama, postérieurement à l'épisode Oldoway. La polarité de base, directe, aurait dans ce cas été acquise au cours de l'épisode Oldoway, entre 1,87 et 1,67 M.A. Une nouvelle datation K/Ar de 0,87 M.A. a récemment été proposée pour la coulée (FOURIS et alii, 1986). Bien que subsiste la possibilité d'une lacune de durée indéterminée entre le dépôt des sédiments lacustres et l'épanchement basaltique, il devient alors également possible de rapporter la polarité directe de base à l'épisode de Jaramillo, entre 0,96 et 0,90 M.A.

2.2.3 - *Synthèse et discussion*

Les dépôts étudiés se situent en bordure de dépression lacustre et appartiennent à l'anneau détritique. Ils correspondent à la fin de la phase pro-lacustre et aux phases pléni-lacustre et tardi-lacustre. Les principales conclusions d'ordre dynamique, climatique et chronologique sont résumées dans le tableau 1.

On observe un assez bon accord entre les conclusions de l'analyse sédimentologique et celles de l'étude palynologique. Leur confrontation permet de mieux apprécier les transitions climatiques, de ramener à leur juste valeur des épisodes parfois anecdotiques décelés et exagérés par la sédimentologie, de cerner les tendances générales des paléoclimats.

Trois stades climatiques principaux peuvent être définis et deux d'entre eux se subdivisent en phases. Ce sont, du plus ancien au plus récent :

Stade Sainzelles I :

Il se confond avec la phase **Sainzelles 1**, période rhexistasique froide et humide pendant laquelle se dépose l'unité 7 et que la palynologie permet de comparer aux phases riches en conifères de la série de Rossignolet dans le Mont-Dore (Rossignolet II, BRUN, 1971, 1973, 1976, 1980), au Sénézien II (ELHAI, 1969) et donc de rapporter à l'Eburonien (= "Günz" de la chronologie alpine). On ne connaît pas ici la polarité des dépôts dans lesquels il a été reconnu : à Senèze, les dépôts du Sénézien II sont de polarité inverse (PREVÔT, 1969) et appartiennent donc à la période de Matuyama.

Stade Sainzelles II :

C'est une période de biostase pendant laquelle se déposent l'unité 6 et le sous ensemble 5e. On y distingue trois phases climatiques numérotées 2, 3 et 4, de la plus ancienne à la plus récente.


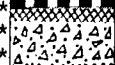
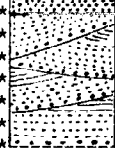

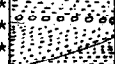


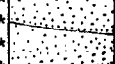

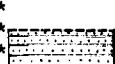

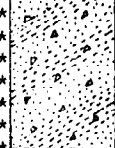

Lithostratigraphie.	Phénomènes dynamiques.	Ambiance climatique	Evolution du Lac * - Niv. - + *	
	0	Volcanisme		
	1-2	strombolien.		Comblement du thalweg et de la dépression.
	3	Instabilité sédimentaire régime torrentiel.	R	Frais à humidité irrégulière.
		Erosion.		Erosion régressive à travers les dépôts lacustres.
	4 a	Instabilité sédimentaire, régime deltaïque lacustro-torrentiel.	R	Frais et humide.
	4 b			
		Emersion		Sec.
	5 a	Sédimentation de plus en plus calme.	b	Doux à humidité régulière.
	5 b	Instabilité sédimentaire : dénudation des versants, colluvionnement, accroissement du talus sous-lacustre.	R	De plus en plus frais, humidité irrégulière.
	5 c			
	5 d			
	5 e			
		Erosion		
	6	Fixation des versants, apports extérieurs très réduits, décantation.	B	Tempéré, humidité régulière.
	7	Dénudation des versants, Colluvionnement, constitution du talus sous-lacustre.	R	Frais et humide.
		Erosion.		
	br m	Phréatomagmatisme.	?	Humide ?
				Ouverture de la dépression

Tableau I : Synthèse stratigraphique, dynamique et climatique d'après l'étude des formations reconnues à Sainzelles en 1981.

La phase Sainzelles 2 correspond à l'instauration de conditions climatiques douces (base de l'unité 6).

La phase Sainzelles 3 représente l'optimum climatique doux et humide (unité 6).

La phase Sainzelles 4 est plus fraîche et annonce une dégradation climatique (sous-ensemble 5e).

Les cortèges polliniques sont rapportables au Waalien et comparables à ceux décrits dans la série de Queureuilh (Mont-Dore, BRUN, *op. cit.*, notamment en ce qui concerne la succession phase à Chênaie - phase à Aulne), mais montrent moins d'affinités avec le Sénézien I (ELHAI, *op. cit.*) dont le détail climatique est complexe.

Stade Sainzelles III :

C'est une période globalement rhexistasique pendant laquelle se déposent les ensembles 5, 4 et 3. On y distingue trois phases climatiques numérotées 5, 6 et 7, dont le découpage en sous-phases reste délicat.

La phase Sainzelles 5 est une période froide et assez sèche (humidité irrégulière) pendant laquelle se déposent les sous-ensembles 5d à 5b).

La phase Sainzelles 6 est une pulsation douce et humide contemporaine de la sédimentation du sous-ensemble 5a.

La phase Sainzelles 7, froide et assez sèche (humidité irrégulière), surtout à son début (possible émergence temporaire du sommet de 5a), voit le dépôt des ensembles 4 et 3.

Les éléments géochronologiques exposés précédemment, et les données paléomagnétiques situeraient ces événements climatiques entre 0,90 et 0,73 M.A., dans la période inverse de Matuyama. Les cortèges polliniques sont proches de ceux du sommet de la série de Queureuilh et de la série de la Tache (Mont-Dore, BRUN, *op. cit.*). L'amélioration climatique de la phase "Sainzelles 6" pourrait être rapprochée de celle mise en évidence au sein du Ménapien par l'étude des rongeurs de la grotte des Vallerots (CHALINE, 1980) : "climatozone des Vallerots, stade 2" ...

L'étude de la série volcano-sédimentaire de Sainzelles apporte des connaissances nouvelles, stratigraphiques et paléoclimatiques, sur la fin du Pléistocène ancien en Velay.

Le système lacustre de Sainzelles fonctionne vraisemblablement bien avant le dépôt de l'unité 7 (antérieur à 1,87 ou 0,96 M.A. ?) et jusqu'à celui de l'ensemble 4 (antérieur à 0,87 M.A. environ). Sa durée de vie est par conséquent au minimum de l'ordre de 0,1 M.A.

Dans le cas de l'attribution de la polarité directe de l'ensemble 6 à l'épisode de Jaramillo, la "faune de Sainzelles", contemporaine de la phase "Sainzelles 7 - stade III", verrait sa position chronologique rajeunie mais resterait toujours sensiblement plus ancienne que celle de Soleilhac. Le climat est alors froid et assez sec mais les nombreux lacs compensent le déficit général en eau et constituent un facteur favorable à l'occupation animale (et humaine ?). La présence de l'Hippopotame implique l'existence d'un plan d'eau qui ne gèle pas et une grande abondance des herbacées (FAURE, 1983). Ce dernier point est attesté par la palynologie et confirmé par les caractères de l'équidé de Sainzelles (F. PRAT, com. pers.).

2.3 - Le paléo-lac de Saint-Hippolyte (Puy-de-Dôme)

Des dépôts de maar ont été identifiés au lieu-dit le Béchet et en bordure du C.D. 227 de Riom à Saint-Hippolyte (BEALON, 1969 ; BAUDRY et CAMUS, 1970), puis cartographiés (THUIZAT, 1973) (coordonnées Lambert X = 656,82, Y = 101,74, feuille au 1/25 000 à Aigueperse 7-8 ; altitude 460 m) (figure 6). Cette interprétation,

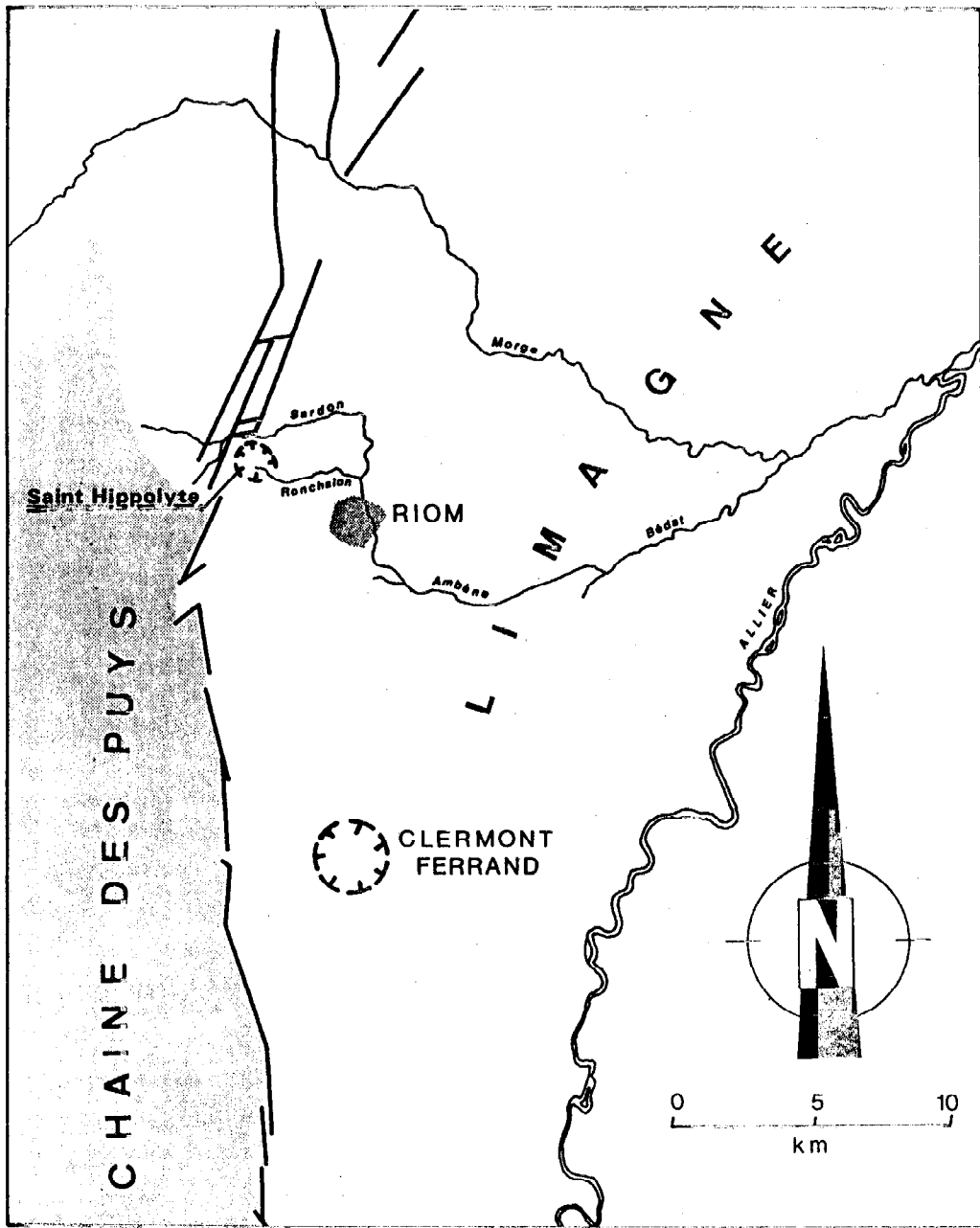


Figure 6 : Le dispositif lacustre de Saint-Hippolyte : croquis de situation.

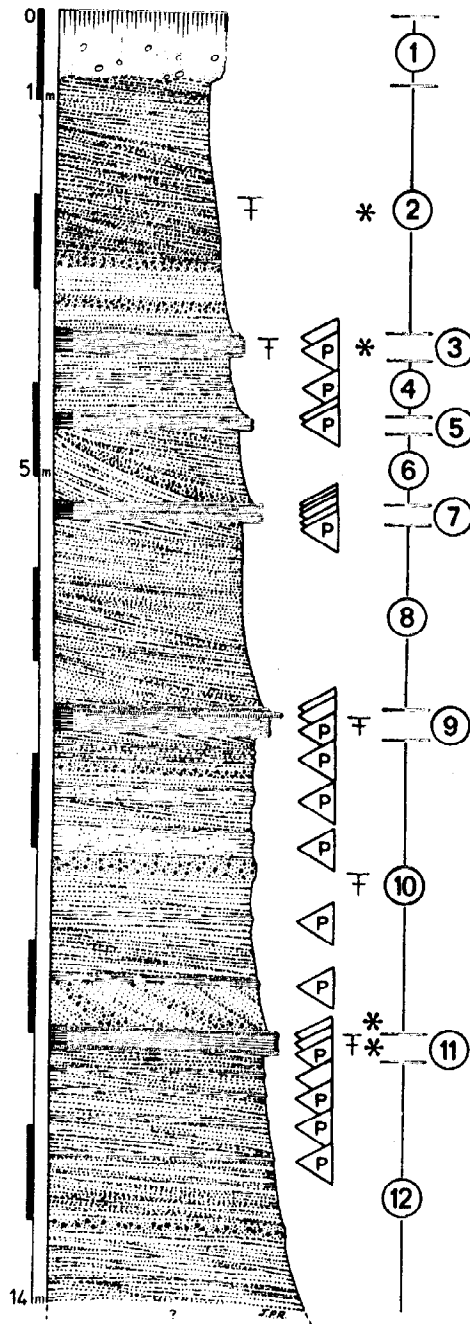


Figure 7 : Log des formations de l'anneau détritique du paléolac de Saint-Hippolyte avec emplacement des échantillons étudiés en palynologie (P) et des niveaux ayant livré des outillages préhistoriques (*).

confortée par la proximité d'une dépression circulaire en partie comblée par des dépôts lacustres fossilifères (BOUT, 1958 ; PELLETIER, 1963, 1966), fut contestée et la dépression considérée comme un petit bassin subsident en bordure de Limagne (BOUT, 1978). Après la découverte de vestiges lithiques préhistoriques en 1980, une étude pluridisciplinaire des différentes formations a été entreprise et la datation T.L. des pyroclastites réalisée (MIALLIER et *alii*, 1984a et b ; RAYNAL et *alii*, 1984, 1985).

2.3.1 - Rappel stratigraphique

Le caractère lacustre des formations a été établi par P. BOUT (1958). En 1963, H. PELLETIER publie une coupe schématique de la carrière nord, puis étudie (1966) les minéraux lourds des principaux niveaux.

Nous avons identifié douze ensembles sédimentaires dans les formations lacustres de la carrière nord sur une puissance de quatorze mètres (figure 7). Ils reposent sur des "sables grossiers" aujourd'hui non visibles (H. PELLETIER, 1963). On se trouve là au coeur de l'anneau détritique.

Pendant le dépôt des ensembles 12 à 8, le taux de sédimentation est généralement fort et le niveau lacustre s'élève rapidement (ensembles 12, 10 et 8). Les apports autochtones et allochtones traduisent une ambiance climatique fraîche et humide avec une mauvaise fixation du bassin versant. Cependant, les ensembles 9 et 11, de puissance réduite et de texture fine marquent des conditions moins humides avec réduction des apports allochtones et sans doute une relative stabilité du plan d'eau, voire un abaissement temporaire.

De façon générale, pendant le dépôt des ensembles 7 à 3, les apports allochtones par voie acqueeuse sont réduits (ensembles 6 et 4) et le niveau du lac remonte lentement ce qui dénote une humidité très faible. Les apports fins qui composent l'essentiel des ensembles 5, 3, et dans une moindre mesure 7, sont très micacés ; le bon état des minéraux légers indique un transport de courte durée qui serait compatible avec des phénomènes de déflation dans la plaine avoisinante. Ces éléments plaident donc en faveur d'une ambiance climatique froide et sèche entrecoupée de courtes périodes plus humides.

2.3.2 - Données paléontologiques

2.3.2.1 - Palynologie :

L'étude de 20 échantillons répartis le long de la séquence lacustre nord a permis à M.M. PAQUEREAU (*in* RAYNAL *et al.*, 1984) d'établir un diagramme (figure 8) sur lequel quatre zones peuvent être distinguées. L'ensemble du diagramme montre une évolution continue vers l'instauration de conditions très sévères de steppes froides, pleinement réalisées à la fin de la zone III et dans la zone IV. Ces caractères correspondent nettement à une phase glaciaire majeure à son maximum. La composition de la flore et les caractères de l'évolution climatique évoquent le Würm ancien et spécialement le "Würm I" dans sa deuxième partie et sa phase finale. Le tout début du diagramme, par contre, représente sans doute l'extrême fin de la troisième oscillation adoucie du "Würm I" (= Odderade).

D'après les données actuelles de la climatologie de cette période et particulièrement les nombreux documents relatifs au Sud-Ouest de la France, les caractéristiques du "Wurm I" final se retrouvent ici, compte tenu de la différence de situation géographique des sites. C'est à ce moment là que le maximum des conditions glaciaires est réalisé, conditions qui se prolongeront sans changement essentiel pendant le "Würm II" et qui provoquent alors une profonde détérioration de la flore (M.M. PAQUEREAU, 1975). On

note alors comme ici la dominance des Composées, spécialement des Artémisiées et Cichoriées, l'abondance des steppiques, surtout l'Hélianthème. On retrouve encore ici l'apparition de *Ephedra* vers le sommet du diagramme. Le sommet du "Würm I" montre bien ici son caractère de seuil climatique.

2.3.2.2 - Paléontologie animale :

L'exploitation des carrières dans les années soixante par Monsieur DEVEZE a été régulièrement suivie par H. PELLETIER et A. RUDEL, mais également par l'Instituteur de Saint-Hippolyte en relation avec P. BOUT. Les restes fauniques provenaient principalement des ensembles 4 à 10 de notre stratigraphie. Ils ont fait l'objet de déterminations par R. LAVOCAT, J. VIRET, G. GAUDRON, F. PRAT. La liste faunique publiée ensuite (P. BOUT et R. BROUSSE, 1969) était la suivante :

Elephas trongotherii,
Bos primigenius,
Bison priscus,
Equus aff. *caballus germanicus* Nehring,
Equus aff. *mosbachensis*,
Ursus arctos,
Rangifer.

Cependant, selon F. PRAT qui examina les restes de chevaux, la présence d'*Equus* aff. *mosbachensis* "ne saurait être acceptée qu'avec la plus extrême réserve" car elle concerne uniquement "une prémolaire supérieure massive et à caractères caballins très affirmés" (F. PRAT *in litteris* à P. BOUT, 22 avril 1963, et communication personnelle).

Cette liste fut reprise et complétée par C. GUERIN (1980) qui signala en outre la présence d'un rhinocéros indéterminé et proposa avec réserves une attribution aux biozones 25 ou 24 (Riss ou Riss-Würm) :

Equus caballus aff. *germanicus*,
Equus aff. *mosbachensis*,
Mammuthus cf. *intermedius*,
Hippopotamus,
Rangifer,
Capreolus,
Bos primigenius,
Bison priscus,
Ursus arctos,
Canis Lupus.

M. FAURE (1983) a rapporté les reste d'Hippopotame à *Hippopotamus major*.

Dans la collection conservée au Musée Lecocq de Clermont-Ferrand figurent des vestiges fauniques provenant du gisement de Saint-Hippolyte. Avec l'accord de Madame VIVAT, conservateur, que nous remercions vivement, ces pièces ont été étudiées par J.L. GUADELLI (*in* RAYNAL *et al.*, 1984) et ont permis d'identifier le Cerf, le Bœuf primitif, le Bison, le Cheval (dominant), le Mammouth et la Marmotte. Ont également été déterminés des restes d'Ours brun, de Cerf, de Renne et de Mammouth provenant de la collection A. RUDEL. Cependant d'autres ossements ont été examinés : il s'agit de ramassages autorisés effectués par D. MARCHIANI et P. ROUSSEL dans certains des 12 ensembles sédimentaires définis précédemment dans le delta de la carrière nord. Ces restes, pour la plupart parfaitement localisés dans la stratigraphie, se rapportent les uns au Cheval, d'autres à un Boviné indéterminé, au Renne (un fragment de bois) et à l'Hyène (un coprolithe). S'y ajoute une diaphyse d'os long de Mammouth récemment découverte par G. VERNET et J.L. GISCLON.

En conclusion, la nette prédominance du Cheval et des grands bovidés, espèces d'espaces découverts, semble indiquer l'instauration de conditions climatiques ne permettant pas le développement de grands couverts forestiers. Cependant, bien que très peu abondant, le Cerf atteste de la présence de quelques zones boisées. La présence du Renne, du Mammouth et de la Marmotte témoigne toutefois d'une certaine rigueur du climat ce que semble confirmer la haute taille des cerfs. La liste provisoire suivante peut donc être rétablie pour les formations lacustres de la carrière nord :

Hyenidae,
Ursus arctos,
Cervus elaphus, acoronatus,
Rangifer,
Bos primigenius,
Bison sp.,
Mammuthus primigenius,
Equus caballus cf. germanicus,
Marmota marmota primigenia.

Cette association est ici contemporaine du Würm ancien à la fin de sa première partie ("Würm I" final).

2.3.3 - Synthèse

L'interprétation synthétique des données de chaque discipline conduit à la reconstitution dynamique suivante :

Nous situons l'explosion du maar de Saint-Hippolyte dans le Würm ancien, à la limite des sous-stades 5b et 5c de la courbe isotopique des océans (= transition St Germain I - Melisey II) : Cler TL 50 = 94 000 ± 14 000 avant 1980.

Dans une telle structure fermée où s'exerce une subsidence localisée, l'articulation des faciès sédimentologiques avec les facteurs paléoclimatiques reste souvent délicate à établir. Seule une approche pluridisciplinaire permet de proposer la synthèse chronoclimatique suivante :

Dans la dépression cratérique formée par l'explosion du maar, s'installe rapidement un paléo-lac. Il est peut-être alimenté au Nord par un paléo-cours du Sardon ou simplement à l'Ouest et au Nord-Ouest par de petits ruisseaux descendant du plateau des Dômes, mais également par des venues hydrothermales (failles du système de Châtelguyon).

Une puissante banquette lacustre littorale commence à s'édifier aux dépens du croissant de pyroclastites : la partie que nous en connaissons se construit pendant la dernière phase tempérée du Würm ancien et prograde dans la zone nord du lac. Le taux de sédimentation est élevé pendant toute la période fraîche et humide de dégradation du couvert végétal qui conduit à l'instauration de conditions pléniglaciaires et le niveau du lac s'élève rapidement : les ensembles 12, 11 et 10 se déposent. Une pulsation plus sèche préside au dépôt de l'ensemble 11 et les populations moustériennes fréquentent les rives du lac : quelques objets lithiques et restes fauniques sont entraînés sur la pente interne lors d'une période plus humide qui commande la mise en place de l'ensemble 10 ; ils rejoignent les nombreux éléments de squelette apportés par les agents naturels (Cheval, Renne, Marmotte, Mammouth).

Après le dépôt de l'ensemble 9 fossilifère (Cheval, Hyène, cervidés ?) dans des conditions froides et sèches, une pulsation plus humide commande la mise en place de l'ensemble 8 et le niveau du lac poursuit son ascension. A partir de l'ensemble 7, le

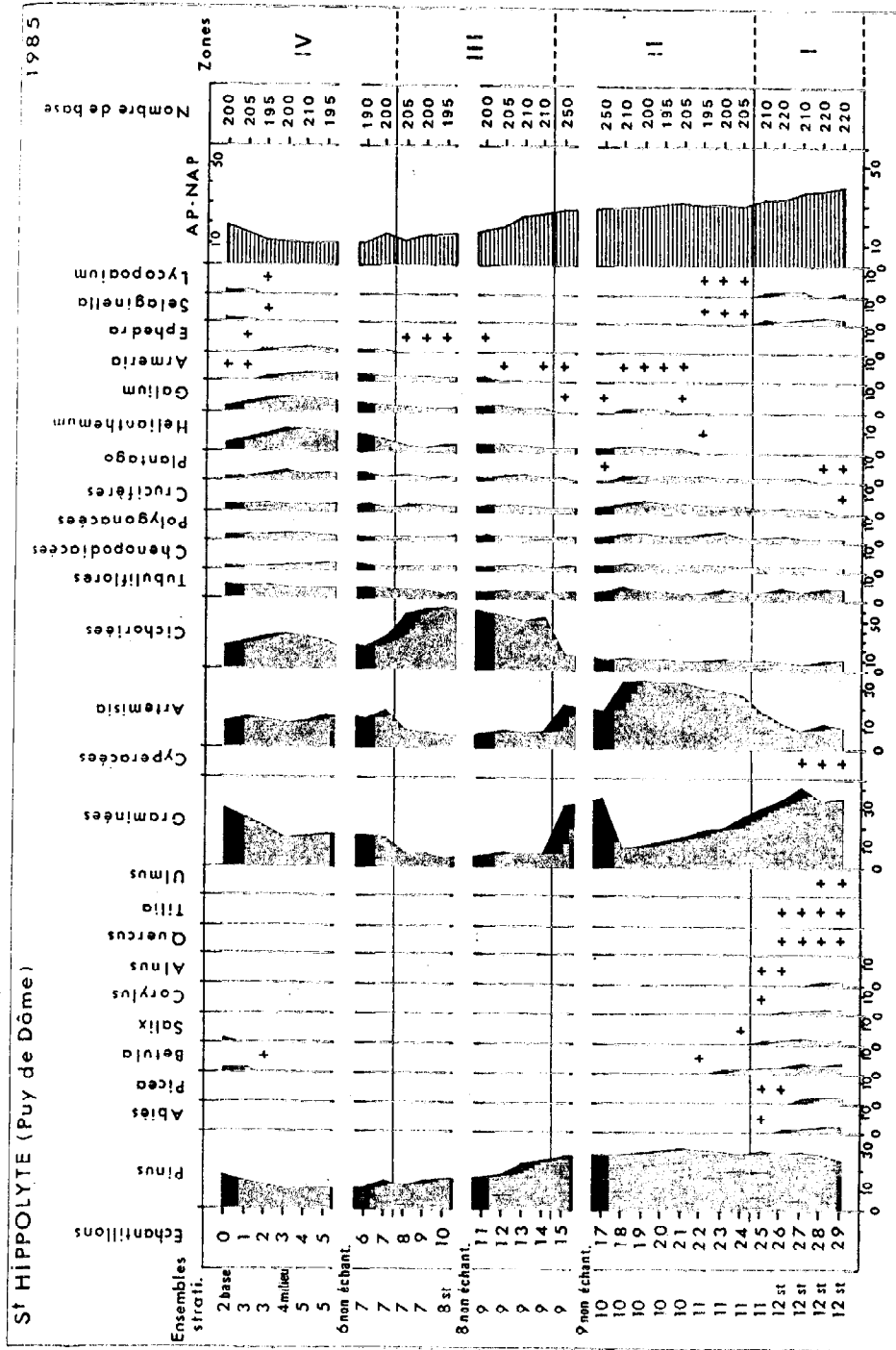


Figure 8 : Diagramme pollinique établi d'après l'étude des formations lacustres de Saint-Hippolyte (travaux M.M. PAQUEREAU).

comblement de la zone nord se ralentit avec l'instauration définitive des conditions pléni-glaciaires steppiques du Würm ancien, le niveau du lac s'élève très lentement : un seuil est franchi. Une nouvelle installation de chasseurs moustériens est enregistrée au cours du dépôt des ensembles 3 et 2 : d'abord dans un contexte froid et sec (Bison et/ou Bœuf primitif, Cerf), puis lors d'un regain de sédimentation provoquée par le retour à une amélioration climatique de faible amplitude (restes remaniés de Renne, Mammouth, bovidé) qui pourrait correspondre à la phase X du Würm ancien ("interstade Würm I-II") ; le dépôt de l'ensemble 1 ne doit pas être très éloigné du plus haut niveau lacustre. Un déversoir se crée alors dans la partie sud-est (ruisseau de Ronchalon) dont l'érosion régressive conduit peu à peu à la vidange du lac.

Le système lacustre évolue donc par comblement progressif et remontée du plan d'eau (phase pro-lacustre) pour atteindre une limite topographique à partir de laquelle se produit une surverse et la création d'un exutoire (phase pléni-lacustre). Mais contrairement à l'exemple du lac de Clermont que nous examinerons plus loin (§ 2.4), la cuvette de Saint-Hippolyte ne semble pas avoir connu un comblement total de sa partie centrale. La durée de vie du système lacustre peut être évaluée à 30 000 ans au moins mais il conviendrait de sonder le cœur du lac pour y rechercher les dépôts les plus récents susceptibles d'y être conservés (phase tardi-lacustre).

2.4 - Le système lacustre de Clermont (Puy-de-Dôme)

La cuvette de Clermont est constituée de plusieurs maars coalescents péné-contemporains installés sur une zone de faiblesse immédiatement à l'Est de la grande faille bordière de Limagne. Les projections de l'un de ces maars, celui de Jaude-Salins culminent à 410 m NGF et constituent la Butte de Clermont (PELLETIER, 1969; BAUDRY et CAMUS, 1970) (figure 9). La première datation par thermoluminescence d'un phénomène phréatomagmatique a été réalisée sur ces pyroclastites (MIALLIER, 1982; MIALLIER *et al.*, 1983, 1984a; RAYNAL *et al.*, 1982, 1985) et situe l'explosion du maar pendant l'avant-dernier glaciaire, stade 6 de la courbe isotopique océanique :

Cler TL 23 = 157 000 ± 22 000 avant 1980 (Cours Sablon)
Cler TL 27 = 156 000 ± 22 000 avant 1980 (Hôtel de Chazerat).

Dans cette vaste dépression, alimentée à l'Ouest par la Tiretaine, s'est édifié un complexe lacustre reconnu par d'anciens travaux de forage. Le fond de la dépression en zone de cœur de lac n'a pas encore été atteint par sondage, mais les dépôts de cette zone ont cependant été reconnus dans sa partie sud-est ("Fond de Jaude") sur quatre-vingt-six mètres lors du forage Géocler 1 réalisé du 17 novembre au 10 décembre 1986. Bien que difficile à évaluer, la puissance totale des dépôts pourrait largement dépasser la centaine de mètres et représenterait donc un bilan d'accumulation des cent-soixante derniers millénaires (figure 10).

L'anneau détritique de ce système lacustre est largement dissymétrique. En effet, c'est dans la partie occidentale de la dépression, au pied de la Chaîne des Puys, que s'est édifié un puissant complexe détritique deltaïque lié à la Tiretaine. Il ne semble pas que l'anneau détritique soit très développé du côté est, au pied du tuff-ring : il reposerait là sur un complexe de panneaux glissés de bord de maar formant plate-forme vers 76 mètres de profondeur.

Les rapports de ce corps sédimentaire sableux avec le cœur de lac sont encore inconnus : certains composants grossiers reconnus en intercalations au sein de la masse de silts pourraient en provenir. La sédimentation sableuse grossière envahit le cœur de lac à une époque qui reste à déterminer : avec 20 mètres de puissance dans la zone orientale du lac, au pied de la butte de Clermont (fond de Jaude), elle est très chargée en éléments volcaniques à sa base (- 17 à - 11 m) et pourrait traduire un paroxysme éruptif de la Chaîne. Dans la partie sud (quartier de l'Étang), la disposition est très semblable : les

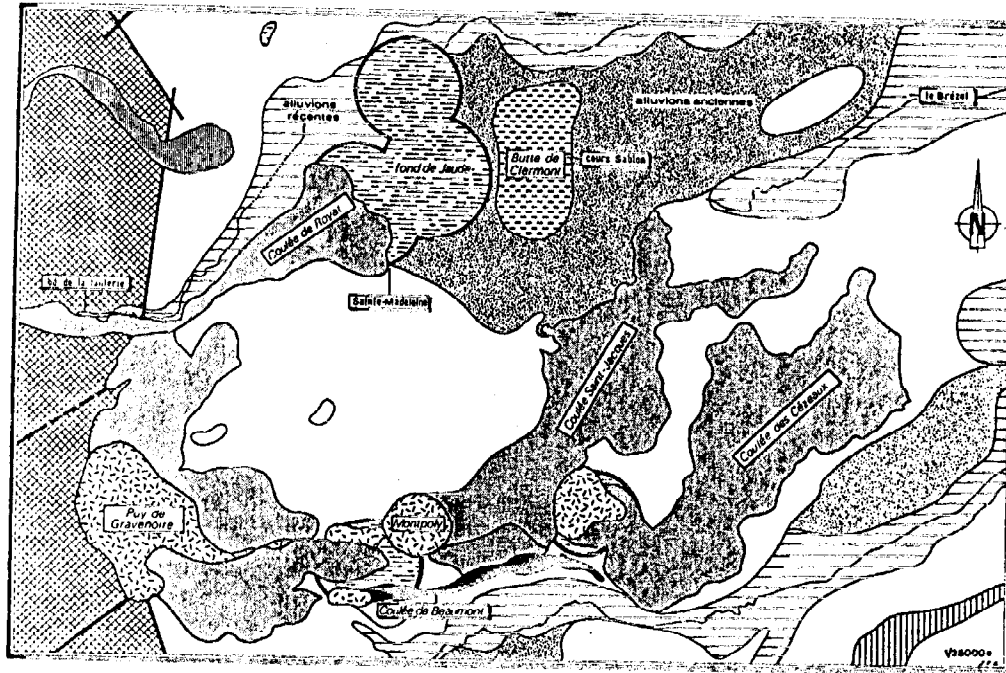


Figure 9 : Le complexe lacustre de Clermont dans son contexte topographique et géologique.

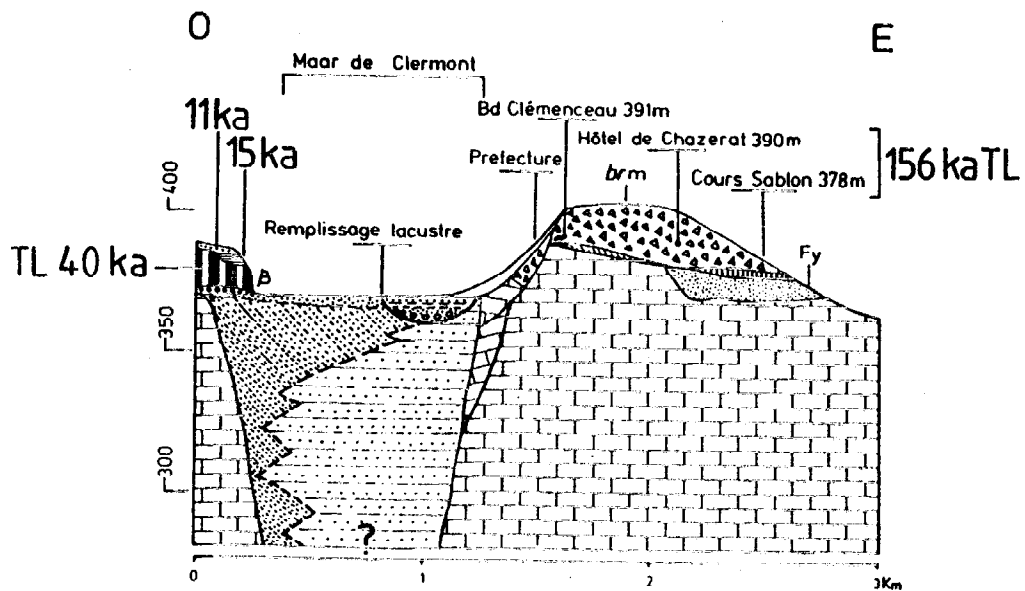


Figure 10 : Croquis stratigraphique synthétique des principales formations reconnues dans le système lacustre de Clermont.

sables, riches en minéraux volcaniques (pyroxènes 75 à 90 %), ont livré entre 20 et 6 mètres de profondeur une flore variée de diatomées - certaines traduisant un climat froid (*Stephanodiscus astraea* var. *minutula*) - qui indique un milieu aquadulcicole ou à minéralisation très faible, eutrophe, neutre ou légèrement alcalin, peu profond (PELLETIER, 1965).

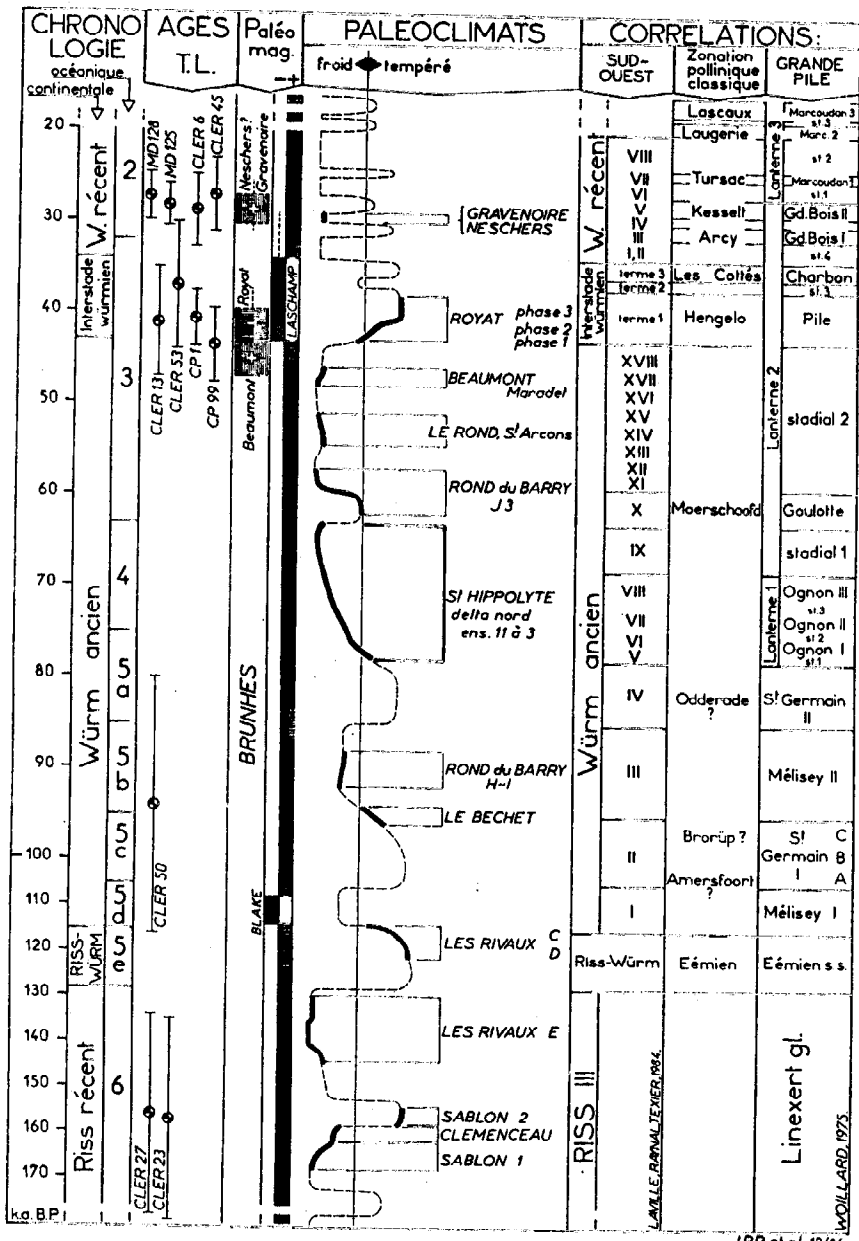
Dans le coeur de lac, la sédimentation est représentée, entre -20 et -82 m dans la partie reconnue, par des silts et sablons en lits le plus souvent millimétriques, de coloration gris-verte à noire, entrecoupés de retombées directes parfois épaisses, de bancs carbonatés, de passées sableuses ou graveleuses et de lits argileux. Plus bas (entre -82 et -86 m), la sédimentation est plus grossière. Des pendages importants ont été repérés à diverses profondeurs, indicateurs de glissements. Les alternances granulométriques et colorimétriques repérées traduisent sans doute des rythmes (saisonniers ?) que l'analyse détaillée des carottes de Géocler 1 permettra de définir.

Vers 40 000 BP (GUERIN, 1983 ; MIALLIER *et al.*, 1984a ; RAYNAL *et al.*, 1985), les coulées de Royat ennoient la vallée de la Tiretaine et viennent s'étaler dans la partie ouest de la dépression, sur les formations deltaïques. Ces basaltes présentent un magnétisme rémanent anormal attribué à l'événement de Laschamp. Il conviendrait de rechercher cette anomalie dans les formations lacustres.

Le niveau du lac semble s'être élevé encore, postérieurement à ces événements pour atteindre au moins le toit de la coulée des Roches à Chamalières : en attesteraient les diatomites découvertes au toit de la coulée de Royat et rapportées au Dryas ancien (BROUSSE *et alii*, 1969) ; c'est très probablement pendant cette période que se crée un système d'exutoire (phase pléni-lacustre). Au même endroit, la formation de tourbes marque le début de la phase tardi-lacustre entraînant le drainage et l'assèchement progressif de la dépression. Sur la coupe de Sainte-Madeleine à Chamalières, la coulée de Royat est ennoyée par des colluvions argileuses : elles attestent d'une mobilisation des versants qui s'achève lors de l'amélioration climatique de l'Alleröd et peuvent être rapprochées de celles décrites avenue des Thermes à Royat dont le paléosol sommital a été daté par radiocarbone de la fin de cette amélioration (Gif 1409 : 11 000 ± 150 BP) (BROUSSE, MICHAELY, RUDEL, 1969). Leur mise en place traduit bien sûr une période de dénudation des versants en ambiance climatique froide (Dryas II) mais cette reprise d'érosion est sans doute également consécutive à une vidange partielle du système lacustre.

Pendant l'Holocène, les dépôts lacustres sont érodés par un bras de la Tiretaine qui dépose d'abord des alluvions grossières puis évolue en bras mort avec dépôts fins palustres. Un régime d'alimentation hydrothermale installé par l'intermédiaire du réseau de failles est alors responsable de la construction des travertins de la zone est, au pied de la butte, et du maintien de zones palustres dans la partie sud de la dépression (quartier de l'Etang). Actuellement, l'alimentation en eau est permanente (17°5 dans le sondage Géocler 1) accompagnée d'une émission de gaz de faible intensité. Les différents niveaux grossiers repérés entre 0 et -20 m en drainent la plus grande partie mais on observe cependant en plusieurs points de la cuvette une accumulation de boue liquide (entre -21 et -26 m dans le forage Géocler 1).

Le système lacustre de Clermont a par conséquent fonctionné pendant près de 150 millénaires. En coeur de lac, nous estimons le taux moyen de sédimentation des silts à 0,5 mm/an, à partir du moment où les berges furent relativement stabilisées. La datation TL



J.P.R. et al. 12/84

Tableau II : Les premiers résultats de l'étude des systèmes lacustres de Basse-Auvergne intégrés à ceux provenant de l'étude des formations superficielles quaternaires des 150 derniers millénaires (RAYNAL et alii, 1984). Ils seront largement précisés par l'étude des carottes du forage Géocler 1 réalisé en 1986 qui recouvre l'ensemble de la période considérée et constituera par conséquent un référentiel pour le Pléistocène supérieur de Basse-Auvergne.

des tephra (3) et des sédiments (4) des carottes de Géocler 1 permettra de mieux définir les différents taux d'accumulation.

Les quelques exemples présentés ici illustrent à des titres divers tout l'intérêt de l'étude des maars du Massif Central français et de leurs remplissages sédimentaires. Ces complexes volcano-sédimentaires sont une réserve considérable d'informations sur les paléomilieux biologiques et permettent une chronologie absolue par des approches variées (datations des tephra, des sédiments, des faunes fossiles, paléomagnétisme...), pour certaines nouvelles : la thermoluminescence est actuellement la seule méthode permettant de dater les maars (jusqu'à 300 ka environ). L'établissement de référentiels continentaux étroitement corrélables aux données océaniques devient ainsi réalisable par l'accès aux séquences lacustres, généralement continues. Cette documentation, dont l'obtention nécessite de plus en plus la mise en oeuvre de sondages carottés coûteux, s'ajoute - et se corrèle - avec celle livrée par d'autres types de dépôts continentaux et la précède (tableau 2). Par chance, le Massif Central possède encore nombre de lacs de maar actifs : l'étude de tels systèmes et leur comparaison avec les systèmes anciens devrait très prochainement permettre une meilleure connaissance des processus dynamiques et biologiques. Enfin, le rôle attractif des paléo-lacs pour les populations préhistoriques, constamment confirmé par les nouvelles découvertes, du Paléolithique ancien aux époques récentes, oriente également les recherches futures.

(3) J. FAIN, D. MIALLIER, S. SANZELLE, Laboratoire de Physique corpusculaire, IN2P3 et U.A. 33 CNRS, Université de Clermont II.

(4) M.J. AITKEN, E. RHODDES, Research Laboratory for Archaeology and the History of Art, Oxford University.

BIBLIOGRAPHIE

BAUDRY D. et CAMUS G. (1970) - Les maars de la chaîne des Puys (formations volcaniques du Massif Central français). *Bulletin de la Société Géologique de France*, (7), XII, n° 2, p. 185-189.

BEALON A. (1969) - *La bordure de la Limagne entre Nohanent et Châtel-Guyon*. Mémoire de Maîtrise, Institut de Géographie, Faculté des Lettres, Clermont-Ferrand, 106 p.

BELLON H. (1971) - *Datation absolue de laves d'Auvergne par la méthode Potassium-Argon*. Thèse de troisième cycle, Université de Paris-Sud.

BONIFAY E. (1980) - Circonscription d'Auvergne. Informations archéologiques. *in* : *Gallia Préhistoire*, T. 23, fasc. 2, (1981), p. 337-358.

BONIFAY E. et M.F. (1983) - Le Paléolithique ancien en Velay et Auvergne : civilisations préhistoriques et milieu naturel. *in* *Les inédits de la Préhistoire auvergnate*, Clermont, Musée Bargoin, p. 91-104.

- BONIFAY E., BONIFAY M.F., PANATTONI R., TIERCELIN J.J. (1976) - Soleilhac (Blanzac, Haute-Loire), nouveau site préhistorique du début du Pléistocène moyen. *Bulletin de la Société Préhistorique Française*, tome 73, Etudes et Travaux, p. 293-304.
- BONIFAY E. et TIERCELIN J.J. (1977) - Existence d'une activité volcanique et tectonique au début du Pléistocène moyen dans le bassin du Puy (Haute-Loire). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, Paris, t. 284, série D, p. 2455-2457.
- BONIFAY E. et TRUZE E. (1984a) - Paléorivages et évolution des lacs et paléolacs du Velay (Massif Central français). *10 è R.A.S.T.*, Bordeaux, S.G.F. Ed., p. 72.
- BONIFAY E. et TRUZE E. (1984b) - Structures et dynamique sédimentaire dans les lacs de maars : l'exemple du Velay (Massif Central français). *5 è Congrès Européen de Sédimentologie*, Marseille, Résumés, p. 68-69.
- BOULE M. (1889) - Les prédécesseurs de nos Canidés. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 28 Janvier 1889.
- BOULE M. (1892) - *Description géologique du Velay*. Bulletin des services de la Carte Géologique de France et des topographies souterraines, vol. 4, n° 28. 259 p.
- BOUT P. (1958) - Anciens deltas lacustres de la Haute-Loire et des départements proches. *Bulletin de la Société Académique du Puy et de la Haute-Loire*, t. XXXVII, p. 187-188.
- BOUT P. (1960) - *Le Villafranchien du Velay et du bassin hydrographique moyen et supérieur de l'Allier*. Thèse, Imprimerie Jeanne d'Arc, Le Puy-en-Velay.
- BOUT P. (1970) - Maars et cônes de scories d'Auvergne et du Velay. *Revue d'Auvergne*, t. 84, n° 1, p. 29-42.
- BOUT P. (1973) - *Les volcans du Velay*. Watel Ed., Brioude, 287 p.
- BOUT P. (1978) - *Problèmes du volcanisme en Auvergne et Velay*. Watel Ed., Brioude, 326 p.
- BOUT P. et BROUSSE R. (1969) - *Livret-guide de l'excursion C 13 Auvergne-Velay*. Union Internationale pour l'Etude du Quaternaire. VIII Congrès INQUA, Paris, 87 p.
- BROUSSE R., DELIBRIAS G., LABEYRIE J., RUDEL A. (1969) - Eléments de chronologie des éruptions de la Chaîne des Puys. *Bulletin de la Société géologique de France*, 7è série, t. XI, p. 770-793.
- BROUSSE R., MICHAELY, RUDEL A. (1969) - Un épisode éruptif de la Chaîne des Puys à - 11000 ans, contemporain du volcanisme de l'Eiffel. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, Paris, 269, série D, p. 2182-2183.
- BRUN A. (1971) - *Les applications de la palynologie à l'étude géodynamique du massif volcanique du Mont-Dore*. Thèse Sci., Paris, 244 p., 31 fig., 1 tabl., 6 cartes, 25 diagrammes.
- BRUN A. (1973) - Application de la géodynamique au Plio-pléistocène du Massif Central. in : *Le Quaternaire : géodynamique, stratigraphie et environnement*,

supplément au Bulletin de l'Association Française pour l'Etude du Quaternaire
n° 36, p. 31-37.

- BRUN A. (1976) - La végétation au Pléistocène inférieur dans le Massif Central. in : *La Préhistoire Française*, t. I-1, p. 476-479.
- BRUN A. (1980) - Les formations du Massif Central en liaison avec la palynologie et les macroflores. in : *Problèmes de stratigraphie quaternaire en France et dans les pays limitrophes*, supplément au Bulletin de l'Association Française pour l'Etude du Quaternaire, N.S. n° 1, p. 231-238.
- CHALINE J. (1980) - Zonation biologique et climatique du Pléistocène d'après les faunes de rongeurs. in : *Problèmes de stratigraphie quaternaire en France et dans les pays limitrophes*, supplément au Bulletin de l'Association Française pour l'Etude du Quaternaire, N.S., n° 1, p. 359-367.
- DEPERET C., MAYET L., ROMAN F. (1923) - *Les éléphants pliocènes*. Annales de l'Université de Lyon, nouv. sér., 1, fasc. 43.
- ELHAI H. (1969) - La flore sporo-pollinique du gisement villafranchien de Senèze (Haute-Loire, France). *Pollens et Spores*, XI, n° 1, 127 p.
- FAURE M. (1983) - *Les Hippopotamidae (Mammalia, Artiodactyla) d'Europe occidentale*. Thèse de Troisième Cycle, Université de Lyon I, 233 p., 2 vol.
- FOURIS M., CANTAGREL J.M., MERGOIL J., POIDEVIN J.L. (1986) - Géochronologie absolue et faunes plio-quaternaires du Velay (Massif Central, France). *11^e Réunion des Sciences de la Terre*, Clermont, Société Géologique de France Ed., p. 69.
- GUERIN C. (1980) - *Les Rhinocéros (Mammalia, Perissodactyla) du Miocène terminal au Pleistocène supérieur en Europe occidentale. Comparaison avec les espèces actuelles*. Documents du Laboratoire de Géologie, Lyon, n° 79, fasc. 1, 2, 3, 1185 p.
- GUERIN G. (1983) - *Thermoluminescence des plagioclases. Méthode de datation du volcanisme. Applications au domaine volcanique français : Chaîne des Puys, Mont Dore et Cézallier, Bas Vivarais*. Thèse d'état, Université Pierre et Marie Curie, Paris, 253 p..
- JULIEN A. (1886) - Brèches volcaniques et moraines dans la France centrale. *Annuaire du Club Alpin français*, p. 602.
- MERGOIL J., BOIVIN P., CAMUS G., GOER DE HERVE A. De, GOURGAUD A., KIEFFER G., VINCENT P. (1979) - Le maar, site paléontologique privilégié en contexte volcanique. *7^e R.A.S.T.*, Lyon, Société Géologique de France éd., p. 325.
- MIALLIER D. (1982) - *L'usage des détecteurs solides de traces dans le cadre de la datation par thermoluminescence*. Thèse de 3^e cycle, Université de Clermont II, 107 p.
- MIALLIER D., FAIN J., SANZELLE S., DAUGAS J.P., RAYNAL J.P. (1983) - Dating of the Butte of Clermont basaltic maar by means of the quartz inclusion method. *Proceedings of third specialist seminar on TL and ESR dating, in European PACT*, J. 9, p. 487-498.

- MIALLIER D., FAIN J., SANZELLE S., RAYNAL J.P., DAUGAS J.P., PAQUEREAU M.M. (1984a) - Datation du volcanisme quaternaire du Massif Central français par la méthode des inclusions de quartz en thermoluminescence et comparaison avec d'autres approches. *10è R.A.S.T.*, Bordeaux, S.G.F. Ed., p. 396.
- MIALLIER D., FAIN J., SANZELLE S. (1984b) - Single quartz grains thermoluminescence dating : an approach for the complex materials. *National symposium on thermally stimulated luminescence and related phenomena*, Navrangpura, Ahmedabad, India. in : *Nuclear Tracks*, Vol. 10, n° 1/2, p. 163-168.
- PAQUEREAU M.M. (1975) - Le Würm ancien en Périgord. *Quaternaria*, Rome, t. XVIII, p. 67-159.
- PELLETIER H. (1963) - Observations géologiques sur les carrières de sable de Saint-Hippolyte. *Revue d'Auvergne*, t. 77, p. 141-145.
- PELLETIER H. (1965) - Sur quelques sondages près de la rue de l'Etang à Clermont-Ferrand. *Revue des Sciences Naturelles d'Auvergne*, vol. 31, fasc. 1-2-3-4, p. 13-23.
- PELLETIER H. (1966) - Etude des sables de Saint-Hippolyte. *Revue d'Auvergne*, 425, p. 147-150.
- PELLETIER H. (1969) - Clermont est-il bâti sur un volcan ? *Auvergne Magazine*, février 1969, 18, p. 2-8.
- PELLETIER H. (1974) - A propos de quelques maars de la Chaîne des Puys. *Bulletin Historique et Scientifique de l'Auvergne*, 640, p. 195-199.
- PREVOT M. (1969) - Contribution des données paléomagnétiques à l'estimation de l'âge d'un sédiment villafranchien. *Résumé des communications*, VIII^o Congrès INQUA, Paris, p. 352.
- RAYNAL J.P. et DAUGAS J.P. (1984) - Volcanisme et occupation humaine préhistorique dans le Massif Central français : quelques observations. *Revue Archéologique du Centre de la France*, t. 23, vol. 1, p. 7-20.
- RAYNAL J.P., DAUGAS J.P., PAQUEREAU M.M., MIALLIER D., FAIN J., SANZELLE S. (1982) - Première datation du maar basaltique de Clermont-ferrand (Puy-de-Dôme, France) : stratigraphie, palynologie, thermoluminescence. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, Paris, 299, série II, p. 1011-1014.
- RAYNAL J.P., DAUGAS J.P., PAQUEREAU M.M., GUADELLI J.L., MARCHIANTI D., MIALLIER D., FAIN J., SANZELLE S. (1984) - Le maar de Saint-Hippolyte (Puy-de-Dôme, France). Datation par thermoluminescence, flores et faunes fossiles, présence humaine, climatochronologie et dynamique du système paléo-lacustre. *Revue des Sciences Naturelles d'Auvergne*, vol. 50, fasc. 1-2-3-4, p. 97-114.
- RAYNAL J.P., PAQUEREAU M.M., DAUGAS J.P., MIALLIER D., FAIN J., SANZELLE S. (1985) - Contribution à la datation du volcanisme quaternaire du Massif Central français par thermoluminescence des inclusions de quartz et comparaison avec d'autres approches : implications chronostratigraphiques et

paléoenvironnementales. *Bulletin de l'Association Française pour l'Etude du Quaternaire*, 4, p. 183-207.

THOUVENY N. (1983) - *Etude paléomagnétique de formations du Plio-pléistocène et de l'Holocène du Massif Central et de ses abords*. Thèse de troisième cycle, Université d'Aix-Marseille II, 132 p., 93 fig., 34 tabl.

THUIZAT R. (1973) - *Les sources thermo-minérales de Châtel-Guyon et leur environnement géologique (Massif Central français)*. Thèse de 3^e Cycle, Département de Géologie-Minéralogie, Université de Clermont.