L'intensification des pratiques agricoles et la mobilisation des ressources naturelles dans La Pampa du Sud du Brésil

Jeannine Corbonnois, François Laurent, Vincent Andreu-Boussut, François Messner, Roberto Verdum, Rosa Vieira Medeiros, Makhtar Sogue

▶ **To cite this version:**

Jeannine Corbonnois, François Laurent, Vincent Andreu-Boussut, François Messner, Roberto Verdum, et al.. L'intensification des pratiques agricoles et la mobilisation des ressources naturelles dans La Pampa du Sud du Brésil. VertigO : La Revue Électronique en Sciences de l'Environnement, 2014, 14 (1), pp.1-12. 10.4000/vertigo.14590 . halshs-01069516

HAL Id: halshs-01069516
https://shs.hal.science/halshs-01069516

Submitted on 13 Jan 2022

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.

Distributed under a Creative Commons Attribution - NoDerivatives 4.0 International License

VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement

Volume 14 Numéro 1 | mai 2014
Des systèmes alimentaires articulés et transversaux pour une sécurité alimentaire

L'intensification des pratiques agricoles et la mobilisation des ressources naturelles dans La Pampa du Sud du Brésil

Jeannine Corbonnois, François Laurent, Vincent Andreu-Boussut, François Messner, Verdum Roberto, Rosa Medeiros Vieira et Makhtar Sogue

Édition électronique
URL : https://journals.openedition.org/vertigo/14590
DOI : 10.4000/vertigo.14590
ISBN : 978-2-924372-12-8
ISSN : 1492-8442

Éditeur
Les Éditions en environnement VertigO

Ce document vous est offert par Université de Caen Normandie

Référence électronique
Jeannine Corbonnois, François Laurent, Vincent Andreu-Boussut, François Messner, Verdum Roberto, Rosa Medeiros Vieira et Makhtar Sogue, « L'intensification des pratiques agricoles et la mobilisation des ressources naturelles dans La Pampa du Sud du Brésil », *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], Volume 14 Numéro 1 | mai 2014, mis en ligne le 05 mai 2014, consulté le 13 janvier 2022. URL : http://journals.openedition.org/vertigo/14590 ; DOI : https://doi.org/10.4000/vertigo.14590

Ce document a été généré automatiquement le 13 janvier 2022.

Les contenus de *VertigO* sont mis à disposition selon les termes de la Licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International.

L'intensification des pratiques agricoles et la mobilisation des ressources naturelles dans La Pampa du Sud du Brésil

Jeannine Corbonnois, François Laurent, Vincent Andreu-Boussut, François Messner, Verdum Roberto, Rosa Medeiros Vieira et Makhtar Sogue

Introduction

1 Grande puissance agricole, le Brésil occupe aujourd'hui le premier rang mondial pour de nombreuses productions : viande bovine, soja, agrumes, café, canne à sucre... Depuis les années 2000, les gouvernements Lula et Rousseff ont largement encouragé le développement de l'industrie agricole (*agrobusiness*) dont le succès économique a bénéficié du boom du marché mondial des produits agricoles, comme le soja ou la viande. Cet essor des exportations agricoles a cependant un prix environnemental élevé révélant le fort antagonisme entre un modèle de croissance fondé sur une macroéconomie mondialisée et les contextes socioécologiques locaux parfois d'une assez grande fragilité (Coutrot, 2009). De nombreuses recherches se sont ainsi intéressées aux impacts sociaux et environnementaux du défrichement de la forêt amazonienne lié au développement de nouveaux fronts pionniers (Dubreuil et al., 2008 ; De Mello et Théry, 2003). Or, d'autres espaces brésiliens historiquement tournés vers l'agriculture subissent également les conséquences écologiques de ces choix économiques et restent néanmoins en marge des recherches sur les enjeux environnementaux du développement agricole. C'est particulièrement le cas du biome de la Pampa (Overbeck et al., 2007) dont les formations de prairies naturelles (les campos), entrecoupées de forêts-galeries qui se développent le long des cours d'eau, couvrent le nord-est de l'Argentine et l'Uruguay et se prolongent dans le sud du Brésil. Traditionnellement dévolus à l'élevage extensif, les campos brésiliens subissent depuis une cinquantaine d'années une transformation de leur exploitation agricole en faveur

du riz (dans les plaines inondables), du blé et du soja (sur les collines) et aujourd'hui en faveur de nouvelles monocultures comme l'eucalyptus. Dans cet espace subtropical, l'intensification de ces cultures s'accompagne de pressions sur les ressources en eau et sur les sols, particulièrement sensibles à l'érosion.

2 L'objectif de cet article est donc d'explorer les tensions entre les dynamiques contemporaines de l'agriculture et ses enjeux environnementaux dans la Pampa du sud du Brésil. La tâche est double, car il s'agit d'abord de montrer comment les mutations de la production agricole affectent les systèmes environnementaux (eau, sols, biodiversité...) en partant de la quantification des dynamiques de l'occupation du sol. Et il s'agit également d'observer et de comprendre comment les acteurs locaux (agriculteurs et acteurs publics) prennent conscience des phénomènes de dégradation de l'environnement et sont en capacité à modifier les pratiques culturales comme la gestion de l'usage de l'eau et des sols pour obtenir une meilleure qualité environnementale. L'analyse a été menée à l'échelle du bassin versant de l'Ibicuí, situé dans l'état du Rio Grande do Sul à l'extrême sud du Brésil, et à l'échelle de trois *município*s choisis pour incarner la diversité des évolutions agricoles contemporains de la région.

3 Les données traitées proviennent de l'analyse d'images satellites afin d'identifier l'occupation du sol et ses mutations sur un pas de temps de 10 années (de 2001-2002 à 2009-2010), de données statistiques sur les productions agricoles (essentiellement de l'Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE) et d'entretiens qualitatifs semi-directifs menés auprès d'agriculteurs, d'acteurs associatifs et de représentants des pouvoirs publics dans les 3 *município*s choisis.

L'agriculture dans le Rio Grande do Sul : deux systèmes de production en cours de mutation

4 Depuis sa colonisation, le Brésil est un espace de production de denrées agricoles pour le marché international. La hausse de la demande de ces dernières années, liée à l'augmentation de la population mondiale et à l'élévation du niveau de vie dans les pays émergents, suscite une forte croissance de ce secteur au Brésil, qui possède un potentiel considérable étant donné son climat humide et son relief favorable. Le Rio Grande do Sul contribue historiquement à cet essor.

Le développement agricole dans le Rio Grande do Sul au XIXe et XXe siècles

5 L'organisation des zones rurales du Rio Grande do Sul commence avec l'établissement de la frontière politique entre le Brésil et l'Uruguay en 1828 (ratifiée en 1851). L'appropriation et l'occupation du territoire s'appuient ensuite sur la distribution de titres de concession de terres (sesmarias), dont la superficie moyenne est de 13 000 ha. Ce système de *latifúndio* est basé sur l'élevage dans de vastes propriétés qui exploitent alors la végétation herbacée naturelle pour le bétail (production de viande de boeuf séchée et de cuir pour répondre à la demande du marché intérieur brésilien). Mais au cours du XIX^{e} siècle, l'immigration d'Allemands (à partir de 1824) puis d'Italiens (à partir de 1875) fait progressivement émerger un autre type d'occupation foncière avec

une agriculture familiale basée sur la polyculture dans de petites propriétés, de 24 à 77 ha (Pesavento, 1977). Ainsi, deux sociétés ont fini par se partager l'espace (Pébayle, 1974 et Costa, 1988) :

- une société d'éleveurs qui développent leurs activités dans les prairies (campos), à l'ouest de l'État ;
- une société de cultivateurs et de petits producteurs installés sur les plateaux et leurs abords, au centre-nord et à l'est de l'État du Rio Grande do Sul.

6 S'ils subsistent toujours actuellement (Benetti, 2008), les modes de la production agricole se sont considérablement transformés au XX^{e} siècle, en réponse à l'évolution de la demande du marché en produits agricoles : extension des surfaces cultivées aux dépens des pâturages, changements dans les types de cultures, de la taille des unités de production et de la destination de cette production. Dans l'espace des campos dominés par les *latifundios*, le système qui s'instaure alors est fondé sur la monoculture de grains ou d'oléoprotéagineux et sur la mécanisation. Cette mutation a été accompagnée en partie par des politiques publiques de financement des cultures de riz à partir des années 1940, de blé dans les années 1950 et 1960 et de soja à partir de 1970. L'organisation de l'espace agricole du sud-ouest de l'État en a été profondément transformée : les éleveurs ont peu à peu partagé l'espace avec de nouveaux exploitants en provenance des plateaux ou bien se sont eux-mêmes convertis à la culture mécanisée. La pression sur le milieu s'est ainsi considérablement amplifiée.

7 Depuis la fin du XX^{e} siècle, l'agriculture dans le sud du Brésil est soumise à de nouvelles mutations en lien avec la baisse de compétitivité de l'élevage bovin. La culture du riz continue son expansion dans les fonds alluviaux au rythme des aménagements hydrauliques. L'aire occupée par le blé et le soja s'accroît ou se rétracte en fonction des cours du marché mondial. Et une partie des espaces les moins productifs (prairies et secteurs cultivés dégradés) (Cerdan et Vitrolle, 2008) fait place à la monoculture d'eucalyptus.

Les enjeux contemporains de la production agricole

8 Actuellement, l'augmentation des prix des denrées alimentaires est considérée avec inquiétude par l'International Food Policy Research Institute (IFPRI, 2011). Les scénarios signalent des déséquilibres entre l'offre et la demande ainsi qu'une raréfaction des ressources et une baisse de la productivité, dues aux excès climatiques, à l'érosion des sols, à la surexploitation des ressources en eau et à la perte de la biodiversité. Selon l'analyse du Ministère brésilien de l'Agriculture et de l'Élevage (MAPA, 2011), le Brésil devrait connaître, dans les prochaines années, une forte croissance des exportations pour répondre à la demande mondiale ainsi qu'une forte hausse de la consommation intérieure. En 2020-2021, le marché intérieur devrait ainsi absorber 64,7 % de la production brésilienne de soja et 85,4 % de celle du maïs, et consommer 67 % de la viande de poulet produite au Brésil, 83 % de la viande bovine et 81 % de la viande de porc (MAPA, 2011).

9 Si l'aire principale d'expansion de l'agriculture se trouve dans le Centre-Ouest (en premier lieu le Mato Grosso), la contribution du sud du Brésil à cette production n'est pas négligeable. En 2011, l'État du Rio Grande do Sul produit 69 % du riz, 16 % du soja, 8 % du maïs et 47 % du blé brésilien (le pays produit peu de blé et doit en importer). Le tableau 1 présente les prévisions de la production du riz, du blé et du soja pour les

années à venir. L'État du Rio Grande do Sul devrait rester le leader de la production du riz au Brésil avec une augmentation de 2,1 % par an du volume produit et de 1,42 % par an des surfaces cultivées. Le soja ne devrait présenter qu'une faible augmentation de la production et des surfaces cultivées (surtout si on la compare à l'augmentation prévue pour les États du Mato Grosso et du Paraná). Pour le blé, la production devrait s'accroître de 20,6 % durant les prochaines années malgré une réduction des superficies de 29,3 %, car la productivité devrait fortement augmenter et les prix restent incitatifs.

10 Le Rio Grande do Sul devrait aussi maintenir une forte participation dans la production de cellulose et de pâte à papier même s'il n'y a pas de données prospectives sur l'expansion des superficies cultivées. Ces perspectives peuvent signifier une augmentation des pressions exercées par l'agriculture sur le milieu naturel.

Tableau 1. Production de riz, de soja et de blé dans le Rio Grande do Sul (2010/2011 et projections 2020/2021) (Source : MAPA 2011)

Production	**Production (milliers de tonnes)**			**Surfaces cultivées (milliers d'hectares)**		
	2010/2011	**2020/2021**	**Variation**	**2010/2011**	**2020/2021**	**Variation**
Riz	8 066	9 967	23,6 %	1 143	1 321	23,6 %
Blé	1 978	2 386	20,6 %	846	598	-29,3 %
Soja	8 199	9 098	11,0 %	3 936	4 073	3,5 %

Zone d'étude : le bassin versant de l'Ibicuí

11 La zone d'étude est un bassin versant emblématique de l'agriculture dans le sud du Brésil. Le bassin de l'Ibicuí (46 800 km²) est situé au sud-ouest du Rio Grande do Sul (Figure 1). Il se compose d'un plateau disséqué par le réseau hydrographique et occupé, à près de la moitié de sa superficie, par des prairies naturelles (campos). Mais plus en détail, formes du relief, disponibilité en eau, fertilité des sols déterminent des conditions diverses pour la mise en valeur agricole permettant ainsi de distinguer plusieurs régions (Figure 2).

Figure 1. Localisation du bassin de l'Ibicuí

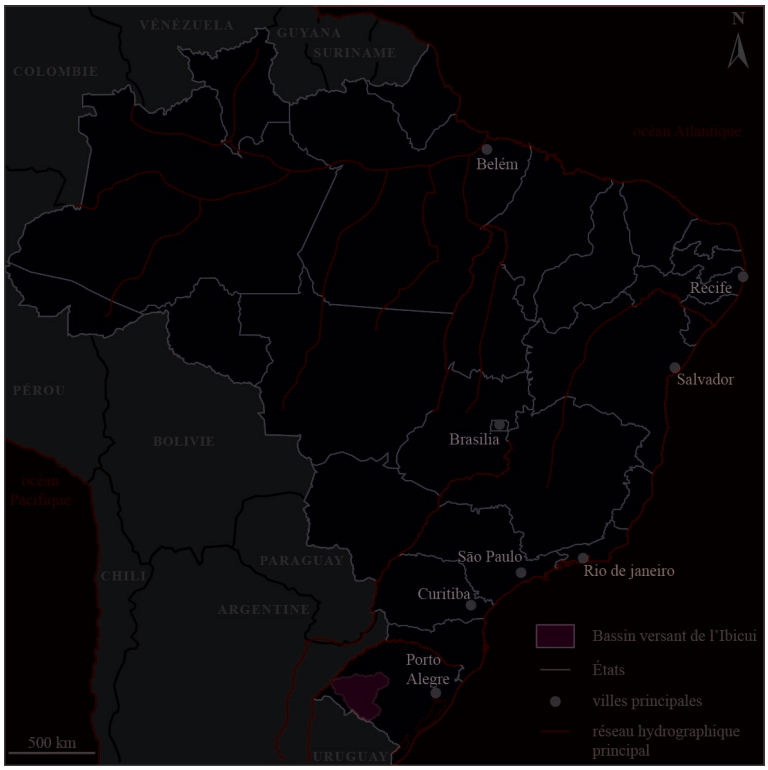
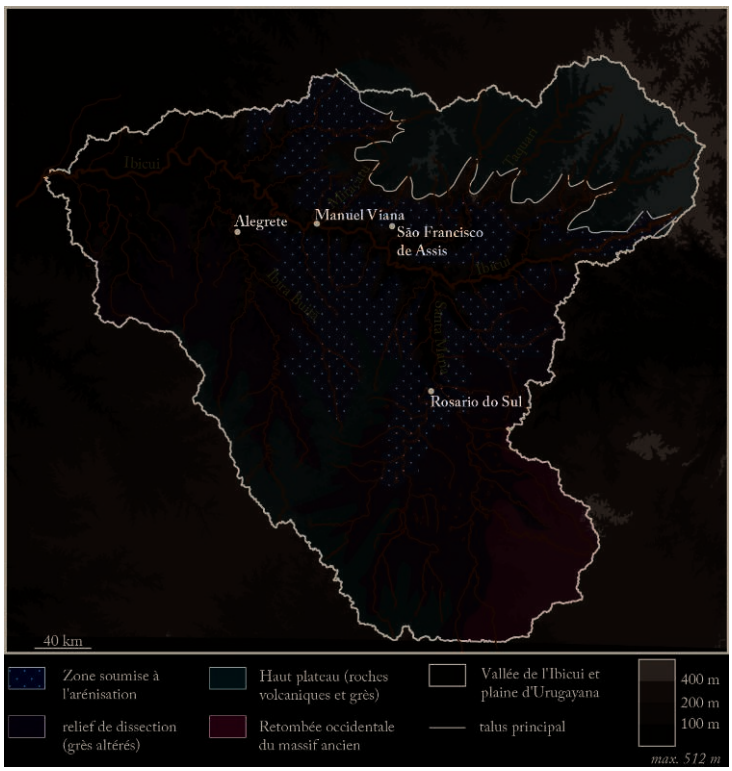


Figure 2. Les principaux ensembles morphologiques du bassin versant de l'Ibicuí

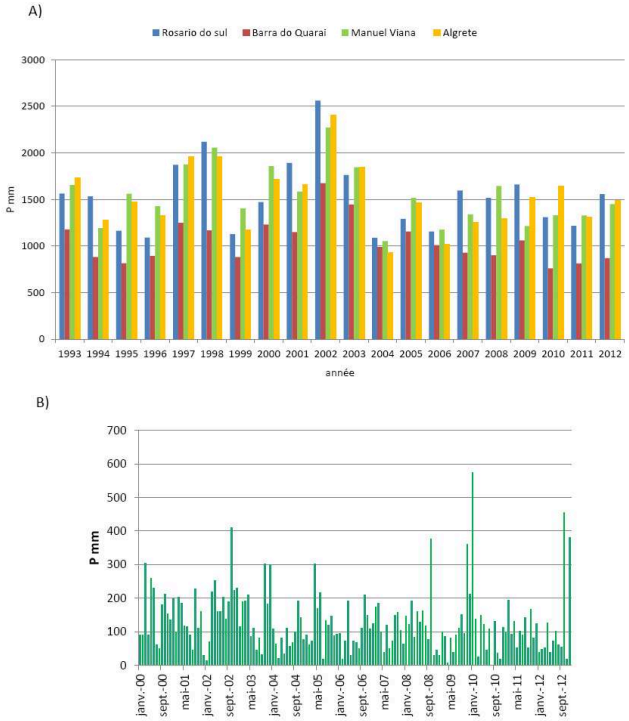


12 La partie centrale du bassin comprend une vaste dépression. Dégagée dans les grès affouillés par l'érosion et disséqués en basses collines, elle est dominée au nord et au

nord-est par un haut plateau tabulaire (jusqu'à 500 m d'altitude), incliné vers l'ouest (Robaina et al., 2005). Établi dans des roches volcaniques basaltiques et acides (formation de Serra Geral), il est limité par un talus haut de 100 à 150 m. Plateaux et dépressions cèdent la place à l'aval du bassin à un bas plateau ; les morphologies faiblement accusées y sont établies dans les basaltes qui plongent vers l'ouest pour former la plaine d'Uruguaiana à moins de 100 m d'altitude. La partie sud et centrale du bassin est constituée de grès (origine fluviatile pour ceux du Trias, origine éolienne pour les grès du Jurassique), altérés en sables. La vallée de l'Ibicuí, de direction est-ouest, très évasée avec un fond large de plusieurs kilomètres, est inscrite dans les unités précédentes.

13 L'eau est abondante compte tenu du climat subtropical humide de cette région : il tombe 1 400 à 1 800 mm de pluie par an, mais d'une année à l'autre, les écarts peuvent être importants (Figure 3a). Ainsi, comme 900 à 1 000 mm sont repris par l'évapotranspiration, un déficit notoire d'eau peut apparaître au cours des années les moins arrosées en particulier dans l'ouest du bassin où les précipitations sont un peu moins abondantes (station de Barra do Quarai). Le réseau hydrographique est en moyenne bien alimenté avec des débits spécifiques de 20 à 25 l/s/km² (Basso et Verdum, 2006), mais il peut être soumis à des extrêmes sévères, en particulier au cours des années moins arrosées ; lors des périodes sèches, les sols sableux alors mal protégés par le couvert végétal sont soumis à la déflation éolienne (Suertegaray, 1998 ; Suertegaray et al., 2001 ; Basso et Verdum, 2006). Les épisodes pluvieux intenses sont également fréquents et entraînent une forte érosion hydrique notamment en début d'hiver lorsque les sols sont peu couverts (Verdum, 1997) (Figure 3b). Le potentiel érosif est donc important et la nature géologique du bassin qui génère des sols sableux peu profonds, contribue à une relative vulnérabilité des milieux à l'exploitation agricole.

Figure 3. Précipitations annuelles a) Bassin de l'Ibicuí 1993-2012 (en mm), b) Manuel Viana 2000-2012.



14 La densité de la population est faible dans cette région avec 14,8 hab/km² (d'après le recensement de l'IBGE de 2010). La population se regroupe dans les centres urbains (82 % de la population est établie dans 11 villes) dont l'activité est fortement orientée vers le négoce de produits agricoles et de l'agrofourniture.

15 Les colons allemands et italiens occupent le plateau et son escarpement depuis la fin du XIX^{e} siècle dans le cadre de petites et moyennes propriétés familiales (Pébayle, 1974). Les sols et le climat sont favorables au soja, culture qui se développe durant les années 1970 et qui domine aujourd'hui largement cet espace. La dépression centrale *Gaúcha* a été colonisée depuis le XVII^{e} siècle par des Espagnols puis par des Portugais pour y pratiquer l'élevage extensif, dans des grands domaines (*latifundios)* de plusieurs milliers d'hectares. 29 775 exploitations sont dénombrées aujourd'hui dans l'ensemble des municipalités (*municipios*) du bassin de l'Ibicuí (IBGE, Censo Agropecuário, 2006), pour lesquelles la surface moyenne mise en culture ou en pâturage est de 123 hectares. À l'échelle du bassin versant, l'élevage reste majoritaire : les pâturages couvrent 50 % de la superficie totale tandis que les cultures annuelles en occupent seulement 18 %. Si les grandes propriétés dominent, il existe également de nombreuses petites exploitations, d'ailleurs seul un quart des exploitations possède un tracteur (Leturcq et al., 2008).

Tableau 2. Surfaces relatives des cultures annuelles dans le bassin versant de l'Ibicuí en 2006 (source IBGE)

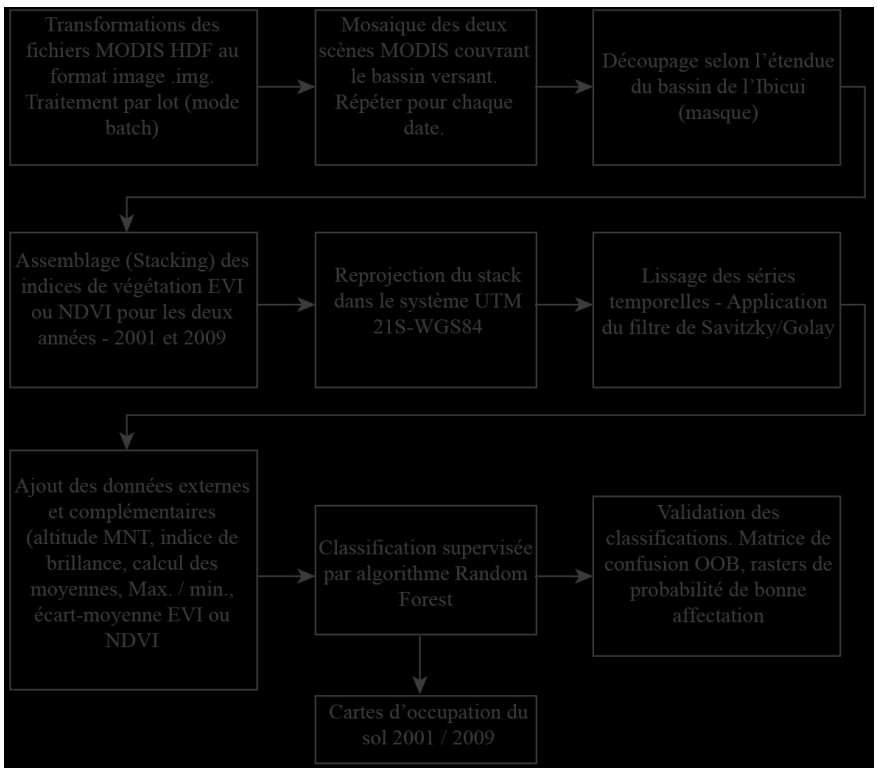
Nature des cultures	% de la surface cultivée
Soja	51,0

Riz	33,5
Maïs	7,5
Blé	4,5
Sorgho	1,0
Autres	2,5

Données et traitements

16 Pour estimer l'évolution de l'agriculture et les dynamiques des milieux naturels, nous avons eu recours à une approche diachronique sur la durée d'une période culturale débutant au mois de février et se terminant en décembre de l'année suivante. Les deux périodes retenues vont de février 2001 à décembre 2002 et de février 2009 à décembre 2010. Pour chaque période, une série temporelle d'images satellites MODIS a été employée en vue d'établir une classification de la couverture du sol sur le territoire du bassin versant. Dans une démarche de classification multi-source automatique, des données externes sont ajoutées afin d'améliorer les résultats : des variables topographiques fournies par un MNT SRTM et l'indice topographique de Kirkby (Beven, Kirkby, 1979), renseignant sur les zones potentielles d'accumulation d'eau, également dérivées du MNT. La méthodologie est résumée dans le schéma de la figure 4.

Figure 4. Méthodologie de traitement des images satellitales



Les images MODIS

17 MODIS est un capteur à large champ embarqué sur les missions d'observation TERRA à partir de 1999, il observe la Terre dans 36 bandes spectrales de 0.4 à 14.4 µm. Nous avons utilisé ici le produit MOD13Q1. Il s'agit des images composites des indices de végétation EVI et NDVI de résolution spatiale de 250 m. Ce produit est généré à partir d'une synthèse des observations instantanées de réflectance MOD09 corrigées des effets atmosphériques, collectées sur une période de 1 à 2 jours. Il en résulte un produit définissant les indices de végétation NDVI et EVI, accompagnés des bandes spectrales du Bleu, Rouge, PIR, MIR, selon une fréquence temporelle de l'ordre de 16 jours. Dans ce travail, n'ont été conservés que les 2 indices de végétation (EVI et NDVI) et les bandes spectrales du Rouge et du Moyen Infrarouge. L'EVI et le NDVI, bien que sensiblement redondants, sont gardés pour des considérations d'ordre technique afin de comparer l'importance de chacun d'eux dans le processus de classification (Sogue, 2011). Les séries temporelles MODIS sont pertinentes pour la cartographie des espaces agricoles à large parcellaire, notamment au Brésil (Arvor et al., 2011 ; Morton et al., 2006).

Les prétraitements et données auxiliaires

18 Pour caractériser l'occupation du sol dans le bassin de l'Ibicuí, l'utilisation des paramètres d'ordre topographique est d'une grande importance (Corbonnois et al., 2011). Ainsi, des données comme l'altitude, la pente et l'exposition ont été intégrées au traitement, elles sont dérivées du MNT (Shuttle Radar Topographic Mission) à 90 m de résolution. Une variable d'ordre topographique et hydrologique, l'indice de Kirkby, calculée à partir du MNT, est également utilisée. À partir des bandes spectrales MODIS, l'indice de brillance (IB) qui permet d'affiner la localisation des zones minérales a pu être déduit.

19 D'autres données résultant de traitements effectués sur les images MODIS ou sur le MNT ont été intégrées ; il s'agit des statistiques annuelles calculées à partir des indices de végétation (moyenne, écart type et minimum, maximum du NDVI et de l'EVI). Toutes ces données constituent les variables prédictives permettant de réaliser la classification multi-source.

La classification Random Forest

20 Random Forest, appelé Forêt aléatoire en français, est un algorithme de classification et de régression supervisée, issu des techniques d'apprentissage automatique (machine learning). Il repose sur le principe des arbres de décisions auquel a été adjointe une méthode d'ensemble comme le bagging. Schématiquement, la technique du bagging appliquée dans Random Forest consiste à réitérer un grand nombre de fois une sélection aléatoire avec remise sur le jeu de données d'apprentissage et à établir des règles de décisions (un arbre) sur chaque échantillon ainsi créé. L'ensemble des arbres (la forêt) est ensuite combiné par l'intermédiaire d'un vote majoritaire aboutissant à la prédiction (Breiman, 2001). Random Forest est un « classifieur » non paramétrique, c'est à dire ne formulant pas d'hypothèse sur la distribution statistique des données (distribution normale). Il est adapté à la classification de données multi-sources de télédétection. Ceci est illustré par les travaux de Gislason et al. (2006) appliqués aux

images multispectrales LANDSAT combinées avec des variables issues d'un MNT, ainsi que par les recherches de Chan et Paelinckx utilisant la télédétection hyperspectrale (Chan et Paelinckx, 2008), et de Clark et al. (2010) employant des séries temporelles d'images MODIS associées à l'altitude et à la pente.

21 Outre sa capacité à classer les données multi-sources, un autre grand intérêt de Random Forest réside dans sa faculté à fournir une information sur l'importance des variables incorporées au modèle (Figure 5), ainsi qu'à estimer la précision de la classification, indépendamment d'un jeu de données de validation externe, par l'intermédiaire de la méthode Out of Bag (OOB). Pour chaque étape d'échantillonnage (chaque arbre), un tiers des observations est « exclu » de la construction de l'arbre et réservé en tant que jeu d'observations test (Out of bag) qui permettra d'évaluer la classification. Cette méthode de validation interne permet d'estimer l'ajustement du classifieur aux données d'apprentissage (Tableau 3). Breiman (2001) souligne que le taux d'erreur OOB est non biaisé dans la plupart des cas. De plus, le modèle Random Forest dispose de fonctions pour déterminer la probabilité de bonne affectation d'une classe. Ceci constitue une mesure quantitative de l'incertitude associée à chaque classe. Ainsi, pour chaque prédiction, un raster de probabilité est créé (non présenté ici).

Figure 5. Importance des variables prédictives

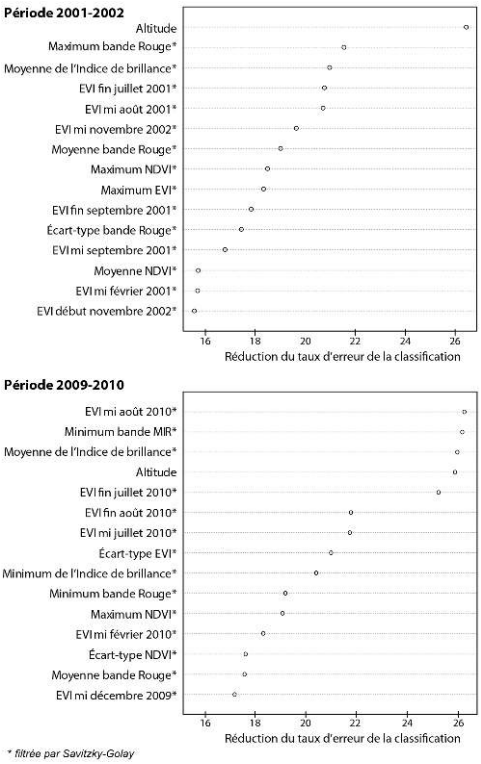


Tableau 3. Matrices de confusion Out Of Bag (500 arbres de classification)

	Cultures (hors Riz)	Eucalyptus	Eau (fleuve, plan d'eau)	Forêt-galerie	Forêt (plateaux et versants)	Prairie (campos)	Riz	Zones d'érosion, sable	Taux d'erreur par classe

Période 2001-2002									
Cultures (hors Riz)	839	0	0	0	0	0	1	0	0,0012
Eucalyptus	0	38	0	0	0	0	0	0	0
Eau (fleuve, plan d'eau)	0	0	254	0	0	0	3	2	0,0193
Forêt-galerie	0	0	0	206	0	8	0	0	0,0374
Forêt (plateaux et versants)	0	0	0	0	127	1	0	0	0,0078
Prairie (campos)	0	0	0	0	0	1222	0	0	0
Riz	4	0	0	0	0	0	741	0	0,0054
Zones d'érosion, sable	0	0	0	0	0	0	0	65	0
B) période 2009-2010									
Cultures (hors Riz)	1230	0	0	0	0	4	1	0	0,0040
Eucalyptus	0	117	0	1	0	0	0	0	0,0085
Eau (fleuve, plan d'eau)	1	0	422	0	0	1	0	0	0,0047
Forêt-galerie	0	1	0	46	1	0	0	1	0,0612
Forêt (plateaux et versants)	0	0	0	1	393	3	0	0	0,0101
Prairie (campos)	0	0	0	1	3	1807	0	0	0,0022

Riz	1	0	0	0	0	0	870	0	0,0011
Zones d'érosion, sable	0	0	0	0	0	0	0	55	0

22 Le choix des zones d'entraînement employées pour la démarche de classification supervisée a été fondé sur la combinaison de relevés GPS réalisés en 2006 et sur l'analyse d'images Google Earth contemporaines des séries temporelles MODIS. Afin de maximiser le jeu de données d'apprentissage, relativement restreint, aucune zone de validation externe n'a été sélectionnée pour procéder à l'évaluation de la classification. De plus, les matrices de confusion fournies par la méthode Out of Bag de Random Forest ont été considérées comme suffisantes pour estimer l'imprécision. Le décalage temporel entre les observations des types d'occupation du sol sur le terrain en 2006 et la période des images 2001-2002 et 2009-2010, fait par ailleurs qu'une part des observations ne reflète pas la réalité du terrain au moment de la prise des images.

Analyse des résultats

23 L'analyse est réalisée à deux échelles : sur l'ensemble du bassin versant et sur trois secteurs de 3 000 km² afin de mieux identifier les évolutions de l'occupation du sol dans la dépression centrale et ses abords. Les trois secteurs tests sont situés dans les *município*s de Rosário do Sul, Alegrete et São Franscico de Assis. Les zones urbaines n'ont pas été prises en compte lors de cette analyse.

24 Notre démarche combine l'utilisation des données de la télédétection issues des traitements précédents et des données provenant du terrain où les prospections lors des missions effectuées entre 2007 et 2010 ont permis de reconnaître les paysages et de réaliser des entretiens avec les agriculteurs et les gestionnaires du territoire qui influent sur les orientations agricoles.

À l'échelle du bassin versant

25 L'agriculture est largement prédominante dans ce bassin versant. À une dizaine d'années d'intervalle (2001-2002 et 2009-2010), les cartes réalisées par traitement d'images satellite (figures 6a et 6 b) et le tableau 4 montrent que si une grande partie de l'espace est occupée par les prairies de la Pampa (environ les 2/3 de la superficie du bassin) et que l'emprise des cultures a peu évolué en superficie, leur distribution à l'intérieur du bassin a changé :

- Les superficies en cultures non irriguées sont restées quasiment stables (un peu moins de 15 % de la superficie totale du bassin), mais se sont déplacées du Centre et de l'Ouest du bassin (vallée de l'Ibicuí et plaine d'Uruguaiana) vers les plateaux du Nord-Ouest où la culture du soja prédomine.
- La riziculture occupe de façon quasi exclusive la plaine d'Uruguaiana et la vallée de l'Ibicuí (croissance de 18 000 ha en dix ans) en s'y substituant aux cultures non irriguées.

26 Par ailleurs, au cours de cette première décennie du XXI^{e} siècle, deux autres modifications notoires sont intervenues :

27 La forêt alluviale s'est considérablement étendue (de 27 %). Menacée par l'extension des rizières, elle est protégée depuis 1965 (réactualisé en 2012) par le Code forestier brésilien qui impose sa mise en réserve en Áreas de Proteção Permanente (APP) sur une largeur proportionnelle à celle du cours d'eau qu'elles longent.

- Les superficies dédiées à la sylviculture de l'eucalyptus ont été multipliées par cinq et sont passées de 4 000 à un peu moins de 20 000 ha. L'eucalyptus est d'abord un élément emblématique dans l'histoire du paysage *Gaúcho*, car planté près des habitations, il servait aux usages domestiques locaux. Son extension correspond à la constitution d'une filière de pâte à papier à partir des années 1990, encouragée dans certains secteurs géographiques pour limiter l'érosion des sols ou pour remplacer un élevage extensif traditionnel devenu moins rentable. Benetti (2007) note ainsi que dans l'État du Rio Grande do Sul les surfaces dédiées à la culture de l'eucalyptus représentent 7 % de la superficie des forêts plantées au Brésil et contribuent à 4,3 % au volume de la production national de cellulose (pour seulement 3 % de la superficie totale du pays).

28 Les figures 6a et 6b montrent aussi qu'en 10 ans, de grands espaces en monoculture se sont constitués, ce qui est particulièrement net à l'aval dans la plaine d'Uruguaiana. Cela conduit à amplifier les pressions exercées ainsi par l'agriculture sur le milieu et nécessite selon les espaces géographiques, des adaptations diverses : recherche de ressources complémentaires en eau (en particulier pour l'irrigation du riz), adaptation des pratiques culturales et mise en œuvre d'actions pour la protection des sols contre l'érosion, reconversion des secteurs en difficulté en particulier de ceux concernés par l'élevage extensif.

Figure 6. L'occupation du sol dans le bassin versant de l'Ibicuí, en 2001-2002 (haut) et 2009-2010 (bas).

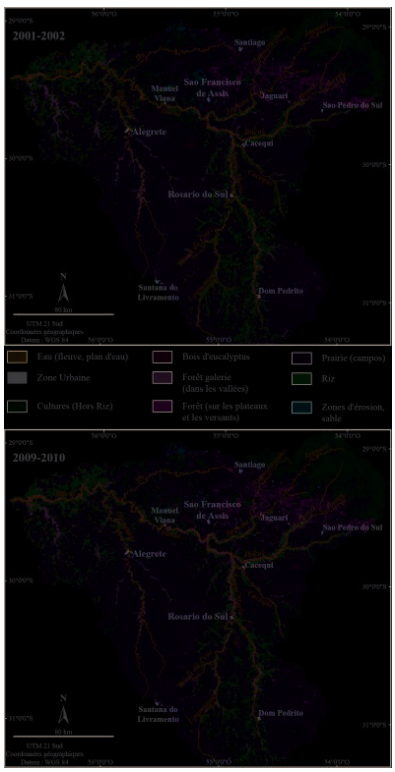


Tableau 4. Les principaux types d'occupation du sol dans le bassin versant de l'Ibicuí

Type	**2001-2002 Superficie en ha**	**2009-2010** Superficie en ha	**2001-2002** Superficie en %	**2009-2010** Superficie en %
Cultures (autres que le riz)	690 936	698 437	14,8	14,9
Eucalyptus	4 040	19 451	0,09	0,42
Forêt-galerie	164 956	208 427	3,52	4,55
Prairie	3 163 306	3 109 502	67,6	66,4
Riz	433 130	451 748	9,25	9,65
Zone d'érosion, sable	25 142	25 961	0,54	0,55

Le secteur de Rosário do Sul : entre élevage en régression et extension rapide des plantations d'eucalyptus

29 Ce secteur est situé au centre-est du bassin à l'amorce de la dépression centrale, où les bas plateaux disséqués sont parcourus par le Santa Maria et le Rio Cacequi. L'énergie du relief est assez faible et ne dépasse pas une quarantaine de mètres entre les sommets d'interfluves plats et le fond évasé des vallées principales (largeur de 300 à 500 m environ) de direction sud-nord. Latéralement s'y raccordent de nombreux petits affluents de direction perpendiculaire où sont fréquemment installées de petites retenues d'eau pour l'irrigation.

30 Les éléments spécifiques à ce secteur sont la pauvreté et la minceur des sols liées au substratum gréseux et la relative indigence de la ressource en eau : forte infiltration et situation en tête du bassin versant de l'Ibicuí où le réseau hydrographique est encore de dimension modeste. L'élevage extensif y est encore important, mais en perte de vitesse depuis les années 1940 (Rodrigues et Bezzi, 2005), ce qui incite les agriculteurs à rechercher d'autres ressources économiques par l'extension de la riziculture, du soja et des plantations d'eucalyptus. Les agriculteurs sont d'ailleurs largement soutenus dans cette démarche par le syndicat rural de Rosário do Sul qui souhaiterait doubler la production actuelle de riz en augmentant les surfaces cultivées de 22 600 ha aujourd'hui (IBGE, 2011) à 40 000 ha grâce à la construction de barrages.

31 Des modifications de l'occupation du sol sont en cours (Figure 7 et Tableau 5) :

- Les prairies qui occupaient un peu moins de 60 % des surfaces en 2001-2002, ont diminué en 10 ans de 7 000 ha.
- Les plantations d'eucalyptus peu étendues en 2001-2002 couvrent maintenant plus de 5 000 ha, en partie implantées sur les zones les plus érodées. Elles se développent souvent sur les grands domaines qui vendent leurs terrains les moins rentables aux entreprises privées (notamment à l'entreprise Stora Enso).

- La riziculture s'est concentrée dans les vallées ; elle occupe les mêmes superficies qu'en 2001-2002. Même si deux retenues viennent d'être achevées à l'amont du bassin afin d'accroître le débit des rivières à l'étiage, la riziculture reste très contrainte et limitée par l'eau disponible en période d'irrigation.
- Les autres cultures ont régressé parfois localement au profit du riz. Ceci s'explique pour le soja par la faible fertilité de ce secteur sableux, limitant la rentabilité de cette culture. Néanmoins, cette production est stimulée par l'aide des politiques publiques en faveur du développement du biodiesel de soja et l'accroissement des prix de cette source de protéines sur le marché international.

32 D'autres types de cultures occupent des surfaces réduites, de quelques centaines d'hectares. Elles permettent dans les petites exploitations (agriculture familiale, assentamentos) de répondre à l'autoconsommation et de fournir le marché local. Ce sont des cultures de manioc et des cultures maraîchères et fruitières (agrumes, pêches, melons, pastèques, et aujourd'hui de plus en plus de fraises et de salades, très rentables). Le secteur de Rosário do Sul est donc constitué à peu près à parts égales de grandes exploitations sur le modèle bétail-riz-soja et de petites exploitations qui vivent essentiellement des cultures maraichères.

Figure 7. L'occupation du sol dans le secteur de Rosário do Sul, en 2001-2002 (gauche) et 2009-2010 (droite)

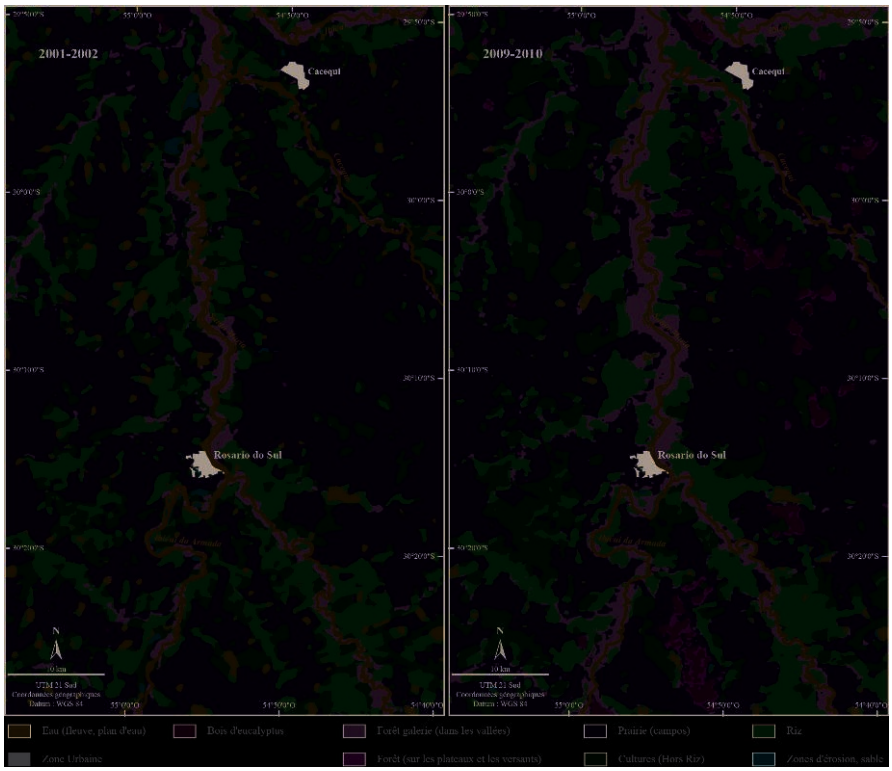


Tableau 5. Les principaux types d'occupation du sol dans le secteur de Rosario do Sul.

Type	2001-2002 Superficie en ha	2009-2010 Superficie en ha	2001-2002 Superficie en %	2009-2010 Superficie en %

Cultures (autres que le riz)	46 995	43 217	13,9	12,8
Eucalyptus	230	5 500	0,07	1,62
Forêt-galerie	16 139	28 949	4,78	8,56
Prairie	200 148	193 078	59,2	57,1
Riz	60 854	59 600	18,0	17,6
Zone d'érosion, sable	1 275	511	0,38	0,15

Le secteur d'Alegrete : un espace dédié à la riziculture

33 Situé à l'ouest du bassin de l'Ibicuí, ce secteur occupe l'amorce de la plaine de l'Uruguaiana. La vallée de l'Ibicuí très évasée et basse (50-60m d'altitude) est dominée par des reliefs faiblement marqués, hauts d'une centaine de mètres d'altitude. Les formes sont dégagées dans les roches volcaniques dont les affleurements prolongent vers l'ouest ceux de la Serra Geral. Les roches du substratum portent dans les vallées un épais recouvrement d'alluvions sableuses, mises en place par l'Ibicuí et ses affluents. La disponibilité en eau dans ce secteur est bonne en lien avec les précipitations abondantes (de l'ordre de 1500 à 1700 mm/an) et surtout la position à proximité d'un cours d'eau au débit élevé. Cependant, en année sèche, les étiages peuvent être très sévères (cela a été le cas en avril 2009, Figure 3b) et menacer l'irrigation.

34 Dans cette partie aval du bassin versant de l'Ibicuí, le riz est cultivé depuis les années 1920. Durant la première décennie du XXI^{e} siècle, les superficies des rizières ont augmenté de 17 000 ha ; elles représentent actuellement 30 % des surfaces de ce secteur (Figure 8 et Tableau 6) aux abords des vallées où le riz est en position de monoculture. L'alimentation en eau pour l'irrigation, dont la demande est accrue par la nature filtrante des sables alluviaux, est assurée par des pompages et dérivations des cours d'eau, mais aussi par de nombreuses retenues de dimensions variées, la plupart construites par les propriétaires des rizières.

35 Contrairement aux deux autres secteurs géographiques étudiés et à la tendance moyenne dans l'ensemble du bassin versant, les surfaces dédiées à l'élevage ont augmenté de 20 000 ha depuis 2001-2002 principalement au détriment des cultures non-irriguées. Les prairies couvrent ainsi 47 % de la superficie du secteur, même si ce chiffre reste en deçà des moyennes observées dans le bassin. La spécialisation élevage-riz semble ainsi en cours de stabilisation à Alegrete.

Figure 8. L'occupation du sol à Alegrete, en 2001-2002 (haut) et 2009-2010 (bas)

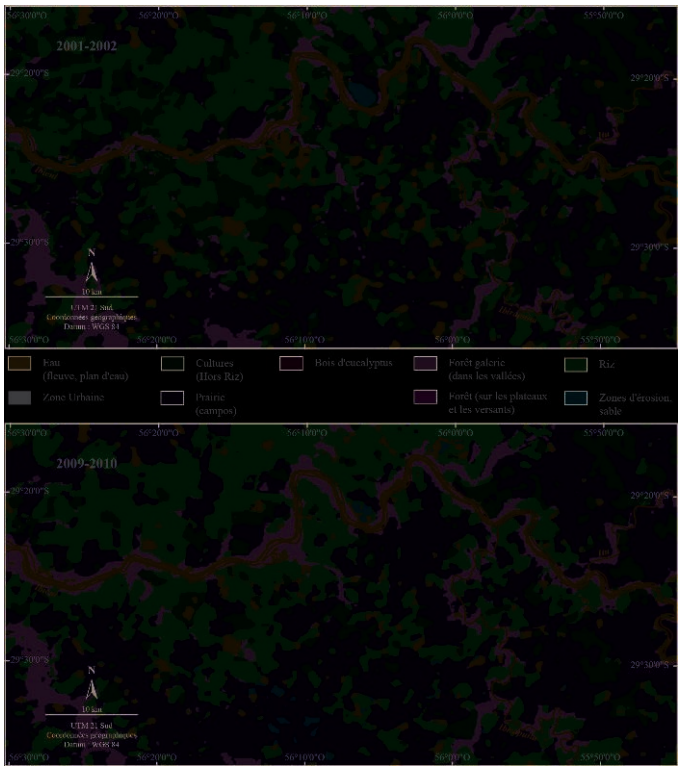


Tableau 6. Les principaux types d'occupation du sol dans le secteur d'Alegrete

Type	**2001-2002 Superficie en ha**	**2009-2010** Superficie en ha	**2001-2002** Superficie en %	**2009-2010** Superficie en %
Cultures (autres que le riz)	63 661	23 690	23,0	8,54
Eucalyptus	0,81	2,43	≈0	≈0
Forêt-galerie	19 267	24 133	6,90	8,70
Prairie	109 683	129 861	39,5	46,8
Riz	67 905	84 841	24,5	30,6
Zone d'érosion, sable	834	1 542	0,30	0,56

Le secteur de São Francisco de Assis : de l'érosion des sols au retour à la prairie

36 Ce secteur est situé au centre-nord du bassin, entre l'Ibicuí et le rebord du plateau basaltique. Il comprend des reliefs de collines (altitudes comprises entre 160 et 240 m) qui dominent les fonds de vallées situés vers 70 m d'altitude. Les morphologies bien

marquées sont dégagées dans les épaisses strates gréseuses altérées en sables vers la surface et surmontées par les roches volcaniques plus résistantes à l'érosion. Ces conditions déterminent un milieu vulnérable à l'érosion. Les contrastes thermiques et surtout pluviométriques (alternance de périodes abondamment arrosées et de périodes sans précipitation, figure 3a et b) limitent le développement du couvert végétal exposant ainsi les sables au ravinement, mais également à la déflation éolienne à l'origine de la formation de taches de sables (superficie de quelques ares à plusieurs hectares). Des témoignages attestent de la présence de marques d'érosion au début du XIX^{e} siècle lors de la colonisation espagnole, durant laquelle l'élevage s'est développé (Corbonnois et al., 2011).

37 En dehors des *latifundios*, dont les vastes espaces couverts de prairies sont pâturés pour l'élevage extensif des bovins, le secteur est progressivement mis en culture au cours du XX^{e} siècle : maïs, haricots, blé, riz, tabac, manioc, canne à sucre et pommes de terre. Ces systèmes de production se basent sur des propriétés de moins de 100 ha, dont la mise en valeur vise à répondre aux besoins directs du producteur et du marché régional. Cette production se développe alors sur 4 % de la superficie agricole totale aux dépens de la forêt, principalement dans les vallées de l'escarpement du plateau pour les cultures non irriguées. Le riz est quant à lui développé dans les plaines inondables, au détriment de la forêt-galerie. Ce secteur comprend également de petites exploitations qui pratiquent une agriculture vivrière à laquelle s'ajoute parfois un élevage laitier (assentamento de Manoel Viana).

38 À partir des années 1970, le soja se développe et s'étend sur de grands espaces dans les *latifundios* comme dans les propriétés familiales. Des phénomènes d'érosion se développent alors, conséquences directes du piétinement du bétail ou du labour. Ainsi, dans la fazenda de Santo Antão (à Manoel Viana), une tache de sable de plusieurs hectares est apparue depuis les années 1960 suite au surpâturage et à la mise en culture. Depuis, même si une partie des marques d'érosion a cicatrisé (les surfaces érodées ont été réduites de 3 000 ha environ entre 2001-2002 et 2009-2010), plus de 5 000 ha sont encore atteints par l'érosion (Figure 9 et Tableau 7). Si cette érosion constitue une menace objective à la production agro-pastorale, elle participe aussi par son caractère spectaculaire à l'identité de ce territoire. Les géographes brésiliens ont souvent été interrogés pour expliquer la formation de ces « déserts » qui suscitent la curiosité du grand public dans cette région pourtant humide (Verdum, 1997). Elle est perçue de façon variable par les agriculteurs : certains laissent faire, le faible potentiel agronomique de ces sols ne justifiant pas le coût d'actions de protection ; d'autres tentent d'enrayer le processus par divers moyens : mise en défens pour empêcher le piétinement du bétail, adaptation des pratiques culturales, implantation d'une végétation alternative testée par des agronomes de l'Empresa brasileira de pesquisa agropecuária (EMBRAPA), comme des implantations de *Bracharia sp.* ou d'un type de lupin...

Figure 9. L'occupation du sol dans le secteur de São Francisco de Assis, en 2001-2002 (haut) et 2009-2010 (bas)

Tableau 7. Les principaux types d'occupation du sol dans le secteur de São Francisco de Assis

Type	**2001-2002 Superficie en ha**	**2009-2010** Superficie en ha	**2001-2002** Superficie en %	**2009-2010** Superficie en %
Cultures (autres que le riz)	43 390	35 631	14,9	12,2
Eucalyptus	267	3 990	0,09	1,37
Forêt-galerie	11 736	21 545	4,03	7,41
Prairie	190 720	184 957	65,6	63,6
Riz	13 394	19 122	4,6	6,57
Zone d'érosion, sable	8 325	5 576	2,86	1,92

39 Ainsi, les situations très diverses mises en évidence dans les trois secteurs sont déterminées par les conditions du milieu qui associent potentiel naturel et dynamique de l'occupation du sol. Ces conditions se combinent avec la demande économique, locale et régionale (manioc, cultures fruitières, production laitière), nationale et internationale (riz, soja, cellulose pour pâte à papier) qui commande la nature des

produits livrés par les agriculteurs. Cette demande éminemment évolutive nécessite des ajustements de production parfois sur de courtes durées.

Entre intensification des pratiques agricoles et protection des ressources naturelles

40 L'agriculture exerce des pressions plus ou moins fortes sur le milieu. Ces pressions sont progressivement encadrées par l'évolution de la réglementation (maintien des ripisylves, prélèvements d'eau soumis à autorisation...). Elles dépendent également des choix techniques des agriculteurs qui varient selon leurs systèmes de production et leurs perceptions des enjeux concernant les ressources naturelles en eau, en sol, en paysages et en biodiversité.

Vers une amélioration de la gestion de la ressource en eau

41 Naturellement abondante, elle peut être irrégulière et parfois insuffisante au regard des besoins de l'irrigation. Les enjeux se focalisent sur la production du riz avec une demande forte d'extension des plantations. Les enjeux qualitatifs liés aux pollutions diffuses d'origine agricole sont pour l'instant négligés en l'absence de perception des risques liés aux transferts de pesticides dans les eaux.

42 Le riz est irrigué à partir de l'eau prélevée dans le réseau hydrographique (pompage ou dérivation vers les canaux d'irrigation) qui constitue une réserve assez fragile dans la partie sud, à l'amont du bassin (nature sableuse du substratum, débits faibles lorsque les périodes sèches perdurent plusieurs dizaines de jours). À l'étiage, l'eau d'irrigation est alimentée par des retenues. La plupart sont formées à l'arrière de petits barrages en terre réalisés dans des vallons secondaires par les propriétaires des rizières eux-mêmes, sans aide publique, en particulier dans la plaine d'Uruguaiana à l'aval du bassin de l'Ibicuí. Seulement deux grands barrages ont été récemment construits, en amont, par l'État sur l'Ibicuí, afin de permettre l'extension de la riziculture autour de Rosário do Sul, mais aussi de réguler les crues et les étiages.

43 La ressource est gérée sur un mode participatif afin de coordonner les actions de prélèvement dans le milieu et de promouvoir celles de la préservation de la qualité de l'eau (pour l'instant les eaux urbaines essentiellement). Dans le bassin de l'Ibicuí, deux comités de bassin ont été créés en 1998 (Lepiller, 2006 ; Laurent et al., 2009). Ils délivrent les autorisations de prélèvements d'eau pour l'irrigation, mais aucune taxe n'est demandée. La situation actuelle est liée aux pratiques antérieures. En effet, au cours des années 1960-1970, l'État brésilien accordait un soutien financier à l'aménagement d'ouvrages pour l'irrigation (réalisation de barrages en terre, de canaux, de stations de pompage...). Son désengagement lors de la crise économique des années 1980 a obligé les agriculteurs à trouver d'autres voies pour continuer de développer la riziculture et ainsi répondre à la demande du marché. Une licence environnementale est accordée aux producteurs de riz obligés de déclarer leurs prélèvements, mais aussi les intrants utilisés afin de limiter la dégradation de la qualité de l'eau qui regagne les rivières et les nappes en aval des rizières. L'IRGA (Instituto Rio Grandense do Arroz) a joué un rôle important par la mise en place d'un label de qualité « selo ambiental » qui certifie les bonnes pratiques culturales (mais sans avantage financier) parmi lesquelles les cultures en semis direct (Laurent et al., 2011) et les

assolements adaptés - une année de production de riz est suivie par une période de repos de 3 ans (jachère pâturée ou cultures fourragères permettant de mobiliser les surplus d'intrants, de nitrate en particulier et de reconstituer la qualité agronomique des sols). Ces pratiques montrent finalement une prise en considération par les agriculteurs du potentiel de leur milieu et de la préservation de ce potentiel ; leur contrainte principale étant la ressource en eau pour l'irrigation à laquelle il faut s'adapter. Pour les agriculteurs le manque d'eau est d'abord dû à la variabilité des précipitations, qu'ils jugent dégradées par le changement climatique (Leturcq et al., 2008).

44 La préservation de la qualité de l'environnement est par ailleurs imposée aux agriculteurs par les lois fédérales sur les Áreas de Preservação Permanente (APP) qui protègent la forêt alluviale (Code forestier mis en place en 1965 et réactualisé en 2012). Une bande réservée de part et d'autre des lits mineurs de cours d'eau, contribue également au piégeage des sédiments chassés par l'érosion (limite à l'ensablement des rivières) et favorise l'autoépuration de l'eau. Comme cela a été observé sur les trois zones tests, l'application de ces APP est manifeste et se traduit par un croissance importante des forêts galerie.

Vers une meilleure conservation des sols

45 Dans ces espaces de la Pampa, l'agriculture exploite un milieu fragile du fait des conditions naturelles (climat aux conditions hydriques contrastées et sols sableux). La vulnérabilité du milieu est diversement intégrée dans les systèmes de production. Une part importante d'agriculteurs pratique aujourd'hui des techniques de conservation des sols à savoir le semis direct : le sol n'est pas travaillé, les semences sont implantées dans des sillons ouverts au travers des résidus de la culture précédente, voire dans des couverts végétaux cultivés spécifiquement pour protéger et enrichir le sol. Ce système innovant a été en grande partie conçu dans le sud du Brésil (dans l'État du Paraná le système a été pionnier) (Laurent et al., 2011). Il couvre aujourd'hui 105 millions d'hectares dans le monde (Derpsch et al., 2010). En 2006, 41 % des exploitations agricoles du Rio Grande do Sul pratiquaient ce système, 15 % recouraient à un travail minimal du sol et 44 % continuaient à labourer (source Censo agropecuário de l'IBGE). Il est démontré qu'il réduit fortement le ruissellement et l'érosion (Thierfelder et Wall, 2010) tout en abaissant les coûts de production (carburants, fertilisants et amendements calciques) (Séguy et al., 2006 ; Bolliger et al., 2007). À l'échelle de certains *município*s, comme Rosário do Sul, plus de la moitié des surfaces cultivées le sont en semis direct (28 000 ha sur 50 500 ha).

46 Ces techniques sont moins adoptées par de petits producteurs plus réticents au changement et moins formés aux nouvelles techniques. Mais ce système se diffuse à présent dans les petites propriétés par l'action d'associations ou de mouvements syndicaux. Ainsi, dans certains établissements (*assentamentos*), comme à Rosário do Sul (superficie totale de 220 ha, avec des exploitations de 2 à 2,5ha par famille), le semis direct est systématiquement pratiqué. Le système du semis direct préconisé par les agronomes et conduit par certains agriculteurs maîtrisant bien l'ensemble du système est souvent adapté. Lorsqu'il est simplifié par d'autres producteurs, les bénéfices environnementaux du système peuvent être sérieusement réduits. Ainsi, les rotations des cultures sont souvent peu diversifiées : étant donné la valeur prise par le soja, celui-

ci revient fréquemment chaque année sur les mêmes parcelles entraînant le développement de maladies et des plantes adventices qui nécessitent un recours plus massif aux pesticides. La succession continue des cultures avec une récolte de l'ensemble des parties aériennes laisse peu de matière organique au sol, ce qui limite l'effet protecteur de la couverture et l'activité biologique du sol. L'association agricole Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha (FEBRAPDP) travaille à la diffusion de pratiques de semis direct plus durables pour réduire les actions défavorables au milieu et à la productivité à moyen terme.

Un bilan en demi-teinte : entre protection des paysages et de la biodiversité et développement d'une sylviculture industrielle

47 La protection des paysages et de la biodiversité a sensiblement été améliorée depuis le début des années 2000. La mise en réserve légale des Áreas de Proteção Permanente imposée par le Code forestier fédéral a permis de mieux protéger les ripisylves, comme l'atteste leur évolution quantifiée par les traitements d'images satellites et les enquêtes réalisées sur le terrain (Leturcq et al., 2008). À partir de 2006, l'extension de ce « domaine de protection permanente » à la protection d'au moins 20 % des propriétés agricoles, en végétation naturelle ou au moins non cultivée et non pâturée, a permis de mettre en protection des formes plus variées de végétations naturelles (forêts, rives de lacs, périmètres de sources, sommets des reliefs...) ou d'assurer leur restauration (replantation notamment des forêts natives). L'objectif de la loi est certes de préserver les sites à fort enjeu paysager ou de biodiversité, mais vise aussi la lutte contre l'érosion facilitée par la protection des formes de végétation qui contribuent à maintenir les sols. Une partie des producteurs juge évidemment sévèrement cette mesure dont ils doutent sérieusement de l'efficacité sur la richesse de la biodiversité, car les réserves légales ressemblent davantage à des jachères qu'à de véritables réserves de nature. Sur le terrain, il faut bien remarquer néanmoins que les grands propriétaires respectent généralement assez bien la législation, d'abord parce que leur formation les a souvent sensibilisés aux mesures en faveur de l'environnement, et aussi parce qu'il leur est économiquement plus facile de laisser une partie de leur propriété improductive. Pour des petits producteurs, notamment ceux qui cultivent les fonds de vallées étroits des zones collinaires, cette réglementation nuit à leur production en empiétant sur les parcelles les plus productives et en les empêchant d'entretenir les cours d'eau afin de limiter les débordements dus aux embâcles.

48 Parallèlement à la protection des milieux naturels, la sylviculture a également été encouragée à l'échelle du Rio Grande do Sul. C'est à partir du Programme pour la plantation commerciale et le rétablissement des forêts (PROFLORA), mis en œuvre par le gouvernement de l'État du Rio Grande do Sul en 2004, sous la forme d'incitation fiscale, que les sociétés forestières engagent de vastes plantations d'eucalyptus (Binkowski, 2009 ; Capo, Gautreau et Simon 2009), principalement dans la partie sud de l'État. Les paysages de Pampa ouverts sont donc à présent menacés par l'extension de la sylviculture de l'eucalyptus, activité aujourd'hui plus lucrative que l'élevage extensif notamment sur les terres les plus pauvres (Overbeck et al., 2007 ; Gautreau et Merslinsky, 2008). Les eucalyptus croissent rapidement et sont coupés au bout de 6 à 9 ans pour la production de pâte à papier. Ils permettent de valoriser des sols pauvres, voire dégradés par l'érosion. Cette extension est donc favorisée par une faible valeur foncière, mais également par un réseau de transport adapté à la circulation du bois et

des intrants et par des conditions climatiques favorables (Binkowski, 2009). Si jusqu'en novembre 2007 les autorisations de plantation d'eucalyptus étaient délivrées par la FEPAM (Fundação estadual de Proteção ambiental) sous l'autorité du gouvernement du Rio Grande do Sul, c'est désormais la responsabilité de l'IBAMA (Instituto brasileiro do Meio ambiente e dos Recursos naturais renováveis). L'État fédéral semble ainsi vouloir contrôler l'expansion de la sylviculture présentant de forts enjeux sociaux et environnementaux. L'État du Rio Grande do Sul avait auparavant établi un zonage qui autorisait 100 000 ha de plantation l'eucalyptus sur l'ensemble de son territoire. Les eucalyptus s'étendent à présent aux dépens des prairies naturelles : de grandes exploitations d'élevage sont rachetées par des groupes de l'industrie de la pâte à papier et sont intégralement boisées sur des centaines d'hectares. Les surfaces concernées sont donc considérables (Sogue, 2011). Pour l'ensemble de l'État, la surface des espaces sylvicoles est en rapide croissance ; l'entreprise suédo-finlandaise Stora Enso (qui est une des trois plus importantes, dans son domaine, dans le monde) a déjà acquis des terres dans 10 *município*s, soit 45 700 hectares dans la partie sud-ouest de l'État (Morelli et Suertegaray, 2010).

49 Cette évolution pose des problèmes à de nombreux habitants de la Pampa et divise la société locale. Les boisements sont défendus par certains au nom du développement économique et d'arguments environnementaux, car les eucalyptus recolonisent des terres dégradées. On assiste ainsi à une certaine instrumentalisation de l'érosion et de l'arenização en particulier. Les eucalyptus sont plantés en effet sur les sols les moins fertiles et sont censés lutter contre l'extension des tâches de sable qui menaceraient la région. Les intérêts de la sylviculture industrielle se trouvent légitimés par des arguments environnementaux qui s'appuient également sur l'image « écologique » du reboisement. Une usine de transformation fonctionne dans la région urbaine de Porto Alegre dans le *município* de Guaíba (Celulose Riograndense du groupe chilien CMPC Celulosa), deux autres usines sont en projet : à Pelotas avec la société Votorantim et à Manoel Viana avec la société Stora Enso. Le développement de l'eucalyptus intéresse aussi certains agriculteurs qui le considèrent comme un moyen d'accroître la productivité des exploitations sur des sols peu fertiles et une voie de substitution à l'élevage extensif bovin (pour la production de viande) en crise depuis les années 1990. Une partie de la population locale considère l'eucalyptus comme une chance pour redynamiser cette région excentrée et en déprise et espère que la filière créera de nouveaux emplois. Mais le projet est très contesté par d'autres groupes sociaux : des écologistes qui s'inquiètent de l'effet de la monoculture sur le régime hydrologique, des enzymes employées pour la décomposition des souches et des toxines générées par les eucalyptus sur la qualité des eaux. D'autres segments de la population considèrent l'eucalyptus comme une menace pour le paysage traditionnel des *Gaúchos*, constitué de prairies ouvertes (Ribeiro, 2008). D'autres enfin s'inquiètent de l'accroissement de la valeur du foncier lié à la sylviculture commerciale qui entre en concurrence avec l'agriculture familiale (agriculture caractérisée par la prédominance du travail familial et dont l'objectif économique est d'assurer les revenus de la famille). Des mouvements de protestation sont régulièrement organisés comme des manifestations dans la capitale de l'État. La recherche scientifique s'est aussi récemment emparée du sujet, comme en témoignent les séminaires d'information et d'échanges organisés régulièrement depuis plusieurs années à l'Université fédérale du Rio Grande do Sul (UFRGS) à Porto Alegre.

Conclusion

50 L'agriculture dans le sud du Brésil prend préférentiellement appui sur une exploitation technicoéconomique du milieu, fondée sur la mobilisation du potentiel naturel grâce à une amplification de l'offre (Rock 2008) : création de nouvelles ressources d'eau par la construction de retenues, valorisation des secteurs les plus pauvres par les plantations d'eucalyptus. Malgré tout, et comme notre analyse l'a montré, l'évolution de la production agricole et des paysages est très variable. Les tensions entre dynamiques contemporaines de l'agriculture et enjeux environnementaux restent plutôt ténues. L'exploitation des ressources, en particulier en eau et en sol, est contenue par l'« offre naturelle », la structure des exploitations (grands et petits propriétaires diversement concernés par les demandes de produits effectuées à différents niveaux, internationaux, régionaux, locaux...) et par la règlementation qui se met en place depuis une quinzaine d'années (gestion de l'eau et protection de la forêt alluviale) et dont les effets sur les paysages ont pu être montrés (extension modérée des rizières, extension des forêts-galeries, déclin de l'élevage extensif et accroissement notoire des plantations d'eucalyptus). Les voies du développement de l'agriculture orientent la production vers une intensification des pratiques qui est finalement très nuancée. Mais peut-être que 10 années ne suffisent-elles pas à mettre en évidence les dynamiques qui animent le milieu.

51 D'autres voies émergent également. Des agriculteurs s'organisent depuis quelques années autour de la valorisation d'un espace aux ressources territoriales spécifiques : une qualité identitaire (les acteurs cherchent à promouvoir une identité forte liée à la culture *gaúcha*), une qualité environnementale (identification et amélioration de la prise en compte des services écologiques, certification environnementale) et enfin une qualité des produits agricoles (organisation des indications de provenance géographique). Ces démarches offrent de nouvelles voies au développement régional de la Pampa brésilienne.

Remerciements

52 Les travaux de recherche ont été financés par le programme franco-brésilien CAPES-COFECUB, Projet n° 580/07.

BIBLIOGRAPHIE

Arvor, D., M. Jonathan, M.S.P. Meirelles, V. Dubreuil et L. Durieux, 2011, Classification of MODIS EVI time series for crop mapping in the state of Mato Grosso, Brazil, International Journal of Remote Sensing, vol. 32, n° 22, pp. 7847-7871.

Basso, L.A. et R. Verdum, 2006, Qualidade das águas em bacias hidrográficas com focos de arenização, sudoeste do Rio Grande do Sul, Caderno Prudentino de Geografia, v. 28, pp. 45-55.

Bolliger, A., J. Magid, T.J.C. Amado, F.N. Skora, M. F. R. Santos, A. Calegari, R. Ralisch et A. Neergaard, 2007, Taking stock of the Brazilian zero - till revolution : a review of landmark research and farmers practice, Advances in Agronomy, 91, pp. 47-64.

Beven, K.J., et M.J. Kirkby, 1979, A physically based, variable contributing area model of basin hydrology, Hydrological Sciences Bulletin, vol. 24, pp. 43-69.

Breiman, L., 2001, Random Forests, Machine Learning, n° 45, pp. 5-32.

Capo, D., P. Gautreau et L. Simon, 2009, La « Nature » contre le territoire : les contradictions de la politique des aires protégées en Uruguay, Cahiers des Amériques Latines, pp. 54-55.

Chan, J.C.-W. et D. Paelinckx, 2008, Evaluation of Random Forest and Adaboost tree-based ensemble classification and spectral band selection for ecotope mapping using airborne hyperspectral imagery, Remote Sensing of Environment, n° 112, pp. 2999-3011.

Cerdan, C. et D. Vitrolles, 2008, Valorisation des produits d'origine : contribution pour penser le développement durable dans la Pampa Gaucha au Brésil, Géocarrefour, en ligne, vol 83/3, 2008.

Clark, M.L., T.M. Aide, H.R. Grau et G. Riner, 2010, A scalable approach to mapping annual land cover at 250 m using MODIS time series data : A case study in the Dry Chaco ecoregion of South America. Remote Sensing of Environment, n° 114, pp. 2816-2832

Corbonnois, J., R. Verdum, F. Messner, F. Laurent, V. Garcez Soares, 2011, L'érosion des sols sableux dans les campos du sud du Brésil (bassin de l'Ibicuí, Rio Grande do Sul), Revue Geomorphologie, n° 1, pp. 53-64.

Coutrot, T., 2009, Lula, le social et l'écologie, Mouvements, vol. 4, n° 60, pp. 138-144.

De Mello, N.A. et H. Théry, 2003, L'État brésilien et l'environnement en Amazonie : évolutions, contradictions et conflits, L'Espace géographique, vol. 1, tome 32, pp. 3-20.

Derpsch, R., T. Friedrich, A. Kassam, L. Hongwen, 2010, Current status of adoption of no-till farming in the world and some of its main benefits, International Journal of Agricultural and Biological Engineering, vol. 3, n° 1, 1.

Dubreuil, V., A.-E. Laques, V. Nédélec, D. Arvor, et H. Gurgel, 2008, Paysages et fronts pionniers amazoniens sous le regard des satellites : l'exemple du Mato Grosso, L'Espace géographique, Ed. Belin, vol. 1, pp. 57-74.

Gislason, P.O., J.A. Benediktsson et J.R. Sveinsson, 2006, Random Forests for land cover classification, Pattern Recognition Letters, n° 27, pp. 294-300

Laurent, F., P. Vianna, R. Verdum et I. Mello, 2009, La gestion des ressources en eau dans les Etats de la Paraiba et du Rio Grande do Sul : enjeux, conflits et gouvernance locale, Les Cahiers des Amériques Latines, n° 54-55, pp. 53-70.

Laurent, F., G. Leturcq, I. Mello, J. Corbonnois et R. Verdum, 2011, La diffusion du semis direct au Brésil, diversité des pratiques et logiques territoriales : l'exemple de la région d'Itaipu au Paraná, Confins [En ligne] URL : http://confins.revues.org/7143.

Lepiller, L., 2006, La gestion intégrée des ressources en eau : l'exemple participatif du bassin versant de l'Ibicuí, Rio Grande do Sul (Brésil), Mémoire de master 2, Université du Maine, 133 p.

Leturcq, G., F. Laurent et R. Vieira Medeiros, 2008, Perception et gestion de l'érosion et des ressources en eau par les agriculteurs et les éleveurs du bassin versant de l'Ibicuí (RS, Brésil), Revue Confins, n° 4 [En ligne] URL : http://confins.revues.org/document4.html

MAPA, 2011, Ministério da Agicultura, Pecuária e Abastecimento, , Brasil, Projeções do agronegócio 2010-2011 a 2020-2021. MAPA, Brasília (Brazil), 58.

Morelli, L.A. et D. Suertegaray, 2009, Meio ambiente, territorio e identidade cultural - Estudo de caso da Aracruz Celulose do RS, Geografia : Ensino & Pesquisa, Santa Maria, Brésil, vol. 13, 2, pp. 430-435.

Morton, D.C., R.S. DeFries, Y.E. Shimabukuro, L.O. Anderson, E. Arai, F. del Bon Espirito-Santo, R. Freitas et J. Morisette, 2006, Cropland expansion changes deforestation dynamics in the southern Brazilian Amazon. Proc Natl Acad Sci U S A. 2006 Sep 26 ; 103(39) :14637-41.

Overbeck, G., S. Muller, A. Fidelis, J. Pfadenhauer, V. Pillar, C. Blanco, I. Boldrini, R. Both et E. Forneck, 2007, Brazil's neglected biome : The South Brazilian Campos, Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics, n° 9, pp. 101-116.

Pébayle, R., 1974, Pionniers et éleveurs du Rio Grande do Sul, Thèse d'État, Université de Paris 1, 745 p.

Rock, L., 2008, Au croisement entre pénurie d'eau et société du risque : un nouvel éclairage sur la problématique de l'eau, Mémoire de maîtrise en Sciences de l'environnement, Université du Québec à Montréal, 146 p.

Ribeiro, J.C., 2008, A verticalização da paisagem nos campos de areia da Vila Kraemer. São Francisco de Assis, RS, Brasil, Mémoire de pos-graduação (master), UFRGS, 187 p.

Robaina, L. E., P.M. De Paula et P. Trentin, 2005, Soil degradation and developments of the sands in Ibicuí basin, RS, Brazil, Sociedade & Natureza, Uberlândia, Special Issue, pp. 215-223.

Rodrigues, A.deL., et M.L. Bezzi, 2005, O processo de reorganização do espaço agrário em Rosário do Sul/RS 1940-2000, Sociedade & Natureza, Uberlandia, 17(32), pp. 5-13.

Séguy, L., S. Bouzinac et O. Husson, 2006, Direct-seeded tropical soil systems with permanent soil cover : learning from brazilian experience, in Uphoff, N., 2006, Biological approaches to sustainable soil systems, CRC Press, Taylor & Francis, pp. 323-336.

Sogue, M., 2011, Cartographie par télédétection de l'agriculture dans le bassin versant de l'Ibicuí (sud du Brésil) : apports des séries d'images MODIS/TERRA, Mémoire de master 1, Université du Maine, 57 p.

Suertegaray, D.M.A., 1998, Deserto Grande do Sul, Editora da UFRGS, Porto Alegre.

Suertegaray, D.M.A., Guasseli, L.A., Verdum, R., 2001, Atlas da Arenização - Sudoeste do Rio Grande do Sul, Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia e Governo do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Suertegaray, D.M.A., R. Verdum, E.T. Bellanca et R.S. Uagoda, 2005, Sobre a gênese da arenização no sudoeste do Rio Grande do Sul, Revista Terra Livre, São Paulo, pp. 135-150.

Suertegaray, D.M.A. et R. Verdum, 2008, Desertification in the Tropics, Encyclopedia of Life Support Systems - UNESCO Publishing, Paris, pp. 1-17.

Thierfelder, C. et P.C. Wall, 2010, Rotations in conservation agriculture systems of Zambia : effects on soil quality and water relations, Experimental Agriculture, vol. 46, pp. 309-325.

Verdum, R., 1997, L'approche géographique des « déserts » dans les communes de São Francisco de Assis et Manuel Viana, État du Rio Grande do Sul, Brésil, Thèse, Université de Toulouse Le Mirail, 211 p.

RÉSUMÉS

Le sud du Brésil qui possède un bon potentiel naturel en raison de son climat chaud et humide et de son relief favorable est voué principalement à l'élevage et aux cultures de soja, de riz et de maïs. Cette région, comme d'autres au Brésil, participe à la production de denrées agricoles pour le marché national et international. Elle est ainsi soumise à l'intensification des pratiques dont les impacts sur l'environnement sont notoires. L'étude concerne plus particulièrement le bassin versant de l'Ibicuí (46 800 km²), situé dans le sud-ouest de l'État de Rio Grande do Sul. Nous y avons déterminé l'occupation du sol et ses transformations au cours de la 1ère décennie du XXIe siècle, à partir de l'interprétation d'images MODIS. Les cartes qu'il a ainsi été possible de réaliser sont analysées sous l'éclairage du terrain et d'enquêtes auprès des acteurs de l'agriculture, effectuées entre 2007 et 2010. 3 secteurs spécifiques permettent de déterminer les pressions exercées par l'agriculture sur l'environnement : le secteur de Rosario do Sul où l'élevage est en régression et où se développent rapidement des plantations d'eucalyptus, le secteur d'Alegrete dédié à la riziculture et le secteur de São Francisco de Assis où les sols sableux soumis à l'érosion favorisent le retour à la prairie. L'article démontre ainsi que l'environnement est progressivement intégré à travers la gestion de l'eau dont il faut coordonner les usages, les pratiques culturales par le développement du semis direct et la protection de l'environnement par les lois sur les aires de protection permanentes (APP).

Southern Brazil, which has a good natural potential due to its sub-tropical climate and its favorable topography, is mainly dedicated to breeding and cultivating soybean, rice and corn. Like others in Brazil, this region is involved in the production of agricultural products for domestic and international markets. It is thus subject to the intensification of practices whose impacts on the environment are well known. The study investigates the watershed of Ibicuí (46.800 km²), located in the southwest of the state of Rio Grande do Sul. Thanks to interpretation of MODIS images, we have identified land uses and its transformations during the first decade of the twenty-first century. The cards we have been able to achieve are analyzed and confronted with surveys of agriculture stakeholders (local agriculture organizations, farmers...), carried out between 2007 and 2010. The analysis of three specific areas allows determining agricultures's impacts and pressure on the environment : the sector of Rosario do Sul is undergoing a decline of livestock and a rise of eucalyptus plantations, while Alegrete area is dedicated to rice crops and São Francisco de Assis area is undergoing the erosion of its sandy soils and the return of the meadow. The paper examines how the environment is integrated through water uses management, through the development of innovating cultural practices like direct seeded soil systems and through environmental protection such as the laws of 2002 and 2006 on Permanent Protection Areas (APP).

O Sul do Brasil que tem um potencial natural, devido ao seu clima subtropical e seu relevo favorável, é onde se desenvolve em termos de produção agrícola a criação de gado, os cultivos da soja, do arroz e do milho. Esta região, assim como outras no Brasil, está diretamente envolvida na produção agrícola para o mercado nacional e internacional. No entanto, é um espaço sujeito à intensificação das práticas agrícolas cujos impactos sobre o meio ambiente são, relativamente, bem conhecidos. Neste sentido, este estudo se refere, mais especificamente, às práticas agrícolas desenvolvidas na bacia hidrográfica do Ibicuí (46.800 km²), localizada no sudoeste do estado do Rio Grande do Sul. Nela se identificam os usos da terra e suas transformações durante a primeira década do século XXI. Inicialmente, a partir da interpretação das imagens MODIS e depois, com os mapas produzidos, foi possível aprimorar as análises na área de estudo com a realização de enquetes junto aos produtores rurais, realizadas entre 2007 e 2010. Três áreas foram selecionadas para determinar uma possível pressão agrícola sobre o meio : no município de Rosário do Sul, onde se observa o declínio da atividade de criação bovina e a expansão do plantio de eucaliptos ;

em Alegrete, onde há uma especialização no plantio do arroz e em São Francisco de Assis, onde solos arenosos sujeitos aos processos erosivos favorecem a retomada das práticas de melhoria da cobertura herbácea dos campos. Destaca-se que, a proteção ambiental é levada em consideração por alguns produtores rurais, por exemplo, através da gestão da água, onde se busca definir os seus diversos usos, da valorização das práticas agrícolas que favorecem o plantio direto e aquelas que convergem à proteção ambiental contida nas leis de 2002 e 2006, que tratam das Áreas de Proteção Permanente (APP).

INDEX

Palabras claves : agricultura, água, solos, gestão, mata galeria, sensoriamento remoto.
Mots-clés : agriculture, environnement, eau, sols, gestion, forêt-galerie, télédétection
Keywords : agriculture, environment, water ressource, soils, remote sensing, environmental management, gallery forest
Index géographique : Amérique du Sud

AUTEURS

JEANNINE CORBONNOIS

Professeure de géographie, UMR ESO 6590 CNRS, Université du Maine, Avenue Olivier Messiaen 72085 Le Mans Cédex 9, France, courriel : jeannine.corbonnois@univ-lemans.fr

FRANÇOIS LAURENT

Professeur de géographie, UMR ESO 6590 CNRS, Université du Maine, Avenue Olivier Messiaen 72085 Le Mans Cédex 9, France, courriel : francois.laurent@univ-lemans.fr

VINCENT ANDREU-BOUSSUT

Maître de Conférences en géographie, UMR ESO 6590 CNRS, Université du Maine, Avenue Olivier Messiaen 72085 Le Mans Cedex 9, France, courriel : vincent.andreu-boussut@univ-lemans.fr

FRANÇOIS MESSNER

Géomaticien, UMR ESO 6590 CNRS, Université du Maine, Avenue Olivier Messiaen 72085 Le Mans Cedex 9, France, courriel : francois.messner@univ-lemans.fr

VERDUM ROBERTO

Professeur de géographie, Instituto de Geociências, UFRGS, Porto Alegre, Brasil, France, courriel : verdum@ufrgs.br

ROSA MEDEIROS VIEIRA

Professeure de géographie, Instituto de Geociências, UFRGS, Porto Alegre, Brasil, courriel : rmvmedeiros@yahoo.com.br

MAKHTAR SOGUE

Étudiant, UMR ESO 6590 CNRS, Université du Maine, Avenue Olivier Messiaen 72085 Le Mans Cedex 9, France