

## Conversion du *cerrado* en pâturages cultivés et fonctionnement des Ferralsols

Michel Brossard<sup>1</sup>  
Alexandre de O. Barcellos<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institut de recherche pour le  
développement (IRD),  
Valpédo,  
BP 64501,  
34394 Montpellier cedex 5,  
France  
<brossard@mpl.ird.fr>

<sup>2</sup> Empresa Brasileira de Pesquisa  
Agropecuária (Embrapa) Cerrados,  
CP 08.223,  
73.301-970 Planaltina-DF,  
Brésil  
<barcello@cpac.embrapa.br>

### Résumé

Dans le cadre d'un projet de recherche Institut de recherche-Empresa brasileira de pesquisa agropecuária (IRD-Embrapa) le fonctionnement des Ferralsols a été abordé, sous l'angle des propriétés physiques, hydrodynamiques, biologiques et géochimiques du phosphore, lors de la transformation de la savane en pâturages cultivés à base de *Brachiaria* spp. Cette contribution en dresse les principaux bilans et apporte des éclairages sur l'évolution des sols sous pâturages, les processus concernés par le changement de végétation et des aspects pratiques qui concernent la vaste étendue de pâturages cultivés du *cerrado*.

**Mots clés :** ressources naturelles et environnement ; productions végétales ; sols.

### Abstract

#### The *cerrado* bioma conversion to cultivated pastures and ferralsols functioning

The latest agricultural frontier of the savannah to be exploited for intensive agricultural use on the south American continent, the Brazilian *cerrado* and the Llanos of Colombia and Venezuela, make demands on research as more of this land is brought into production. The introduction of exotic Poacea during the last three decades has enabled the livestock carrying capacity to be increased 5-10-fold. However, these systems progressively lose their productive capacity five years after being introduced. During an IRD-EMBRAPA project the functioning of ferralsols has been studied with regard to its physics, hydrodynamics, biology and the geochemistry of phosphorus against a background of the transformation of the natural savannah vegetation into cultivated *Brachiaria* spp pastures. This paper describes the main balances and attempts to clarify the features of the soils under pasture which are affected, and in particular ferralsols, which represent 46% of the area of the biome. Most of the pastures brought into cultivation are on these soils. The work has shown that the state of the soil under an old, unproductive pasture is characterised by medium-low organic matter content and very low concentrations of plant-available phosphate ions. The surface horizon usually exhibits a loss of porosity and the soil structure is altered, being more compacted. The hydraulic properties do not seem to be greatly affected, and runoff and erosion are only localised problems resulting from incorrect soil management practices used on certain watershed catchment basin. The diversity and biomass of the macrofauna are reduced. However the physical and biogeochemical behaviour recorded indicate that properties favourable to plant growth can be restored by changing the management of the system. With the development of agriculture and the introduction of pastures, the *cerrado* is affected by the big reduction in plant biomass. In the pastures the functional area is not the field, but the plant unit associated with the exactly underlying soil volume. The scale is metric. The biological mechanisms have been modified on two scales: on the macroscopic scale, with the alteration of the invertebrate fauna (e.g. of the parameters of the distribution of communities and population characteristics, i.e. their abundance and biomass) following changes in the amounts and nature of the organic matter entering the system; and on the colloidal scale, since it is observed that the characteristics of enzymatic activity are sensitive to soil transformations. The changes in porosity and structure which have been identified are the result of mechanical effects on the soil and biological changes. Conversely, the microporosity of the soils is conserved, whereas this is not the case with the deforestation of the Amazonian soils. The variations in porosity observed also concern the possible fluctuations in organic matter content. The regulatory mechanisms of the structure and the macroporosity by the soil invertebrate fauna are modified.

Tirés à part : M. Brossard

The hydrodynamic processes at the surface are in fact regulated by the plant cover; we confirm that runoff and particle size detachment may be regarded as relatively unimportant. The hydraulic conductivity varied little, but this needs to be confirmed. The direct effect of physical and soil fauna modifications on the pastures productivity has not been tested. The soil fauna is not responsible for the falling yields: at the very most, there is a synchrony between the ageing of the pasture and the adaptation of the fauna to the food supply in the environment. The porosity, which falls at the surface, is somewhat restricting to the root development in the whole soil volume, but this factor must be added to the herd management factors. On the other hand, we have shown that these soils remain very susceptible to fluctuating rainfall, the available water reserve declining rapidly, particularly when the fine porosity falls. But the cause of the decline in this case is the occurrence of short dry seasons.

**Key words:** natural resources and environment; vegetal productions; soils.

**D**erniers fronts pionniers agricoles [1] concernant des savanes tropicales sur le continent sud-américain, le *cerrado* au Brésil (*encadré 1*) et les *Llanos* de Colombie et du Venezuela [2] interrogent la recherche au fur et à mesure de l'extension de la mise en culture des terres.

Dans le *cerrado*, la production de viande bovine est passée rapidement de la gestion des ressources fourragères de la savane arborée pour le bétail, à l'exploitation, après déforestation, des ressources de prairies artificielles (*encadré 2*). L'introduction de Poacées exogènes a permis en trois décennies, de multiplier par 5 à 10 la charge animale à l'hectare. Mais ces systèmes intensifs voient souvent leur capacité productive décroître au-delà de cinq ans d'utilisation. La réduction de la fertilité des sols (physique, chimique et biologique), des proliférations de parasites et ravageurs, la mauvaise gestion des surfaces pâturées sont les facteurs les plus cités comme causes du déclin [3]. Alors qu'en zone forestière le bétail sert souvent à des pratiques spéculatives d'occupation de la terre, l'élevage est, dans le *cerrado*, une activité

productive lorsqu'elle est bien menée. Les surfaces concernées sont importantes. Déjà ouvertes à l'agriculture, celles-ci constituent une réserve importante de terres cultivables susceptibles au travers d'associations agriculture-élevage de freiner la déforestation amazonienne et de maintenir durablement les niveaux de fertilité des terres [4]. L'ensemble de ces faits se situe au sein de problèmes agricoles et environnementaux actuels, qui dépassent le strict cadre brésilien.

Initialement, la mise en valeur agricole du *cerrado* visait à construire un potentiel de production en adaptant les techniques à des sols oxiques désaturés; trente ans plus tard, l'enjeu est d'éviter une baisse du potentiel productif en place. Sur les pâturages dégradés<sup>1</sup>, on enregistre en effet de faibles gains de poids du bétail pendant la saison des pluies et des pertes de poids pendant la saison sèche de 4 à 6 mois, ce qui conduit à une faible productivité par animal et par unité de sur-

<sup>1</sup> Pour les aspects de la notion de dégradation, voir le résumé de la thèse de Muriel Figuié dans ce volume.

face. Dans le même temps, la sélection animale s'est développée sans que les pâturages aient vu évoluer leur aptitude à alimenter correctement des troupeaux à fort potentiel de production de viande, en dehors des contextes liés à la recherche.

Nous exposons un bilan des principaux résultats scientifiques sur les propriétés physiques, hydrodynamiques, biologiques et géochimiques du phosphore des sols et les conséquences pratiques d'un projet de recherche Embrapa-IRD, qui a fonctionné en réseau entre 1997 et 2002. Les principaux thèmes et les équipes sont présentés au *tableau 1*.

## Éléments de synthèse

Van Wambeke [34] citant des agronomes brésiliens dans les années 1970 se demandait s'il fallait « convertir les savanes en terres de cultures ou les aménager en pâturages améliorés ». Les deux options ont été conduites à terme et le paysage végétal du *cerrado* a été profondément transformé. L'observation de profils de

### Encadré 1

#### Le *cerrado*, un modèle de transformations récentes du milieu

Le *cerrado* (entre 2° et 23° S et 45° et 63° O) recouvre environ 206.10<sup>6</sup> hectares, ce qui représente un peu plus de 24 % du territoire brésilien, soit en surface le deuxième biome après la forêt amazonienne. Cela concerne 1 027 communes réparties dans 12 États. Au xx<sup>e</sup> siècle, plus précisément à la fin des années 1930, la politique gouvernementale d'intégration nationale favorise une occupation lente mais régulière de la région qui culmine avec la construction de Brasilia en 1960. Cet intérêt porté au *cerrado* est à son maximum entre les années 1960 et 1980, avec le développement de grands projets. Les surfaces transformées pour l'agriculture et l'élevage sont estimées à 49,5.10<sup>6</sup> hectares de pâturages cultivés, 13,4.10<sup>6</sup> hectares de cultures annuelles, 2.10<sup>6</sup> hectares de cultures pérennes et 4,6.10<sup>6</sup> hectares sont déclarées comme réserves. Tout porte à croire que l'on s'approche désormais de la limite foncière potentiellement accessible, en particulier pour les terres cultivables. La question aujourd'hui n'est pas d'obtenir de nouvelles surfaces, mais de maintenir, voire d'améliorer le potentiel des surfaces déjà cultivées en limitant les profondes modifications du milieu.

## **Encadré 2** **L'agropastoralisme dans le cerrado**

Le remplacement de la végétation naturelle par des pâturages cultivés a représenté une alternative pour augmenter la production de viande de la région avec l'introduction d'espèces végétales fourragères d'origine africaine à forte capacité d'adaptation aux sols et aux climats. On peut citer essentiellement les différentes espèces des genres *Brachiaria* (près de 80 % des pâturages cultivés dans le Centre-Ouest brésilien), *Panicum* et *Andropogon*. L'élevage bovin du cerrado constitue 40 % du cheptel total contribuant à hauteur de 33 % à la production de viande brésilienne. Une baisse de productivité des pâturages est enregistrée depuis plusieurs années. Elle concernerait aujourd'hui près de 80 % des surfaces pâturées. Le surpâturage est l'une des causes du déclin des pâturages. Ce problème, bien cerné institutionnellement, est encore d'actualité mais est mal perçu par les producteurs. De plus, dans les systèmes actuels, l'offre minérale du sol pour la plante est, à moyen terme, limitée et le système sol/plante/bovin est extractiviste.

sols en diverses situations sous pâturages cultivés et végétation naturelle dans le cerrado a déterminé le choix des travaux. Ils ont porté sur les Ferralsols qui représentent environ 46% de la surface du biome où les pâturages mis en culture sont principalement localisés (*encadrés 3, 4 et 5*).

Avec le développement agricole, la modification de la biomasse végétale est la première transformation qui a concerné le cerrado. Ce biome présente une producti-

tivité primaire parmi une des plus élevées des savanes (1 000-2 000 g MS.m<sup>-2</sup>.an<sup>-1</sup>). Les données moyennes des pâturages de *Brachiaria* de plus de 5-7 ans d'âge, sont nettement inférieures (200 à 400 g MS.m<sup>-2</sup>.an<sup>-1</sup>, données Embrapa non publiées). Cette forte diminution, considérant la taille du biome et la surface des pâturages, a un premier impact : la réduction observée des contenus de carbone relevés dans les analyses de routine des horizons de surface des sols [23, 24]. Cette décroissance a des

implications sur l'offre en cations échangeables, car une partie des propriétés d'échange de ces sols est dépendante de leur teneur en matières organiques (MOS).

Ainsi, le fonctionnement biogéochimique est la clé des transformations. Dans ces pâturages, le volume fonctionnel n'est pas la parcelle, mais l'unité plante associée au volume de sol strictement sous-jacent, l'échelle est métrique [30, 31]. Le second impact concerne les mécanismes

### **Tableau 1. Principaux thèmes, partenaires et publications du projet.**

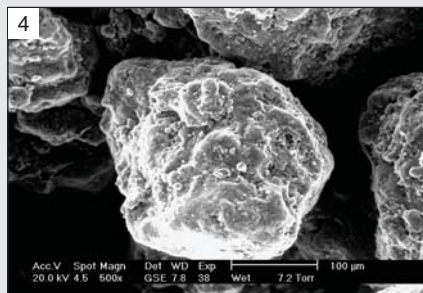
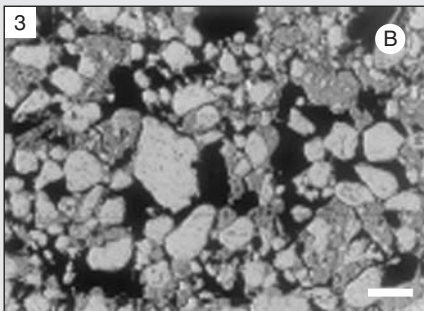
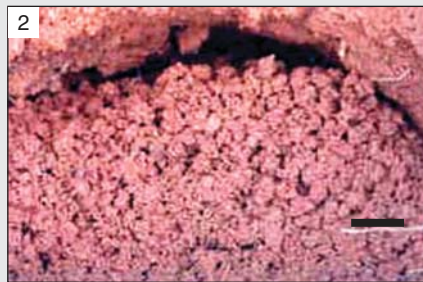
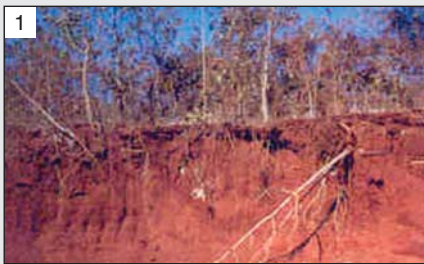
Table 1. Main research themes, partners and publications of the project.

<b>Thème</b>	<b>Action de recherche</b>	<b>Principaux participants</b>	<b>Thèses et mémoires</b>	<b>Publications</b>
<i>Propriétés physiques et hydrodynamiques</i>	Synthèse des effets de la mise en culture sur les propriétés physiques des Ferralsols	A. Bruand (Inra/Isto) J.C. Leprun (IRD)		[5]
	Analyse de la porosité et des propriétés physiques de Ferralsols : effet de la mise en culture en pâturage	A. Bruand (Inra/Isto) M.F. Guimarães (UEL)	L.C. Balbino (Embrapa arroz e feijão, Ina-PG) G.A. Fregonesi (UEL)	[6-11]
	Hydrodynamique au champ	D. Brunet (IRD)		[12-15]
<i>Macrofaune d'invertébrés</i>	Inventaires dans diverses situations dans la région	A. Aquino (Embrapa Agrobiologia) E. Blanchart (IRD), S.P. Huang (UnB) A.Pasini (UEL)	N.P. Benito (UEL) B. Bobillier (Paris XII) V.S. Dias (UnB) F. Duarte (UnB) I. de Oliveira (Upis, IRD) R.O.C. Da Silva (UnB)	[16-22]
	Analyse de l'effet de la transformation du Cerrado en pâturages cultivés	A. Aquino (Embrapa Agrobiologia) A.Pasini (UEL)		[19-20]
<i>Biogéochimie du phosphore</i>	Évaluation de l'état de la ressource sol : le point de vue de la chimie de routine	L. Vilela (Embrapa Cerrados)	E.J. Corazza (IRD, Esalq) M. Vitrac (Istom)	[23-25]
	Formes, nature et stabilité du phosphore	H. Quiquampoix & .S. Stauton (Inra)	L. Chapuis-Lardy (Paris VI)	[26-29]
	Biodisponibilité des ions phosphate	Dr. T. Muraoka (Cena-USP)	E.J. Corazza	[30-33]

UEL : Universidade estadual de Londrina (Paraná) ; UnB : Université de Brasília ; Cena-USP : Centro de energia nuclear na Agricultura de l'université de São Paulo ; Esalq : Escola superior de agricultura Luiz de Queiroz de l'université de São Paulo ; Istom : École d'ingénieurs ago-développement international de Cergy-Pontoise ; Upis : União pioneira de integração social-Faculdades integradas, Brasília ; Inra : Institut national de la recherche agronomique ; Ina-PG : Institut national agronomique de Paris-Grignon ; Isto : Institut des sciences de la terre d'Orléans.

### Encadré 3 Morphologie des Ferralsols

Morphologiquement, les Ferralsols (*Latossolos* de la taxonomie brésilienne) se caractérisent par une faible différenciation verticale des horizons, la présence d'un horizon fortement microagrégé et une profondeur importante. Selon la nature des roches-mères, ces sols sont sablo-argileux ou argileux. La teneur en argile est en règle générale très peu variable dans le profil, mais en revanche varie largement entre les Ferralsols, de 6 à 83 % dans l'horizon B microagrégé. Les teneurs en limon varient de 1 à 23 %. Si ces sols possèdent une structure microagrégée très stable, la macrostructure est en revanche peu exprimée et fragile. Les microagrégats sont de forme subarrondie et de 50 à 300  $\mu\text{m}$  de diamètre. Dans certains Ferralsols, une macrostructure polyédrique subanguleuse à grumeleuse, peu nette, est cependant observée. Très généralement, les masses volumiques sont comprises entre 0,8 et 1,2  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ .



1. Ferralsol rouge sur basalte (N du Goiás).
2. Débris de loge de fourmis *Atta*, Ferralsol jaune-rouge, dans horizon Bw, 1,8 m de profondeur, échelle 5 mm.
3. Microagrégats observés en microscopie électronique à balayage (mode électrons rétrodiffusés), Ferralsol rouge sablo-argileux, 0-3 cm, pâturage, échelle 500  $\mu\text{m}$  (source : travaux de thèse de L.C. Balbino).
4. Microagrégat observé au MEBE (sources : travaux de thèse en cours de N. Volland-Tuduri, coll. A. Bruand (ISTO Orléans) & H. Garreau (CRBA, faculté de pharmacie, Montpellier)), échelle 100  $\mu\text{m}$ .

niques sur le sol et de changements biologiques [11]. En revanche, le spectre microporal des sols est globalement conservé, alors que ce n'est pas le cas après la déforestation sur les sols amazoniens [40]. Mais, les variations de la porosité observée concernent également les possibles fluctuations des teneurs en MOS [6]. Les mécanismes de régulation des structures et de la macroporosité par la faune d'invertébrés du sol sont modifiés. On n'observe pas, en effet, dans les pâturages de faible potentiel productif, de récupération des traits observés sous *cerrado*, alors que sous des systèmes intensifs et productifs la structure devient à nouveau favorable aux enracinements [7]. Les processus hydrodynamiques à la surface sont de fait régulés par la couverture végétale. Ainsi, nous confirmons que ruissellement et détachabilité doivent être considérés comme des mécanismes peu intenses [12], avec quelques nuances selon le type de situation considérée (couple type de sol/pente, couverture végétale en densité et biomasse, piétinement du troupeau...). La conductivité hydraulique a peu varié, mais ce résultat doit être confirmé [8].

## Transformations observées et déclin des pâturages

Les points abordés peuvent s'inscrire dans le « cycle vicieux » de la faible productivité des pâturages [41]. Toutefois, aucune expérimentation n'a été réalisée au champ pour juger de l'effet direct des modifications physiques ou biologiques (faune) du sol sur la productivité. La faune du sol n'est pas un facteur de déclin ; tout au plus, il y a conjonction temporelle entre l'âge du pâturage et l'adaptation du cortège faunistique à l'offre trophique du milieu.

La réduction de la porosité en surface est partiellement contraignante pour le développement homogène des racines dans tout le volume du sol, mais ce facteur s'ajoute aux facteurs de gestion du troupeau. En revanche, nous avons montré que ces sols restent très susceptibles aux alternances pluviométriques : la réserve d'eau disponible s'amenuise rapidement [13], d'autant plus que la porosité fine a été réduite. Mais le facteur de déclin est

biologiques. L'activité biologique est intense dans ces sols, tant sous la végétation de *cerrado* que sous pâturages. Mais elle a été modifiée tout d'abord à l'échelle macroscopique avec l'altération de la faune d'invertébrés (paramètres de distribution des communautés, caractéristiques des populations, c'est-à-dire abondance et biomasse) [16–19] suite à la modification des quantités et de la nature de la MOS entrant dans le système et ensuite, à l'échelle colloïdale, puisque

l'on voit que les caractéristiques du fonctionnement enzymatique (vu ici avec les phosphatases acides libres) sont sensibles aux transformations du sol [26–28].

Les processus physiques et leurs variations sont concomitants des autres changements et concernent les mécanismes de l'évolution de la structure, de la porosité et, par voie de conséquence, des caractéristiques hydrodynamiques. Les diminutions porales et du volume microagrégé sont la résultante d'impacts méca-

#### **Encadré 4** **Le contexte des sols sous pâturages cultivés**

Prenant une large diversité de textures de sols, les observations conduites ont montré l'importance de contraintes physiques qui se développent suite à la mise en place de ces systèmes pérennes [11]. L'observation de la distribution des enracinements et de la distribution saisonnière des pluies a montré la nécessité d'analyser le régime hydrique des sols. De plus, il est apparu dans le contexte de l'étude que la connaissance de l'évolution structurale des sols brésiliens suite à leur mise en culture était mal connue [5].

Les observations de profils culturaux ont mis en évidence les effets de la macrofaune d'invertébrés sur les structures du sol. Leurs rôles pédologiques et écologiques sont connus [35, 36]. En revanche, ce projet a montré que dans les sols du *Cerrado*, la contribution des insectes sociaux en densité et biomasse est remarquable [16]. Dans ce biome, les termites et fourmis sont des ravageurs en sylviculture [37, 38], et il convient de noter que les éleveurs considèrent que les termites sont un des facteurs du déclin de leurs pâtures, voire le principal.

Le phosphore des sols de cette région est considéré comme un des éléments limitant la production végétale, l'offre quantitative en ions phosphate étant très peu élevée dans la solution du sol du fait des propriétés particulières de la phase minérale de ces sols [39]. Le projet a apporté des données nouvelles sur les quantités et la nature du phosphore de ces sols [27] ainsi que sur sa dynamique potentielle [26, 28, 31, 32].

#### **Encadré 5** **Le sol sous pâturage cultivé de faible productivité**

L'état d'un Ferralsol sous un pâturage âgé, de faible productivité, se caractérise par des teneurs en matière organique (MOS) moyennes à basses [23, 24]. Les concentrations en ions phosphate disponibles pour les plantes sont très faibles [23-25, 32]. La structure du sol est modifiée avec une perte de la porosité de surface jusqu'à des épaisseurs de 0,5 m (7, 11), l'apparition de volumes compacts, voire d'encroûtements superficiels, ces structures limitant le volume disponible pour les racines. Toutefois, il semble que les propriétés hydrauliques ne soient pas complètement altérées [15], et le ruissellement et l'érosion restent sous ces pâturages des phénomènes localisés. La diversité et les biomasses de la macrofaune du sol sont diminuées [18-20]. Toutefois, les comportements physiques et biogéochimiques enregistrés indiquent que des retours à des propriétés favorables à la croissance des plantes se mettent en place lors de changement de modes de gestion des systèmes pâturés. Il a été possible d'intégrer, pour des ensembles minéralogiques homogènes, les connaissances sur la porosité de ces Ferralsols, ce qui permet actuellement de régionaliser les propriétés hydriques de ces sols du *cerrado* [11].

ici lié à l'occurrence des petites saisons sèches, car le volume du réservoir d'eau utile pour la plante est relativement peu important dans ces sols.

## Conclusion

L'analyse des agronomes brésiliens repose encore sur la fertilisation. Ce point est correct mais à vouloir trop le centrer sur le phosphore [41, 42], l'azote paraît oublié. Si les quantités de phosphore disponibles dans la solution du sol sont limitées, les réserves du sol en phosphore échangeable ne sont pas un facteur de contrainte de ces sols [32]. Toutefois, au vu des étendues concernées, ce n'est pas une stratégie de fertilisation qui résoudra le problème du déclin des pâturages, mais plutôt une vision large du fonctionnement des systèmes.

Actuellement, le débat général porte sur deux approches antinomiques : d'un côté, amélioration et intensification des systèmes de production, en particulier

dans la zone intertropicale<sup>3</sup> et, à l'opposé, un débat sur l'extensification des systèmes pâturés dans certaines zones tempérées et subtropicales se développe face à des contraintes environnementales [43]. De plus, Stocking [44] montre que dans de nombreux systèmes cultivés tropicaux, la décroissance des rendements des cultures est exponentiellement liée aux pertes cumulées en sol, et sa modélisation nous interpelle sur les choix de production et leurs modes de gestion. La place du *cerrado* dans l'agriculture brésilienne et dans sa production de viande n'est pas négligeable. Le déclin constaté des pâturages cultivés est purement conjoncturel et lié à une vision extractiviste de l'activité d'élevage extensif. L'appréciation de la ressource « sol » ne peut rester statique, homogène, confinée à un type de pratique. Elle doit considérer cette ressource comme un élément dynamique qui réagit aux demandes de l'homme face à des besoins. L'analyse des

<sup>3</sup> Voir par exemple les textes en ligne sur les objectifs de l'Embrapa et du CIAT.

sites de pâturages renouvelés et des rotations pâtures/cultures le montre bien [4]. La gestion présente et future des sols de ce type de biome doit fournir des éléments de discussion pour un débat plus large concernant d'autres contrées tropicales. ■

## Références

1. Waniez P. *Les Cerrados, un « espace frontière » brésilien*. Montpellier : Editions du Reclus ; Orstom éditions, 1992 ; 344 p.
2. López-Hernández D. Impact of agriculture and livestock production on tropical soils in Latin America. In : Turner BL, Gómez-Sal AF, González Bernáldez F, Di Castri F, eds. *Global land use change : A perspective from the Columbian Encounter*. Madrid : Consejo Supremo de Investigaciones Científicas (CSIC), 1995 : 405-18.
3. Barcellos AO. *Sistemas extensivos e semi-intensivos de produção : pecuária bovina de corte nos Cerrados*. Simpósio sobre o cerrado, 8/International Symposium on tropical savannas, 1, 1996, Brasília. "Biodiversidade e produção sustentável de alimentos e fibras nos cerrados/Biodiversity and sustainable production of food and fibers in the Tropical Savannas". Anais / Proceedings. Planaltina : Embrapa-CPAC, 1996 : 130-6.

4. Ayarza MA, Vilela L, Barcellos ADO, Balbino LC, Brossard M, Pasini A. Intégration culture-élevage dans les Cerrados au Brésil : une solution pour des systèmes durables. *Agriculture et développement* 1998 ; 18 : 91-8.
5. Balbino LC, Brossard M, Leprun JC, Bruand A. Mise en valeur des Ferralsols de la région du Cerrado (Brésil) et évolution de leurs propriétés physiques : une étude bibliographique. *Étude et Gestion des Sols* 2002 ; 9 : 83-104.
6. Balbino LC, Bruand A, Brossard M, Guimarães MF. Comportement de la phase argileuse lors de la dessiccation dans des Ferralsols microagrégés du Brésil : rôle de la microstructure et de la matière organique. *CR Acad Sci Paris Sér Ila* 2001 ; 332 : 673-80.
7. Fregonezi GA de F, Brossard M, Guimarães MF, Medina CC. Transformações morfológicas e físicas de um latossolo argiloso sob pastagens. *Rev Bras de Ciência do Solo* 2001 : 1017-27.
8. Balbino LC, Bruand A, Cousin I, Brossard M, Quétin P, Grimaldi M. Change in the hydraulic properties of a Brazilian clay Ferralsol on clearing for pasture. *Geoderma* 2003 ; (120) : 297-307.
9. Balbino LC. *Évolution de la structure et des propriétés hydrauliques dans des ferralsols mis en prairie pâturée (Cerrado, Brésil)*. Th. de doctorat de l'Ina-PG, 2001, 153 p.
10. Fregonesi GA de F. *Modificações físicas de um latossolo vermelho amarelo sob pastagens*. Mestrado em Agronomia, Univ. Estadual de Londrina (PR), 1999 ; 36 p.
11. Balbino LC, Bruand A, Brossard M, Grimaldi M, Hajnos M, Guimarães MF. Changes in porosity and microaggregation in clayey Ferralsols of the Brazilian Cerrado. *Eur J Soil Sc* 2002 ; 53 : 219-30.
12. Brunet D, Brossard M, Barcellos A de O. *Runoff and particle detachment of a ferralsol under pastures (Cerrado, Brazil)*. Transaction of the 17th World Congress of soil science, ISSS, Scientific registration 855, Symposium 53, Bangkok, Thailande, 14-21/08/02, 2002, res. 4 p.
13. Brunet D. *As propriedades físicas e a hidrodinâmica de um Latossolo argiloso sob pastagens no Cerrado. Resultados do experimento da fazenda Rio de Janeiro (GO), novembro de 1998-junho de 2002*. Relatório de síntese IRD-Embrapa Cerrados, 2004, 30 p.
14. Brunet D, Brossard M. *Runoff and particle detachment of a soil under cultivated pastures in Cerrado (Brazil). First results on erosion's micro-plots*. Abstracts Intern. Symp. Soil functioning under pastures in intertropical areas, Brasília, Brazil, October 16-20, 2000. Soil Pasture Project. Planaltina : Embrapa Cerrados ; IRD éditions (cédérom).
15. Brunet D, Brossard M, Lopes de Oliveira MI. *Organic carbon mass of sediments from erosion micro-plots of a ferralsol under pastures (Cerrado, Brazil)*. Coll. Inter. « Gestion de la biomasse, érosion et séquestration du carbone » IRD-Cirad-Agropolis, Montpellier 23-29/09/02, 2002.
16. Dias VS, Brossard M, Lopes Assad ML. Macrofauna edáfica invertébrada em áreas de vegetação nativa da região de Cerrados. In : Leite LL, Saito CH, eds. *Contribuição ao conhecimento ecológico do Cerrado*. Trabalhos selecionados do 3º Congresso de Ecologia do Brasil, univ. de Brasília, Dept. Ecologia, 1997 : 168-73.
17. Dias V de S, Brossard M. *Efeito da renovação de pastagens na população e distribuição de macroinvertebrados edáficos em um latossolo (DF)*. 27 Congresso brasileiro de ciência do solo, Brasília, SBCS-Embrapa Cerrados, 1999 (cédérom).
18. Pasini A, Fonseca ICB, Brossard M, Guimarães MF. *Soil macrofauna under pastures in the Cerrado of Uberlândia-MG, Brazil*. Abstracts Intern. Symp. Soil functioning under pastures in intertropical areas, Brasília, Brazil, October 16-20, 2000. Soil Pasture Project. Planaltina : Embrapa Cerrados ; IRD éditions (cédérom).
19. Benito NP, Bobillier B, Brossard M, Pasini A. *Short-term impact of deforestation and renovation of pastures on soil macrofauna (Cerrado, Brazil)*. Abstracts Intern. Symp. Soil functioning under pastures in intertropical areas, Brasília, Brazil, October 16-20, 2000. Soil Pasture Project. Planaltina : Embrapa Cerrados ; IRD éditions (cédérom).
20. Bobillier B. *Premiers inventaires de la macrofaune d'invertébrés du sol sous pâturages de faible productivité du cerrado (centre-ouest du Brésil)*. Mémoire de DESS, université Paris-Val de Marne, IRD, Embrapa Cerrados, 1999, 59 p. + annexes.
21. Da Silva ROC. *Influência dos fatores físicos e químicos do solo nas comunidades de nematoides em campo de pastagem*. Dissert. graduação em agronomia, fac. de agronomia e medicina veterinária, univ. de Brasília, 2000, 42 p.
22. Duarte F. *Relações entre a diversidade de comunidades de nematoides e as propriedades dos solos em uma toposequência de latossolos argilosos*. Dissert. graduação em agronomia, fac. de agronomia e medicina veterinária, univ. de Brasília, 2002.
23. Corazza EJ, Brossard M, Oliveira AF. *Variabilidade química das camadas superficiais de solos do município de Unaí (MG)*. (Aff.) 27 Congresso brasileiro de ciência do solo, Brasília, 1999, SBCS-Embrapa Cerrados (cédérom).
24. Corazza EJ, Brossard M, Dias CV. *Soil chemical characteristics under low productivity pastures : a contribution to a regional approach in the Cerrado region*. Abstracts Intern. Symp. Soil functioning under pastures in intertropical areas, Brasília, Brazil, October 16-20, 2000. Soil Pasture Project. Planaltina : Embrapa Cerrados ; IRD éditions (cédérom).
25. Vitrac M. *Analyse à court terme et indicateurs des dégradations de pâturages cultivés de la savane brésilienne*. Mémoire de fin d'études Istom-IRD-Embrapa Cerrados, 2001, 75 p.
26. Chapuis-Lardy L, Brossard M, Quiquampoix H. Assessing organic phosphorus status of Cerrado oxisols using <sup>31</sup>P NMR spectroscopy and phosphomonoesterase activity measurement. *Can J Soil Science* 2001 ; 81 : 591-601.
27. Chapuis L, Brossard M, Lopes Assad ML, Laurent JY. Carbon and phosphorus stocks in clayey ferralsols (Cerrados, Brazil). *Agric Ecosyst Environ* 2002 ; 92 : 147-58.
28. Chapuis-Lardy L. *Réserves et formes du phosphore de sols ferrallitiques sous végétation naturelle de Cerrados et sous pâturages (Brésil). Stabilité du phosphore organique*. Thèse de doctorat, université Paris VI, spécialité pédologie, 1997, 175 p. + annexes.
29. Brossard M, Chapuis-Lardy L, Corazza EJ, Quiquampoix H. *Does the Cerrado savannah conversion to pasture change the organic phosphorus status in clayey ferralsols?* Organic P 2003 symposium, Ascona, Suisse, 13-18 juillet 2003.
30. Corazza EJ, Brossard M, Muraoka T, Coelho Filho MA. *Soil phosphate spatial variability under Brachiaria low productivity pasture*. Abstracts Intern. Symp. Soil functioning under pastures in intertropical areas, Brasília, Brazil, October 16-20, 2000. Soil Pasture Project. Planaltina : Embrapa Cerrados ; IRD éditions (cédérom).
31. Corazza EJ, Brossard M, Muraoka T, Coelho Filho MA. *Spatial variability of soil phosphorus of a low productivity Brachiaria brizantha pasture*. *Scientia Agricola* 2003 ; 60 : 559-64.
32. Corazza EJ. *Biodisponibilidade do íon fosfato em solos sob pastagens cultivadas na região do Cerrado*. Th. Doutorado Esalq-Univ. São Paulo, Piracicaba, 2002, 127 p. + an.
33. Corazza EJ, Brossard M, Vilela L, Muraoka T. *Cinéticas de troca isotópica de fosfato em solos brasileiros : limites e questionamentos*. XXIX Congresso Brasileiro de ciência do solo, Riberão Preto (SP, Brésil), 13-18 juillet 2003, 4 p.
34. Van Wambeke A. Recherches sur la mise en valeur agricole des sols acides des savanes arborées du Brésil. *Pédologie (Gand)* 1971 ; 21 : 211-55.
35. Bachelier G. *La faune des sols, son écologie et son action*. Initiations-Documentations Techniques n° 38. Paris : Orstom éditions, 1978 ; 391 p.
36. Lavelle P, Spain A. *Soil Ecology*. Dordrecht : Kluwer academic publishers, 2001 ; 654 p.
37. Delabie JHC, Do Nascimento IC, Da Fonseca E, et al. Biogeography of leaf-cutting ants (Hymenoptera ; Formicidae, Myrmicinae, Attini) of economical importance in eastern Bahia and in neighbouring regions of other states. *Agrotropica* 1997 ; 9 : 49-58.
38. Wilcken CF. Damage by underground termites *Cornitermes* sp. (*Isoptera : Termitidae*) in *Eucalyptus grandis* plantations and control with insecticides applied to the soil. *An Soc Entomologica do Brasil* 1992 ; 21 : 329-38.
39. Lopes AS, Cox FR. Relação de características físicas, químicas e mineralógicas com fixação de fósforo em solos sob Cerrados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo (Campinas)* 1979 ; 3 : 82-8.
40. Grimaldi M, Sarrazin M, Chauvel A, et al. Effets de la déforestation et des cultures sur la structure des sols argileux d'Amazonie brésilienne. *Cah Agric* 1993 ; 2 : 36-47.
41. Martha Júnior GB, Vilela L. *Pastagens no Cerrado : Baixa produtividade pelo uso limitado de fertilizantes*. Doc. Embrapa Cerrados n°50. Planaltina : Embrapa, 2002 ; 32 p.
42. de Sousa DM, Vilela L, Lobato E, Soares WV. *Uso de gesso, calcário e adubos para pastagens no Cerrado*. Circ. Téc 12. Planaltina : Embrapa Cerrados, 2001 ; 22 p.
43. Duru M, Hubert B. Management of grazing systems : from decision and biophysical models to principles for action. *Agronomie* 2003 ; 23 : 689-703.
44. Stocking MA. Tropical soils and food security : the next 50 years. *Science* 2003 ; 302 : 1356-9.