

## Identification et évaluation de la diversité des modes d'exploitation des milieux en Amazonie orientale \*

Xavier Arnauld de Sartre<sup>1</sup>  
Christophe Albaladejo<sup>2</sup>  
Paulo Martins<sup>3</sup>  
Iran Veiga<sup>4</sup>  
Michel Grimaldi<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Centre national de la recherche scientifique (CNRS), UMR 5603 Société, Environnement, Territoire (SET)  
Université de Pau,  
64000 Pau  
<xavier.arnauld@univ-pau.fr>

<sup>2</sup> Institut national de la recherche agronomique/Sciences pour l'action et le développement (Inra/Sad),  
BP 27  
31326 Castanet cedex  
<albalade@toulouse.inra.fr>

<sup>3</sup> Universidade federal rural da Amazonia (UFRA),  
Dep. Ciencias do solo,  
Caixa Postal 917,  
CEP.66.077-530 –  
Belém  
Pará  
Brésil  
<pmartins@ufra.edu.br>

<sup>4</sup> Universidade Federal do Pará (UFPA),  
Centro agropecuário (CAP)  
Núcleo de estudos integrados sobre a agricultura familiar (NEAF)  
CxP 479, CEP 66075-110  
Belém  
Pará  
Brésil  
<iveiga@ufpa.br>

<sup>5</sup> Institut de recherche pour le développement (IRD),  
Unité mixte de recherche 137,  
Coord. Zone Atelier CNRS  
32, avenue Henri Varagnat,  
93143 Bondy cedex  
<grimaldi@bondy.ird.fr>

### Résumé

Cet article vise à nuancer certaines idées reçues sur les fronts pionniers amazoniens. L'extension des pâturages est généralement vue comme la conséquence de logiques économiques et de la faible fertilité des sols conduisant à la concentration foncière et à une rapide dégradation de l'environnement. Cet article montre l'importance de la valorisation de la diversité du milieu à travers l'évaluation des impacts sur les sols de différents itinéraires techniques et la mise au jour des logiques socio-économiques menant aux différents résultats identifiés. Une intensification positive pour l'environnement et les agriculteurs familiaux est possible – et se met parfois en place. C'est à la généralisation de ces innovations discrètes que visent les structures de formation dans lesquelles nous sommes insérés.

**Mots clés :** systèmes agraires ; agronomie.

### Abstract

#### Identification and evaluation of the diversity of the environment management in the Brazilian Amazon

This paper aims to modify some ideas about frontier development in the Amazon region. Modelling the development of frontiers first colonised by family farmers, many authors show that poor soil, colonisation policies, and economic logic leads to rapid development of extensive cattle ranching and thus the need for more pasture land, which leads in turn to deforestation, migration of family farmers and concentration of the land in the hands of a few landowners. This paper addresses the conditions for the sustainability of family agriculture in an Amazonian frontier, by considering the diversity of its biophysical environments and the socioeconomic characteristics and skills of the populations living from its natural resources. Our aim is to look for experiences that cannot be identified by a global analysis but that could, with support, constitute other ways to imagine use of the frontier lands. These different uses are what we call discrete innovations. We show that the soil fertility trends result, above all, from the logic of farmers who decide not to take the diversity of the environment into account in their land management. This diversity must be considered in any future analysis of the sustainability of agricultural activity, and we try to find ways to ensure both. The history of family farmers is important in explaining why they have not tried to restore the soil. Although their migrations and the rapid development of cattle ranching can be seen as due to the political and economical context, we argue that this adaptation must be understood as a consequence of the family reproduction strategies of the Brazilian peasants. At the same time, we find that their technical knowledge depends on their personal history and that the diversity of their skills and practices affects the management of the vegetation cover. We also identify innovations conceived by farmers who sought to use the diversity of the environment to make their lives and living more stable; these are innovations that can be generalised.

**Key words:** farming systems; agronomy.

\* Recherche réalisée dans le cadre de la Zone Atelier « Amazonie » labellisée par le CNRS en 2001, et réalisée en coopération avec l'universidade federal do Pará, Centro agropecuário, Núcleo de estudos integrados sobre a agricultura familiar.

Tirés à part : X. Arnauld de Sartre

**A**près le cycle du caoutchouc qui a profondément marqué l'histoire de l'Amazonie, on observe, dans le sillage des fronts pionniers, la progression rapide d'un cycle de l'élevage. La mécanique de progression du couple déforestation/élevage semble inéluctable en Amazonie, à tel point que de nombreux auteurs ont essayé de la modéliser [1-4]. Le point commun à toutes ces modélisations est de considérer que les milieux amazoniens sont des milieux très fragiles que les pratiques des agriculteurs dégradent irrémédiablement. Dans ces approches modélisatrices, les caractéristiques du milieu biophysique sont supposées homogènes ; quant aux comportements des populations, ils sont ramenés à une seule et même logique – la logique économiquement rationnelle.

Toutefois, les rapports entre les populations paysannes et les milieux amazoniens ne peuvent pas être simplifiés sans perdre toute capacité d'analyse du potentiel de « développement durable » de ces territoires. Dans cet article fondé sur une étude précise de la situation dans quelques localités de fronts pionniers d'Amazonie orientale, le front pionnier de la Transamazonienne et celui de la microrégion de Marabá, nous montrerons que la diversité des sols et des mécanismes menant à leur évolution laissent la place à des alternatives à la dégradation irrémédiable modélisée dans la littérature. Or les logiques des populations peuvent, potentiellement au moins, tirer parti de cette diversité. C'est cela que nous essayons de faire dans le projet « Zone Atelier » dont est issu cet article : identifier des situations où les rapports entre les sociétés paysannes et leurs milieux peuvent servir de base à la diffusion « d'innovations discrètes » [5] aptes, si elles sont généralisées, à permettre une stabilisation durable des fronts pionniers.

## **Irrémédiable avancée des fronts pionniers ? Comprendre l'extension des pâturages**

### **De la forêt aux pâturages : une évolution distincte des composantes biologique, physique et chimique de la fertilité du sol<sup>1</sup>**

Le rythme d'implantation des pâturages est aujourd'hui plus rapide sur les fronts

pionniers d'Amazonie orientale qu'il ne l'a été une vingtaine, voire une dizaine d'années auparavant. Actuellement, une seule *roça* (culture vivrière, le riz pluvial étant la plus fréquente) précède ou accompagne la plantation de la graminée fourragère. Ce fait est caractéristique d'une transition technique entre l'agriculture sur brûlis et l'élevage extensif, deux systèmes relativement incompatibles. L'implantation d'un pâturage limite en effet la régénération de la *capoeira* (jachère dominée par les herbacées), étape indispensable à la reconstitution de la *juquira* (où la strate arbustive puis arborée domine) et dont l'absence prive l'agriculteur de cultures vivrières annuelles.

Dans ce contexte où les apports de fertilisants minéraux et le travail du sol sont quasiment exclus, l'activité biologique dans le sol est une composante essentielle de sa fertilité. Par les pratiques culturales et pastorales (densité de semis, qualité des semences, fréquence des coupes et/ou recours au feu pour contrôler les adventices, gestion du troupeau, etc.), l'agriculteur agit sur la diversité de la végétation qui conditionne l'abondance et la diversité des ressources organiques et des microhabitats de la faune du sol. Au sein des peuplements de faune du sol, les termites, fourmis et vers de terre jouent un rôle important dans le fonctionnement du système sol-plante [6]. En effet, ils modifient la structure du sol en produisant des buttes, galeries, turricules, placages, etc., de compacité variable [7] et, par là même, contrôlent la biodisponibilité de l'eau et des éléments chimiques utiles ou toxiques pour les plantes.

Or, dès la première culture de riz pluvial sur brûlis de la forêt, une forte chute de la densité et de la diversité des organismes du sol est observée. Les jachères, et les pâturages dans une moindre mesure, sont en revanche des milieux favorables à une recolonisation par la faune du sol. Cependant, la distribution de la faune n'est pas uniforme dans les pâturages : un effet significatif du type de sol est observé ; mais aussi, richesse spécifique et densités des invertébrés sont plus élevées sous les troncs d'arbres morts et sous les touffes

<sup>1</sup> Certains résultats de cette partie ont été obtenus dans le cadre du projet CNPq/IRD « Biodiversité et fonctionnement du sol dans le contexte de l'agriculture familiale en Amazonie » (responsables : P. Martins ; M. Grimaldi).

de graminées et autres herbacées [8]. Il y a donc un effet microhabitat dans les pâturages. Les espèces échantillonnées sous les touffes de graminées apparaissent plus inféodées à ce microhabitat que celles qui sont échantillonnées sous les troncs. En conséquence, le maintien de troncs au sol dans les parcelles favorise la recolonisation du sol par des peuplements diversifiés de faune. À cet égard, le brûlis annuel des pâturages n'est pas une pratique appropriée.

Les mesures de densité apparente du sol précisent l'intensité du tassement, relativement au même type de sol sous forêt, et la profondeur affectée par ce phénomène. La densité du sol n'augmente pas significativement sous *roça* ou *capoeira* ; le tassement se produit dans les pâturages et s'accroît avec le temps (*figure 1*). Une variabilité est observée entre des parcelles comparables (du point de vue des sols, espèces de graminées et date d'implantation), probablement liée au mode de gestion du pâturage. Des processus distincts impliquant la dynamique des peuplements de faune du sol peuvent être invoqués : l'invasion temporaire par une espèce de ver compactante [9] ou, plus souvent, la disparition ou la migration, vers des niches écologiques plus favorables, d'espèces décompactantes présentes sous forêt. L'activité biologique ne parvient alors pas à limiter le tassement du sol provoqué par le piétinement du bétail et l'impact des fortes averses entre les touffes de graminée.

Le tassement du sol sous pâturage se traduit par une diminution de la vitesse d'infiltration de l'eau, mais un retard de l'humectation n'empêche pas la reconstitution des réserves hydriques du sol pendant la saison pluvieuse. En revanche, la saison sèche peut être une contrainte sévère pour le pâturage, et ce d'autant plus lorsqu'elle dure de quatre à six mois sur les fronts pionniers d'Amazonie orientale, et que les réserves hydriques sont épuisées en moins de deux mois [10].

L'évolution biologique du sol, apparaissant dès le brûlis de la forêt, précède l'évolution de ses propriétés physiques. Celle-ci va dans le sens d'une dégradation du sol, plus ou moins marquée selon les pratiques. Les propriétés chimiques du sol ont cependant tendance à s'améliorer, et de manière durable dans des pâturages anciens [11]. En outre, constatant l'absence de corrélation entre la dégradation des pâturages par envahissement d'adventices et les différentes composantes de la fertilité du sol, ces derniers

## Diversité des logiques paysannes et diversité des milieux : une probable rencontre ?

### Diversité des logiques paysannes expliquant les pratiques de gestion du milieu

Dans des enquêtes biographiques, nous avons distingué différents types d'itinéraires migratoires d'agriculteurs familiaux [13]. Les migrations économiquement motivées ne concernent qu'une partie de ces agriculteurs : leurs itinéraires sont caractérisés par de nombreuses migrations (plus de cinq), de fréquents et longs séjours en ville, des passages par le salariat, et l'absence d'une « tradition » paysanne dans leur famille.

Ces migrations, imprévisibles, sont fondamentalement différentes de celles des paysans. Pour la plupart d'entre eux, les migrations, quand elles sont décidées en dehors de toute contrainte, se font toujours en famille, au moment où les enfants les plus âgés d'un couple arrivent à l'âge adulte. C'est souvent pour « fournir de la terre aux enfants » qu'ils décident d'une migration. Comme ces familles comptent en moyenne huit enfants, leur transmettre la terre utilisée implique soit de choisir un héritier, soit de la diviser en petites parcelles. Or, dans un contexte où non seulement il existe des terres libres en abondance, mais où la vente d'une terre en pâturage est une opération rentable, les migrations s'imposent comme un moyen de réaliser des objectifs de reproduction paysanne.

La migration n'apparaît donc plus seulement comme rationnelle en finalité. Si on reprend la typologie de Max Weber, les migrations observées sont « rationnelles de façon traditionnelle » (même si ici la « tradition » peut avoir une faible profondeur historique) : il s'agit de transmettre un statut social valorisé – celui de propriétaire terrien – à l'ensemble de leurs enfants. Cette tradition connaît aujourd'hui des transformations profondes, mais qui se traduisent rarement par le développement des logiques rationnelles en finalité. Au contraire, une multiplicité de logiques (y compris économi-

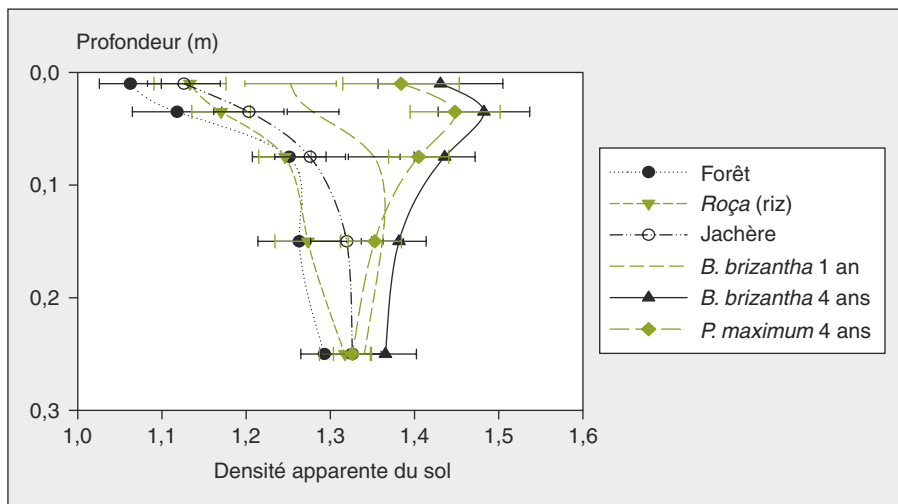


Figure 1. Variation de la compacité du sol (Ferrasols argileux) entre les différents éléments de la mosaïque paysagère : forêt, culture de riz sur brûlis de forêt, jachère et pâturages (deux espèces introduites comparées : *Brachiaria brizantha* et *Panicum maximum*).

Figure 1. Soil (clayey Ferrasols) compaction changes between the different soil uses: pristine forest, rice crop after deforestation by slash-and-burn, fallow and pastures (comparison of two species: *Brachiaria brizantha* et *Panicum maximum*).

auteurs concluent que ce sont les pratiques qui contraignent, plus que la qualité du sol, la croissance des graminées introduites.

### Les logiques de gestion paysanne de la fertilité : une spéculation foncière ?

Quelles sont les logiques de ces pratiques agricoles ? Ces dernières peuvent apparaître irrationnelles aux yeux de l'observateur : en effet, les agriculteurs n'ont pas, *a priori*, intérêt à laisser se dégrader la fertilité de leurs sols. Pour expliquer cette apparente irrationalité, plusieurs explications classiques de l'évolution des fronts pionniers en Amazonie se sont fondées sur une analyse du contexte foncier brésilien et de l'opposition entre grands propriétaires (*fazendeiros*) et « petits paysans ». Ces derniers seraient les victimes de la pression foncière exercée par les *fazendeiros* à la recherche de terres déboisées et plantées en pâturages pour y pratiquer l'élevage extensif [3, 12]. Cette pression peut être directe, et se traduire par des menaces physiques, ou indirecte, et se traduire alors par une survalorisation du prix de la terre qui fait d'une terre peu fertile d'un point de vue

agronomique un bon produit sur le marché foncier local. Cela empêche la plupart des agriculteurs d'agrandir leurs lopins vite trop petits pour y pratiquer l'élevage extensif.

Or cette pratique est, compte tenu du marché agricole local (fortes variations des prix, difficultés de transport et coût élevé de la main-d'œuvre), la plus rationnelle économiquement. D'où le fait que l'adaptation au contexte local n'apparaît plus contrainte, mais serait le fruit de stratégies de spéculation foncière de la part des agriculteurs familiaux qui sont donc considérés dans cette perspective comme des acteurs mus par des logiques rationnelles en finalités (selon la typologie développée par Max Weber) [1, 2].

Mais les explications de leurs migrations fournies par les agriculteurs ne correspondent pas à celles que la rationalité scientifique précédente présuppose. Cela est, pour nous, le signe que le modèle d'explication et d'enquête utilisé n'est pas adapté aux logiques des pratiques des agriculteurs familiaux. Celles-ci peuvent correspondre à d'autres types de logiques qu'aux logiques rationnelles en finalité. Or, comprendre les logiques qui mènent à la dégradation rapide de la fertilité du milieu permettrait d'imaginer une gestion différente des milieux naturels.

ques) caractérise les agriculteurs familiaux présents sur le front pionnier. La stabilisation du front pionnier ne se joue pas seulement au niveau de la gestion du milieu naturel ou du contexte foncier et politique, mais aussi au niveau des logiques paysannes, tout l'intérêt étant de permettre une rencontre entre ces trois niveaux. On peut ainsi chercher à identifier des populations qui, dans un contexte pacifié, adapteraient leurs pratiques de gestion du milieu à des objectifs de sédentarisation. Cela demande en premier lieu de pouvoir tirer parti de la diversité du milieu biophysique : en effet, si nous avons mis en évidence plus haut que la fertilité du milieu est diminuée par les pratiques des agriculteurs, cela ne signifie pas que le milieu biophysique ne puisse pas jouer un rôle dans la stabilisation des agriculteurs familiaux.

### Prise en compte de la diversité du milieu biophysique

Si une évaluation précise de différentes pratiques de gestion des pâturages reste à faire, on peut déjà s'interroger sur les potentialités variables des sols d'Amazonie. Nos études de localités de front pionnier montrent que la mise en culture des exploitations ne tient pas compte, généralement, de la diversité du sol. Celle-ci est découverte progressivement par les agriculteurs. La dynamique de transformation en « tout pâturage » serait ainsi déterminée en partie au moins par les potentialités du milieu physique [14], à côté de facteurs socio-économiques. Quoi qu'il en soit, la variation du sol au sein même d'une exploitation d'une cinquantaine d'hectares est importante : dans la région de Marabá, par exemple, sur les collines développées sur le bouclier brésilien, on observe de l'amont vers l'aval l'amincissement progressif du sol (de plus de 3 m à moins de 1 m), avec le rapprochement de la surface des matériaux d'altération de la roche-mère, ainsi que le développement de l'hydromorphie à la faveur de pentes faibles, dans les bas-fonds et sur des replats. La profondeur et le degré d'hydromorphie des sols sont deux critères essentiels de leur aptitude culturale, puisque les conditions de développement des racines, de drainage de l'eau excédentaire et de rétention de l'eau utilisable par les plantes en dépendent.

Si une action est possible à une échelle régionale, il reste qu'à l'échelle des lots, la

promotion de l'utilisation de la diversité du milieu biophysique est difficile. Elle suppose en fait une prise en compte des savoirs de gestion du milieu des agriculteurs familiaux, et une adéquation de ces savoirs à ceux des agents de développement.

### Savoirs paysans et actions de développement : une rencontre difficile mais nécessaire

Nous avons pu montrer des différences importantes entre les représentations du temps et de l'espace des agriculteurs familiaux et celles qui sont issues de la science agronomique. Notamment, dans la gestion de leurs lots, les agriculteurs ne conçoivent pas des catégories d'espaces prédécoupées mais réalisent en permanence des ajustements *ad hoc* entre des ressources disponibles à un moment donné, l'état du terrain et l'avancée des chantiers de défriche et de mise en culture. C'est pourquoi la parcelle agronomique, si chère à l'agronome, est une notion non pertinente pour dialoguer avec les agriculteurs. Ce qu'ils gèrent, c'est la force de travail dont ils disposent et non l'espace. L'espace du lot est pour eux du temps (de travail investi ou à investir, des moments clefs de réalisation de tâches, ou des mémoires d'opérations antérieures). C'est pourquoi le lot agricole serait mieux représenté pour eux par un calendrier que par une carte.

Nos travaux (voir [15] en particulier) montrent qu'il existe des variantes techniques locales dans les savoirs des agriculteurs, et plus encore des systèmes de mise en valeur du milieu différents qui se révèlent être différents systèmes locaux de connaissances. Malgré l'importance des emprunts techniques entre populations de migrants, les savoirs sont loin d'être homogènes. Même dans le cas de deux localités voisines comme Sítio Novo et Vera Cruz (région de Marabá), nous avons mis en évidence des différences qui sont bien plus que des variantes sur le rôle des cultures de bas-fonds, l'importance relative des cultures de riz et de haricot et, finalement, deux rapports radicalement différents au milieu à travers les

temps de rotation des cultures et les modes de contrôle des adventices (fréquences des interventions et outils, etc.).

La principale forme de mise en valeur agricole du milieu par l'agriculture familiale dans la région de Marabá est indiscutablement la « roça de riz ». Celle-ci est au centre d'un ensemble d'activités qui comprend d'autres cultures annuelles, des pâturages et des cultures pérennes. Nous avons constaté que cet ensemble d'activités (avec ses opérations culturales, son calendrier, ses outils, et ses savoirs propres), correspond à un système local de connaissance à Sítio Novo, et qu'il est plutôt porté par des agriculteurs originaires du Maranhão. Dans ce système est pratiquée également la *roça de abafado* (« à l'étouffée »), dont l'objectif est la production de haricots. Cette *roça*, le plus souvent de petite étendue (inférieure à 1 hectare), est faite dans la deuxième moitié de la saison des pluies sur des recrues forestiers jeunes (2 à 4 ans en général), et se caractérise par un ensemble de pratiques spécifiques.

Les *baixões* (bas-fonds), surfaces relativement planes trouvées à côté des ruisseaux, restent humides pendant la saison sèche grâce à la proximité de la nappe phréatique, et sont en général inondées ou très humides pendant la saison des pluies. À Vera Cruz, une *roça de baixão* est ainsi réalisée - par des agriculteurs plutôt originaires de la Bahia - pendant la saison sèche : elle est constituée par des surfaces comprises entre 0,5 et 3 hectares (voire plus) essartées dans un bas-fond ; la principale culture y est le « haricot du Sud » (*Phaseolus vulgaris*), souvent associé au maïs planté en basse densité et avec des cucurbitacées.

La production de haricot du Sud dans les *roças de baixão* ou par le système « à l'étouffée », tout en étant une activité de *roça* n'exigeant pas un investissement initial relativement important comme dans le cas de l'élevage bovin (clôtures, bêtes, etc.), permet une productivité du travail bien plus élevée que celle obtenue avec les autres activités, notamment le riz. Malgré les surfaces limitées des bas-fonds, elle permet une production qui peut engendrer un revenu important (1 hectare produisant l'équivalent d'environ une *roça* de riz de 2,3 hectares). En étant bien plus intensif en termes de revenu par unité de surface, la *roça de baixão* permet « d'épargner » les surfaces de bas-fonds.

La *roça de baixão* et la culture à l'étouffée se révèlent ainsi de potentielles innova-



tions discrètes qui correspondent aux objectifs identifiés plus haut : l'utilisation, par des agriculteurs cherchant à se stabiliser dans une localité particulière, de la diversité des milieux présents sur leur lot. Les savoirs sont liés à l'origine géographique des agriculteurs, mais nous avons aussi montré qu'ils sont en grande partie des adaptations locales *ad hoc* faites de mémoire partielle et d'emprunts sélectifs sur place.

## Conclusion

Les modélisations de l'évolution des fronts pionniers d'Amazonie ont le grand mérite d'alerter sur des tendances, mais elles ne renseignent pas l'action – présentant au contraire un tableau pessimiste et paralysant. Dans ces milieux humains et naturels complexes et hétérogènes, l'analyse en vue du développement durable ne peut se passer d'une étude située des logiques et des pratiques mises en œuvre et de leurs liens avec les caractéristiques singulières des populations et des ressources concernées.

L'étude de logiques d'exploitation du milieu que nous avons menée ici a montré des éléments déjà largement connus : les pratiques des agriculteurs, qui visent à la reproduction des exploitations agricoles par la migration, sont à l'origine d'une dégradation rapide de la fertilité des sols. Mais nous avons mis en évidence que ces logiques ne sont pas uniquement déterminées par le contexte foncier et économique ou par le milieu biophysique,

mais qu'elles peuvent être analysées, avec certaines précautions, comme la conséquence de l'adaptation de logiques sociales au milieu. Potentiellement au moins, cette diversité peut être une base sur laquelle fonder des actions de développement visant à une utilisation raisonnée de la diversité des milieux.

Cela demande cependant de prendre une distance par rapport à des catégories de pensée qui relèvent d'une vision figée des rapports des populations à leurs milieux. En particulier, les notions « d'exploitation », de « parcelle » ou encore de « gestion de l'espace » des agronomes sont obscurcissantes si elles sont considérées comme des notions universelles et non comme des objectifs politiques des structures du développement. La compréhension des savoirs des populations, que nous avons illustrée ici à partir d'un type de savoir, est un outil de cette remise en question. ■

## Références

1. De Reynal V. *Agricultures en front pionnier amazonien, région de Marabá (Pará, Brésil)*. Thèse de doctorat de l'Institut national d'agronomie Paris-Grignon (Ina-PG), 1999, 456 p.
2. Walker R, Moran E, Anselin L. Deforestation and cattle ranching in the Brazilian Amazon : External capital and household processes. *World Development* 2000 ; 28 : 682-99.
3. Fearnside PM. Land-tenure issues as factors in environmental destruction in Brazilian Amazonia : The case of Southern Para. *World Development* 2001 ; 29 : 1361-72.
4. Laurance W, *et al.* The future of the Brazilian Amazon. *Science* 2001 ; 291 : 438-44.
5. Albaladejo C. Una Argentina discreta... La integración social y territorial de las innovaciones de las familias rurales en el partido de Saavedra. *Revista Universitaria de Geografía (Argentina)* 2001 ; 10 : 131-48.
6. Grimaldi M. Effet des structures biogéniques sur le fonctionnement du système sol-plante. *CR Acad Agric Fr* 2000 ; 86 : 137-46.
7. Barros E, Curmi P, Hallaire V, Chauvel A, Lavelle P. The role of macrofauna in the transformation and reversibility of soil structure of an oxisol in the process of forest to pasture conversion. *Geoderma* 2001 ; 100 : 193-213.
8. Mathieu J, Rossi JP, Mora P, Lavelle P, Grimaldi M, Rouland C. A multiscale study of soil macrofauna biodiversity in Amazonian Pastures. *Biology Fertility Soils* 2004 ; (*sous presse*).
9. Chauvel A, Grimaldi M, Barros E, *et al.* An amazonian earthworm compacts more than a bulldozer. *Nature* 1999 ; 398 : 32-3.
10. Renaudin B. *Changement de fonctionnement hydrodynamique d'un ferrasol d'Amazonie après remplacement de la forêt par des pâturages*. Mémoire d'ingénieur de l'École nationale supérieure d'agronomie Rennes (Ensar), 2002 ; 21 p.
11. Desjardins T, Lavelle P, Barros E, *et al.* Dégradation des pâturages amazoniens. Description d'un syndrome et de ses déterminants. *Étude et gestion des sols* 2000 ; 7 : 353-78.
12. Velho OG. *Frentes de expansão e estrutura agrária. Estudo do processo de penetração numa área da Transamazonica*. Rio de Janeiro : Zahar editores, 1972 ; 175 p.
13. Arnauld de Sartre X. *Territorialités contradictoires des jeunes ruraux amazoniens*. Thèse de doctorat de l'université de Toulouse le Mirail, 2003, 515 p.
14. Grimaldi C, Curmi P, Dosso M, Jouve P, Simões A. Sustainability of agrarian systems in relation to soils on Amazonian forest pioneer fronts (Marabá, Brazil). *Comm International Congress of Soil Science*, 2002 : 10.
15. Veiga I. *Savoirs locaux et organisation sociale de l'agriculture familiale amazonienne : la gestion durable des milieux en question*. Thèse de doctorat de l'université de Toulouse le Mirail, 1999, 350 p.