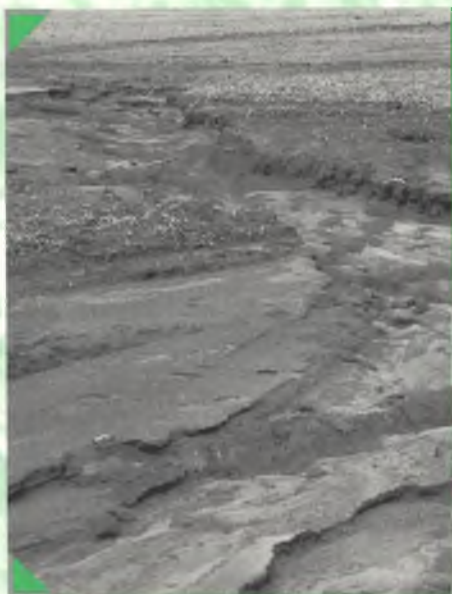


L'AGRICULTURE BRÉSILIENNE DES FRONTS PIONNIERS



Dans les pays tropicaux en développement, l'évolution rapide des conditions socio-économiques et la dégradation des ressources naturelles, en particulier la fertilité des sols, remettent constamment en question les systèmes de production agricole. Or, les choix techniques des producteurs constituent un élément clé de l'implantation durable d'une agriculture à la fois productrice de denrées alimentaires essentielles, rentable et respectueuse de l'environnement.

Pour une région donnée, la recherche agricole appliquée doit donc porter sur quatre principaux domaines :

- l'aménagement de l'espace rural, pour une meilleure gestion des terroirs agricoles ;
- la création de systèmes de culture adaptés à un certain nombre de situations économiques, agronomiques ou écologiques, existantes ou prévisibles ;
- la restauration, lorsqu'elle est nécessaire, et la préservation de la fertilité des sols cultivés, selon des itinéraires techniques à la fois accessibles aux agriculteurs et compatibles avec des conditions économiques le plus souvent contraignantes ou fluctuantes ;
- la mise au point de systèmes d'aide à la décision, prenant en compte les risques climatiques et économiques.

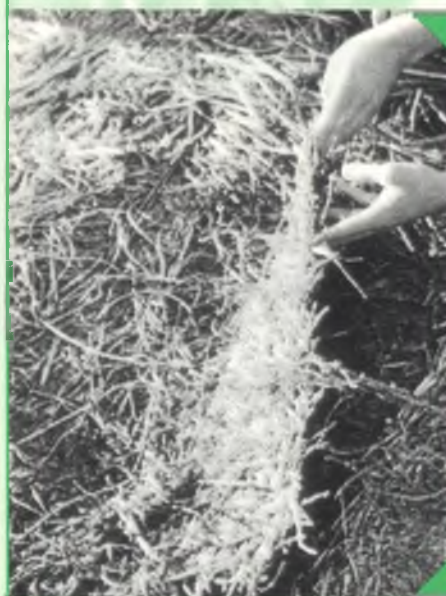
L. SEGUY, S. BOUZINAC
CIRAD-CA, CP 504
a/c Tasso de Castro
Agencia Central
74001-970 Goiânia,
Goiás, Brésil

A. TRENTINI
Cooperativa COOPERLUCAS, CP 31,
Lucas do Rio Verde, CEP 78455-000,
Mato Grosso, Brésil

N. A. CORTES
EMPAER, CP 225, CEP 78070,
Cuiaba, Mato Grosso, Brésil

Face à ces objectifs, les réalisations expérimentales doivent en permanence tenir compte de la diversité de l'environnement naturel et du milieu social et économique auxquels elles sont destinées. La démarche agronomique présentée ici, appelée méthode de création-diffusion, comporte trois volets dont les résultats sont interdépendants et évolutifs : l'approche opérationnelle du fonctionnement des systèmes de culture existants, la création et la diffusion de nouveaux systèmes de production agricole. Ces trois volets sont abordés de façon simultanée, avec la participation active des agriculteurs et des agents du développement local. Cette démarche a été appliquée en particulier au petit paysannat du nord du Brésil et à l'agriculture pionnière motorisée des savanes humides brésiliennes. Elle a donné, dans ces milieux, des résultats tangibles, créant une motivation forte des producteurs.

Les principes de cette démarche sont exposés dans un premier article intitulé *La méthode de création-diffusion agricole*. Les deux articles qui suivent — *La gestion de la fertilité par le système de culture* et *Le semis direct, un mode de gestion agrobiologique des sols* — présentent les résultats obtenus au Brésil en matière de gestion des sols et des cultures et montrent l'intérêt de systèmes mécanisés fondés sur la gestion des rotations en semis direct.



Remerciements

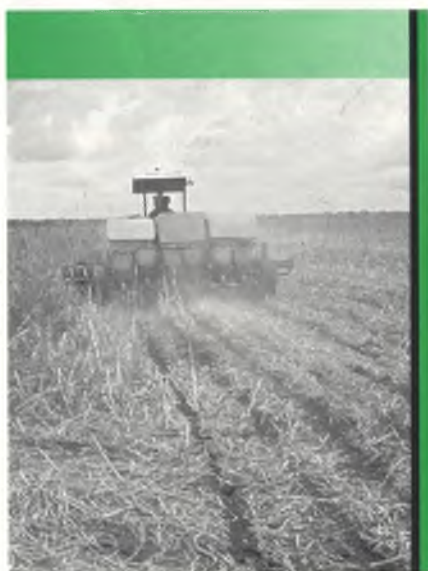
Les auteurs remercient tous les partenaires qui ont contribué et qui contribuent toujours à la diffusion continue des modes de gestion des sols au Brésil :

- MUNEFUME MATSUBARA, propriétaire de la Fazenda Progresso, promoteur et soutien financier de la recherche ;
- les collègues du CNPAF/EMBRAPA de Goiânia, qui ont travaillé avec ces méthodes ;
- la coopérative COOPERLUCAS de Lucas do Rio Verde, support de la recherche dans les cerrados ;
- l'équipe de recherche-développement de l'EMPAER-MT ;
- la coopérative COMICEL de Sinop, base de la recherche en zone de forêt et, plus spécialement, l'agronome JORGE KAMITANI et les agriculteurs VALDIR et JADIR TAFFAREL, HAROLDI GARCIA et fils ;
- la préfecture de Sinop et en particulier monsieur le préfet ANTONIO CONTINI pour son appui constant et sa vision exceptionnelle de la recherche et du développement régional ;
- ANTERO GONÇALVES C. DUARTE (RHODIA AGRO, tutelle de l'intervention du CIRAD dans le secteur privé brésilien), JOHN LANDERS (APDC, Goiás) et TSUIOSHI YAMADA (POTAFOS) pour leur active participation à la diffusion des résultats.

Ce dossier a été préparé grâce à la collaboration de C. FOVET-RABOT (CIRAD-CA, Montpellier, France).

Clichés : L. SEGUY, S. BOUZINAC

I. La méthode de création-diffusion agricole



La démarche de création-diffusion, élaborée dans différentes régions du Brésil, a pour but essentiel de proposer aux agriculteurs des systèmes de culture compatibles avec un développement agricole durable. Simultanément, elle produit des connaissances sur les relations entre les hommes et les milieux qu'ils exploitent. Elle vise en première approche la résolution de problèmes immédiats formulés par les agriculteurs ou mis en évidence par un diagnostic initial. Elle offre enfin des perspectives de développement à plus long terme, qui intègrent les meilleurs modes de gestion de l'espace rural et des sols.

La démarche de création-diffusion est d'abord ascendante. L'analyse des systèmes de production régionaux est possible grâce à un diagnostic initial de situation qui permet d'identifier les blocages de tous ordres (SEGUY *et al.*, 1991 ; SEGUY et BOUZINAC, 1994). La recherche est ensuite conduite avec une implication des acteurs — agriculteurs, vulgarisateurs, chercheurs, planificateurs — dans l'élaboration et la diffusion de nouveaux systèmes de production. Trois étapes sont étroitement imbriquées (figure I-1) :

- un diagnostic rapide de situation ;
- la création de référentiels techniques évolutifs, couplée à une acquisition permanente de connaissances, par la mise en place d'unités expérimentales de longue durée dans lesquelles interviennent les agriculteurs ;
- la diffusion de technologies se rapportant à des thèmes isolés (variétés, fumures, pesticides, techniques culturales, etc.) ou à des itinéraires techniques concernant une culture, des systèmes de culture et les assolements correspondants.

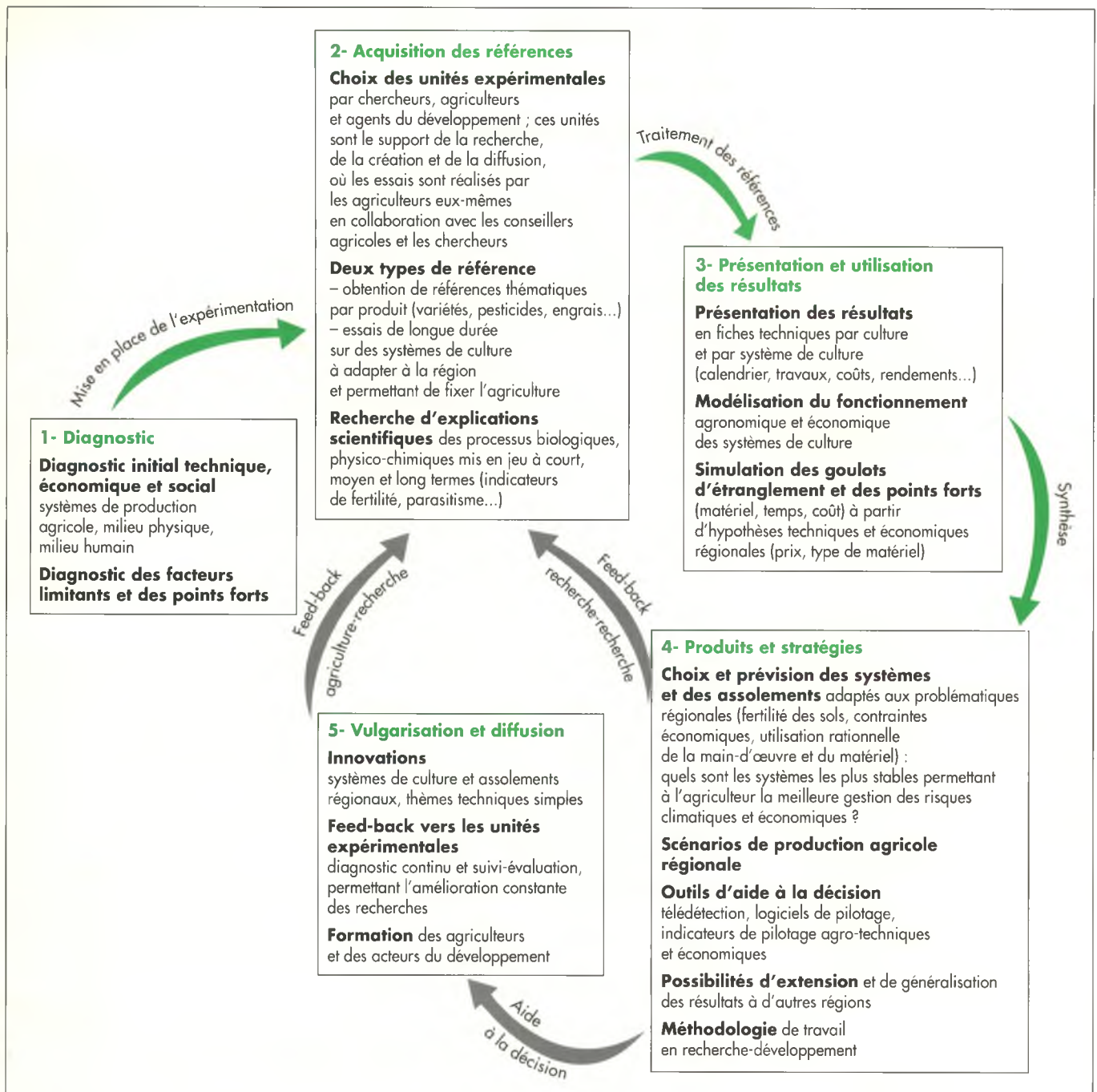


Figure I-1. Démarche de mise au point des systèmes de culture selon la méthode de création-diffusion.

Les systèmes de culture sur l'unité expérimentale de la Fazenda Progresso (Lucas do Rio Verde, Etat du Mato Grosso).



Un concept de recherche en milieu paysan

La méthode de création-diffusion fait partie des modèles de recherche agronomique fondés sur l'expérimentation en milieu paysan, dont une revue a été faite par TRIOMPHE (1989). Différents principes d'expérimentation en milieu paysan ont été développés depuis les années 80 par des équipes pluridisciplinaires de nombreux pays. A ce titre, la méthode de création-diffusion se caractérise par trois particularités que l'on retrouve, de façon isolée ou associée, dans d'autres modèles. Tout d'abord, l'intervention expérimentale a lieu en milieu réel, mais en conditions de réalisation contrôlées. Les objectifs des expérimentations évoluent au fur et à mesure de la résolution des problèmes posés. En deuxième lieu, l'expérimentation porte sur des itinéraires techniques et des systèmes de culture conçus à partir des systèmes traditionnels et susceptibles d'améliorer ces derniers à court terme et également à plus long terme. Enfin, la participation des agriculteurs est décisive aussi bien pour les tâches et les responsabilités qui leur sont confiées que pour les risques qu'ils acceptent d'assumer. Il est tenu compte en priorité de leur évaluation des itinéraires techniques proposés. Une approche prenant en compte le système de culture a été développée par quelques équipes, de façon sensiblement différente. Par exemple, pour l'IRRI (ZANDSTRA, 1979), la création de nouveaux systèmes de culture est essentiellement raisonnée selon les contraintes du milieu physique. En revanche, dans la démarche de l'ORSTOM en Côte d'Ivoire (FILLONEAU *et al.*, 1983 ; FILLONEAU, 1986), les stratégies paysannes constituent un élément de construction des systèmes de culture. C'est aussi le cas des recherches menées par l'INA-PG (MEYNARD, 1985), qui prennent en compte de multiples contraintes — d'ordre économique, logistique, organisationnel — comme facteurs de l'élaboration du rendement au sein des systèmes de production. La méthode de création-diffusion s'appuie sur un dispositif expérimental à plusieurs étages, autorisant une mise au point continue et globale des systèmes de culture. Autrement dit, il n'est pas question de dissocier les facteurs ou les éléments techniques, mais au contraire de respecter le système dans son ensemble, tel que le conçoit l'agriculteur.

La méthode de création-diffusion possède un atout particulier. Dans la mise en place du dispositif, elle n'intègre pas seulement les aspects agronomiques, mais aussi l'ensemble des facteurs socio-économiques : capacité et flexibilité d'emploi des machines, temps de travail, main-d'œuvre, coûts de production, marges dégagées, circuits commerciaux, crédits... L'étude socio-économique réalisée lors du diagnostic rapide conduit à des conseils ou à une planification intéressant les agriculteurs. Ce point de vue est également souligné dans les recherches en milieu paysan du CIMMYT (1985). Il résulte de la méthode de création-diffusion une analyse pragmatique, qui élimine un grand nombre de systèmes de culture valables sur le plan agronomique, mais inadaptés au contexte social, commercial ou politique du moment. Il est aussi possible d'évaluer l'impact des innovations sur le système de production régional et, ce faisant, d'aboutir à une modélisation des conditions d'application et de réussite. Notons que cette évaluation reste cependant incomplète car il faudrait, en théorie, pouvoir rendre compte de tous les facteurs limitants et des interactions mises en jeu (SANDERS et ROTH, 1985).

Agric

CIRAD : Centre de c
 CNPAF : Centre nati
 brésilien) basé à Goi
 Coopératives du cen
 Sinop.

CIMMYT : Centro Int
 EMAPA : Institution c
 EMATER : Organisme
 EMBRAPA : Empresa
 EMPAER : Entreprise
 IAPAR : Institut de re
 INA-PG : Institut nati
 IRRI : International R
 Groupe MAEDA : pr
 ORSTOM : Institut fr
 Préfectures : Sinop et
 RHODIA AGRO : fil
 SULAMERICA AGRO
 VARIG AGROPECU/

La diffusion des nouvelles techniques dans le milieu agricole constitue ainsi un point clé : c'est à la fois un gage de succès pour la recherche appliquée et un moyen efficace d'ajuster en permanence les méthodes et les thèmes de recherche. A ce titre, la méthode de création-diffusion, considérant les producteurs comme des partenaires de première importance, se situe bien dans la ligne des interrogations actuelles de la recherche agronomique sur l'approche des systèmes agraires (SEBILLOTTE, 1996).

Mise en œuvre de la création-diffusion

Contexte et objectifs

La démarche de création-diffusion, qui est une démarche de recherche-action, s'inspire des pratiques paysannes observées localement. Celles-ci sont reproduites dans les unités expérimentales, où elles servent de référence permanente. Les nouveaux systèmes de culture plus stables et plus rémunérateurs sont mis au point avec la participation effective des acteurs du développement. Ils sont conduits à une échelle de travail représentative pour les utilisateurs (temps de travaux, capacité d'équipement, coûts de production). Les facteurs de production ne sont pas testés isolément mais en interaction dans

le système de culture pris globalement. Ces recherches appliquées permettent, au cours des divers scénarios de fixation de l'agriculture expérimentés, de classer les facteurs limitants, de donner d'autres solutions techniques au fur et à mesure que les contraintes apparaissent et d'expliquer les processus agronomiques ou sociaux impliqués. L'ensemble des résultats constitue un outil d'intervention prévisionnel : plusieurs niveaux d'expression du potentiel de production sont testés à travers différents itinéraires techniques, différents systèmes de culture et plusieurs assolements. Ce type d'action est programmé à moyen terme (3 à 10 ans), pour répondre aux impératifs suivants :

- comparer les systèmes de culture innovants selon un pas de temps suffisant, afin de tester leurs conditions de reproductibilité pour l'exploitation agricole ;
- évaluer et prédire l'évolution du sol sous l'effet des systèmes de culture ;
- disposer d'un choix de séquences de fixation de l'agriculture dont on a testé les effets par rapport aux contraintes

techniques des agriculteurs et à la préservation de l'espace rural, dans le cas de changement rapide des conditions climatiques et économiques ;

- élaborer des outils d'aide à la décision pour les utilisateurs (modèle prédictif, diagnostic agronomique, conseil de gestion) ;

Institutions, partenaires ou intervenants cités dans les trois articles

leur pilote, promoteur de la recherche régionale : M. MUNEFUME MATSUBARA, propriétaire de la Fazenda Progresso. C'est sur sa propriété et à son initiative que l'unité de recherche de Lucas do Rio Verde a été installée et financée.

Coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (France).

Centre national de recherches sur le riz et le haricot de l'EMBRAPA (Institut de recherches agropastorales fédérales du Brésil).

Coopératives du nord du Mato Grosso : COOPERLUCAS à Lucas do Rio Verde ; COOASOL à Sorriso ; COMICEL à

Centre national de Mejoramiento de Maíz y Trigo (Mexico, Mexique).

Centre de recherches agropastorales de l'Etat du Maranhão, située à São Luis.

Programme de vulgarisation brésilien.

Estação de Pesquisa Agropecuária (Brésil).

Centre de recherche et de vulgarisation de l'Etat du Mato Grosso, située à Cuiaba.

Centre de recherches agronomiques de l'Etat du Paraná.

Centre national agronomique Paris-Grignon (France).

International Rice Research Institute (Philippines).

Entrepreneur producteur privé de coton, situé à Ituverava dans l'Etat de São Paulo.

Centre national de recherches scientifiques pour le développement en coopération (France).

Centre de

Coopérative brésilienne de RHONE POULENC, située à São Paulo.

Centre de filiale agro-pastorale de la société d'assurance brésilienne SULAMERICA, située à Rio de Janeiro.

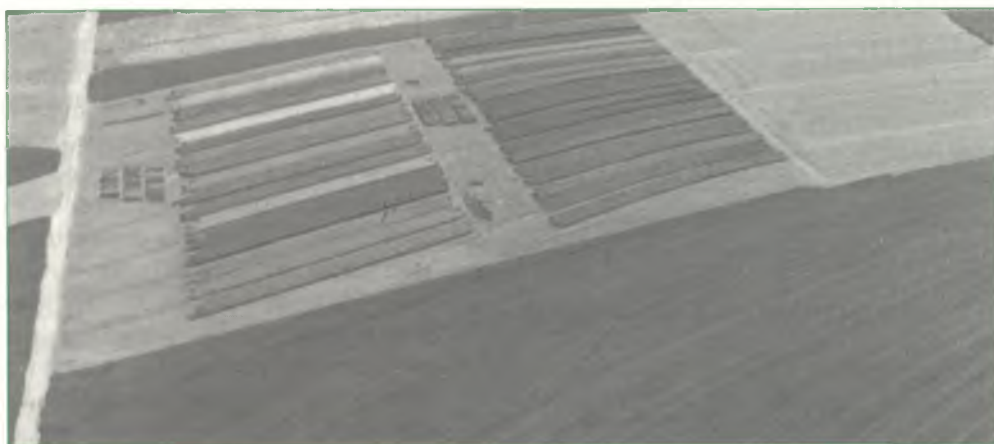
Centre de A : filiale agropastorale de la compagnie aérienne brésilienne VARIG, située à Rio de Janeiro.



Première année de culture sur défriche de forêt. Préfecture de Sinop, Etat du Mato Grosso.



Paysage des fronts pionniers de l'ouest du Brésil. Les pentes peuvent être fortes, nécessitant des aménagements anti-érosifs — ici, terrasses de bases étroites en courbes de niveau. Sud de l'Etat de Goiás.



Essais thématiques d'ajustement des systèmes de culture. Fazenda Progresso.



Poussière de colloïdes soulevée par le vent. Erosion éolienne due à l'usage des engins à disques en sol sec. Cette poussière détruit des centaines d'hectares de jeunes cotonniers. Sud de l'Etat de Goiás.



Monoculture de soja. Fazenda Progresso.

- aider à construire, si nécessaire, les circuits économiques d'approvisionnement en équipement ou de commercialisation des produits finaux ;
- assurer une formation sur place des partenaires du développement ;
- orienter les recherches thématiques, au profit d'une meilleure compréhension des processus impliqués dans le fonctionnement de ces systèmes de production.

Le diagnostic initial

Le diagnostic initial a pour objectif de réunir, après une année de prospection, les éléments essentiels relatifs aux milieux écologiques, agricoles et socio-économiques. Le diagnostic est un processus continu. Il est le préalable à toute réalisation expérimentale. Par la suite, il permet de suivre l'évolution des terroirs et des systèmes de production engendrée par l'adoption des nouveaux systèmes de culture.

Les informations régionales

Toutes les informations régionales disponibles, issues du ministère de l'agriculture et des services de la recherche et du développement, sont utiles :

- données météorologiques ;
- cartes pédologiques ;
- cartes d'occupation des sols ;
- statistiques agricoles.

Lorsque ces données n'existent pas, il est recommandé d'effectuer une reconnaissance pédologique aux échelles de 1/5 000 à 1/10 000 pour un projet relatif à un terroir et de 1/20 000 à 1/100 000 pour un projet régional. Une analyse succincte de l'occupation agricole des terroirs doit être également conduite. Les principales unités morphopédologiques et climatiques du paysage sont décrites.

Les informations agronomiques

Il est intéressant d'identifier les deux unités de paysage les plus différenciées, pour encadrer la variabilité régionale de la fertilité du milieu :

- le faciès le plus dégradé comportant le plus grand nombre de contraintes agronomiques et techniques de mise en valeur ;
- le faciès le plus fertile ou, parfois, le milieu naturel lui-même, comme référence avant l'intervention anthropique.

Sur ces deux unités de paysage, le profil cultural est étudié sous systèmes de culture traditionnels. D'autres facteurs et leurs relations sont aussi observés : l'érosion et les états de surface, la flore adventice, les maladies et les ravageurs des cultures, la production de matière sèche, les principales carences en éléments minéraux.

Les informations techniques et socio-économiques

En saison de culture, par enquêtes sans quantification formelle ni suivi très détaillé des exploitations, les chercheurs se familiarisent avec les systèmes des agriculteurs. Le calendrier des travaux agricoles et les conditions de réalisation constituent un élément majeur de l'organisation de l'exploitation agricole.





Semis direct sur pailles de mil desséchées.
Préfecture de Sinop, Etat du Mato Grosso.



Riz pluvial, Fazenda Progresso.

Mil desséché avant semis direct.
COOPERLUCAS, Etat du Mato Grosso.



Jour de champ à la Fazenda Progresso.



Agriculture et élevage, paysage
des cerrados de l'ouest du Brésil.
Etat du Mato Grosso.



laboratoires, dès lors qu'elles sont importantes pour comprendre le fonctionnement des systèmes. On peut citer en exemple :

- l'étude du fonctionnement de la rhizosphère, la dynamique de la macrofaune, de la microfaune, des populations microbiennes et leurs relations avec la production de matière sèche ;
- la mise au point d'outils analytiques de diagnostic (indice d'activité biologique, seuil de déficience minérale, dynamique de l'alimentation en eau et en éléments nutritifs) ;
- l'étude de la biologie des adventices et de leurs effets allélopathiques.

Les données techniques et économiques sont évaluées à chaque campagne agricole : calendriers culturaux, capacité des équipements, temps et faisabilité des travaux pour chaque opération, coûts de production détaillés, rentabilité de chaque itinéraire technique, rentabilité des systèmes de culture pris dans leur globalité.

C'est à partir de cet ensemble de références obtenu sur un intervalle de temps significatif (au moins 3 à 5 ans) que sont établies et validées les bases de la production végétale et que sont identifiés les outils analytiques qui permettent de les caractériser. Les références sont organisées sous la forme de fiches techniques par culture, par itinéraire technique et par système de culture.

Pour permettre une extrapolation plus large des résultats, des unités expérimentales simplifiées sont implantées dans d'autres conditions de milieu physique régional par les chercheurs et les vulgarisateurs formés sur les unités principales. Elles constituent des références où sont validés les systèmes choisis sur l'unité principale. En même temps, le suivi des exploitations agricoles proches des unités permet de contrôler la validité des résultats économiques obtenus — investissement, type de matériel et capacité, goulots d'étranglement techniques, marges, etc.

Après 5 ans de fonctionnement des unités principales et 2 ou 3 ans pour les unités périphériques multilocales, chercheurs et agriculteurs mettent au point les modèles de systèmes de production dont les performances agro-économiques et l'utilisation des équipements sont optimales. Ces modèles simulent le fonctionnement d'une exploitation à partir d'hypothèses techniques et économiques formulées et validées dans les essais et observées en milieu réel : coûts de production (intrants), prix payés pour les produits, capital, matériel, main-d'œuvre. Ils permettent aussi l'élaboration d'outils informatiques d'aide à la décision : construction d'assolements optimisés en fonction de l'évolution du marché.

La gestion des unités expérimentales

Les agriculteurs interviennent dans les unités expérimentales en cultivant eux-mêmes les parcelles, sous le contrôle strict de la recherche. Ils apportent ainsi leur savoir-faire, c'est-à-dire :

- leur maîtrise totale des systèmes traditionnels qui constituent une référence permanente ;
- leur capacité à évaluer de nouveaux itinéraires techniques et des systèmes de culture proposés par la recherche et réalisés par eux-mêmes ;
- leurs outils de travail (nature, faisabilité).

Au fur et à mesure que l'on progresse, les systèmes les moins attractifs peuvent prendre une part plus réduite dans la matrice de chaque unité expérimentale ; les systèmes les plus attractifs et demandés par les utilisateurs sont privilégiés.

Le personnel des services de vulgarisation associé à la conduite des unités expérimentales utilise ces dernières comme un instrument précieux de formation et de diagnostic. Quelques vulgarisateurs sont impliqués



directement dans la gestion, la réalisation et le suivi d'une unité expérimentale avec les chercheurs et les agriculteurs. Ils organisent les visites d'équipes de conseillers et d'agriculteurs et la formation sur les problèmes régionaux de développement. Ils supervisent l'unité ouverte en permanence au public, qui peut évaluer les innovations : matériels et technologies simples, systèmes de culture, assolements, techniques d'aménagement des terres.

Du point de vue économique, une unité bien gérée couvre 60 à 80 % de ses coûts de fonctionnement, grâce à la vente des produits ou des semences. A titre d'exemple, au Brésil, l'unité du Mato Grosso sur les systèmes mécanisés (Fazenda, Progresso, 1986-1992) comptait environ 150 hectares de grandes cultures, l'unité mécanisée AGRIPPEC en pré-Amazonie (1989-1992), 60 hectares, l'unité BACABAL en culture manuelle (1979-1982) dans l'Etat du Maranhão, 60 hectares. Même si 10 à 20 % de ces surfaces concernent les systèmes les moins performants, plus de 80 % de la superficie est consacrée à des systèmes plus productifs et plus rentables que les systèmes traditionnels. L'unité expérimentale peut aussi être une unité de production rentable.

Il faut enfin ajouter que les services de la recherche fonctionnent comme un agent de crédit, fournisseur des approvisionnements, et comme organisateur des filières commerciales des produits nouveaux. Dans certaines opérations de création-diffusion, comme les projets du Maranhão au nord du Brésil, des magasins d'approvisionnement en facteurs de production, tels que variétés, matériel agricole, pesticides et engrais, ont été installés. Les enquêtes réalisées à partir de ces magasins ont permis de mieux connaître les choix des agriculteurs pour l'adoption des technologies proposées et de suivre ensuite leur application dans les exploitations agricoles.

La diffusion des résultats

Les voies de vulgarisation des techniques sont les plus diversifiées possibles :

- communication de masse audiovisuelle (radio, télévision, journaux, presse spécialisée), rapports annuels et publications des institutions de recherche, films vidéo, diaporamas, fiches techniques ;
- conférences et réunions adaptées à différents publics (recherche, universités, coopératives, associations régionales de producteurs) ;
- journées de visite des unités programmées aux moments les plus démonstratifs, organisées en fonction des publics : chercheurs, vulgarisateurs, agriculteurs, étudiants, responsables politiques du développement agricole ;
- ouverture permanente des unités expérimentales au public ; elles sont structurées en conséquence (cheminement, identification des parcelles, objectifs des expérimentations, résultats annuels et pluriannuels, etc.). Ce sont en général les agriculteurs et les techniciens des unités qui assurent les visites, ce qui constitue un des moyens les plus efficaces de diffusion ;
- organisation de formations et de stages sur les unités expérimentales (encadreurs, étudiants, agronomes...).

Les agriculteurs choisissent souvent en premier lieu des technologies simples, prises isolément : variété, herbicide, insecticide, technique de travail du sol. C'est sous cette forme que les résultats commencent en général à se diffuser en milieu réel. En second lieu, la diffusion de paquets technologiques (itinéraire technique d'une culture) et de systèmes de production et d'aménagement se fait souvent par les exploitations dont les responsables sont considérés comme des « leaders » des sociétés rurales ou des coopératives. Une bonne diffusion est très dépendante de l'organisation simultanée du crédit, de l'approvisionnement en intrants, des circuits de commercialisation et de transformation locale des produits, en un mot de la politique agricole régionale.

La manière dont les utilisateurs comprennent et adoptent les nouvelles technologies est évaluée par des enquêtes menées localement et dans les régions périphériques. Elles permettent ainsi de quantifier l'avancée de ces technologies aussi bien à l'échelle de petits échantillons locaux proches des unités qu'à l'échelle des grandes régions productrices. Elles en donnent les performances technico-économiques, par rapport à celles des systèmes traditionnels pratiqués. Les résultats obtenus dans les exploitations et dans les unités expérimentales sont ainsi comparés. Les enquêtes recueillent également les appréciations des utilisateurs — vulgarisateurs, producteurs, responsables régionaux de la politique agricole, vendeurs de machines agricoles et d'intrants — qui influencent l'évolution des processus de création et de diffusion des techniques nouvelles. L'ensemble de ces analyses concourt à développer des outils de planification agricole : conseil de gestion, dynamique d'occupation des terroirs, progrès technologique. La télédétection, par exemple, constitue un outil complémentaire important d'évaluation.



Paysage typique des fronts pionniers de l'ouest du Brésil, Etat du Mato Grosso. Noter la préservation des forêts galeries.

L'application de la méthode de création-diffusion au Brésil

De 1978 à 1982, le CIRAD a travaillé dans le cadre de la coopération franco-brésilienne à la demande de l'EMAPA de l'Etat du Maranhão, en collaboration avec l'EMATER. Les objectifs étaient d'aider la fixation des petits agriculteurs itinérants dans la région du palmier babaçu (région du Cocais) et le développement de la riziculture irriguée.

Entre 1983 et 1989, deux partenariats ont été développés :

- avec le CNPAF (Etat de Goiás), pour le développement de systèmes de culture à base de riz pluvial, adaptés aux contraintes de sol et de climat des régions du centre-ouest du Brésil, et pour la création de cultivars plus performants que les riz traditionnels ;
- avec le secteur privé, RHODIA AGRO filiale brésilienne de RHONE POULENC, pour la création d'hybrides de maïs commerciaux visant en priorité le marché des Etats les plus développés du sud du Brésil.

A partir de 1989, trois grands projets voient le jour, sous la tutelle de RHODIA AGRO :

- la riziculture irriguée et pluviale moderne et mécanisée (Etat du Piauí) avec le partenaire SULAMERICA AGRO, de 1989 à 1993 ;
- les systèmes de cultures pluviales mécanisés, à base de maïs, riz pluvial et soja, destinés à l'aviculture sur les fronts pionniers de l'est du bassin amazonien (sud-ouest du Maranhão) avec le partenaire VARIG AGROPECUARIA, de 1989 à 1992 ;
- les systèmes de culture mécanisés fondés sur le soja, le maïs et le riz pluvial, certains intégrant l'élevage intensif sur les fronts pionniers du sud du bassin amazonien (Etat du Mato Grosso). Les écologies sont celles des savanes humides (cerrados) et des forêts tropicales. Les partenaires sont les coopératives du centre-nord du Mato Grosso, les agriculteurs pilotes, les préfectures. Ce vaste projet a commencé en 1985 avec l'appui du CNPAF et du ministère français des affaires étrangères.

Plus récemment, à partir de 1994, le CIRAD met en place un projet, sous tutelle de RHODIA AGRO, en partenariat avec le groupe MAEDA, premier producteur privé de coton du Brésil. Il s'agit de mettre au point des systèmes de culture fondés sur le semis direct du cotonnier, performants et préservateurs du milieu physique (sud de l'Etat de Goiás et nord de l'Etat de São Paulo).

II. La gestion de la fertilité par le système de culture



Depuis la fin des années 70, les fronts pionniers des savanes humides de l'ouest du Brésil subissent des pressions agricoles destructrices de l'environnement naturel. Les techniques employées mettent en danger la pérennité d'une agriculture nouvelle et fortement motorisée en provoquant une dégradation rapide des sols. Dans l'Etat du Mato Grosso, de nouveaux systèmes de culture sont mis au point et développés à partir de plusieurs unités expérimentales selon la méthode de création-diffusion.



En Amérique latine, les savanes humides sur sols acides — cerrados et planos — occupent près de la moitié des terres cultivables, soit environ 243 millions d'hectares, concentrés au Brésil, en Colombie et au Venezuela. Ce type de milieu forme un vaste réservoir encore peu exploité et représente une surface plus importante que l'ensemble des terres cultivées de l'Afrique subsaharienne. Les savanes humides bénéficient d'un climat favorable pour les cultures pérennes ou annuelles, alimentaires et industrielles, et pour l'élevage. Un des objectifs majeurs pour la recherche et le développement est, d'une part, de fixer l'agriculture dans ces savanes afin d'épargner les forêts et de préserver ainsi la diversité végétale et faunistique et, d'autre part, de proposer une gestion préservatrice et amélioratrice de la fertilité.



Figure II-1. Le Brésil : les régions d'application actuelle de la méthode de création-diffusion agricole.

L'évolution récente des fronts pionniers

Au Brésil, dès la fin des années 70, les savanes de la zone tropicale humide (Etats du centre-ouest et de l'ouest ; figure II-1) ont commencé à être mises en valeur par de grandes entreprises qui diversifient leurs investissements, des coopératives agricoles du sud et des entreprises de colonisation venant des Etats du sud — Paraná, Rio Grande do Sul, São Paulo. Cette colonisation privée, dont les exploitations varient de 200 à plus de 2 000 hectares, a d'abord été motivée par la spéculation sur la terre. Au Brésil, c'est en effet l'Etat qui, par l'ouverture et l'entretien des routes, par la concession des titres définitifs de propriétés, par l'implantation du système fédéral de crédits (Banque du Brésil entre autres), permet la valorisation de la terre et qui, en conséquence, assure les bénéfices des entreprises de colonisation (LENA, 1988). Cette agriculture pionnière, motorisée, est très vite devenue une monoculture industrielle de soja destinée à produire des excédents exportables. Elle s'est révélée rapidement destructrice du sol.

Les fronts pionniers de l'ouest brésilien sont très éloignés des ports d'exportation et des grands centres de transformation ou de consommation. En l'absence d'une politique agricole incitative, les exploitations pionnières sont très pénalisées, car elles dépendent de l'état du réseau routier, précaire et mal entretenu. Le prix du transport élève considérablement le coût du fret, donc les coûts de production, et réduit d'autant les prix payés aux agriculteurs. Ces prix peuvent ainsi être inférieurs de 20 à 50 % à ceux pratiqués dans les Etats du Paraná et de São Paulo. Dans ce contexte économique sensible, la gestion de la fertilité des sols ne peut être dissociée de l'objectif de gestion du risque économique. Partant de la monoculture de soja travaillée exclusivement avec des engins à disques (offset), les solutions passent d'abord par la mise au point de systèmes de production diversifiés, rentables, respectueux de la ressource en sol et les plus stables possibles.

Les équipes de recherche et de développement du CIRAD et de ses partenaires sont intervenues sur les fronts pionniers situés au centre-nord de l'Etat du Mato Grosso au Brésil, sur lesquels près d'un million d'hectares a été mis en culture depuis la fin des années 70. La démarche de création-diffusion a été mise en pratique dans la zone de savane de cette région à partir de 1983 puis en zone de forêt pour préparer l'arrivée des nouveaux fronts pionniers (PICARD *et al.*, 1996).

Le système de production initial

Les migrants des fronts pionniers ont apporté leur système de culture traditionnel du sud du Brésil :

- défrichement au câble d'acier ;
- mise en andains de la végétation arbustive et brûlis ;
- les 2 ou 3 premières années de culture, semis de riz pluvial, culture la moins sensible à l'acidité, avec un amendement calcomagnésien broyé (2,5 tonnes par hectare) et un apport réduit d'engrais minéral (40 N-60 P₂O₅-40 K₂O par hectare) ;
- à partir de la 3^e ou 4^e année, passage à la monoculture de soja travaillée à l'offset avec amendement calcomagnésien (1,5 à 2,5 tonnes par hectare, puis complément ensuite, si nécessaire, pour maintenir le taux de saturation du sol en bases échangeables au-dessus de 40 %) ;
- ou bien, après les 2 ou 3 premières années de riz pluvial, semis en mélange avec le riz d'un pâturage à *Brachiaria decumbens* pour une exploitation extensive d'élevage (moins d'un bovin pour 2 hectares).

Sur ces types de système, les rendements en soja grain sont de l'ordre de 1 700 kilogrammes par hectare après 13 ans de monoculture continue.

Au début des années 80, la recherche brésilienne a apporté un diagnostic exclusivement chimique fondé sur une correction de l'acidité, combinée à plusieurs niveaux de fumure minérale localisée sous la ligne de semis, établis à partir de seuils critiques pour la croissance du soja (VAN RAIJ, 1991 ; SOUZA *et al.*, 1987).

Le diagnostic agronomique régional

Le diagnostic agronomique régional a été réalisé par le CIRAD en collaboration avec les équipes du CNPAF-EMBRAPA, au cours de l'année 1985. Il a porté sur le fonctionnement du profil cultural et les interactions avec les techniques culturales et la croissance des cultures (riz pluvial, soja).

Les précipitations

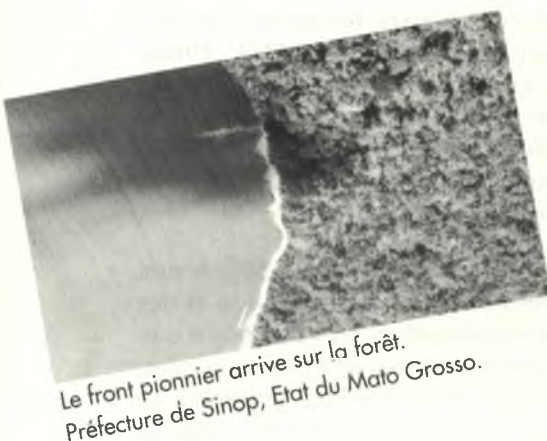
Le milieu physique se révèle très contraignant pour la production de grains. La pluviométrie annuelle est comprise entre 2 000 et 3 000 millimètres répartis sur 7 mois (octobre à avril), avec des intensités élevées, souvent plus de 100 millimètres par heure, et un fort pouvoir érosif. Le drainage profond est important, supérieur à 750 millimètres par an (STEINMETZ *et al.*, 1988), qui peut provoquer la lixiviation de grandes quantités d'éléments minéraux.

Les reliefs

Les unités de paysage sont des plateaux et des collines à pentes très longues, supérieures à 1 500 mètres. Leur déclivité, relativement faible dans les parties supérieures et médianes des interfluves, de 2 à 4 %, augmente rapidement en bas de pente, entre 5 et 8 %. Ces caractéristiques sont favorables à une érosion très active.



Semis conventionnel de riz pluvial après offset.
Etat de Piauí.



Le front pionnier arrive sur la forêt.
Préfecture de Sinop, Etat du Mato Grosso.



Griffes d'érosion creusées en une saison des pluies sur une parcelle en monoculture de soja cultivée à l'offset.
Lucas do Rio Verde, Etat du Mato Grosso.



Riz pluvial, 4 500 kg/ha
de riz paddy,
Fazenda Progresso.



Chantier de défriche
de la forêt ;
mise en andains
et premiers brûlis.
Préfecture de Sinop,
Etat du Mato Grosso.

Les sols

La texture

Les sols sont ferrallitiques profonds, rouge-jaune, développés sur matériau acide gréseux. De texture généralement argileuse à argilo-sableuse, ils passent à une texture sableuse en bas de pente. Trois types de profil cultural sont représentatifs des fronts pionniers des savanes humides :

- le sol vierge sous savane ;
- le sol sous pâturage extensif de longue durée à *B. decumbens* ;
- le sol sous monoculture de soja, ouvert à la culture depuis la fin des années 70.

Les caractéristiques physico-chimiques et la structure

Le sol de savane naturelle et de pâturage extensif a des propriétés chimiques défavorables pour les cultures : carences en calcium, magnésium, phosphore et potassium, fort taux de saturation en aluminium (tableau II-1). Il présente en revanche une structure très favorable et des teneurs en matière organique élevées dans l'horizon 0-30 centimètres, surtout sous *B. decumbens*. Le sol sous culture a un bon niveau de richesse chimique mais des propriétés physiques très limitantes pour l'enracinement. Après 7 ou 8 ans de culture, les sols ferrallitiques des fronts pionniers sont systématiquement compactés en surface et déstructurés : c'est le résultat de l'emploi exclusif des offsets lourds et légers en conditions trop humides — lors de la préparation des sols pendant 2 mois après les premiers pluies — et en sol trop sec, pour l'enfouissement des amendements calcomagnésiens en saison sèche. Sous forte pluviosité, ces terres compactées induisent la formation d'un horizon réduit et asphyxiant : l'enracinement des cultures reste prisonnier des 10 à 20 premiers centimètres de sol. Cet horizon à faible capacité de rétention hydrique et minérale expose les cultures aux accidents climatiques — sécheresse ou asphyxie périodiques. En outre, le compactage en surface provoque une érosion rapide et catastrophique, même lorsque des dispositifs antiérosifs de type terrasses de base large sont construits (RESCK, 1981).

L'enherbement et les problèmes phytosanitaires

On constate que les outils à disques facilitent la multiplication et la germination des mauvaises herbes, entraînant dès le départ une forte concurrence pour les cultures. Globalement, le système « monoculture x offset » accélère le développement des adventices, des nématodes *Meloidogyne* spp. et des maladies cryptogamiques telles que *Rhizoctonia solani*, malgré le choix de matières actives pesticides de plus en plus ciblées et performantes.

Tableau II-1. Caractéristiques des sols ferrallitiques rouge-jaune des fronts pionniers, en fonction de leur utilisation.

Localisation	Horizon (cm)	pH eau	MO (%)	P* (ppm)	K (ppm)	Ca + Mg (meq/100 ml)	Al	CEC
Savane	0-10	5,0	3,0	0,5	27	0,4	2,1	7,2
	10-20	5,3	2,3	0,4	25	0,6	1,2	6,4
	20-30	5,3	2,3	0,3	20	0,6	1,0	7,1
Pâturage extensif	0-10	4,8	3,6	2,0	25	0,9	0,9	8,7
	10-20	4,7	3,4	1,0	22	1,0	1,0	9,4
	20-30	4,7	3,3	1,0	22	1,0	1,0	9,6
Sous culture, après 11 ans de culture continue	0-10	5,9	2,2	6,2	63	3,9	0,1	7,4
	10-20	4,9	1,8	2,1	27	1,1	0,6	6,2
	20-30	4,8	1,8	1,8	24	0,6	0,9	6,1

P* : méthode Mehlich.

Le contexte économique

L'analyse des conditions technico-économiques régionales de production met en évidence les fluctuations de la monoculture de soja en fonction du contexte économique : aux variations du cours mondial du soja, s'ajoutent les coûts du fret, liés au mauvais état quasi permanent du réseau routier et aux prix bas payés localement.

En conclusion

En définitive, à l'issue du diagnostic régional initial, fin 1985, les techniques de production agricole des fronts pionniers apparaissent très risquées. Elles n'utilisent qu'une faible partie du vaste potentiel pédoclimatique disponible et exposent les agriculteurs à des risques économiques considérables, compte tenu de l'absence d'une politique agricole réellement incitative. Aussi, face à cette situation à haut risque économique, les agriculteurs privilégient le court terme et exigent de la recherche des résultats qui leur procurent des bénéfices immédiats.

Recherche et développement : l'expérience de la Fazenda Progresso

En 1986, les services de la recherche se sont implantés à la Fazenda Progresso — première ferme installée dans la zone en 1976 — à la demande de son propriétaire, M. MUNEFUME MATSUBARA, avec trois objectifs : créer des systèmes de culture régionaux plus rentables et plus stables, diffuser ces systèmes et former les agronomes de la région aux nouvelles techniques qui seront choisies par les acteurs du développement. L'expérience de création-diffusion a duré 6 ans, de 1986 à 1992.

La programmation expérimentale : mise en place d'une matrice

Un certain nombre de systèmes de culture ont été modélisés à partir des contraintes identifiées lors du diagnostic initial (figure II-2). La mise en place de la matrice des systèmes a été effectuée au sein de l'unité expérimentale construite sur la Fazenda Progresso. En 1986, elle occupait 45 hectares, puis elle a atteint progressivement 180 hectares en 1992, afin d'inclure la création continue de systèmes de culture toujours plus performants. Les données pluriannuelles recueillies ont apporté, après 3-4 ans, des solutions confirmées pour extrapoler, à partir d'éléments explicatifs tels que la croissance et le développement des cultures et l'élaboration du rendement en relation avec les états du milieu.

Les unités expérimentales simplifiées ont été progressivement implantées chez d'autres agriculteurs, par les agronomes formés sur l'unité principale. Elles ont permis de contrôler la validité des résultats technico-économiques obtenus pour les systèmes les plus intéressants.

La matrice de l'unité principale répond à des objectifs à très court terme et doit aussi apporter des solutions à plus long terme. Les objectifs à très court terme sont la décompaction des sols, la réduction de la pression parasitaire et des mauvaises herbes, l'introduction d'une culture de rotation, si possible aussi rentable que le soja. Les solutions à plus long terme concernent la gestion de la fertilité à moindre coût pour une agriculture durable. Au sein de cette matrice, les composantes principales des systèmes de culture sont les modes



de travail du sol combinés à des rotations interannuelles et à des successions annuelles diversifiées. La matrice comprend :

- le système dominant traditionnel pris comme une référence agro-économique permanente ;
- des systèmes en rotation à une seule culture annuelle ;
- des systèmes à une seule culture annuelle alternant avec 2 cultures en succession l'année suivante ;
- des systèmes en rotation à 2 cultures annuelles en succession.

L'ensemble expérimental répond à la fois à des utilisations différenciées de la biomasse, du potentiel pédoclimatique et de la capacité des équipements.

Les données recueillies

Au cours des années, l'unité expérimentale a permis d'estimer les effets cumulés des systèmes sur les propriétés physico-chimiques et biologiques des sols, d'apprécier la capacité des équipements et leur flexibilité d'utilisation et d'identifier les systèmes de culture les plus intéressants.

Pour tous les itinéraires techniques et toutes les cultures, sont enregistrées chaque année des données agronomiques sur le fonctionnement du profil cultural, sur la production de matière sèche et sur la fertilité du sol. L'évolution des propriétés chimiques et biologiques des sols est étudiée, ainsi que les conditions de croissance des systèmes racinaires et leurs relations avec la structure du sol (porosité, résistance mécanique à la pénétration, vitesse d'infiltration de l'eau). La compétition entre les adventices et les cultures, les composantes du rendement, les exportations minérales et leurs variations interannuelles sont mesurées. Les données techniques et économiques sont également analysées : calendriers culturaux, capacité des équipements, faisabilité des travaux pour chaque opération, coûts de production, marges brutes et nettes.

L'évolution des expérimentations

Dès la deuxième année d'étude, nous avons sélectionné les systèmes qui répondaient le mieux à l'objectif immédiat de rentabilité. Des tests de fertilisation minérale ont été inclus : formes, doses et périodicité d'apport des engrais, conséquences technico-économiques dans les conditions des fronts pionniers. D'autres essais thématiques, spécifiques à chaque système, ont été entrepris pour assurer la progression des systèmes de culture et pour hiérarchiser l'importance de chaque thème : variétés, pesticides...

Au cours des 6 années de suivi, nous avons identifié les meilleurs systèmes de culture, d'un point de vue technique, économique et écologique. Leurs conditions de reproductibilité ont été déterminées, de même que les paramètres du profil cultural les plus explicatifs et les plus pertinents de l'élaboration du rendement (outils de diagnostic).

Les résultats agronomiques : un système de production radicalement différent

Sur le plan agronomique, les modes de gestion des sols et des cultures (type de travail du sol et rotation) apparaissent les facteurs déterminants de la production de matière sèche et de la stabilité des rendements. Sur le plan du diagnostic des processus agronomiques explicatifs, on montre que l'enracinement des cultures est primordial pour de bons résultats de



Jour de champ. Préfecture de Nova Mutum,
Etat du Mato Grosso.

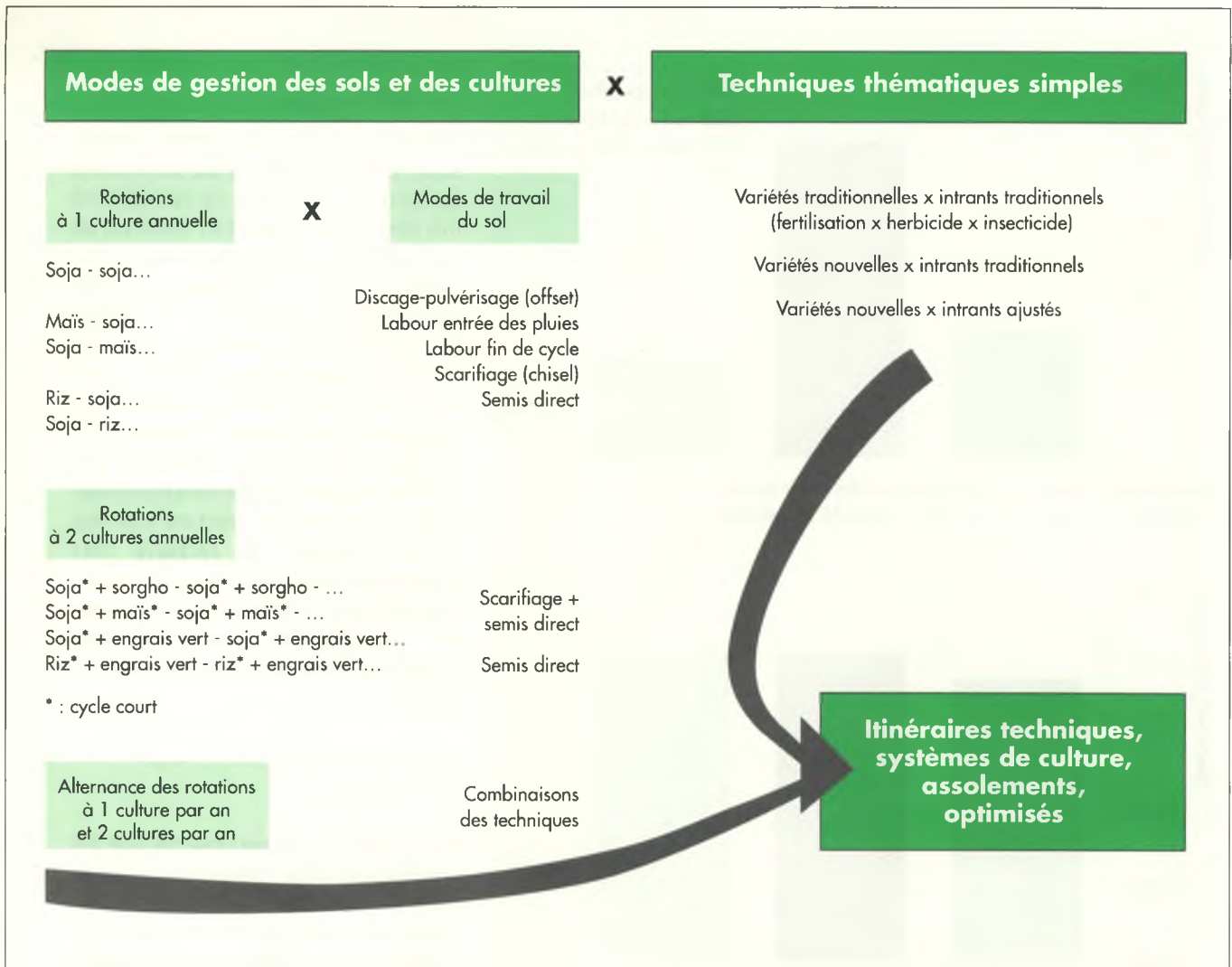


Figure II-2. Un exemple de matrice des systèmes de culture dans les cerrados humides du centre-ouest brésilien.

production. Sur le plan de la fertilité chimique, la correction de l'acidité et de certaines carences est indispensable au départ — phosphore et zinc en particulier.

Le travail du sol et la rotation

Les systèmes avec travail profond du sol et rotation montrent une amélioration importante de la structure du sol : la disparition de la discontinuité physique dans le profil et une redistribution des bases et de la matière organique en profondeur induisent des dynamiques racinaires extrêmement puissantes.

La rotation :
un atout pour le soja

Les meilleures combinaisons « modes de travail du sol x rotations interannuelles et successions annuelles » permettent des gains de rendements significatifs par rapport au système traditionnel (figure II-3).

C'est le cas du soja dans la rotation avec le riz ou le maïs combinée au travail profond du sol ou au semis direct sur résidus de récolte : ce gain de rendement est de l'ordre de 80 %, c'est-à-dire que la productivité de la terre est quasi doublée, alors que la fertilisation minérale est la même dans tous les cas. Le rendement moyen en soja, calculé sur 6 ans, dépasse 3 000 kilogrammes par hectare alors que celui du témoin monoculture et offset est de 1 670 kilogrammes par hectare.

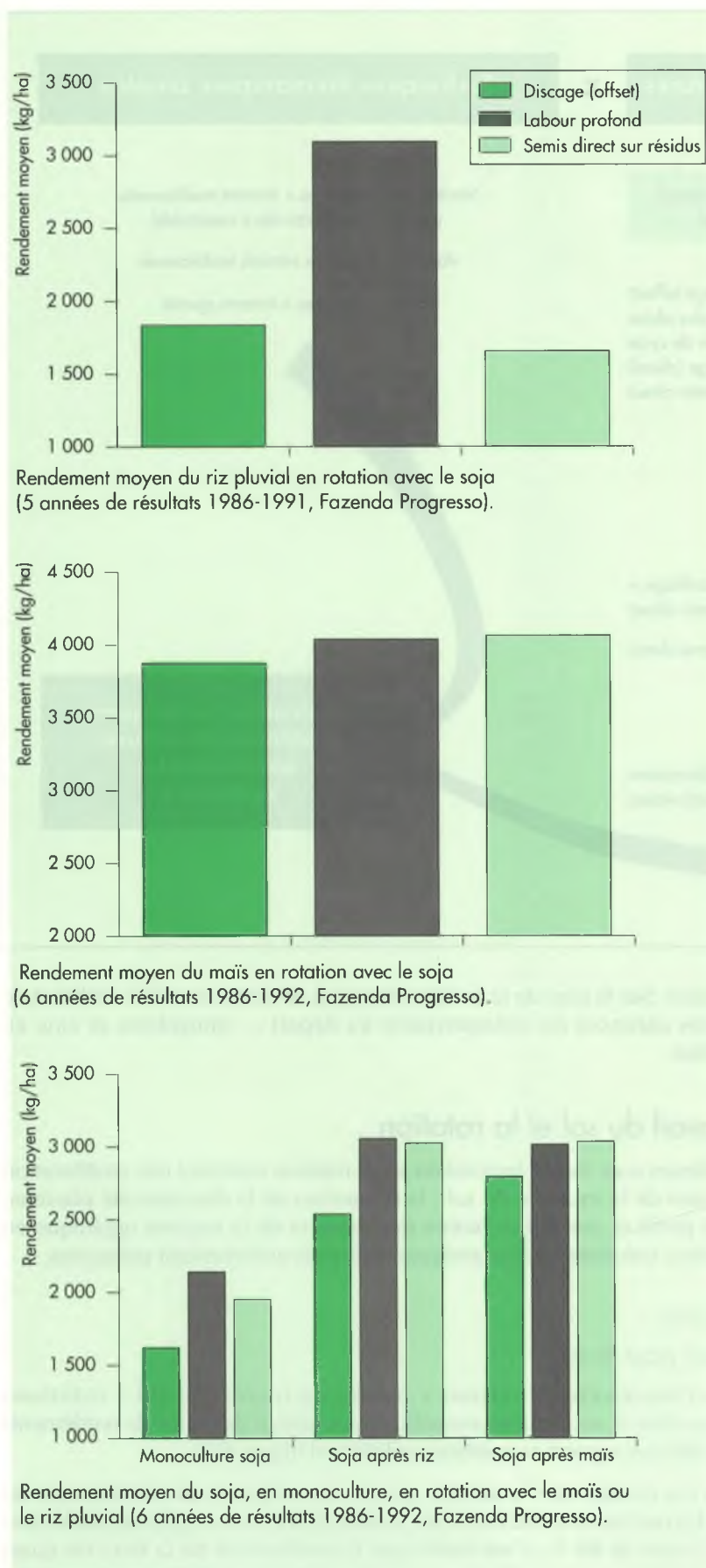


Figure II-3. Rendements moyens des cultures principales en fonction du type de travail du sol.

Riz pluvial : la combinaison des techniques

Pour le riz pluvial, en rotation avec le soja, le travail profond du sol procure également des gains de rendement très élevés, par rapport à l'offset ou au semis direct sur résidus de récolte (figure II-3). Le rendement moyen après labour, calculé sur 5 ans, est de 3 093 kilogrammes par hectare, 1 835 kilogrammes par hectare avec offset et 1 655 kilogrammes par hectare sur semis direct. De même, ce système de culture combiné à une fumure de fond de thermophosphate (1,5 à 2 tonnes par hectare tous les 3 ans) permet de réduire très significativement l'impact de la pyriculariose et d'obtenir un niveau de rendement reproductible au-dessus de 4 000 kilogrammes par hectare.

Les autres atouts des rotations

Dans tous les cas, on observe que les systèmes les plus intéressants, c'est-à-dire les rotations légumineuses-céréales, améliorent nettement le contrôle des maladies, des ravageurs et des adventices.

Par rapport aux systèmes de référence (monoculture et offset), les systèmes les plus intéressants, sur les plans agronomique, technique et économique, sont ceux qui alternent une seule culture annuelle (riz ou soja) avec deux cultures en succession l'année suivante (soja + sorgho ou riz + sorgho).

Les risques du travail profond du sol

Cependant, si les rotations ou les successions culturales combinées au travail profond du sol sont les facteurs prépondérants de la restauration de la fertilité, il faut souligner que le travail profond continu à la charrue à socs accélère fortement la minéralisation de la matière organique, même s'il se montre la technique la plus efficace pour éliminer la compaction du profil cultural et minimiser les nuisances.

Le sol s'appauvrit rapidement, jusqu'à des niveaux qui laissent prévoir une consommation accrue d'engrais minéraux pour maintenir, à moyen et long terme, des rendements élevés et stables. De plus, le labour n'atténue pas les risques d'érosion. Il faudra donc, à moyen terme, achever la mise au point des techniques de semis direct sur couverture végétale permanente des sols. En effet, ce sont les seules qui permettent d'excellentes performances pour les cultures de soja, de maïs et de sorgho — de manière certes plus progressive que le travail profond du sol. Par ailleurs, elles offrent une protection totale des sols contre l'érosion et accroissent la surface productive par le biais des successions de cultures. Dans ce contexte, la complémentarité entre les activités d'élevage — traditionnellement menées de façon extensive et indépendamment des cultures — et la production de grains, peut apporter de nombreuses solutions techniques et économiques pour la fixation de l'agriculture des fronts pionniers.

Les sols ferrallitiques de l'ouest brésilien

Les sols ferrallitiques de la classification française représentent environ 63 % des sols des régions tropicales humides (ROBERT, 1992). Avant la mise en culture, ces sols acides ont les caractéristiques suivantes :

- ils sont généralement bien pourvus en matière organique et bien structurés ;
- ils sont carencés en calcium, magnésium, phosphore, potassium et souvent en zinc (cas du Brésil) ;
- ils présentent un fort taux de saturation en aluminium, toxique pour la plupart des cultures.

Les paramètres chimiques

Les paramètres chimiques, mesurés en 1985 et en 1992 sur les mêmes systèmes de culture mis au point, ont des valeurs supérieures aux seuils de carence (tableaux II-2, II-3) (VAN RAIJ, 1991 ; LOPES, 1984 ; SOUZA *et al.*, 1987).

Chute du taux de matière organique

Seule la teneur en matière organique chute fortement en systèmes avec labour profond à la charrue à socs, quelle que soit la rotation à une seule culture annuelle (soja - riz, maïs - soja), ou avec les offsets (monoculture), passant de 2,5 % au départ en moyenne à moins de 1 % après 6 ans de culture continue dans l'horizon 0-30 centimètres. Ces résultats sont préoccupants pour la gestion à long terme de la fertilité des sols. En revanche, les systèmes de semis direct avec couverture permanente des sols permettent de maintenir le taux de matière organique de départ, voire de l'augmenter dans l'horizon de surface.

Quelle fumure minérale d'entretien ?

Pour atteindre des objectifs de rendements voisins de 3 000 kilogrammes par hectare pour le soja, 2 500 à 3 000 kilogrammes par hectare pour le riz pluvial, 4 500 kilogrammes par hectare pour le maïs, la fumure minérale d'entretien en azote, phosphore et potassium, appliquée à la ligne de semis, est suffisante pour les systèmes précédemment décrits :

- 8 N-80 P₂O₅-80 K₂O sur soja ;
- 35 à 40 N-70 P₂O₅-70 K₂O sur riz pluvial ;
- 60 à 80 N-70 P₂O₅-70 K₂O sur maïs.

La nécessité d'amendements

Les fumures annuelles doivent être complétées par l'application d'amendements calcomagnésiens lorsque le taux de saturation du sol en bases diminue en dessous de 40 % pour le soja, qui est la culture la plus exigeante de la rotation — le riz étant la culture la plus tolérante à l'acidité.

La stratégie globale

Dès que sont pratiqués des modes de travail du sol et des rotations dans lesquels les facteurs biologiques jouent un rôle prépondérant, la correction de l'acidité et des carences en phosphore, potassium et zinc est résolue avec des quantités d'amendements et d'engrais modérées en regard des rendements obtenus. Deux stratégies de fertilisation peuvent être adoptées :

- progressivement, en apportant du calcaire dolomitique broyé⁽¹⁾ et la fertilisation minérale annuelle d'entretien avec des oligo-éléments, légèrement supérieure aux besoins des cultures, appliquées sous la ligne de semis ;
- immédiatement à la mise en culture par un amendement constitué de calcaire broyé (2,5 tonnes par hectare), de thermophosphate⁽²⁾ (1,5 à 2 tonnes par hectare), de gypse (600 kilogrammes par hectare) et de chlorure de potassium (160 kilogrammes par hectare).

Ce niveau de correction assure les productivités les plus élevées et les plus stables des meilleurs systèmes : plus de 4 000 kilogrammes par hectare de riz pluvial et de soja, suivis en succession de 1 200 à 2 000 kilogrammes par hectare de sorgho ou de mil. Il doit être renouvelé, mais sans l'amendement calcomagnésien, tous les 3 ans pour couvrir les besoins de 5 ou 6 cultures successives.

L'enracinement : l'élément clé du diagnostic

Quelle que soit la culture, l'examen du profil cultural montre une étroite relation entre un enracinement rapide, puissant et profond et des rendements élevés. Dans les systèmes les plus productifs — rotation avec soja, travail profond, correction au thermophosphate, semis précoce —, l'enracinement du riz pluvial à la floraison est toujours supérieur à 1,20 mètre de profondeur et les racines de soja, au même stade, descendent à 60-80 centimètres.

Le suivi de l'enracinement des cultures jusqu'à la floraison est un outil de diagnostic simple, le plus fiable et le moins coûteux. Il est réalisé soit en creusant des fosses d'observation, soit par injection d'herbicides qui permet de suivre l'avancée du front racinaire (SEGUY *et al.*, 1992a, b).

En culture de riz pluvial, qui se révèle la culture la plus exigeante pour les propriétés physiques du sol, la vitesse d'infiltration de l'eau est corrélée positivement au rendement, de même à la densité racinaire de l'horizon 20-30 centimètres (figure II-4a). Les rendements sont corrélés négativement à la densité apparente, au nombre d'adventices et à la résistance mécanique à la pénétration.

En culture de soja, les rendements sont corrélés positivement à la densité racinaire en profondeur (figure II-4b).

(1). Pour maintenir le taux de saturation du complexe argilo-humique égal ou légèrement supérieur à 40 %.

(2). Composition du thermophosphate :

P₂O₅ total 17,5 % ; P₂O₅ acide citrique 16 % ;

Ca 20 % ; Mg 9 % ; B 0,1 % ;

Zn 0,55 % ; Mn 0,12 % ; Mo 0,006 % ; Cu 0,05 %.

Tableau II-2. Analyses chimiques du profil cultural après la restauration de la fertilité (Fazenda Progresso, 1986-1992).

Système cultural	Horizon (cm)	pH CaCl ₂	pH eau	MO (%)	Ca	Mg	Al	K	CEC*	V (%)	P* (ppm)
				 (meq/100 ml)						
Monoculture soja en offset (témoin)	0-10	4,9	5,5	1,0	2,9	1,1	0,1	0,21	8,4	50,1	8,3
	10-20	5,0	5,6	1,0	2,0	0,8	0,1	0,12	6,3	46,2	2,6
	20-30	5,2	5,6	1,0	0,5	0,3	0,4	0,09	4,3	20,7	5,3
Monoculture soja en labour profond	0-10	4,5	5,1	1,1	2,7	0,9	0,1	0,17	9	42,0	2,6
	10-20	4,4	5,0	0,9	2,7	1,0	0,1	0,08	10,2	37,1	5,3
	20-30	4,5	5,1	0,7	2,5	0,8	0,1	0,10	9,8	34,7	5,3
Rotation soja - maïs en labour profond	0-10	5,1	5,7	1,5	1,9	0,5	0,1	0,15	5,3	47,6	3,0
	10-20	5,5	6,1	1,3	2,1	0,7	0,1	0,16	4,5	64,2	7,6
	20-30	5,2	5,8	2,0	1,2	0,9	0,1	0,12	4,8	58,5	7,6
Système alternant une seule culture avec deux cultures en succession et en semis direct	0-10	4,7	5,3	2,4	2,0	0,9	0,1	0,21	7,8	39,8	6,5
	10-20	5,1	5,7	2,2	2,8	2,0	0,1	0,17	6,8	58,6	10,0
	20-30	5,2	5,8	2,0	1,2	0,9	0,1	0,12	4,8	58,5	7,6
Rotation soja - riz en labour profond	0-10	4,6	5,2	1,7	2,5	1,0	0,1	0,24	8,3	49,6	9,6
	10-20	3,6	5,2	3,4	2,5	1,0	0,1	0,14	8,3	43,7	2,3
	20-30	5,0	5,6	1,3	2,5	0,7	0,1	0,10	6,1	53,9	7,8
Système soja - maïs, 5 ans en semis direct sur <i>Calopogonium</i>	0-10	4,3	4,9	2,0	3,4	0,8	0,1	0,20	10,2	43,2	9,5
	10-20	3,6	5,2	3,4	2,5	1,0	0,1	0,14	8,3	43,7	2,3
	20-30	4,9	5,5	3,8	0,8	0,4	0,1	0,12	7,1	18,6	1,2

CEC* : méthode à l'acétate d'ammonium.

P* : méthode Mehlich.

Tableau II-3. Intervalles des recommandations pour les résultats chimiques, dans le cas des systèmes de culture améliorés, dans l'horizon 0-30 centimètres, pour des objectifs de rendement les plus élevés (SEGUY, 1993).

pH CaCl ₂	pH eau	MO (%)	Ca	Mg	Al	K	CEC	P
		 (meq/100 ml)					(ppm)
5,0-5,4	5,6-6,0	1,7-3,0	2,0-3,5	0,8-1,3	< 0,2	0,15-0,24	6,5-10	5-10

 Maïs sur tapis de *Calopogonium*,
Fazenda Progresso.

 Récolte de riz pluvial,
Fazenda Progresso.

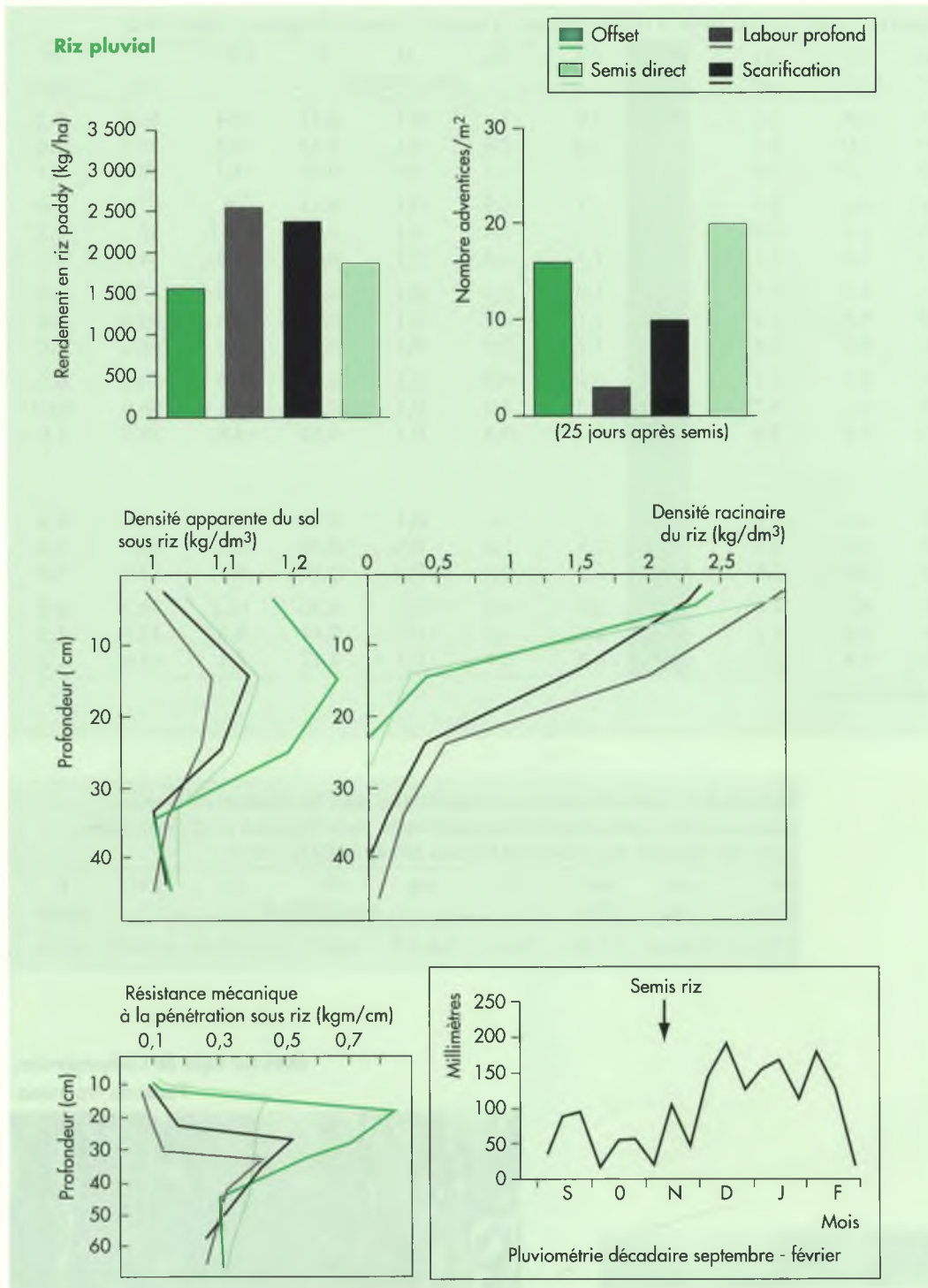



Figure 11-4a. Le riz pluvial dans la rotation riz-soja : relations entre quelques facteurs du milieu cultivé et le rendement, en fonction du mode de travail du sol (année 1990-1991, Fazenda Progresso).



La Fazenda Progresso.

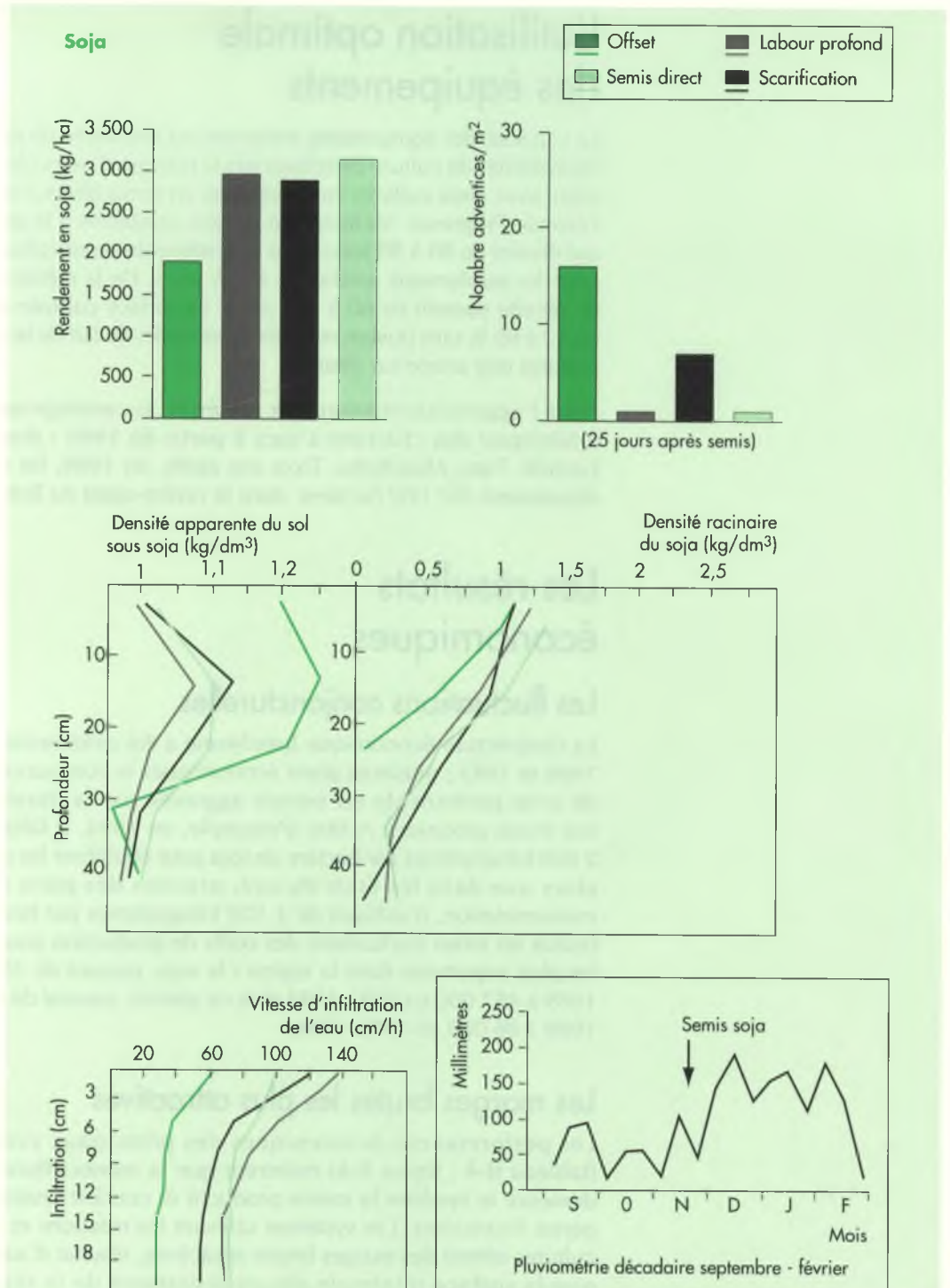


Figure II-4b. Le soja dans la rotation riz-soja : relations entre quelques facteurs du milieu cultivé et le rendement, en fonction du mode de travail du sol (année 1990-1991, Fazenda Progresso).

Riz pluvial.
Fazenda Kamitani,
Etat du Mato Grosso.



L'utilisation optimale des équipements

La capacité des équipements motorisés est employée de façon optimale avec les systèmes de culture constitués par la rotation d'une culture annuelle (riz ou soja), avec deux cultures en succession, en semis direct, l'année suivante. A la Fazenda Progresso, les temps de travaux consacrés à la préparation des sols, qui étaient de 80 à 90 jours dans le système de monoculture de soja, passent, pour les assolements améliorés, à 135 jours. De la même manière, les temps de récolte passent de 80 à 135 jours. La surface cultivée annuelle augmente de 50 à 60 % sans ouverture de terre nouvelle, du fait de la succession de deux cultures une année sur deux.

Pour l'approvisionnement en matériel, six entreprises ont commencé à fabriquer des charrues à socs à partir de 1986 : Ikeda, Sans, Baldan, Lavrale, Tatu, Maschetto. Trois ans après, en 1989, les surfaces labourées dépassaient 367 000 hectares dans le centre-ouest du Brésil.

Les résultats économiques

Les fluctuations conjoncturelles

La conjoncture économique brésilienne a été extrêmement fluctuante entre 1986 et 1992 ; plusieurs plans économiques se sont succédé. Cette situation de crise permanente est encore aggravée par la situation géographique des fronts pionniers. A titre d'exemple, en 1994, il fallait récolter plus de 2 800 kilogrammes par hectare de soja pour équilibrer les coûts de production alors que dans les Etats du sud, proches des ports et des centres de consommation, il suffisait de 2 100 kilogrammes par hectare. La figure II-5 traduit les fortes fluctuations des coûts de production pour les deux produits les plus importants dans la région : le soja, passant de 300 000 hectares en 1989 à 457 000 en 1993-1994 et le riz pluvial, passant de 68 000 hectares en 1989 à 86 000 en 1993-1994.

Les marges brutes les plus attractives

Les performances économiques des principaux systèmes de culture (tableau II-4 ; figure II-6) montrent que la monoculture en riz ou en soja demeure le système le moins productif et conduit systématiquement à des pertes financières. Les systèmes utilisant les rotations et les successions de cultures offrent des marges brutes attractives, résultat d'autant plus important que la surface minimale des exploitations de la région n'est que de 200 hectares. Ces systèmes de culture peuvent être combinés pour former des assolements annuels mieux équilibrés, assurant ainsi une meilleure gestion du risque économique (tableau II-4).

Les prix garantis : une limite pour les évaluations

Notons toutefois que ces résultats sont établis à partir des prix minimaux garantis par le gouvernement : ils sont donc difficilement extrapolables car ces prix ne sont pas forcément respectés localement. Par exemple, la production n'est pas commercialisée, ou à des prix très inférieurs aux prix minimaux garantis, si la qualité des grains est médiocre. Outre la diversification des productions, il faut donc s'engager sur la voie de la qualité des produits et favoriser leur transformation locale. Cela garantirait des prix payés aux producteurs plus incitatifs et cela diminuerait l'incidence du fret routier.

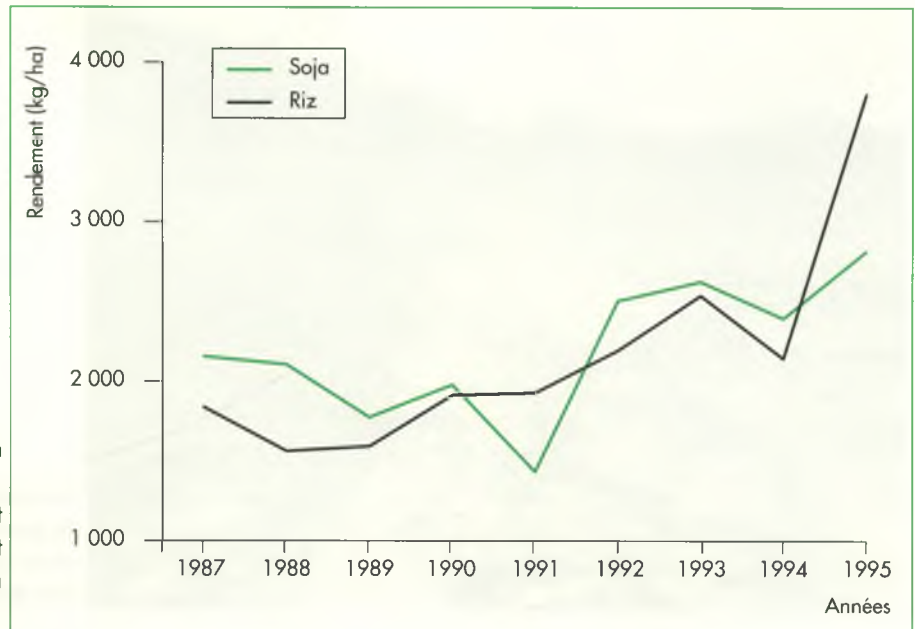
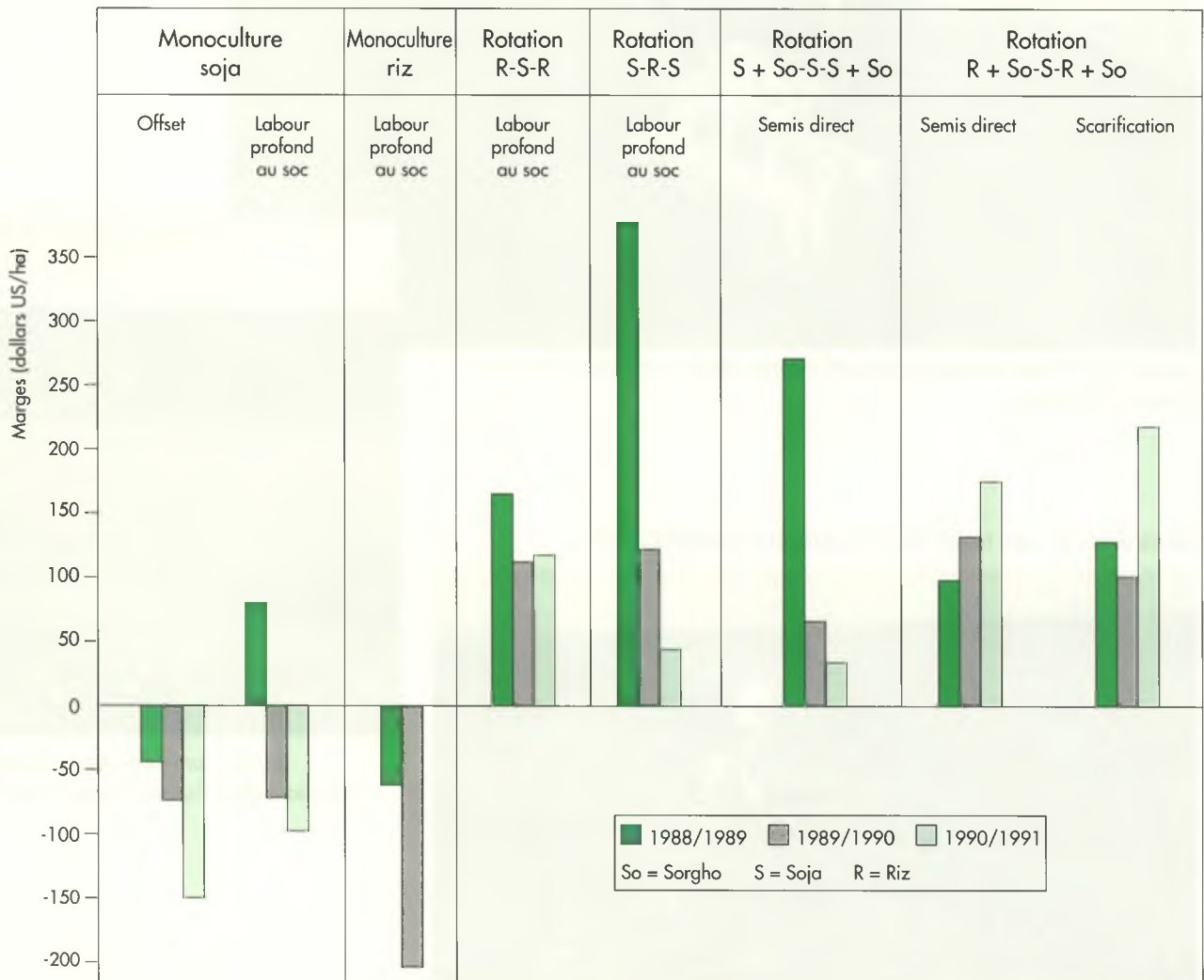


Figure II-5. Fluctuation de la situation économique : les rendements minimaux en soja et en riz pluvial permettant de couvrir les coûts de production (années 1987-1995).

Figure II-6. Performances économiques des meilleurs systèmes de culture comparés à la monoculture de soja ou de riz (résultats 1988-1990, Fazenda Progresso).





Forte érosion en système traditionnel offset (à gauche) ; sol protégé en système de semis direct (à droite). Projet SULAMERICA, Etat de Piauí.



Labour profond aux socs après une pré-incorporation des résidus de récolte, Fazenda Progresso.

Semis direct de soja, région de Primavera, Etat du Mato Grosso.



Erosion sur jeune soja en monoculture traditionnelle à l'offset, Etat du Mato Grosso.

Tableau II-4. Performances agro-économiques de différents systèmes de culture. Moyenne sur les trois campagnes 1987-1988, 1988-1989, 1989-1990 (Fazenda Progresso, Lucas do Rio Verde, Mato Grosso).

Système de culture	Culture principale (kg/ha)	% par rapport au témoin	Culture de succession (kg/ha)	Coût de production (dollars US/ha)	Marge brute (dollars US/ha)	Marge nette
1. Témoin monoculture de soja, offset, NPK	soja : 1 436	100	-	318	-77	-141
2. Rotation annuelle riz - soja - riz, labour, NPK	riz : 3 245 soja : 3 048 riz : 2 090	- 194 -	- - -	301 350 364	+ 110 + 260 -17	+ 50 + 190 -90
moenne des 3 ans	-	-	-	338	+ 118	+ 50
3. Rotation annuelle riz - soja - riz, labour, 1,5 t/ha thermophosphate	riz : 3 770 soja : 3 396 riz : 2 900	- 216 -	- - -	343 395 390	+ 138 + 284 + 91	+ 78 + 205 + 13
moenne des 3 ans	-	-	-	376	+ 171	+ 99
4. Rotation soja + sorgho - riz - soja + sorgho, labour*, NPK	soja : 2 785 riz : 2 480 soja : 3 080	197 - 233	sorgho : 648 - sorgho : 1 620	313 315 340	+ 166 + 93 + 171	+ 103 + 30 + 103
moenne des 3 ans	-	-	-	323	+ 143	+ 79
5. Rotation : soja + sorgho - riz - soja + sorgho, labour*, 1,5 t/ha thermophosphate	soja : 3 080 riz : 2 980 soja : 3 580	217 - 271	sorgho : 1 711 - sorgho : 2 830	381 361 444	+ 225 + 130 + 211	+ 149 + 58 + 123
moenne des 3 ans	-	-	-	395	+ 189	+ 110
6. Rotation riz - soja + sorgho - riz, labour*, 2 t/ha thermophosphate	riz : 4 317 soja : 3 450 riz : 3 360	- 219 -	- sorgho : 2 022 -	382 514 426	+ 164 + 368 + 131	+ 88 + 265 + 46
moenne des 3 ans	-	-	-	441	+ 221	+ 133
7. Rotation soja - maïs - soja, semis direct continu sur restes culturaux + Calopogonium, NPK	soja : 2 940 maïs : 5 200 soja : 3 260	- - -	- - -	308 355 338	+ 146 + 269 + 152	+ 95 + 210 + 96
moenne des 3 ans	-	-	-	334	+ 189	+ 134
8. Rotation soja - maïs - soja, semis direct continu sur restes culturaux + Calopogonium, 1,5 t/ha thermophosphate	soja : 3 486 maïs : 6 400 soja : 3 940	- - -	- - -	370 381 376	+ 170 + 377 + 213	+ 108 + 314 + 150
moenne des 3 ans	-	-	-	376	+ 253	+ 191

NPK sur soja = 0-84-87 ; sur riz = 60 à 80-75-75 + oligo-éléments appliqués à la ligne de semis. Le thermophosphate est accompagné d'un complément en N et K équivalent à la fertilisation NPK. Il est appliqué pour 3 ans et amorti dans le même temps (ce qui couvre 5 ou 6 cultures).

* : dans ces systèmes, le labour est réalisé avant le semis de la culture principale (soja, riz) ; la culture de succession est toujours implantée en semis direct sur les résidus de la culture principale et elle ne reçoit jamais de fumure.

Cerrados, pâturages et soja,
Etat du Mato Grosso.





Un ruissellement catastrophique sur les sols compactés.

La diffusion des résultats

Des enquêtes conduites en 1989 et 1990 ont permis d'estimer l'application de ces résultats à grande échelle dans les Etats du centre-ouest du Brésil (tableaux II-5, II-6). Les performances moyennes des systèmes et leur classement sont conformes à ceux de l'unité expérimentale de la Fazenda Progresso. Cela montre que ces techniques ont une portée régionale très large et que la méthode de création-diffusion est un outil méthodologique précieux pour assurer le progrès de grandes exploitations fortement motorisées, dans les conditions pédoclimatiques et économiques du centre-ouest du Brésil.

Tableau II-5. Résultats des systèmes de culture adoptés par les agriculteurs pour la campagne 1989-1990 dans les régions de Sorriso, Agua Boa (Etat du Mato Grosso), Paracatu (Etat du Minas Gerais), Maracaju (Etat du Mato Grosso do Sul) : 42 664 hectares, 116 producteurs, moyenne de plusieurs variétés testées (SEGUY *et al.*, 1990a, b).

Système	Soja (32 531 ha)		Riz pluvial (7 121 ha)		Maïs (3 012 ha)	
	surface (%)	rendement (kg/ha)	surface (%)	rendement (kg/ha)	surface (%)	rendement (kg/ha)
1. Travail profond sur tous précédents culturaux	46,5	2 492	14,6	2 122	81	4 656
2. Offset après défriche	7,4	1 562	67,0	1 566	-	-
3. Travail profond, rotation légumineuse - céréale	19,0	2 881	10,8	2 306	-	-
4. Monoculture et offset	27,1	1 994	7,6	1 494	3	3 360
5. Offset sur tous précédents culturaux	-	-	-	-	16	3 507

- : échantillon non représenté.

Tableau II-6. Résultats des systèmes de culture adoptés par les agriculteurs pour la campagne 1990-1991 dans les régions de Sorriso, Agua Boa (Etat du Mato Grosso), Paracatu (Etat du Minas Gerais), Maracaju (Etat du Mato Grosso do Sul) : 17 123 hectares, 57 producteurs, moyenne de plusieurs variétés testées (SEGUY *et al.*, 1991).

Système	Soja (13 904 ha)		Riz pluvial (1 678 ha)	
	surface (%)	rendement (kg/ha)	surface (%)	rendement (kg/ha)
1. Monoculture et offset	40	1 410	28	1 050
2. Offset après défriche	1,5	1 110	37	1 470
3. Monoculture et labour profond	52	1 875	-	-
4. Rotation et offset	1,5	2 480	17	1 905
5. Rotation et labour profond	5	2 560	18	2 890

- : échantillon non représenté.



Riz pluvial, Fazenda Progresso.

Conclusion : des succès à nuancer

Les techniques de travail profond, associées à la pratique des rotations et des successions, offrent aux agriculteurs des fronts pionniers l'opportunité de restaurer la fertilité des sols, dégradés par la monoculture continue de soja travaillée aux disques, et de dégager des revenus plus attractifs et plus stables. Cependant, dans les conditions de sol et de climat de la région, la pratique permanente du travail profond accélère fortement la minéralisation de la matière organique — perte de plus de 50 % du taux d'humus en 6 ans : cette évolution néfaste compromet l'espoir de fixer de façon durable une agriculture performante et rentable. Ces techniques ne peuvent être employées que temporairement pour corriger les caractéristiques physico-chimiques des sols dégradés. Il faut donc cultiver autrement : la gestion des sols par le semis direct dans des couvertures végétales vivantes ou mortes, avec les mêmes conditions naturelles et sociales, a de nombreux atouts : protéger totalement le sol contre l'érosion, préserver le capital matière organique, permettre des revenus comparables ou supérieurs à ceux obtenus avec les systèmes intégrant le travail profond du sol. Cette voie de gestion agrobiologique des sols est développée dans l'article qui suit.



Semis direct de riz
sur pailles de mil + *Calopogonium*.
Projet SULAMERICA,
Etat de Piauí.



III- Le semis direct, un mode de gestion agrobiologique des sols



Le transfert des techniques de travail du sol, des pays tempérés vers les tropiques, ne permet pas d'assurer une gestion durable et au moindre coût de la ressource en sol. De nouveaux modes de gestion durable des systèmes de culture ont été conçus et développés par le CIRAD et ses partenaires de la recherche et du développement au Brésil, pour les sols acides de la zone tropicale chaude et humide. Les systèmes mis au point sont pratiqués en semis direct sous couverture végétale permanente, morte ou vivante, et fonctionnent à l'image de l'écosystème forestier.

Ils sont construits avec des rotations interannuelles et des successions annuelles de diverses cultures. Ils sont applicables aussi bien à la production de grains qu'à l'élevage ou qu'à ces deux activités intégrées. Ces systèmes sont utilisables pour toutes les écologies chaudes et humides des savanes et des forêts tropicales de basse altitude, en culture motorisée. Ils peuvent être ajustés, notamment par le choix des espèces végétales de couverture, dans les mêmes écologies pour l'agriculture paysanne manuelle, en traction animale ou faiblement motorisée.

Les rôles fondamentaux de la matière organique dans le profil cultural sont multiples : source d'éléments fertilisants (NYE, 1961 ; SANCHEZ, 1976), formation du complexe argilo-humique participant au maintien de la structure, rétention de l'humidité (LAL et GREENLAND, 1979), protection des sols contre l'érosion par l'amélioration de la structure et par le paillage en surface.

Sous couvert forestier ou sous cultures arbustives denses, la production de matière organique est continue et elle conduit à un écosystème stable, biologiquement très actif. La plus grande fraction des éléments fertilisants est recyclée entre la matière organique vivante et morte et de grandes quantités de ces éléments sont ainsi retenues dans le système, ce qui en explique la stabilité, même pour les sols les plus pauvres (NYE, 1961).

Le défrichement et la mise en culture interrompent ce cycle et accélèrent la minéralisation de la matière organique. Par la suite, le mode de travail du sol, la pratique ou l'absence de rotation et de restitution importante de résidus végétaux sont des facteurs essentiels influant sur la vitesse de décomposition et le maintien ou la disparition de la matière organique dans le sol.

L'idée de cultiver sans travailler le sol est née de l'observation des systèmes forestiers ou arbustifs à couvert dense, dans l'optique de reproduire les phénomènes naturels. Cette idée n'a cependant commencé à être mise en pratique en agriculture mécanisée qu'avec l'apparition en 1956 de l'herbicide total paraquat et la fabrication, par ALLIS CHALMERS, des premiers semoirs de semis direct utilisables sans travail préalable du sol.

Au Brésil (figure III-1), les techniques mécanisées de semis direct ont débuté dans les années 70, dans l'Etat du Paraná en zones subtropicales d'altitude⁽¹⁾. Les réalisations pratiques de la Fondation ABC, des coopératives du Paraná et les travaux de recherche de l'IAPAR sont remarquables à cet égard⁽²⁾. Actuellement, plus de 3,5 millions d'hectares sont cultivés en semis direct dans les Etats du sud : dans ces régions, les conditions climatiques permettent, grâce à une saison froide, de maintenir longtemps une bonne couverture du sol avec les résidus de récolte.

En revanche, dans les conditions très humides et chaudes des fronts pionniers de l'ouest brésilien, l'évolution des résidus de récolte au-dessus du sol est très rapide. Même avec les résidus les plus riches en cellulose et lignine telles que le riz et le maïs, le sol n'est plus couvert qu'à 50 % à partir de la huitième semaine après le début de la saison des pluies (tableau III-1). Il faut donc imaginer d'autres systèmes pour protéger le sol toute l'année, aussi bien sous culture qu'en saison sèche. La mise au point de systèmes de semis direct dans une couverture végétale permanente devrait progressivement permettre, grâce à la production d'importantes biomasses, de maintenir le taux de matière organique du sol et d'assurer une protection efficace contre l'érosion.



Forêt amazonienne, Projet AGRIPPEC,
Etat du Mato Grosso.

(1). Les premiers promoteurs du semis direct au Brésil sont certains agriculteurs du Paraná — BARTZ H., PEREIRA M. H., DJIKSTRA F., etc. — et les agronomes de la Fondation ABC, dont PEETEN H., PAVEI J. N. et MORAES DE SA J.

(2). MAZUCHOWKI J. Z. et DERPSH R., 1978 ; CASTRO FILHO *et al.*, 1980 ; MACHADO J. A. et BRUM A. C. R., 1981 ; MONDARDO A. et BISCAIA R. M., 1981 ; MUZILLI O., 1981 ; ALMEIDA F. S., 1983 ; LORENZI H., 1984 ; DERPSCH R. *et al.*, 1984 ; IGUE K., 1984.

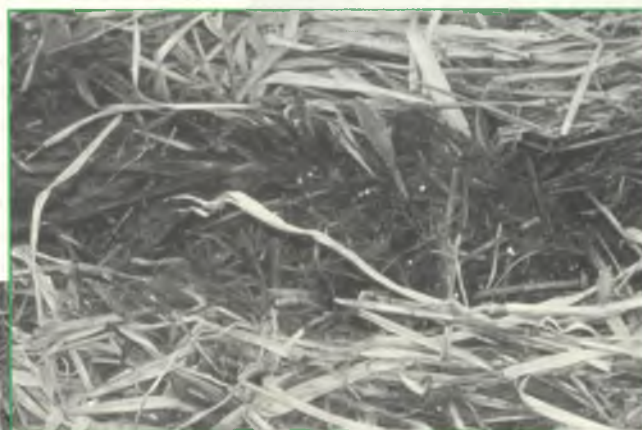
Le principe du semis direct

En semis direct, la semence est placée dans le sol non remanié, grâce à des machines spéciales ; seul un petit sillon, ou un trou de poquet, est ouvert, de profondeur et de largeur suffisantes pour garantir une bonne couverture de la semence et un bon contact avec le sol. Les mauvaises herbes sont éliminées avant et après le semis, le plus souvent avec des herbicides.

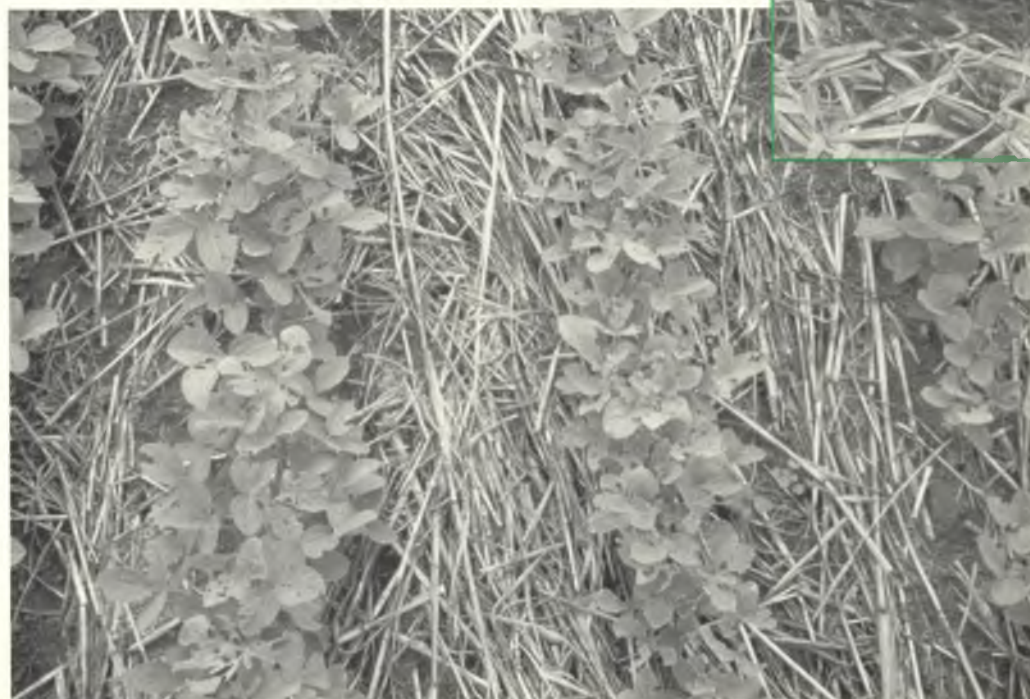
Ce principe général est applicable en zones tempérées et subtropicales où il existe une saison froide qui permet de maintenir une couverture permanente de résidus de récolte sur le sol, qui se décomposent très lentement dans ces conditions. En revanche, en zones tropicales chaudes et humides de basse altitude, les résidus de culture se décomposent très vite au-dessus du sol dès qu'il pleut — le taux de minéralisation de la matière organique est très élevé, supérieur à 4-5 % — et la protection du sol en surface est trop éphémère pour être efficace. Elle ne permet pas de maîtriser totalement l'érosion, de lutter contre les adventices grâce à des effets de compétition — ombrage, enracinement, espace, nutrition — ou d'allélopathie. Pour maintenir une couverture végétale du sol permanente et efficace, il fallait donc imaginer de nouveaux systèmes de gestion des sols et des cultures adaptés aux conditions de climat chaud et humide. Depuis 1989, le CIRAD conçoit et développe des systèmes de culture en semis direct pour répondre à ces objectifs.



Semis direct de maïs sur couverture de *Bracharia*. Zone forestière, préfecture de Sinop, Etat du Mato Grosso.



Couverture du sol après 3 ans de semis direct avec successions de cultures, Fazenda Progresso.



Soja en semis direct sur couverture de mil. COOPERLUCAS, Lucas do Rio Verde, Etat du Mato Grosso.

Tableau III-1. Evolution de la couverture du sol et de la perte de matière sèche des résidus de culture.

Nature des résidus	Nombre de jours après les premières pluies	Poids de matière sèche sur le sol (kg/ha)	Indice de couverture du sol (%)
Maïs	30	7 500	82
	60	4 300	54
	90	2 500	30
	120	1 400	22
Riz	30	6 200	85
	60	3 100	46
	90	2 200	38
	120	1 700	26
Soja	30	1 700	35
	60	540	16
	90	240	≈ 0
	120	≈ 0	≈ 0

Sorgho sans tannin à haute teneur en protéine. Etat du Mato Grosso.



Semis direct de *Bracharia* en succession annuelle du soja, en début de saison sèche. COOPERLUCAS, Etat du Mato Grosso.

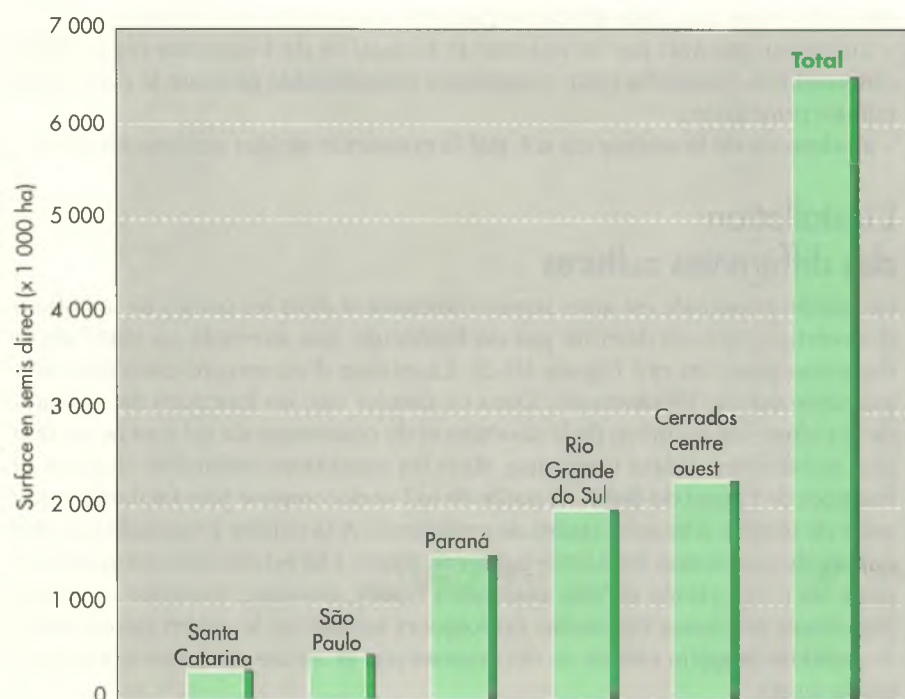


Figure III-1. Estimation des surfaces plantées en semis direct dans les régions les plus productives du Brésil en 1996-1997 (d'après BORGES, 1996).

Les technologies de semis direct en zones tropicales chaudes et humides

Le principe est de produire, avant et/ou après chaque culture commerciale, une biomasse la plus importante possible, au moindre coût, dont le premier rôle est de remplacer le travail mécanique du sol.

Des plantes productrices de biomasse

Cette biomasse est issue d'une première culture de plantes d'ouverture de cycle cultural et/ou d'une culture finale dite de succession après la culture principale (figure III-2). Ces cultures implantées en semis direct avant et après la culture commerciale principale, sont capables de produire de fortes biomasses sous des conditions climatiques marginales — c'est le cas du mil et du sorgho. Leur coût d'implantation ne doit pas dépasser celui des meilleurs modes de gestion des sols qu'elles remplacent. Le sol n'est plus travaillé, les cultures sont pratiquées en semis direct permanent.

Des plantes aux multiples fonctions

Ces plantes productrices de biomasse doivent avoir les fonctions suivantes :

- protéger complètement le sol contre l'érosion, aussi bien en saison des pluies qu'en saison sèche ;
- amortir les amplitudes de température et d'humidité ;
- fournir à la culture principale les éléments minéraux par la minéralisation de leur propre biomasse ;
- recycler vers la surface les éléments fertilisants lixiviés en profondeur ;
- maintenir une forte porosité et une structure stable du profil cultural ;
- limiter le développement des adventices les plus compétitives pour les cultures ;
- permettre de gérer au moindre coût les problèmes phytosanitaires (ravageurs).

Ces plantes, précédant le semis direct de la culture principale ou lui succédant, jouent véritablement le rôle de « pompe biologique » pour les éléments minéraux. Leur efficacité peut être évaluée de deux façons :

- au-dessus du sol, par le volume et la qualité de biomasse recyclable, renouvelable à moindre coût, rapidement minéralisable pendant le cycle de la culture principale ;
- au-dessous de la surface du sol, par la puissance de leur système racinaire.

L'installation des différentes cultures

La culture principale est alors semée directement dans les pailles de la culture d'ouverture, qui est détruite par un herbicide, par exemple au stade de la floraison pour un mil (figure III-2). La plante d'ouverture peut être une graminée ou une légumineuse. Dans ce dernier cas, les fonctions de nutrition de la culture, de maintien de la structure et de couverture du sol sont beaucoup plus éphémères. Il faut noter que, dans les conditions tropicales chaudes et humides de l'ouest du Brésil, la paille de mil se décompose plus facilement que celle de sorgho, à tous les stades de croissance. A la culture principale suit une culture de succession implantée par semis direct. Elle est récoltée normalement pour les productions qu'elle peut offrir (grain, ensilage, fourrage...) et une importante biomasse de résidus est toujours laissée sur le sol en saison sèche — pendant laquelle elle ne se décompose pas et assure ainsi une couverture totale du sol.



Semis direct de soja, Etat du Mato Grosso.

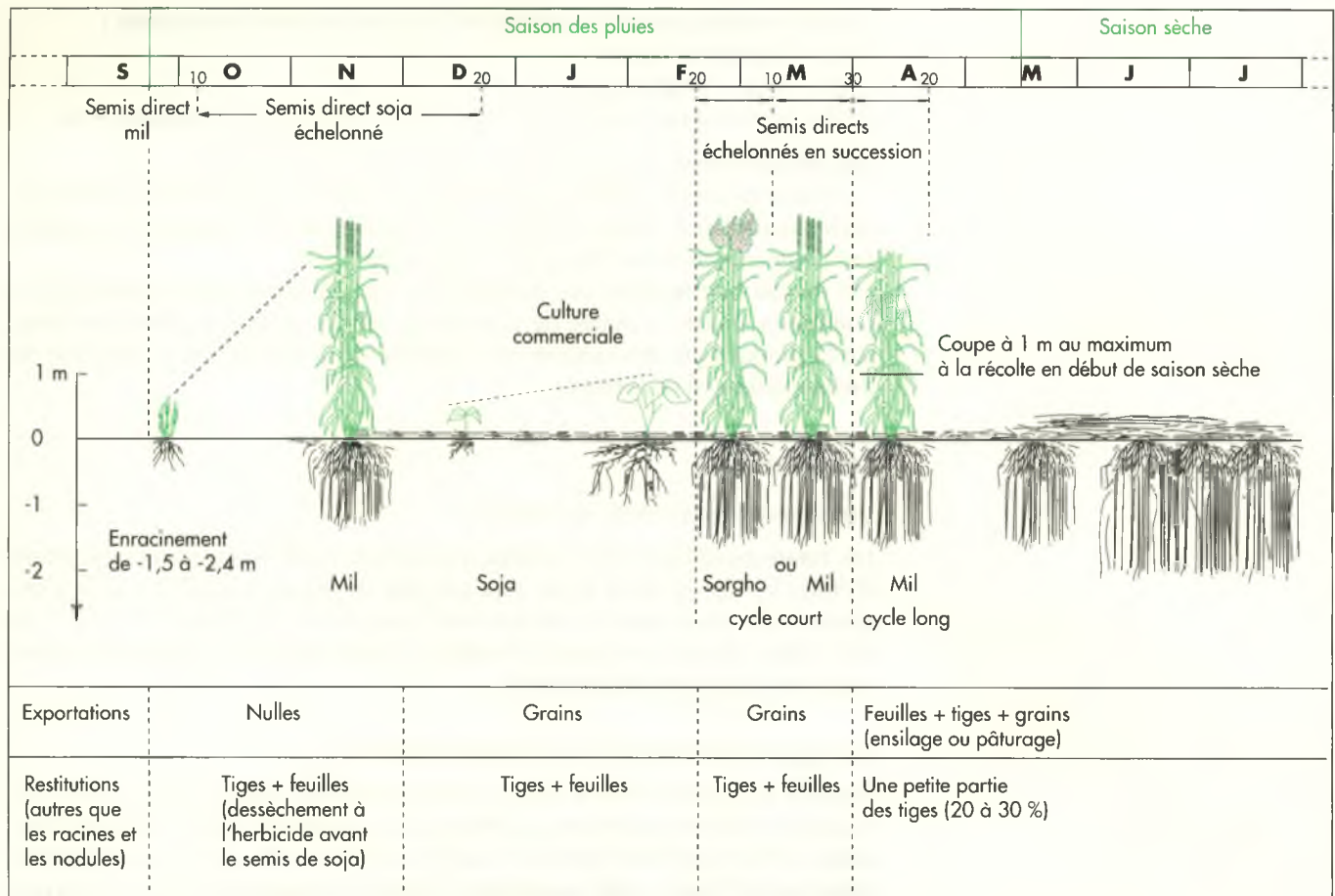


Figure III-2. Système de culture en semis direct utilisant des céréales comme « pompes biologiques » au profit du sol et de la culture commerciale (soja). La succession annuelle donnée en exemple est la suivante : mil + soja / sorgho (ou mil) grains + mil fourrager.

Le semis direct dans les systèmes en rotation et à deux cultures annuelles

Ces systèmes, qui reproduisent en quelque sorte le fonctionnement de l'écosystème forestier, ont été installés dans les unités expérimentales de Sinop, Sorriso et Lucas dans le centre-nord de l'Etat du Mato Grosso et comparés aux mêmes systèmes de culture avec préparation mécanisée des sols.

Le protocole d'essais, conduit en condition d'exploitation réelle

Les essais ont été réalisés dans plusieurs conditions de sols, définies selon l'ancienneté de la mise en culture, en zones de savane et de forêt. Ils constituent de ce fait un échantillon représentatif des diverses situations de fertilité des terres de la région :

- terres de savane, après 18 ans de mise en culture ;
- terres de savane en 1^{re} année de culture après défrichement ;
- terres de savane en 1^{re} et 2^e années de culture après 12 ans de pâturage extensif dégradé à *Brachiaria decumbens* ;
- terres de forêt en 1^{re} année de culture après défrichement, et terres après 13 ans de mise en culture.

Les successions annuelles constituant les rotations sont les suivantes :

- soja + sorgho et ou mil ;
- mil + soja + sorgho et ou mil ;
- riz + *Sesbania* ou *Crotalaria* et inversement *Sesbania* ou *Crotalaria* + riz.

Quatre traitements ont été évalués sur chacune des rotations :

- 2 dates de semis, précoce et tardive, encadrant la période de semis des agriculteurs, pour évaluer l'effet sur la productivité des cultures, la capacité des équipements et leur flexibilité d'utilisation ;
- 2 niveaux de fertilisation, progressif et fort, pour évaluer les effets sur le comportement de la plante de couverture, sur les nuisances phytosanitaires, sur la productivité des cultures et la stabilité de la production en fonction de l'échelonnement des semis.

Les résultats

L'étalement des dates de semis

Les rotations utilisant des cultures d'ouverture ou de succession permettent d'étaler les semis de riz et de soja sur plus de 60 jours après les premières pluies utiles sans perte de productivité importante (tableaux III-2, III-3). De plus, elles offrent une grande flexibilité d'exécution des opérations et une capacité accrue des équipements.

Les apports minéraux : l'exemple du mil

Dans la succession mil + soja + sorgho et/ou mil (figure III-2), le mil est d'abord utilisé en ouverture, au début de la saison des pluies en septembre, pour produire une forte biomasse à partir du 45^e jour (floraison), qui augmente jusqu'au 80^e jour — elle augmente d'ailleurs d'autant plus que le sol reçoit une correction phosphatée de fort niveau. Dans ces conditions, les meilleures variétés de mil (variété ICMV-IS 88102) produisent jusqu'à 16 tonnes par hectare de matière sèche. La seule partie aérienne restitue 160 N, 67 P, 349 K, 46 Ca, 61 Mg, 7 B, c'est-à-dire des quantités très importantes d'éléments fertilisants utilisables par minéralisations pour les cultures, notamment en potassium (tableau III-4).

Le mil en ouverture : couverture rapide du sol

Dans la succession mil + soja + sorgho et/ou mil, rapidement après le semis, le mil d'ouverture recouvre le sol, domine les adventices et s'enracine à une vitesse de 3 centimètres par jour jusqu'à 1,50 à 2,40 mètres de profondeur selon la date de semis du soja, qui a lieu après 45 à 80 jours de croissance du mil (figure III-2). Avant le semis du soja, le mil est desséché sur pied à l'herbicide total, par voie terrestre ou aérienne (720 grammes par hectare de glyphosate + 1 000 grammes par hectare de 2-4 D amine en mélange). Cinq jours après l'application de l'herbicide, le soja est semé directement dans la paille de mil sur pied, qui sera couchée au sol par le semoir.

Tableau III-2. Rendements du soja en fonction des conditions culturales, en kilogrammes par hectare, 3 ans après défrichement de la forêt. Expérimentation conduite sur 20 hectares (Sinop et Sorriso, Etat du Mato Grosso, 1994-1995).

Travail du sol	Correction minérale	Dates de semis du soja		
		début octobre (1)	début décembre 60 jours après (1)	début janvier 90 jours après (1)
Semis direct sur les pailles du mil de fin de cycle et du mil d'ouverture, sol complètement protégé	- progressive	3 260	3 483	1 904
	- forte	3 680	3 370	2 520
Système traditionnel, préparation à l'offset, sol nu	- progressive	2 600	2 100	1 050
	- forte	3 140	2 570	1 615

Tableau III-3. Rendements en soja et en riz pluvial en fonction des conditions culturales et du sol, en kilogrammes par hectare, sur un défrichement récent de la forêt (2 ou 3 ans) et après 12 ans de pâturage en zone de savane. Expérimentation conduite en unités sur 70 hectares pour le soja et 100 hectares pour le riz (Sinop et Sorriso, Etat du Mato Grosso, 1993-1994).

RIZ					
Travail du sol et semis	Correction minérale	2 ^e année de riz (monoculture) sols oxydés* de forêt	3 ^e année de riz (monoculture) sols hydratés* de forêt	Riz après soja (2 ^e année de culture) sols hydratés de forêt	Riz après 12 ans de pâturage sols oxydés de savane
Semis précoce et travail profond	- progressive	3 980	2 171	3 622	3 278
	- forte	4 487	3 044	4 871	5 529
Semis direct tardif* sur <i>Sesbania</i> sp.	- progressive	3 705	2 271	3 233	1 444
	- forte	4 785	2 947	3 805	3 743
Semis tardif* et travail traditionnel à l'offset, sol nu	- progressive	-	-	-	1 199
	- forte	-	-	-	2 903

SOJA				
		Soja après riz sols oxydés de forêt	Soja après 2 ans de riz sols hydratés de forêt	Soja après soja sols hydratés de forêt
Semis précoce et travail profond	- progressive	3 393	3 457	2 776
	- forte	3 316	3 827	3 428
Semis direct tardif* sur les pailles du mil de fin de cycle et du mil d'ouverture, sol complètement protégé	- progressive	2 683	2 219	1 727
	- forte	3 463	2 754	2 628
Semis tardif* et travail traditionnel à l'offset, sol nu	- progressive	2 166	2 177	1 731
	- forte	3 120	2 794	2 907

Semis tardif* : 60 jours après le semis précoce de début octobre.

Sols oxydés* : sols ferrallitiques bien drainés de bonne structure.

Sols hydratés* : sols ferrallitiques très argileux (plus de 50 à 60 % de colloïdes) à mauvais drainage interne.



Mil à haut potentiel de rendement, Fazenda Progresso.

Tableau III-4. Production de matière sèche du mil et teneur en éléments minéraux dans la partie aérienne, après 80 jours de croissance.

Variétés	Fertilisation minérale*	Matière sèche (kg/ha)	Éléments minéraux de partie aérienne (kg/ha)					
			N	P	K	Ca	Mg	S
Mil fourrager	NPK	6 000	62,4	24	138	22	14	18
	thermophosphate	14 000	125	46	344	28	26	28
Mil ICVM IS 88-102	thermophosphate	16 000	163	67	349	46	61	32

* : NPK, fertilisation d'entretien annuelle (correction progressive des déficiences minérales).

Thermophosphate, niveau fort de correction (correction immédiate des déficiences minérales).

La vocation des cultures venant après la culture principale

Les cultures de succession, sorgho (semé avant le mil) et mil, sont implantées en semis direct en fin de saison des pluies, au fur et à mesure de la récolte de soja, sans intrant, excepté un traitement fongicide des semences. Leur production en succession atteint, selon la fertilisation du soja, 900 à 1 900 kilogrammes par hectare pour le sorgho, 300 à 850 pour le mil fourrager et 1 500 à 2 500 pour le mil grain (tableau III-5).

Les cultures de succession ont des vocations multiples, en fonction des variétés. Le grain, d'excellente qualité — à haute teneur en protéines et sans tanin —, peut servir à la panification, à la distillation d'alcool fin, à la fabrication de pâtes et de bière. La plante entière peut être ensilée ou pâturée pour compléter l'alimentation du bétail en saison sèche. Dans ce cas, il faut laisser 50 à 80 centimètres de biomasse sur pied pour maintenir la couverture du sol en saison sèche.

Les performances du soja

Dans ces systèmes, les performances du soja sont toujours très significativement supérieures à celles obtenues avec n'importe quel mode de préparation mécanique du sol, aussi bien en écologie de forêt que de savane, sur sols bien drainés. La correction phosphatée de haut niveau garantit les productivités les plus élevées et les plus stables.

Le riz

Les techniques de semis direct du riz pluvial ont été mise au point avec, comme cultures productrices de biomasse, des légumineuses à fort enracinement pivotants — genres *Sesbania* et *Crotalaria*. Les résultats obtenus sur défriche de forêt et sur pâturage dégradé de savane montrent qu'elles permettent de maintenir la productivité du riz pluvial pour un étalement des semis de plus de 60 jours (tableau III-3) et d'obtenir des rendements de 4 000 kilogrammes par hectare, même en semis tardif.

Conclusion :

des résultats qui dépendent du type de sol

Pour des sols ferrallitiques oxydés et bien drainés, en écologie de forêt ou de savane, l'intérêt majeur des cultures d'ouverture et de succession réside surtout dans leur capacité agronomique à maintenir les rendements des cultures principales (soja, riz) au niveau le plus élevé, pour une période d'étalement du semis de plus de 60 jours, lorsque la fertilisation de correction phosphatée est appliquée.

En revanche, pour les unités de paysage les plus planes et pour des sols très argileux à mauvais drainage, 50-60 % de colloïdes, la paille se décompose très lentement au-dessus du sol lorsque le semis est tardif, tout au moins en première année (tableau III-3). Même si la productivité n'y est pas maintenue sur un étalement des semis de 60 jours, le sol bénéficie, par rapport à la préparation à l'offset, d'une protection complète contre l'érosion. La productivité est alors égale ou supérieure à n'importe quel mode de travail du sol.

Tableau III-5. Rendements moyens des successions annuelles (2 cultures par an), en kilogrammes par hectare, obtenus en conditions d'exploitation réelles, sur 60 hectares d'expérimentation (coopérative COOPERLUCAS, 1994).

Niveau de correction du sol*	Riz + mil fourrager après pâturage		Riz + sorgho après riz + mil		Soja + mil grain	
	riz	mil fourrager	riz	sorgho	soja	mil grain
Progressif	3 371	270	1 851	968	2 847	1 184
Fort, avec application de thermophosphate	4 997	861	2 982	1 969	3 667	2 240

* : NPK, fertilisation d'entretien annuelle (correction progressive des déficiences minérales).

Thermophosphate, niveau fort de correction (correction immédiate des déficiences minérales).



Sorgho en culture de succession du soja, semis direct. Variété à grains blancs sans tannin. Fazenda Progresso.



Vingt jours après le semis direct du soja sur couverture de mil (mil en culture d'ouverture). Fazenda Progresso.

Les successions annuelles en rotation quadriennale et en terre de vieille culture

Ces successions ont connu dès le départ un vif succès auprès des agriculteurs, en particulier à cause de leurs performances agro-économiques et de leur facilité de réalisation : elles ont conquis plus de 2 millions d'hectares entre 1995 et 1996. Il était donc important de rechercher les coûts de production les plus compatibles avec des rendements élevés et stables.

Les résultats qui suivent sont extraits d'une expérimentation de longue durée située sur des terres de vieille culture — 14 ans de culture continue qui a fortement dégradé la structure des sols. Elle vise l'optimisation de la fertilisation minérale, dans le contexte économique très sensible des fronts pionniers.

Dix-huit traitements de fumure minérale sont appliqués à 4 rotations de cultures différentes, intégrant les successions à 2 cultures annuelles en semis direct. Les traitements de fertilisation sont bâtis autour du niveau de fumure de correction progressive des déficiences minérales, qui sert de référence à l'évaluation agro-économique. Les meilleures formules du point de vue économique sont analysées pour la stabilité des rendements et évaluées par rapport aux fumures les plus riches en éléments nutritifs (référence du potentiel).

Les résultats agronomiques (tableau III-6)

L'effet positif de la rotation

L'effet de rotation est toujours plus important que l'effet fumure minérale sur le rendement des cultures.

Prenons le cas du soja. Les rendements du soja sont corrélés positivement avec les quantités les plus élevées de paille précédant la culture, avec un effet cumulatif au cours du temps. En revanche, les rendements sont d'autant plus bas que la sole de soja est répétée dans la rotation. Les gains de production dus à l'effet paille vont de 17 à 27 %, selon la fréquence du soja dans la rotation.

A l'inverse, la production de riz est corrélée positivement à la fréquence du précédent soja : les rendements augmentent de façon spectaculaire avec la fréquence de la sole soja — 126 % d'accroissement en moyenne, toutes fumures confondues — par rapport à des précédents où les pailles dominent (rotation III du tableau III-6). Cette production est en effet corrélée négativement aux quantités de pailles présentes sur le sol : autrement dit, plus les soles de graminées sont fréquentes dans la rotation, plus les rendements en riz sont faibles.

La fertilisation :

l'intérêt du thermophosphate

La fumure N-P-K de fort niveau est appliquée à la ligne de semis sur le riz et le soja et elle est de 25 % supérieure à la fumure recommandée. Elle n'entraîne aucun gain significatif de rendement sur riz (traitements n° 7 et 18 du tableau III-6). En revanche, dans toutes les rotations, le riz pluvial offre les rendements les plus élevés et le meilleur état sanitaire avec des formules contenant du thermophosphate en fumure de fond pour 2 ou 3 ans (traitements n° 14 et 16 du tableau III-6).

Tableau III-6. Effet des interactions entre fumure et rotation sur le rendement du riz pluvial (cultivar CIAT 20) et conséquences économiques. Les données correspondent à la succession culturale pratiquée en troisième année des rotations, c'est-à-dire riz + sorgho. Essais conduits en conditions d'exploitation réelles, sur 16 hectares à la Fazenda Progresso (Lucas do Rio Verde, Mato Grosso).

Fumures (codes)	Rendements (kg/ha)				Coûts de production (dollars US/ha)		Marges nettes (dollars US/ha)	
	Rotation I		Rotation III		Rotation I	Rotation III	Rotation I	Rotation III
	riz	sorgho	riz	sorgho				
n° 2	2 108	501	5 308	614	444	508	- 141	+ 324
n° 5	2 205	727	5 308	880	421	485	- 82	+ 370
n° 7	2 170	915	5 523	1 020	482	553	- 168	+ 334
n° 14	2 564	786	5 469	1 279	491	553	- 102	+ 342
n° 16	3 489	1 836	6 622	2 112	596	661	- 2	+ 462
n° 18	2 194	654	5 142	924	446	507	- 118	+ 319
Moyenne	2 545	902	5 562	1 138	480	544	- 102	+ 358

Les rotations

Rotation I : riz + sorgho - soja + sorgho - riz + sorgho - soja

Rotation III : soja + sorgho - soja - riz + sorgho - soja

Ce tableau présente les résultats de l'année 3 de chaque rotation.

Les fumures au semis

Toutes les formules comportent le même niveau d'azote en couverture sur riz et sur soja (65 kg/ha).

N° 2, fumure NPK recommandée sans calcaire dolomitique (400 kg/ha de 0-20-20 + oligo-éléments sur soja ; 400 kg/ha de 4-20-20 + oligo-éléments sur riz).

N° 5, 1,5t/ha de calcaire dolomitique broyé tous les 3 ans + fumure NPK (250 kg/ha de 0-20-20 + oligo-éléments sur soja ; 250 kg/ha de 4-20-20 + oligo-éléments sur riz).

N° 7, fumure forte NPK (500 kg/ha de 0-20-20 + oligo-éléments sur soja ; 500 kg/ha de 4-20-20 + oligo-éléments sur riz) + 1,5 t/ha de calcaire tous les 3 ans.

N° 14, 1,5 t/ha de thermophosphate tous les 3 ans + 600 kg/ha de gypse tous les 2 ans + 100 kg/ha de KCl par an (+ N au semis du riz).

N° 16, 1,5 t/ha de thermophosphate et 600 kg/ha de gypse tous les 2 ans + 100 kg/ha de KCl par an (+ N au semis du riz).

N° 18, en première année 500 kg/ha de thermophosphate granulé + formule NPK de la fumure n° 7 ; ensuite formule mixte (200 kg/ha de 2-20-20 + 200 kg/ha de superphosphate simple + 80 kg/ha KCl + 20 kg/ha d'oligo-éléments sur soja ; 200 kg/ha de 4-20-20 + 200 kg/ha de thermophosphate granulé + 70 kg/ha KCl + 20 kg/ha d'oligo-éléments sur riz).

Les techniques culturales

Toutes les cultures sont en semis direct, sauf le riz qui est précédé d'une scarification profonde laissant plus de 50 % des résidus de la récolte précédente à la surface du sol.



Semis direct sur résidus de soja, Fazenda Progresso.

Quant au soja, pour atteindre une production de 3 à 4 tonnes par hectare, il faut, outre un important précédent de paille, utiliser des formules à base de thermophosphate + gypse — le soufre étant un élément nutritionnel majeur pour le soja — ou des formules combinant thermophosphate et fumure P-K-S soluble.

L'importance d'une culture d'ouverture réussie

Il faut souligner l'importance d'une bonne installation de la plante d'ouverture productrice de biomasse. En cas d'insuffisance hydrique, la minéralisation de la matière organique au-dessus du sol est très lente, provoquant une sous-alimentation temporaire de la culture principale, en particulier une immobilisation de l'azote. Ces conditions sont souvent réunies lors d'un semis très précoce, aux premières pluies utiles ; il faut alors appliquer une fumure starter compensatrice de 100 kilogrammes par hectare de sulfate d'ammoniaque sous la ligne au semis.

Une utilisation plus souple des équipements

La capacité de travail et la flexibilité d'utilisation des équipements sont nettement supérieures avec le semis direct. Par exemple, à la suite d'une seule pluie de 80 millimètres, on peut déjà réaliser le semis direct seulement 6 heures après la fin de la pluie. De même, en période pluvieuse, lorsque le sol est saturé d'eau, il est possible de semer directement après une heure sans pluie, sans affecter négativement la productivité finale.

Les résultats économiques (tableau III-7)

Parmi les fumures testées, les formules suivantes apportent les plus importants accroissements moyens de revenus et les marges moyennes nettes les plus stables, par rapport à la fumure vulgarisée :

- dans la rotation I (riz + sorgho - soja + sorgho - riz + sorgho - soja), la fumure de fond de 1 500 kg/ha de thermophosphate + 600 kg/ha de gypse (traitement n° 14 du tableau III-7) ;
- dans la rotation II (soja + sorgho - soja + sorgho - soja + sorgho - soja), la fumure mixte thermophosphate + N-P-K soluble ou la formule 500 kg/ha de superphosphate simple + 100 kg/ha de KCl sur le soja (traitement n° 18 du tableau III-7) ;
- dans la rotation III (soja + sorgho - soja - riz + sorgho - soja), les formules annuelles 500 kg/ha de superphosphate simple + 100 kg/ha de KCl et la formule mixte thermophosphate + N-P-K soluble, ou 1 000 kg/ha de thermophosphate + 600 kg/ha de gypse en fond pour 3 ans (traitements n° 14, 16, 18 du tableau III-7).

Les formules à faibles doses d'engrais (traitement n° 5 du tableau III-7) procurent également des marges nettes moyennes équivalentes ou légèrement supérieures à celle de la fumure vulgarisée, alors que la fumure soluble de fort niveau N-P-K (traitement n° 7 du tableau III-7) n'entraîne aucun gain de marge nette pour toute les rotations.

Les coûts d'installation du mil précédant le semis direct du soja sont équivalents ou un peu inférieurs à ceux de préparation des sols à l'offset ou aux socs — c'est-à-dire, en 1996, légèrement inférieurs à 50 dollars nord-américains par hectare, ce qui en garantit l'intérêt pour leur application.



Semis direct de soja
en succession après maïs.
Fazenda Taffarel, Sinop,
Etat du Mato Grosso.



Couverture vivante de *Paspalum*,
50 jours après la récolte de soja,
en début de saison sèche.
COOPERLUCAS,
Etat du Mato Grosso.

Tableau III-7. Moyennes des marges nettes et des gains de marges nettes (en dollars US par hectare) des meilleures fumures minérales par rapport à la fumure recommandée, dans quatre rotations avec successions annuelles conduites en semis direct. Les données correspondent à la moyenne des résultats de toutes les cultures de chaque rotation — 4 ans — (Fazenda Progresso, Mato Grosso).

Fumures (codes)	Rotation I			Rotation II			Rotation III			Rotation IV		
	marge nette	gain	CV % marge	marge nette	gain	CV % marge	marge nette	gain	CV % marge	marge nette	gain	CV % marge
n° 2	+ 64	+ 49	227	+ 102	+ 27	27	+ 153	+ 12	74	+ 118	+ 45	49
n° 5	+ 67	+ 28	155	+ 80	+ 2	66	+ 165	+ 19	86	+ 85	+ 6	79
n° 7	+ 40	- 16	352	+ 73	- 7	70	+ 152	+ 3	80	+ 105	+ 21	39
n° 14	+ 143	+ 91	123	+ 104	+ 25	45	+ 175	+ 42	64	+ 132	+ 67	115
n° 16	+ 118	+ 70	103	+ 112	+ 33	58	+ 176	+ 46	111	+ 93	+ 33	114
n° 18	+ 90	+ 45	164	+ 123	+ 47	42	+ 170	+ 48	66	+ 90	+ 35	83

Les rotations

Rotation I : riz + sorgho - soja + sorgho - riz + sorgho - soja.

Rotation II : soja + sorgho - soja + sorgho - soja + sorgho - soja.

Rotation III : soja + sorgho - soja - riz + sorgho - soja.

Rotation IV : soja - riz + sorgho - soja - riz.

Les traitements de fumure

Ils sont définis au tableau III-6.

Les techniques culturales

Si toutes les cultures sont en semis direct, le riz est toutefois précédé d'une scarification profonde laissant plus de 50 % des résidus de la récolte précédente à la surface du sol.

Le choix de l'agriculteur

Au final, ce sont les conditions de prix offertes au producteur — prix payés pour les récoltes, taux d'intérêt sur le crédit, investissements en correction phosphatée et en machines de semis direct — qui déterminent le choix des rotations. Des études de simulation ont été régulièrement réalisées pour l'aide à la décision des agriculteurs, des coopératives, des banques et des responsables de la politique agricole. Elles ont été très largement utilisées, favorisant la diffusion rapide des systèmes de semis direct à base de soja les plus stables sur le plan économique.

L'intégration de l'élevage à l'agriculture

L'Etat du Mato Grosso possède 15 millions d'hectares de pâturages naturels et cultivés, avec un troupeau de l'ordre de 10,5 millions de têtes (race zébu dominante). L'élevage est extensif, avec moins de 0,5 unité de gros bétail par hectare. Les activités de production de grains et d'élevage sont totalement séparées.

L'intégration de l'élevage à l'agriculture peut améliorer la gestion agronomique des sols à moindre coût, par l'importante biomasse que les graminées fourragères, *Brachiaria brizantha* ou *Panicum maximum* par exemple, produisent au-dessus du sol et dans le profil cultural. La rotation des systèmes de production de grains en semis direct et des pâturages à graminées fourragères doit permettre de construire des systèmes reproductibles, moins dépendants des conditions économiques, qui protègent complètement le sol.

Deux voies complémentaires ont été évaluées depuis 1990 à l'unité expérimentale de la Fazenda Progresso :

- les rotations, sur deux périodes consécutives de 3 ou 4 ans, des systèmes de production de grains et des systèmes d'élevage ;
- les successions annuelles de production de grains et de fourrage, dans lesquelles la culture est installée sur un tapis vivant permanent qui sert de pâturage après la récolte.

Les rotations : 3-4 ans de culture et 3-4 ans de pâturage

A la Fazenda Progresso, les deux étapes suivantes sont maintenant bien maîtrisées :

- l'installation du pâturage, après la culture principale, pour une période de 3 à 4 ans consécutifs ;
- le passage du pâturage à la mise en place des systèmes de production de grains qui s'étendent sur 3 ou 4 ans consécutifs.

L'installation du pâturage en semis direct

Le soja ou le riz sont semés précocement en octobre et récoltés fin février. Au fur et à mesure de la récolte de soja ou de riz, le pâturage est implanté en semis direct — *Panicum maximum* variété Tanzânia ou *Brachiaria brizantha* variété Brizantão dont les semences ont été traitées aux fongicides thiabendazole + thirame.

Ce système a été installé à la Fazenda Progresso sur 400 hectares, avec des résultats remarquables. La charge a été de 2,2 têtes de bouvillons de 27 mois par hectare en saison sèche (84 jours), avec un gain moyen quotidien de 423 grammes par tête. En saison des pluies, la charge a atteint 4 à 6 unités de gros bovin par hectare en pâturage tournant avec clôture électrique. Par rapport au système traditionnel d'élevage extensif, tous les indices zootechniques sont nettement améliorés (tableau III-8).



Agriculture et élevage en activités séparées.
Sud de l'Etat de Goiás.



Bovins de race Nelore sur pâturage
à *Panicum maximum*, Fazenda Progresso.

Tableau III-8. Indices zootechniques de l'élevage traditionnel et de l'élevage intégré à la rotation culturale (Fazenda progresso, Mato Grosso, 1995).

Indices	Système traditionnel	Système intégré
Naissance (%)	55	85
Mortalité (%)	10	5
Age à l'abattage (ans)	4	2 à 2,5
Poids à l'abattage (kg)	255	245
Intervalle entre vélagés (mois)	22	14

La Fazenda Progresso comptait en 1995 un cheptel de 1 500 têtes de bétail sur 400 hectares de pâturage installé depuis 1990. Celui-ci n'a manifesté aucun signe de dégradation après 4 ans d'utilisation intensive, sans fertilisation d'entretien. Ce résultat met en évidence le formidable potentiel de

ces sols lorsqu'ils sont correctement gérés en semis direct, favorisant l'utilisation de la biomasse renouvelable.

Le passage du pâturage à la culture

En fin de saison de pluies (mi-avril), une très forte charge animale est conduite sur le pâturage pour le rabattre au maximum. Ensuite, trois options sont possibles pour reprendre la culture.

La première consiste en un passage d'offset lourd pour incorporer le pâturage, puis un labour profond et dressé au soc. Ensuite, au début de la saison des pluies suivante, l'agriculteur procède à deux opérations : cultivateur à dents sur le labour et semis du riz pluvial. La séquence des 3 ans de cultures en semis direct est alors la suivante :

- 1^{re} année, riz + sorgho en succession ;
- 2^e année, mil en ouverture + soja + sorgho en succession ;
- 3^e année, mil en ouverture + soja + sorgho et/ou mil en succession.

La deuxième option est un traitement à l'herbicide total (glyphosate à la dose de 1 440 g/ha) en fin de saison de pluies. Les opérations se succèdent ainsi : aux premières pluies suivantes, glyphosate sur les repousses et les levées (720 g/ha), puis semis direct du soja, dans lequel le contrôle des repousses éventuelles est effectué à l'herbicide fluazifop P butyl — ou autre molécule graminicide sélective du soja : quizalofop, fenoxaprop, etc.

La troisième possibilité est le passage d'un paraplow, décompacteur à dents obliques, en fin des pluies (début mai), qui provoque la rupture des systèmes racinaires mais qui laisse le profil cultural en place. Aux premières pluies suivantes, glyphosate sur les repousses et levées (720 g/ha), puis semis direct du soja, dans lequel le contrôle des repousses éventuelles sera effectué à l'herbicide fluazifop P butyl. La production de grains peut se poursuivre pendant 3 à 4 ans — 6 à 8 cultures successives — pour revenir au pâturage qui sera implanté en semis direct et exploité à nouveau pour 3 ou 4 années consécutives. Il faut noter que, dans l'expérience de la Fazenda Progresso, les profils racinaires effectués après 18 mois sous *P. maximum* Tanzânia ont révélé un enracinement puissant, supérieur à 2,50 mètres de profondeur, avec des racines très riches en exsudats à partir de 80 centimètres.

Le fonctionnement du pâturage comme une couverture vivante

Dans la succession annuelle production de grains et pâturage, la culture est mise en place sur des tapis permanents qui se maintiennent par rhizomes, stolons ou graines (figure III-3). Ces tapis sont exclusifs des autres espèces, adventices notamment, et doivent présenter une bonne qualité fourragère. Ce sont, parmi les graminées, *Cynodon dactylon* (variétés hybrides Tifton en particulier), *Paspalum notatum* (nombreuses variétés), *Pennisetum clandestinum* (plusieurs variétés), genres *Axonopus*, *Stenotaphrum*, etc. Parmi les légumineuses, on peut citer *Arachis pintoi*, *A. repens*, *Lotus uliginosus*, *L. corniculatus*, *Trifolium semipilosum*, *Tephrosia pedicellata*, *Calopogonium mucunoides*, *Stizolobium aterrimum*, *Pueraria phaseoloides*, etc.

Tableau III-9. Teneurs moyennes en matière organique après 3 ans de semis direct, sur tapis de *Paspalum* sp. ou sur pailles (Fazenda Progresso, Mato Grosso, 1992).

Horizon du sol (cm)	Matière organique (%)	
	sous résidus (pailles)	sous tapis (<i>Paspalum</i>)
0-10	2,5	3,1
10-20	2,7	3,3
20-30	2,6	3,2

Chaque année, après la récolte de grains, c'est-à-dire en début de saison sèche, le tapis sert au pâturage ou à la production de foin ; c'est en effet à cette période que le besoin en fourrage est le plus important.

Les techniques d'installation

Le principe est d'installer ces tapis vivants dans une culture pour ne pas immobiliser de surface productive, par semences ou par boutures suivant les espèces. La compétition précoce entre la culture et le tapis en voie d'installation est annulée par l'emploi d'herbicides ou d'inhibiteurs de croissance sélectifs, jusqu'à ce que la culture recouvre totalement le sol. Sous l'ombrage de la culture, la compétition est réduite au minimum. Après la récolte, le tapis recouvre rapidement le sol et peut être pâturé par les animaux ou exploité sous forme de foin, dans le cas des légumineuses et des cynodons. L'année suivante, lors de la reprise de végétation aux premières pluies, pour les graminées pérennes, l'herbicide paraquat est appliqué en 2 fois à 5 jours d'intervalle (200 g/ha puis 100 à 200 g/ha). Puis le soja est semé directement et l'herbicide fluazifop P butyl est utilisé en post-émergence à doses faibles (72 g/ha de matière active) pour ne pas détruire les rhizomes, jusqu'à ce que le soja recouvre totalement le sol — pour cela, il faut choisir des variétés de soja à fort développement végétatif initial. Ce système diminue les coûts de production de près de 30 % par rapport au système de semis direct sur pailles de riz. Il peut encore être amélioré en utilisant, à la place d'un herbicide de contact avant le semis direct du soja, un régulateur de croissance à faible dose — méfluidide à la dose de 100 g/ha sur *Pennisetum clandestinum*. Les techniques d'application d'herbicides sont maintenant au point pour la plupart des cultures annuelles pratiquées sur ce système permanent (soja, maïs, sorgho). Les opérations culturales sont réduites au minimum : herbicide de contact juste avant le semis direct, herbicide de post-émergence à faible dose, récolte.

Ce système est également un excellent pourvoyeur en matière organique des sols ferrallitiques rouges-jaunes des fronts pionniers humides de l'ouest brésilien (tableau III-9). En outre, certaines observations convergentes, obtenues au Brésil, en Afrique, à Madagascar et à la Réunion, montrent que ce type de systèmes est le plus apte à développer une très forte activité de la faune. Le cas du bousier *Diloboderus abderus* sous tapis de *Calopogonium* à la Fazenda Progresso est éloquent à cet égard. Les vers de terre, en sols ferrallitiques acides et en sols à allophanes, connaissent un développement extraordinaire sous les graminées à stolons des genres *Paspalum* et *Pennisetum* (SEGUY *et al.*, 1992 ; MICHELLON et PERRET, 1996).

L'exemple du système *Calopogonium mucunoides* et une culture de cycle court

Le système *Calopogonium* + maïs ou sorgho ou riz de cycle court n'est pas pâturé — mais il peut l'être en sec. Son intérêt réside dans son efficacité à réduire les coûts de production pour les systèmes à base de céréales. Il a été mis en place d'abord à la Fazenda Progresso, où il a permis d'atteindre les plus hautes productions de maïs — 6,5 tonnes par hectare — sur la période 1986-1992. Il a été implanté plus récemment sur l'unité expérimentale de la COOPERLUCAS où le rendement du maïs a dépassé 9,2 tonnes par hectare en 1994. En pré-Amazonie sur le projet AGRIPÉC, entre 1989 et 1992, il a permis de diminuer de moitié les doses d'engrais minéral et d'herbicide en ne les appliquant qu'un an sur deux, dans la rotation maïs + *Calopogonium* (avec intrants) - sorgho + *Calopogonium* (sans intrant).



Système semis direct maïs + *Calopogonium*, Fazenda Progresso.

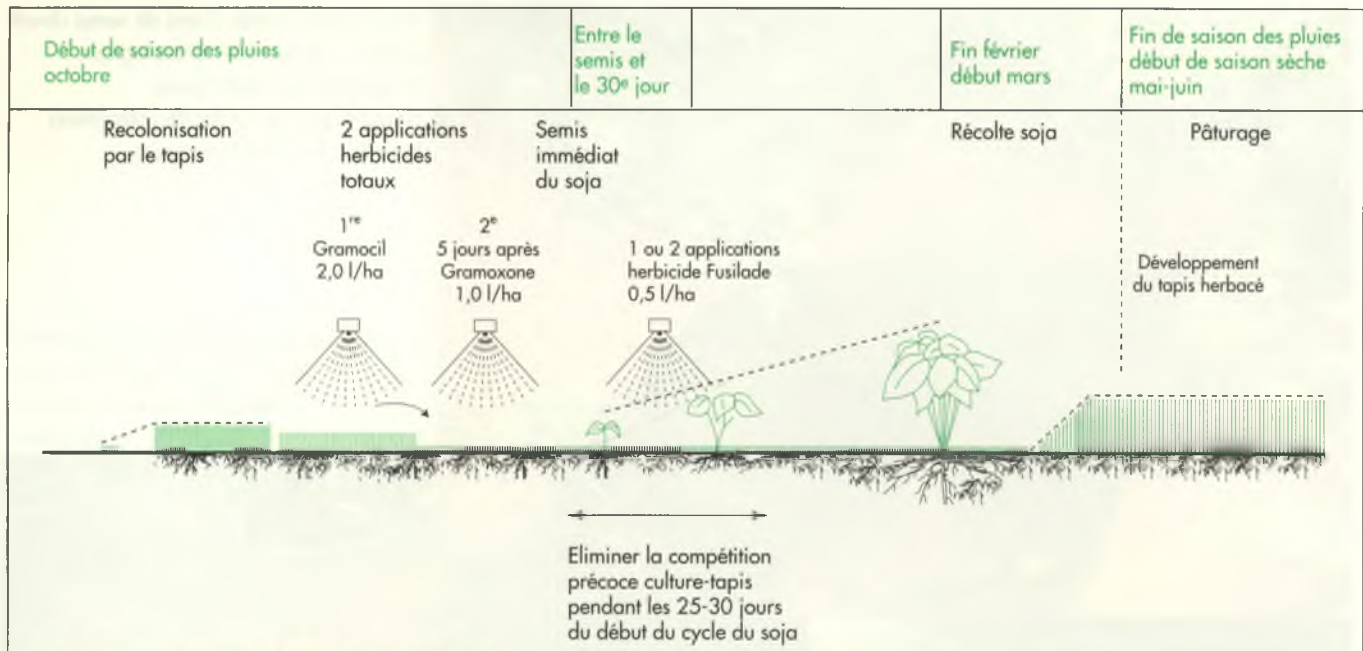


Figure III-3. Les systèmes cultures + couverture permanente herbacée fourragère.

Ces systèmes sont fondés sur la pratique du semis direct et l'élevage est associé à la production de grains.

L'exemple donné est la culture principale de soja sur tapis vivant de *Paspalum notatum* cv. Pensacola.

Le *Calopogonium* est semé à la volée avant, ou en même temps, que la culture principale, mélangé à l'engrais. Les herbicides de pré-émergence pendiméthaline et alachlore sont sélectifs du *Calopogonium*, respectivement dans le riz et le maïs. Après la récolte des céréales, le *Calopogonium* couvre complètement le sol à raison d'une masse de 8 à 10 tonnes par hectare de matière sèche ajoutée aux résidus de récolte. Ses grains tombent sur le sol à maturité et assurent sa pérennité pour le cycle suivant. Eventuellement, l'année suivante, avant le semis direct, l'herbicide de contact diquat peut être utilisé, ou les herbicides triclopyr, fluoroxypr — ce dernier étant sélectif du maïs. Les mêmes itinéraires peuvent être construits avec les légumineuses des genres *Pueraria*, *Tephrosia*, *Centrosema*, *Macroptilium*, *Stizolobium*, *Dolichos*, etc.

Réaménagement de l'espace rural

Sur tous les fronts pionniers agricoles, la motorisation a systématiquement induit un défrichement quasi total, à l'exception des forêts galeries bordant les fleuves, laissant ainsi des immensités dénudées et ouvertes aux vents, à l'érosion, à l'élimination des prédateurs...

Il est important de réaménager cet espace rural ouvert en créant un bocage, régulateur climatique et biologique. Le CIRAD mène des expérimentations dans ce sens depuis 1992 sur les fronts pionniers de l'ouest brésilien. Deux voies sont actuellement en cours d'étude. La première est la construction de terrasses de base large — dispositifs antiérosifs — plantées sur 1 mètre de large au sommet, sans gêner la culture motorisée, avec des espèces fourragères à très forte production de biomasse et résistantes à la sécheresse : Bana grass, hybride stérile entre *Pennisetum purpureum* et *P. typhoides*, *P. purpureum*, *Tripsacum laxum* ; leur reproduction doit être exclusivement végétative pour ne pas polluer les parcelles de culture (plantation par



Profil cultural après 5 ans de semis direct continu. Intense activité biologique : 20 galeries au mètre carré, creusées par les larves de coléoptères bousiers. Fazenda Progresso.

Profil cultural sous culture d'ouverture de mil, 45 jours après le semis. MAEDA, Fazenda Recanto, Etat de Goiás.



Nodulation du soja, en semis direct sur pailles de mil. Fazenda Progresso.

Semis direct de riz pluvial sur couverture morte de résidus de riz pluvial et *Calopogonium*. Projet SULAMERICA, Etat de Piauí.



boutures). La seconde voie s'appuie aussi sur les terrasses de base large maïs, dans ce cas, semées aux premières pluies en maïs ou sorgho. Après la récolte du maïs ou du sorgho (grains ou ensilage), le mil à cycle court est semé directement sur une partie des terrasses pour la production de grains ; sur l'autre partie, sont installés des mils ou des sorghos de cycles longs, non photosensibles, donnant beaucoup de matière verte pour la saison sèche. Cette matière verte peut servir à la couverture du sol — recyclage de la matière organique en surface, protection du sol — ou à l'alimentation des animaux en vert ou en ensilage.

Conclusion

La clé : semis direct et plantes de couverture

La gestion agrobiologique des sols est fondée sur le fonctionnement de la forêt ombrophile et adaptée à l'activité agricole. Le sol est totalement protégé contre l'érosion par une forte biomasse en surface produite par les résidus de récolte, auxquels s'ajoute la biomasse annuelle des cultures d'ouverture ou de succession. Ces dernières sont implantées en semis direct avant ou après la culture principale commerciale. Elles constituent de véritables « pompes biologiques » pour les cultures principales. Elles apportent des éléments minéraux dont elles minimisent les pertes ; elles maintiennent une structure stable du profil cultural ; elles permettent un meilleur contrôle des adventices et du complexe parasitaire.

Trois types de système testés au Brésil

Trois types de système de culture ont été construits et testés :

- les systèmes de production de grains à 2 cultures annuelles en semis direct (1 culture principale + 1 culture en précédent et/ou en succession jouant le rôle de « pompe biologique »). Ce sont les successions mil + soja + sorgho et/ou mil, soja + sorgho et/ou mil, riz + sorgho et mil, crotalaire + riz, qui peuvent être organisées en diverses rotations selon la conjoncture économique ;
- les systèmes mettant en rotation la production de grains en semis direct pendant 3 ou 4 ans et un pâturage de 3 ou 4 ans ;
- les systèmes permanents de production de grains sur tapis végétaux pérennes pâturés ou fauchés chaque année, après la récolte de grains.

Les facteurs biologiques d'une forte productivité

Les résultats agro-économiques obtenus sur les systèmes à deux cultures annuelles, en succession et en semis direct, montrent que les facteurs biologiques sont prépondérants pour l'obtention de hautes productivités, stables et à moindre coût, avec une pluviométrie annuelle de 2 000 à 3 000 millimètres, sur les sols ferrallitiques de savane et de forêt de l'ouest brésilien.

Le niveau de fumure minérale est secondaire, dès lors qu'il n'est pas limitant, devant l'importance du mode de gestion de la matière organique. La consommation d'engrais est dérisoire dans ces systèmes en semis direct, en regard des productivités obtenues par unité de surface. La correction de l'acidité (toxicité aluminique) est facilement contrôlée puisque le système de culture est « fermé » à l'image de l'écosystème forestier — pertes minimales en azote, potassium, calcium et magnésium.



Elevage, Etat de Goiás.

Des équipements mieux valorisés, des coûts de production en baisse

La capacité des équipements mécanisés est multipliée par 1,5 à 1,8 par rapport à celle des systèmes traditionnels, avec une flexibilité d'utilisation accrue, due aux techniques de semis direct et à une meilleure organisation des calendriers culturaux — échelonnement des semis et des récoltes. Les coûts de production diminuent de plus de 20 % par rapport aux mêmes systèmes avec travail du sol.

Une adoption rapide : 2,2 millions d'hectares en 5 ans

Les systèmes intégrant la production de grains et l'élevage restent encore au stade expérimental et n'en sont, pour l'instant, qu'à un degré modeste d'adoption par les agriculteurs. Notons toutefois qu'ils offrent tous les atouts pour exploiter au moindre coût les potentiels hydriques et photosynthétiques des zones tropicales humides des fronts pionniers. En revanche, les systèmes en semis direct à deux cultures annuelles en succession, testés depuis plus longtemps, intéressent particulièrement les agriculteurs. Ces technologies occupent aujourd'hui, en 1997, plus de 60 % des surfaces cultivées sur les fronts pionniers. Elles ont d'ailleurs très largement débordé ce cadre, puisqu'elles ont conquis, entre 1991 et 1997, 2,2 millions d'hectares principalement dans les Etats de Goiás — où la pluviométrie est comprise entre 1 200 et 1 600 millimètres —, du Mato et du Mato Grosso do Sul.

Fixer l'agriculture et épargner la forêt

Les solutions techniques et agronomiques existent donc pour exploiter ce vaste réservoir des sols acides de la zone tropicale humide du Brésil. Les systèmes de culture créés doivent permettre la fixation d'une agriculture durable, diversifiée, rentable et capable de protéger et d'augmenter le potentiel des sols. Le succès de la mise en pratique de ces techniques dépend aujourd'hui davantage des mesures adoptées par la politique agricole brésilienne que de nouvelles solutions pratiques. Ces mesures doivent être prises rapidement pour tirer parti, au profit de l'économie brésilienne, du grenier à grains constitué par les savanes humides de l'ouest. Elles sont d'autant plus urgentes que les fronts pionniers ont atteint la bordure de la forêt amazonienne. Ce soutien à la fixation d'une agriculture durable en zones de savane est prioritaire pour épargner la forêt dans les années à venir. Enfin, les systèmes de gestion agrobiologiques des sols, adaptés aux frontières agricoles brésiennes, déjà pratiqués sur de vastes surfaces, constituent des voies d'amélioration de l'agriculture tropicale transférables aux écologies similaires dans d'autres régions du monde.



Interface forêt-savane,
préfecture de Sorriso,
Etat du Mato Grosso.

Bibliographie générale

- ALMEIDA F. S., 1983. Levantamento da evolução e incidência de plantas daninhas. *In* Avaliação de sistemas de cultivos em rotações de culturas, VIERTA M (Ed.). IAPAR, Londrina (PR), Brésil, p. 9-11.
- ALMEIDA F. S., RODRIGUES B. N. E., OLIVEIRA V. F., 1985. Guia de herbicidas. IAPAR, Londrina (PR), Brésil, 482 p.
- BORGES G., 1996. Editorial. *Revue Plantio direto* 36 : 2. Editée par Aldeia Norte Editora Ltda, Passo Fundo (RS), Brésil.
- CASTRO FILHO C., MONDARDO A., BISCAIA R. M., 1980. Perdas por erosão em trigo, soja, milho e algodão através de chuvas simuladas. *In* Encontro nacional de pesquisa sobre conservação de solo, Recife (PE), Brésil, 42 p.
- CIMMYT, 1985. Introduction to economic analysis of on-farm experiments. Draft book. CIMMYT, Mexico, Mexique, 104 p. + annexes.
- DERPSCH R., SIDIRAS N., HEINZMANN F.X., 1984. Influência da abubação verde de inverno sobre as culturas de verão em latossolo roxo distrófico. Efeito residual de coberturas verdes de inverno sobre a rendimento das culturas de verão. Pesquisa AGROPECUARIA, Brasília (DF), Brésil, 26 p.
- FARIAS G. S., RODRIGUEZ A. P. M., 1983. Comparação de dois métodos de infiltração de água no solo. IAPAR, Londrina (PR), Brésil, 9 p.
- FILLONEAU C., 1986. Analyse de l'intérêt d'une gestion contrôlée de systèmes de culture sous contraintes liées à certains types d'opérations de développement. ORSTOM, Bouaké, Côte d'Ivoire, 20 p.
- FILLONEAU C., GERMAIN N., POUSSIN J.-C., SERPANTIE G., 1983. Recherche en agronomie générale en rapport avec la mise en œuvre des nouvelles technologies par le développement : cheminement et expérience du laboratoire d'agronomie ORSTOM de Bouaké. Communication présentée à l'atelier OFRIC, Bouaké, Côte d'Ivoire, 15-17 décembre 1983. Ministère de l'éducation nationale et de la recherche scientifique, Abidjan, Côte d'Ivoire ; ORSTOM, Bouaké, Côte d'Ivoire, 26 p.
- IGUE K., 1984. Dinâmica da matéria orgânica e seus efeitos nas propriedades do solo. *In* Adubação verde no Brasil. Fundação CARGILL, Campinas (SP), Brésil, p. 232-267.
- LAL R., GREENLAND D. J. (Eds), 1979. Soil physical properties and crop production in the tropics. Wiley, New-York, Etats-Unis, 566 p.
- LENA P., 1988. Diversidade da fronteira agrícola na Amazônia em fronteiras. Editora Universidade de Brasília, Campus Universitário, Asa Norte, 70910 Brasília (DF), Brésil, p. 90-129.
- LOPES A. S., 1984. Solos sob cerrados. Características, propriedades e manejo. Associação brasileira para pesquisa da potassa e do fósforo, CP 400-13400-700, Piracicaba (SP), Brésil, 162 p.
- LORENZI H., 1984. Considerações sobre plantas daninhas no plantio direto. *In* Plantio direto no Brasil. Fundação CARGILL, Campinas (SP), Brésil, p. 13-46.
- MACHADO J. A., BRUM A. C. R., 1978. Efeitos de sistemas de cultivo em algumas propriedades físicas do solo. *Revista Brasileira de ciencias do solo*, Campinas (SP), Brésil, 2 (2) : 81-84.
- MAZUCHOWKI J. Z., DERPSCH R., 1984. Guia de preparo do solo para as culturas anuais mecanizadas. ACARPA, Londrina (PR), Brésil, 68 p.
- MEYNARD J.-M., 1985. Construction d'itinéraires techniques pour la conduite du blé d'hiver. Thèse de docteur-ingénieur, INA-PG, Paris-Grignon, France, 297 p.
- MICHELLON R., PERRET S., 1996. Conception de systèmes agricoles durables avec couverture herbacée permanente pour les Hauts de la Réunion. *In* actes du Symposium international Recherches-système en agriculture et développement rural, SEBILLOTTE M. (éditeur), Communications 1 008 p. + supplément 48 p., Conférences et débats 476 p., CD-ROM, Montpellier, France, 21-25 novembre 1994. CIRAD-SAR, Montpellier, France, p. 507-508.
- MONDARDO A., BISCAIA R. M., 1981. Controle da erosão. *In* Plantio direto no estado do Parana. IAPAR, circular 23, Londrina (PR), Brésil, p. 33-42.
- MUZILLI O., 1981. Manejo da fertilidade do solo. *In* Plantio direto no estado do Parana. IAPAR, circular 23, Londrina (PR), Brésil, 43-57.
- NYE P. H., 1961. Organic nutrient cycles under a moist tropical forest. *Plant and soil* 13 : 333-346.
- PICARD D., SEGUY L., BISSON P., 1996. Système de culture et fixation de l'agriculture en conditions pluviales dans les régions tropicales. *In* actes du Symposium international Recherches-système en agriculture et développement rural, SEBILLOTTE M. (éditeur), Communications 1 008 p. + supplément 48 p., Conférences et débats 476 p., CD-ROM, Montpellier, France, 21-25 novembre 1994. CIRAD-SAR, Montpellier, France, p. 301-305.
- RESCK D. V. S., 1981. Parâmetros conservacionistas dos solos sob vegetação de cerrados. Planaltina, EMBRAPA-CPAC, circular técnica 6, Brasília (DF), Brésil, 32 p.
- ROBERT M., 1992. Le sol, ressource naturelle à préserver pour la production et l'environnement. *Cahiers agricultures* 1(1) : 20-34.
- SANCHEZ P. A., 1976. Properties and management of soils in the tropics. Wiley Interscience, New-York, Etats-Unis, 618 p.
- SANDERS J. H., ROTH M., 1985. Développement et évaluation de nouveaux systèmes de production agricole : quelques résultats de terrain et résultats modèles obtenus au Burkina Faso pour les billons cloisonnés et la fertilisation. *In* Technologies appropriées pour les paysans des zones semi-arides de l'Afrique de l'Ouest, OHM et NAGY (Eds), University of Purdue, West Lafayette, Etats-Unis, p. 388-402.
- SEBILLOTTE M. (éditeur), 1996. Recherche-système en agriculture et développement rural. Actes du Symposium international, Montpellier, France, 21-25 novembre 1994, Communications 1 008 p. + supplément 48 p., Conférences et débats 476 p., CD-ROM. CIRAD-SAR, Montpellier, France.
- SEGUY L., BOUZINAC S., BARON C., OLIVIERA E. T., TEIXEIRA S. M., YOKOYAMA L., PACHECO A., SILVA I., 1990a. Première évaluation de l'adoption par les agriculteurs du centre-ouest brésilien des technologies mises au point par la recherche franco-brésilienne. MAE, CIRAD-IRAT, Montpellier, France, 55 p.
- SEGUY L., BOUZINAC S., YOKOYAMA L., 1990b. Evaluation de l'adoption par les agriculteurs du centre-ouest brésilien des technologies mises au point par la recherche franco-brésilienne. Seconde phase 1989-1990. CIRAD-IRAT, Montpellier, France, 118 p.
- SEGUY L., BOUZINAC S., PIERI, 1991. An approach to the development of sustainable farming systems. *In* Evaluation of sustainable land management in the developing world. Technical papers. ISBRAM, Proceedings n° 12, vol. II, Bangkok, Thaïlande.
- SEGUY L., BOUZINAC S., MATSUBARA M., 1992a. Gestão e manejos dos solos e das culturas nas fronteiras agrícolas dos cerrados úmidos do centro-oeste brasileiro. Destaques 1991 e síntese atualizada 1986-1991. CIRAD-CA, Montpellier, France, 107 p.
- SEGUY L., BOUZINAC S., PACHECO A., 1992b. Un test simple à l'usage des agronomes et des sélectionneurs pour évaluer l'enracinement du riz pluvial. *L'Agronomie Tropicale* 46 : 353-357.
- SEGUY L., 1993. Systèmes de culture pour la région centre-nord de l'Etat du Mato Grosso. COOPERLUCAS, RHODIA AGRO SA, CIRAD-CA. CIRAD-CA, Montpellier, France, 58 p.
- SEGUY L., BOUZINAC S., 1994. Contribution à l'étude et la mise au point des systèmes de culture en milieu réel. Petit guide d'initiation à la méthode de création-diffusion de technologies en milieu réel. Résumés de quelques exemples significatifs d'application. CIRAD-CA, Montpellier, France, 191 p.
- SEGUY L., BOUZINAC S., TRENTINI A., 1996. Gestion de la fertilité dans les systèmes de culture motorisée en zone tropicale humide. Le cas des fronts pionniers du Mato Grosso au Brésil. *In* Actes du séminaire Fertilité du milieu et stratégies paysannes sous les tropiques humides, PICHOT J., SIBELET N., LACCEUILHE J.-J. (éditeurs), Montpellier, France, 13-17 novembre 1995. Collection Colloques, CIRAD-SAR, Montpellier, France, p. 439-450.
- SOUZA D. M. G., DE MIRANDA L. N., LOBATO E., 1987. Interpretações de análises de terra e recomendações de adubos fosfatados para as culturas anuais nos cerrados. Planaltina, EMBRAPA-CPAC, comunicado técnico 51, Brasília (DF), Brésil, 7 p.
- STEINMETZ S., REYNIERS F.-N., FOREST F., 1988. Caracterização do regime pluviométrico e do balanço hídrico do arroz de sequeiro em distintas regiões produtoras do Brasil. EMBRAPA-CNPAP, Goiânia (GO), Brésil, 278 p.
- TRIOMPHE B., 1989. Méthodes d'expérimentation agronomique en milieu paysan. Approche bibliographique. Collection Mémoires et travaux de l'IRAT 19. CIRAD-CA, Montpellier, France, 223 p.
- VAN RAIJ B., 1991. Fertilidade do solo e adubação. Ed. Agronômica Ceres Ltda, São Paulo (SP), Brésil, 343 p.
- ZANDSTRA H. G., 1979. Cropping systems research for the asian rice farmer. *Agricultural Systems* 4 (2) : 135-153.

Résumé

L. SEGUY, S. BOUZINAC, A. TRENTINI, N. A. CORTES — **L'agriculture brésilienne des fronts pionniers.**

- I- La méthode de création-diffusion agricole.
- II- La gestion de la fertilité par le système de culture.
- III- Le semis direct, un mode de gestion agrobiologique des sols.

Les fronts pionniers agricoles du Brésil ont atteint, depuis les années 80, la zone tropicale humide de l'ouest en bordure du bassin amazonien, en savanes (cerrados) de sols acides, sous une pluviométrie annuelle comprise entre 2 000 et 3 000 millimètres. Les agriculteurs pionniers, venus des Etats du sud, ont apporté leur pratique de travail du sol aux disques et la monoculture de soja, en mettant en valeur des exploitations fortement motorisées, de 200 à 2 000 hectares. Ce système a conduit à une érosion catastrophique du sol. La recherche franco-brésilienne et ses partenaires du développement sont intervenus à partir de 1986 et ont mis en évidence les dégradations du milieu cultivé, ainsi que l'isolement économique de ces zones. Une démarche agronomique participative, appelée création-diffusion, a été élaborée dans différentes régions brésiennes, dont les cerrados de l'ouest. Elle a pour but essentiel de proposer aux agriculteurs et aux professionnels des filières agricoles des systèmes de culture compatibles avec un développement régional durable, reproductibles à grande échelle et au moindre coût. Cette expérience souligne que la gestion de la fertilité des sols acides dégradés ne peut être dissociée de celle du risque économique, qui passe nécessairement par la mise au point d'un large choix de systèmes diversifiés, aujourd'hui diffusés sur plus de 2 millions d'hectares dans l'ouest et le centre-ouest du Brésil. Sur le plan de la diversification des cultures, ils s'appuient sur la production de grains ou de fourrages (soja, riz pluvial, maïs, sorgho, mil, légumineuses et graminées fourragères, plantes de couverture...), associée ou non à l'élevage, à raison d'une ou deux cultures par an. Les successions annuelles sont intégrées dans des rotations triennales ou quadriennales. Sur le plan des techniques culturales, les systèmes les plus performants et novateurs utilisent systématiquement le semis direct : les cultures principales commerciales — soja, riz pluvial, maïs — sont implantées en semis direct sur d'importantes couvertures végétales fournies, au moindre coût, par des cultures de mil, de sorgho ou de *Crotalaria* qui précèdent et succèdent la spéculiation principale. Celles-ci fournissent grains ou fourrages et surtout une grande quantité de biomasse nécessaire à l'entretien de la fertilité ; elles assurent une couverture végétale permanente du sol cultivé, le protégeant totalement de l'érosion. Elles sont de puissants recycleurs des éléments nutritifs lixiviés en profondeur ; les pertes en éléments fertilisants dans le système sol-plante sont minimales. Les rendements obtenus atteignent plus de 6 tonnes par hectare en maïs grain, 3 à 4 tonnes en soja et plus de 4 tonnes en riz pluvial. Du point de vue de l'agriculteur, ces systèmes apparaissent productifs, lucratifs, stables et offrent une capacité accrue des équipements et une meilleure flexibilité d'utilisation.

Mots-clés : diagnostic agronomique régional, modélisation, système de culture, érosion, fertilité du sol, semis direct, plante de couverture, fertilisation, riz pluvial, soja, maïs, mil, sorgho, zone tropicale humide, Brésil.

Abstract

L. SEGUY, S. BOUZINAC, A. TRENTINI, N. A. CORTES — **Brazilian frontier agriculture on newly cleared land.**

- I- The agricultural generation plus extension method.
- II- Fertility management using cropping systems.
- III- Direct drilling, an organic method of soil management.

Since the 1980s, Brazilian agriculture has extended to the humid tropical edge of the Amazon basin in western Brazil and onto the acid soils of the savannah (cerrados) where annual rainfall ranges from 2 000 to 3 000 mm. Frontier farmers, coming from the southern states, have introduced soybean monocultures and disc tillage techniques to develop highly mechanised farms of 200-2 000 ha. These farming practices have caused soil erosion on a catastrophic scale. Since 1986, the Franco-Brazilian research team and its development partners have demonstrated the extent of crop land degradation and the economic isolation of these areas. A participatory method of agricultural development, known as generation plus extension, has been developed in the western cerrados and a number of other regions of Brazil. The aim of development-extension is to propose cropping systems to farmers and professional agents in agricultural subsections that are compatible with sustainable regional development and which can be reproduced inexpensively on a large scale. This experience has revealed that management of fertility of degraded acid soil cannot be separated from economic risk, which has led to the development of a wide range of diversified agricultural systems now spread over more than 2 Mha of land in western and central western Brazil. Crop diversification is based on the production of one or two cereal or forage crops per year (soybean, rainfed rice, maize, sorghum, millet, leguminous crops, forage grasses, cover crops, etc.), which may be associated with livestock production. The annual crop sequences are integrated into 3 or 4 year rotations. The most productive and innovative systems all use direct drilling: the main commercial crops — soybean, rainfed rice, maize — are sown directly into a well-established and inexpensive cover crop such as millet, sorghum or *Crotalaria*, which precedes and succeeds the main cash crop. These cover crops produce cereals or fodder and a large amount of biomass which is necessary for maintaining fertility. In this way there is permanent plant cover to protect the soil from erosion. Cover crops are important in recycling nutrients that have been leached deep into the soil and thus there is minimum nutrient loss in the soil-plant system. Yields of more than 6 t of maize, 3-4 t of soybean and more than 4 t of rainfed rice per hectare have been attained. Farmers regard these systems as productive, profitable, stable and consider that they optimise and offer flexibility for the use of machinery.

Key words: regional agricultural diagnostic survey, modelling, cropping system, erosion, soil fertility, direct drilling, cover crop, fertilisation, upland rice, soybean, maize, millet, sorghum, humid tropic, Brazil.

Resumen

L. SEGUY, S. BOUZINAC, A. TRENTINI, N. A. CORTES — **La agricultura brasileña de los frentes colonizadores.**

- I. El método de creación-difusión agrícola.
- II. La gestión de la fertilidad por el sistema de cultivo.
- III. La siembra directa, un modo de gestión agrobiológica de los suelos.

Desde los años ochenta, los frentes colonizadores agrícolas del Brasil han alcanzado la zona tropical húmeda del oeste a orillas de la cuenca amazónica, en sabanas (cerrados) de suelos ácidos, bajo una pluviometría anual comprendida entre 2 000 y 3 000 milímetros. Los agricultores colonizadores, procedentes de los Estados del sur, han aportado su práctica laboral del suelo con discos y el monocultivo de soja, valorizando así las explotaciones muy motorizadas de 200 a 2 000 hectáreas. Sin embargo, este sistema ha generado una erosión catastrófica del suelo. La investigación franco-brasileña y sus colegas del desarrollo intervinieron a partir de 1986, poniendo de relieve las degradaciones del medio cultivado, así como el aislamiento económico de dichas zonas. Se ha implantado una acción agronómica participativa, llamada creación-difusión, en diferentes regiones brasileñas, incluidos los cerrados del oeste. Su principal objetivo es proponer a los agricultores y los profesionales de los sectores agrícolas sistemas de cultivo compatibles con un desarrollo regional duradero, reproducibles a gran escala y al menor costo. Esta experiencia subraya el hecho de que la gestión de la fertilidad de los suelos ácidos degradados no puede disociarse de la del riesgo económico, que requiere necesariamente poner a punto una amplia variedad de sistemas diversificados, que hoy se difunden en más de dos millones de hectáreas en el oeste y el centro-oeste del Brasil. En lo referente a la diversificación de los cultivos, ésta se basa en la producción de granos o forrajes (soja, arroz de secano, maíz, sorgo, mijo, leguminosas, gramíneas forrajeras, cultivos de cobertura, etc.), asociada o no a la ganadería, a razón de uno o dos cultivos por año. Las sucesiones anuales se integran en rotaciones trienales o cuatrienales. Respecto a las técnicas de cultivo, los sistemas más eficaces e innovadores utilizan sistemáticamente la siembra directa: los principales cultivos comerciales (soja, arroz de secano, maíz) se implantan en siembra directa sobre vastas coberturas vegetales proporcionadas, al menor costo, por cultivos de mijo, sorgo o cáñamo de Bengala, que preceden o suceden a la especulación principal. Estas plantas suministran granos o forrajes y, sobre todo, gran cantidad de biomasa necesaria para la conservación de la fertilidad; además, proporcionan una cobertura vegetal permanente del suelo cultivado, protegiéndolo totalmente de la erosión, y son potentes recicladores de los elementos nutritivos lixiviados profundamente. Las pérdidas de elementos fertilizantes en el sistema suelo-planta son mínimas. Los rendimientos obtenidos alcanzan más de 6 toneladas por hectárea de maíz en grano, entre 3 y 4 toneladas de soja y más de 4 toneladas de arroz de secano. Desde el punto de vista del agricultor, estos sistemas parecen productivos, lucrativos y estables, ofrecen una mayor capacidad de los equipos y una mejor estabilidad de utilización.

Palabras clave: diagnóstico agronómico regional, modelización, sistema de cultivo, erosión, fertilidad del suelo, siembra directa, cultivo de cobertura, fertilización, arroz de secano, soja, maíz, mijo, sorgo, zona tropical húmeda, Brasil.

Resumo

L. SEGUY, S. BOUZINAC, A. TRENTINI, N. A. CORTES — **A agricultura brasileira das frentes pioneiras.**

- I- O método de criação-difusão de tecnologias.
- II- A gestão da fertilidade pelo sistema da cultura.
- III- O plantio direto, um modo de gestão agrobiológica dos solos.

As fronteiras agrícolas do Brasil, alcançaram, desde os anos 80, os trópicos úmidos do Oeste, na margem da floresta amazônica, nos cerrados de solos ácidos, sob uma pluviometria anual entre 2 000 e 3 000 mm. Os agricultores pioneiros, vindos dos estados do sul, trouxeram as suas práticas de preparo do solo com grades e a monocultura da soja, explorando fazendas altamente mecanizadas, de 200 à 2 000 hectares. Este sistema levou a uma erosão catastrófica do solo. A pesquisa francobrasileira e seus parceiros do desenvolvimento interviram a partir de 1986 e evidenciaram as degradações do meio cultivado, como também o isolamento econômico destas zonas. Um enfoque agronômico participativo, chamado de criação-difusão, foi elaborado em diferentes regiões brasileiras, entre elas os cerrados do oeste. Ele tem como meta essencial de propor aos agricultores e aos profissionais do setor agroalimentar sistemas de culturas compatíveis com um desenvolvimento regional sustentável, reproduzíveis em grande escala e a custo mínimo. Esta experiência destaca que a gestão da fertilidade dos solos ácidos degradados, não pode ser dissociada da gestão do risco econômico, que passa necessariamente pelo ajuste de uma larga escolha de sistemas diversificados, difundidos hoje em mais de 2 milhões de hectares no oeste e centro-oeste do Brasil. No plano da diversificação das culturas, eles são construídos sobre a produção de grãos ou de forragens (soja, arroz de sequeiro, milho, sorgo, milheto, leguminosas e gramíneas forrageiras, plantas de cobertura, etc.) associada ou não a pecuária, à proporção de 1 a 2 culturas por ano. Estas sucessões anuais estão integradas em rotações trienais ou quadriennais. No plano das técnicas culturais, os sistemas mais performantes e inovadores utilizam a prática sistemática do plantio direto; as culturas principais: soja, arroz, milho, são implantadas com plantio direto sobre importantes coberturas vegetais, fornecidas a custo mínimo, por culturas de crescimento rápido que precedem a cultura principal e são cultivadas também em sucessão da mesma no final da estação chuvosa (milhetos, sorgos, crotalárias). Estas fornecem grãos e forragens e sobretudo uma grande quantidade de biomassa necessária a manutenção da fertilidade; elas garantem uma cobertura vegetal permanente do solo cultivado. Elas o protegem totalmente contra a erosão por uma forte biomassa renovável a custo mínimo. Além disso, elas são passantes recicladores dos elementos nutritivos lixiviados em profundidade. As perdas em elementos fertilizantes no sistema solo-planta são mínimas. As produtividades alcançam mais de 6 toneladas por hectare de milho grão, 3 a 4 toneladas de soja, e mais de 4 toneladas de arroz de sequeiro. Do ponto de vista do agricultor, os sistemas mostram-se produtivos, lucrativos, estáveis e oferecem uma maior capacidade dos equipamentos e uma melhor flexibilidade de utilização.

Palavras-chaves: diagnóstico agronômico regional, modelização, sistema de cultura, erosão, fertilidade do solo, plantio direto, planta de cobertura, fertilização, arroz de sequeiro, soja, milho, sorgo, trópicos úmidos, Brasil.