

GESTION DE LA FERTILITÉ DANS LES SYSTÈMES DE CULTURE MÉCANISÉS EN ZONE TROPICALE HUMIDES : LE CAS DES FRONTS PIONNIERS DES SAVANES ET FORÊT HUMIDES DU CENTRE-NORD DE L'ÉTAT DU MATO GROSSO DANS L'OUEST DU BRÉSIL

II - CONCEPTS ET MISE EN PRATIQUE DE MODES DE GESTION AGROBIOLOGIQUES ADAPTÉS AUX SOLS ACIDES DE LA ZONE TROPICAL HUMIDE

Séguy L. (1), Bouzinac, S. (1), Trentini A. (2), Cortês N. de A. (3)

RÉSUMÉ

Suite à un premier article concernant la restauration du statut de fertilité des sols acides des savanes humides des fronts pionniers de l'Ouest du Brésil, dégradés par l'utilisation continue de la monoculture de soja pratiquée aux offsets, les auteurs présentent de nouveaux concepts pour la gestion des sols acides sous forte pluviométrie, et leur mise en pratique dans les systèmes de culture.

Ces concepts sont construits à l'image du fonctionnement de la forêt ombrophile.

Leur mise en pratique aboutit à proposer divers systèmes de cultures très productifs, lucratifs et stables basés exclusivement sur la production de grains, ou associant production de grains et élevage en succession annuelle ou en rotation tri ou quadriennale.

Tous les systèmes imaginés et pratiqués, à l'image de la forêt, protègent totalement le sol contre l'érosion par une forte biomasse nourricière, renouvelable à moindre coût, sont de puissants recycleurs des éléments nutritifs lixiviés en profondeur ; les cultures sont alimentées par voie organo biologique, grâce une relation privilégiée "matière organique minéralisable-cultures" ; les pertes en éléments fertilisants dans le système sol-plante, sont minimums.

Tous ces systèmes sont pratiqués en semis direct continu ; outre leurs bénéfices agronomiques incomparables pour la gestion durable de la ressource sol, ils sont plus productifs, plus lucratifs et stables que les meilleurs systèmes diversifiés pratiqués avec travail du sol. Enfin, ils permettent de cultiver 50 à 100% de surface en plus, chaque année, et offrent une capacité accrue des équipements et une meilleure flexibilité d'utilisation, avec une économie de plus de 40% de combustible.

Un de ces systèmes, qui utilise les successions à 2 cultures annuelles avec "pompe biologique" (soja + sorgho, mil), occupe déjà, après 3-4 ans de diffusion, près d'un million d'hectares sur les sols acides de l'Ouest et du Centre Ouest.

La révolution doublement verte : produire plus tout en préservant mieux l'environnement, est déjà une réalité praticable en zone tropicale humide.

Mots et expressions clés : *Systèmes de culture, pompe biologique, matière organique, recycleuse, protectrice, nourricière, gestion agrobiologique, semis direct, modes de gestion des sols et de cultures, succession annuelles, gestion fertilité à moindre coût, érosion, relations "matière organique minéralisable-cultures", soja, riz pluvial, mil, sorgho, tapis vivants, réaménagement espace rural, performances agronomiques, techniques, économiques, optimisation semis direct.*

SUMMARY

SOIL FERTILITY MANAGEMENT IN MECHANIZED CROPPING SYSTEMS OF THE HUMID TROPICS: THE CASE OF THE CERRADO AND FOREST AREAS OF THE CENTRE-NORTH OF MATO GROSSO II. CONCEPTS AND IMPLEMENTATION OF AGRO BIOLOGICAL MANAGEMENT ADAPTED TO THE ACID SOILS OF THE HUMID TROPICS

After a first publication dealing with the restoration of fertility in acid soils of the humid savannah frontier region, degraded by continuous monoculture of soybeans using offset discs, the authors present new concepts for the management of latosols under high precipitation and their implementation in new cropping systems.

These concepts evolved from an analysis of nutrients recycling in the rain forest. Their application to agriculture generated proposals for various highly productive, stable-cropping systems, based exclusively on grain production or in association with a cattle enterprise, either in annual succession or in four-year rotation.

All the systems developed and practiced, following the rain forest example, totally protect the soil from erosion, by means of strong crop biomass which also is renewable at low cost, and acts strongly in recycling leached nutrients. The crops are supplied with nutrients by organo-biological processus due to a favorable ratio "mineralizable organic matter to crops", reducing nutrient losses from the soil-crop system.

All systems use continuous no till (direct drilling) methods. Besides the incomparable advantages for sustainable soil-resource management, they are more productive, stable and profitable than systems which cultivated the soils. As a result, they allow 50 to 100% more area planted per year, higher machinery efficiency, with more flexibility and over 40% fuel economy.

One of these systems which use the double crop, biological nutrient pump system, soybean + sorghum or millet, now occupy nearly a million hectares in the latosols of west and Centre West Brazil, after 3-4 years of promotion. The "double green revolution" : higher production + more preservation of environment, is now a practical reality in the humid tropics.

Key words and phrase : *Cropping system, biological nutrient pump, protective surface mulch, nutrient recycling, agro-biological management, annual succession, fertility management at low cost, erosion, ration mineralizable organic matter - crops, soybean, upland rice, direct drilling, agronomical technical - economical performances, optimization.*

(1) Agronomes du CIRAD-CA, basés à Goiânia - Brésil - CP 504 a/c Tasso de Castro - Ag. Central - 74001-970 - Goiânia - Goiás - Brésil - Tel et Fax 62. 2481591

(2) Agronome de la Cooperlucas - Lucas do Rio Verde - Mato Grosso

(3) Chercheur de l'EMPAER-MT

I. INTRODUCTION-La première étape de recherche-action conduite par le CIRAD-CA et ses partenaires⁽¹⁾ sur les fronts pionniers des savanes humides de l'Ouest brésilien, a été consacrée à la restauration de la fertilité des sols ferrallitiques dégradés par la monoculture de soja pratiquée exclusivement aux outils à disques [Séguy L., Bouzinac S. et al., 1993 (16), 1995(20)]. Des arguments convaincants pour la fixation d'une agriculture durable, d'ordres à la fois agronomiques, techniques et économiques, tirés de cette première étape, nous ont clairement orienté vers de nouveaux objectifs visant la mise au point de modes de gestion des sols qui soient conservateurs d'une matière organique active, pourvoyeuse durable et efficace d'aliments pour les cultures, alliés à une gestion qui maîtrise au mieux les flux d'éléments nutritifs dans le profil cultural, pour réduire au maximum les pertes dans les systèmes sols-cultures.

Ces objectifs prioritaires de gestion des sols et des cultures devront se construire, avec les acteurs du développement, dans leur milieu, et obéir aux principes fondamentaux de la recherche-développement, de praticabilité et reproductibilité des systèmes à moindre coût [Séguy L., Bouzinac S. et al., 1994 (19)].

De nombreux auteurs de la recherche et du développement ont très largement décrit, explicité l'importance de la matière organique comme facteur essentiel, décisif de fertilité dans les sols acides de la zone tropicale humide; tous sont convaincus de la nécessité de l'entretien d'un niveau suffisant, actif, pour assurer la fixation d'une agriculture durable, avec un minimum d'engrais (Greland, D. J., Dart P. J., 1972 (2)).

Ses rôles fondamentaux dans le profil cultural les plus clairement démontrés, sont multiples: source d'éléments fertilisants (Nye P. H., 1961 (2)) facteur d'accumulation, de rétention et de fourniture d'éléments nutritifs dans les horizons

superficiels [Sanchez P. A., 1976(7)], agent améliorant de la structure du profil, de la température, de l'humidité (Lal R. et al., 1979 (4)), source de protection des sols contre l'érosion, sous forme de pailles en surface (Lal R., 1979(4)).

Sous couvert forestier ou sous cultures arbustives ombrophiles, il y a production continue de matière organique dans un écosystème stable, très actif biologiquement: dans le système "sol-plante", la plus grande fraction des éléments fertilisants est recyclée entre la matière organique vivante et morte, sans beaucoup d'échanges avec le sol minéral; de grandes quantités d'éléments fertilisants sont ainsi retenus dans le système, ce qui explique la stabilité de cet écosystème productif même sur les sols les plus pauvres [Nye P. H. et al., 1961 (6)].

Le défrichage et la mise en culture, interrompent ce cycle de production de la matière organique, ce qui accélère sa décomposition. De plus le mode de travail du sol, la pratique ou non de rotations avec restitutions importantes de pailles, influencent fortement la vitesse de sa décomposition; seules les techniques de semis direct permettent, progressivement, par l'utilisation de fortes biomasses de paille, de maintenir les niveaux de matière organique et de protéger totalement le sol contre l'érosion [Séguy L., Bouzinac S. et al. 1994(19), 1995 (20)].

Le modèle de fonctionnement de la forêt ombrophile, apparaît donc, à l'évidence comme un guide conceptuel de tout premier plan pour la mise au point de systèmes de culture ou d'élevage, à son image.

On se propose de décrire dans cet article, sous forme très schématique, les nouveaux concepts qui ont été imaginés dans ce sens, leur mise en pratique et les premiers résultats significatifs obtenus en milieu expérimental et en milieu réel, chez les agriculteurs de pointe.

II-NOUVEAUX CONCEPTS DE GESTION AGROBIOLOGIQUE ET ÉCOLOGIQUE DES SOLS, MISE EN PRATIQUE ET RÉSULTATS

L'idée de cultiver sans travailler le sol n'est pas nouvelle et a commencé à entrer véritablement dans l'agriculture mécanisée avec l'apparition de l'herbicide Parquat en 1956 et la fabrication en suivant, par Allis Chalmers, des premiers semoirs capables de semer sans travail préalable du sol.

Au Brésil, ces techniques mécanisées de semis direct ont débuté au début des années 1970⁽²⁾, dans les états du Sud en régions subtropicales et subtropicales d'altitude (états du Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul), conditions pédoclimatiques qui permettent grâce à une saison froide, de maintenir une bonne couverture du sol avec les résidus de récolte.

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 1).

Il fallait donc imaginer, d'autres systèmes pour protéger le sol toute l'année, aussi bien sous culture que en saison sèche.

A/ UN NOUVEAU CONCEPT POUR LE SEMIS DIRECT : LA POMPE BIOLOGIQUE

Le principe de base est de produire et reproduire, à coût minimum⁽³⁾, avant et après chaque culture commerciale, une biomasse la plus importante possible, à fort coefficient de minéralisation, qui doit avoir pour fonctions essentielles, à l'image du système forestier :

- protéger complètement le sol contre l'érosion, aussi bien en

(1) CNPAF/EMBRAPA - Centre de recherche fédéral sur le riz et le haricot, GNPSO/EMBRAPA - Centre de recherche fédéral sur le soja, EMPAER - MT - Centre de recherche de l'état du Mato Grosso, COOPERLUCAS - Coopérative de Lucas do Rio Verde - MT, RHODIA AGRO - Filiale brésilienne de Rhône Poulenc

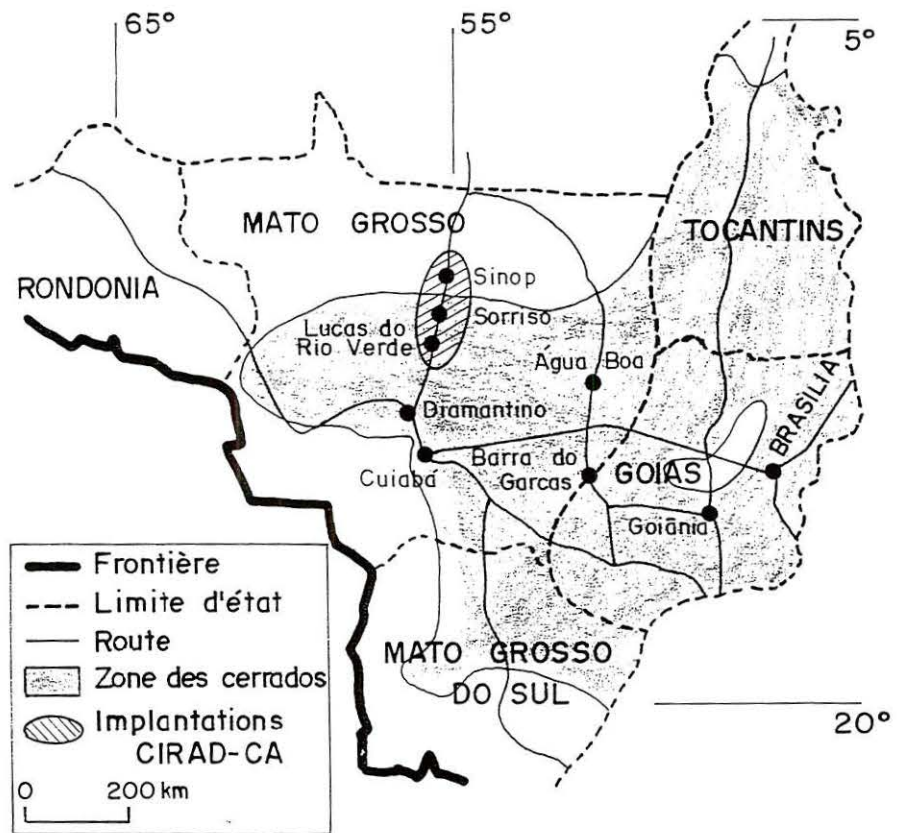
(2) Aujourd'hui, plus de 2,5 millions d'hectares sont cultivés en semis direct continu dans les états du Sud.

Ils faut rendre hommage aux agriculteurs du Paraná, pionniers de ces techniques (Manoel H. Pereira, Frank Djikstra, Herbert Bartz), à leur développement exemplaire donné par la Fondation ABC, et aux travaux de recherches de l'IAPAR (Institut de recherche de l'état du Paraná).

(3) Si possible inférieur à celui de la préparation mécanisée conventionnelle.



● Implantations CIRAD-CA



Les cerrados du Centre-Ouest du Brésil et implantations CIRAD-CA

saison des pluies qu'en saison sèche, en amortissant les amplitudes thermiques et d'humidité,

- alimenter la culture par voie biologique de manière continue tout au long du son cycle,

- recycler vers la surface au cours de la même année, les bases et éléments fertilisants lixiviés en profondeur sous les cultures, minimiser, voire supprimer les pertes en éléments nutritifs dans le système sol-culture, extraire des éléments nutritifs non mobilisables par les cultures commerciales,

- maintenir une forte porosité et une structure stable, efficace, dans le profil cultural,

- contrôler un maximum des adventices les plus compétitives pour les cultures (obscurité et allélopathie) - (schéma 1)

Le fonctionnement de l'ensemble complexe "sol-cultures", doit évoluer rapidement vers une relation plus simple "matière organique minéralisable-cultures", et doit permettre ainsi de s'affranchir progressivement des contraintes spécifiques, à chaque type de sol.

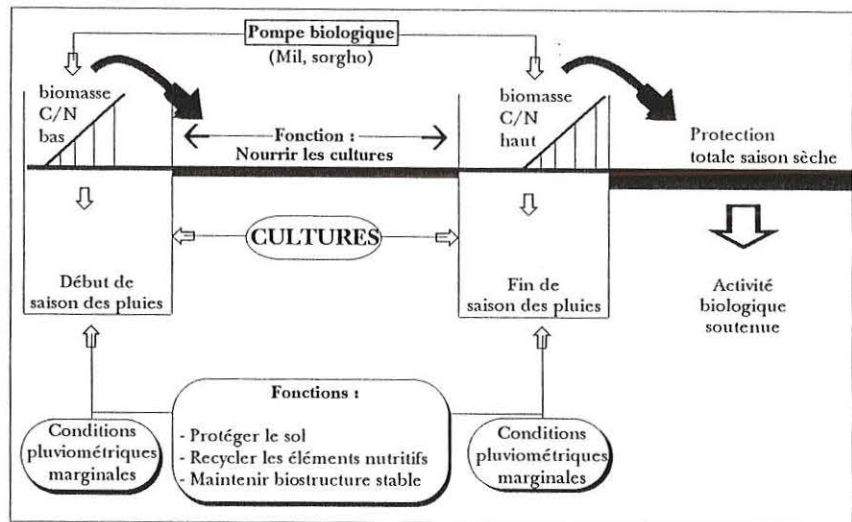
Pour que cette relation directe "matière organique-cultures" soit la plus fonctionnelle possible, l'activité biologique doit être intense : macro et mésofaunes, microflore, pour entretenir de manière soutenue durant tout le cycle de la culture, un fonctionnement efficace de la "pompe" qui doit assurer, par sa minéralisation, l'alimentation organo-biologique des cultures.

L'efficacité de cette pompe s'exerce à la fois : au dessus du sol, par le volume et la qualité de biomasse recyclable, renouvelable à moindre coût, rapidement mobilisable et minéralisable sur le cycle de la culture, qui conditionnera sa nutrition et la couverture du sol, assurera le contrôle de l'érosion, des adventices, la régulation des échanges thermiques et des flux hydriques, le développement de la faune du sol et de la microflore. Au dessous de la surface du sol, par la puissance du système racinaire fasciculé, en volume et profondeur qui doit assurer sur des temps très courts (60 à 90 jours), les fonctions : grande capacité d'interception et de recyclage des nitrates, des bases, forte mobilisation de matière organique à turn over rapide, création de biostructure stable, effets rhizos-

Nature des résidus	Nombre de jours après les premiers pluies	Évolution de la perte de 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	-
	120	-	-

Source : Séguy L., Bouzinac S., 1990 - Fazenda Progresso - Lucas do Rio Verde - MT

Schéma 1
Fonctionnement de la pompe biologique pour la culture de soja
Source : Séguy L., Bouzinac S. 1994



phériques phytoprotecteurs (antibiotiques, substances de croissance).

La puissance de cette pompe est conditionnée par sa vitesse de production de matière sèche qui est fonction de l'état de fertilité du profil cultural.

Sa qualité dépend de son aptitude à minéraliser, fonction de son stade de développement et de l'espèce ; à cette égard, la paille de mil se minéralise plus facilement que celle de sorgho, à tous les stades de croissance.

Suivant la culture pratiquée, la pompe biologique peut être, ou une graminée, ou une légumineuse ; dans ce dernier cas, les fonctions de nutrition de la culture, de maintien de la structure, de couverture du sol seront beaucoup plus éphémères.

1. MISE EN PRATIQUE DE CE CONCEPT

Les successions à deux cultures annuelles et leurs rotations :

• Prendre en compte une large gamme de profils culturaux

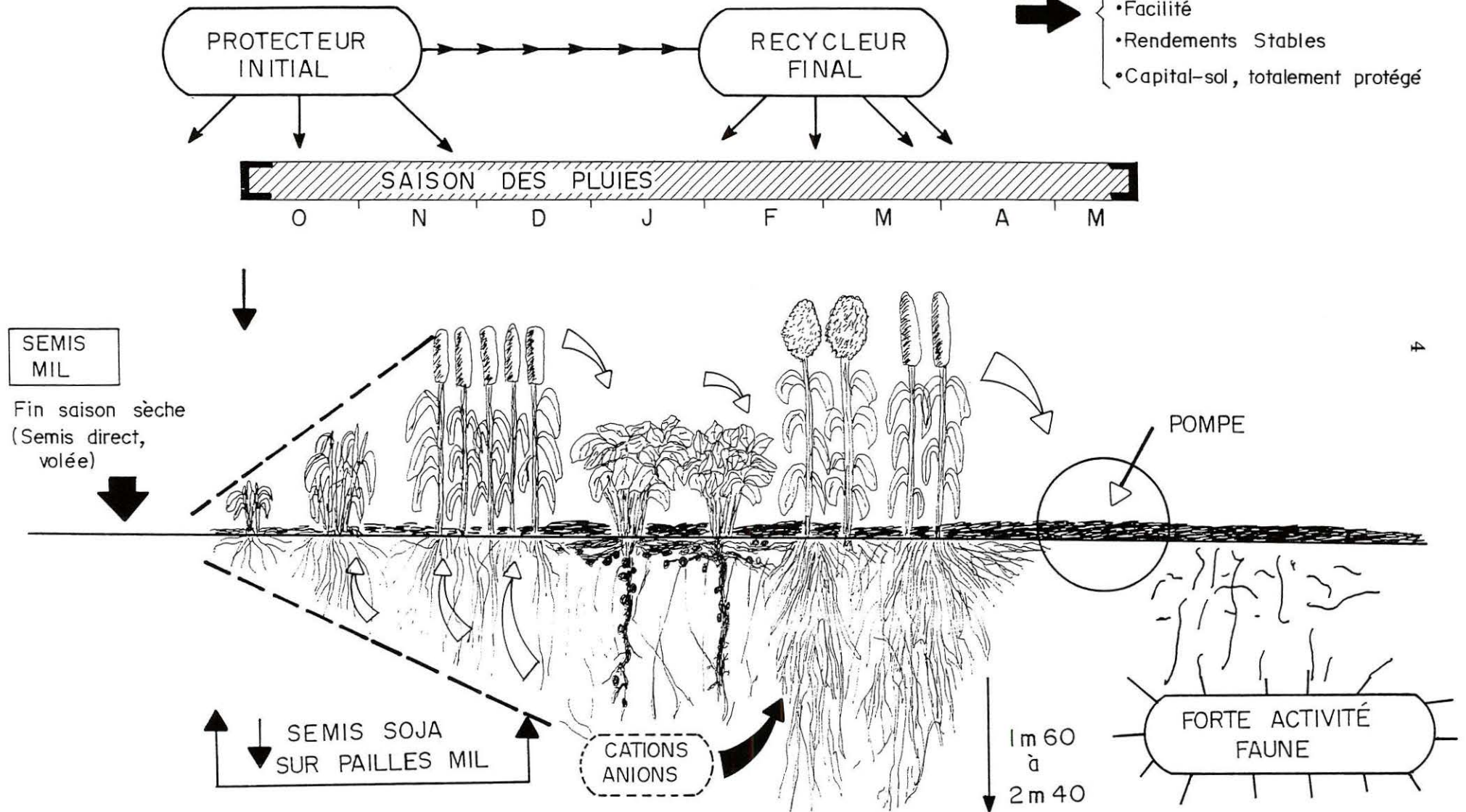
La construction de ces systèmes a été réalisée dans différentes conditions de sols liées à l'ancienneté de la mise en culture, en zones de savanes et de forêts, pour prendre en compte un échantillon représentatif des diverses situations de fertilité des terres de la région : - terres de savanes, après 18 ans de mise en culture - terres en 1^{ère} année de culture après défrichement - terres en 1^{ère} et 2^{ème} années après 12 ans de pâturage extensif dégradé à *Brachiaria decumbens* - terres de forêt en 1^{ère} année de

Schéma 2

"SYSTEME "MAINTENEUR DE FERTILITÉ"

SUR CULTURE SOJA (*) - L. SEGUY, S. BOUZINAC - MT/1993.

- Etalement semis direct soja sur 50-60 jours
- Facilité
- Rendements Stables
- Capital-sol, totalement protégé



culture après défrichement, et après 13 ans de mise en culture.

Les successions sont conduites en semis direct

Les successions annuelles à 2 cultures, construites, ont été : soja + sorgho, mil ; mil + soja + sorgho, mil ; riz + *Sesbania*, *Crotalaria* et son inverse ; elles ont été soumises à 4 traitements discriminants : dates de semis précoce et tardive, - pour encadrer la période de semis des agriculteurs et évaluer leur importance sur la productivité des cultures, la capacité des équipements et leur flexibilité d'utilisation, niveaux progressif et niveau fort⁽¹⁾ de correction des sols, également pour évaluer leur impact sur les fonctions de la pompe biologique, la productivité des cultures et sa stabilité, les nuisances phytosanitaires.

La méthodologie

Des vitrines de technologies élaborées en conditions d'exploitation réelles, avec, pour et chez les agriculteurs⁽²⁾.

La méthodologie est celle de "création diffusion" de technologies [Séguy L., 1994 (19)] ; elle procède à une modélisation des systèmes de culture traduite sous la forme d'une matrice systématisée, construite à partir d'un diagnostic initial de situation ; l'outil opérationnel de terrain pour la mise en pratique de cette matrice des systèmes est constitué par une vitrine expérimental⁽²⁾e dite de "création-diffusion" de technologies, véritable vitrine de l'offre technologique qui crée et évalue une très large gamme de systèmes diversifiés, en partant du système de culture traditionnel qui sert de référence permanente en conditions d'exploitations réelles, et à l'échelle d'une unité de paysage représentative [Séguy L., 1994 (19)].

Le dispositif expérimental

pérennisé de comparaison des systèmes de culture, permet d'acquiescer un ensemble de données biologiques et agronomiques sur le fonctionnement des cultures, des rotations et des modes de travail du sol (rendements, composants du rendement, variabilité inter-annuelle, itinéraires techniques, calendrier des travaux, effets cumulatifs des systèmes sur l'évolution du statut de fertilité du sol, etc...), qui constituent nos références de base.

Cet ensemble de données offre des possibilités de généralisation à partir d'éléments explicatifs (croissance, développement, formation de la production).

II. RÉSULTATS⁽³⁾

Les successions soja + sorgho, mil - mil + soja + sorgho, mil - riz + sorgho, mil, sur terres neuves et sur pâturage dégradé, en semis direct⁽⁴⁾

Les systèmes de culture qui ont été mis en pratique pour la culture du soja, sont décrits dans le schéma 2.

Il montre que dans la succession mil + soja + sorgho, mil, le mil peut être d'abord utilisé au tout début de la saison des pluies (septembre), pour produire une forte biomasse à partir du 45^e jour, qui coïncide avec sa floraison ; l'importance de cette biomasse nourricière pour le soja, croît jusqu'au 80^e jour, et ceci d'autant plus que le sol reçoit une correction phosphatée de fort niveau⁽¹⁾ ; dans ces conditions les meilleures variétés de mil (cv. ICMV, IS 88102) produisent en 80 jours, jusqu'à 16 tonnes/ha de matière sèche qui peuvent restituer, par leur seule partie aérienne, dans l'hypothèse⁽⁵⁾ d'une minéralisation totale durant la culture de soja, en Kg/ha : 160 N, 67 P, 349 K, 46 Ca, 61 Mg, 325 et 7 B, soit des quantités très importantes d'éléments fertilisants pour les cultures, notamment en potasse (tableau 2).

Rapidement après le semis, le

mil recouvre le sol, domine les adventices, et s'enracine à un rythme de 3 cm/jour, soit entre 1,50 et 2,40 m de profondeur, en fonction de la date de semis direct du soja qui a lieu après 45-50 à 80 jours de croissance du mil.

Avant le semis du soja, le mil est desséché sur pied, à l'herbicide total, par voie terrestre ou aérienne, (720 g/ha de glyphosate + 1000 g/ha 2-4 D amine en mélange) : 5 jours après l'application de l'herbicide, le soja est semé en semis direct dans la paille de mil laissée sur pied ; c'est le semoir qui couchera la paille sur le sol.

Le mil et le sorgho (ce dernier, semé avant le mil - cf. schéma 2) peuvent être également semés en fin de saison des pluies en semis direct au fur et à mesure de la récolte de soja, sans intrants⁽⁶⁾, excepté un traitement fongicide des semences ; le coût de production de cette culture de succession (mil, sorgho) notre "pompe biologique", est compris entre 30 et 50 US\$/ha pour des productivités qui vont, en fonction du niveau de correction du sol adopté⁽¹⁾, de 900 à 1 900 Kg/ha pour le sorgho, 300 à 850 Kg/ha pour le mil fourrager (cf. tableau 3), et 1 500 à 2 500 Kg/ha pour le mil-grain [Séguy L., Bouzinac S. et al. 1992(14), 1993 (16)].

Ces productivités, pour les variétés à production de grains, offrent des marges nettes substantielles comprises entre 30 et 80 US\$/ha (tableau 12).

Ces cultures de succession peuvent avoir des vocations multiples : le grain est d'excellente qualité (alimentation humaine) et peut servir à la panification, fabrication d'alcool fin, de pâtes, de bière, en fonction des variétés, et doit être valorisé pour ces aptitudes.

La plante entière, peut également être ensilée ou pâturée, alternative de grande valeur pour compléter l'alimentation du bétail en saison sèche, dans le cas des fazendas qui produisent grains et

(1) Niveau progressif, en Kg/ha → sur soja : 08N - 80 P₂O₅ - 80 K₂O ; sur riz : 30 à 45N - 75 P₂O₅ - 75 K₂O.

Niveau fort, en Kg/ha → 2 000 thermophosphate + 600 gypse + 160 K₂O, amorti sur 3 ans (6 cultures) ; ensuite chaque année sur soja : 60 K₂O ; sur riz : 60 à 85N, 80 K₂O.

(2) Vitrine de technologies installée à la Cooperlucas - Lucas do Rio Verde - MT.

Elles est complétée par le dispositif multilocal des "fazendas de référence" pour donner une couverture plus large aux résultats expérimentaux. (3) Il ne sera fait état que des résultats relatifs aux fronts pionniers de l'Ouest Brésil ; des résultats similaires ont été obtenus par le CIRAD-CA sur les fronts pionniers du Nord : projets Agripec et Sulamérica (Séguy L., Bouzinac S. 1989-1992).

(4) Également en cours de mise au point depuis 2 ans, la succession sorgho, riz, mil de cycle court + coton en semis direct ; des rendements moyens de coton supérieurs à 2 t/ha sont accessibles avec ce système de culture.

(5) Le taux de minéralisation est estimé à 60% pour un mil de 45-50 jours et 40% pour un mil de 80 jours.

(6) Cette seconde récolte, à coûts minimums, porte le nom de "safrinha", soit "petite récolte".

Tableau 2

Production de matière sèche du mil, et restitutions d'éléments minéraux après 80 jours de croissance								
Type de mil	Fertilisation minérale	Production de matière sèche (Kg/ha)	Éléments minéraux dans la partie aérienne					
			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 (grains)	Thermophosphate	16 000	163	67	349	46	61	32

Source : Séguy L., Bouzinac S. et al., 1994 - Cooperlucas - Mato Grosso

Tableau 3

Productivité des successions annuelles, riz + mil fourrager, riz + sorgho-grain, soja + mil grain (Kg/ha)						
Niveau de correction du sol	Riz + mil fourrager sur pâturage		Riz + sorgho après riz + mil		Soja + mil grain	
	Riz(*)	Mil f.	Riz(*)	Sorgho	Soja	Mil g.
Progressif	3 371	270	1 851	968	2 847	1 184
Fort, thermophosphate	4 997	861	2 982	1 969	3 667	2 240

(*) Riz à très belle qualité de grain, sélectionné par le CIRAD-CA (cv. Progresso) Soja = cv. Emgopa 306

Source : Séguy L., Bouzinac et al., 1993 et 1994 - Cooperlucas - Lucas do Rio Verde - MT

viande ou lait et pour les éleveurs en général.

Mais, l'intérêt majeur de ces pompes biologiques, réside surtout dans leur capacité agronomique à maintenir la productivité des cultures principales (soja, riz), sur une période d'étalement des semis de plus de 60 jours, lorsque est utilisé le niveau fort de correction phosphatée⁽¹⁾ et que les sols ferrallitiques sont oxydés, bien drainés, aussi bien en écologie de forêt que de savane, comme le montrent les résultats du tableau 4.

Par contre, sur sols très argileux (>50-60 % de colloïdes) à mauvais drainages interne et externe, le fonctionnement de la pompe est lent et ne permet pas de maintenir la productivité lorsque le semis est très tardif; la paille s'accumule au dessus du sol, tout au moins en première année d'utilisation de la pompe biologique-néanmoins, même dans ce dernier cas, où la productivité n'est pas maintenue, le sol bénéficie, par rapport au sol préparé à l'offset, d'une protection complète contre l'érosion.

Cette capacité de la pompe biologique à maintenir la productivité du soja sur un étalement de semis de 60 jours, est reproductible en sol de forêt oxydé, trois ans après le défrichement (tableau 5).

Les performances du soja dans ces successions utilisant la pompe biologique de début ou de fin de

cycle des pluies, sont toujours très significativement supérieures à celle obtenues avec la préparation du sol traditionnelle à l'offset, aussi bien en écologie de forêt que de savanes, sur sols bien drainés; dans ce cas, également très représentatif de la classe de sols dominants, la correction phosphatée de fort niveau, garantit les productivités les plus élevées et les plus stables.

Chez les meilleurs agriculteurs de pointe utilisant les successions annuelles en semis direct (avec pompe biologique), ces résultats se confirment: Mr. Munefume Matsubara⁽²⁾ produit 4 320 Kg/ha de soja sur 170 hectares et une moyenne de 3 420 Kg/ha sur 1 200 hectares en 1993/94; Mr. Valdir Taffarel⁽³⁾ obtient sur 170 hectares en 1993/94, une productivité de 3 420 Kg/ha de soja suivie en succession de 4 200 Kg/ha de maïs (le maïs jouant le rôle de pompe biologique en succession d'un soja de semis précoce, à cycle court).

En ce qui concerne la culture du riz pluvial qui est l'espèce la plus exigeante en macroporosité [Séguy L., Bouzinac S. et al., 1989 (8)], les pompes biologiques utilisées pour intégrer le riz dans la pratique permanente du semis direct, donc pour reconstituer et/ou maintenir la macroporosité, sont des légumineuses à fort enracinement pivotants des

Tableau 4

Productivités du soja (en Kg/ha), en fonction de la date de semis, du niveau de correction du sol et de son mode de gestion						
Mode de gestion du sol	Niveau de correction	Sols oxydés		Sols hydratés		
		après riz (a)	après riz (b)	après soja (c)	après riz (d)	
Semis précoce x Travail profond	Progressif	3 393 (100)	3 457 (100)	2 776 (100)	2 298 (100)	
	Fort	3 316 (100)	3 827 (100)	3 428 (100)	2 967 (100)	
Semis tardif (60 jours après) x Semis direct sur pompe mil	Progressif	2 683 (79)	2 219 (64)	1 728 (62)	2 435 (106)	
	Fort	3 463 (104)	2 754 (72)	2 628 (77)	2 034 (102)	
Semis tardif (60 jours après) x Offset sol nu	Progressif	2 166 (64)	2 177 (63)	1 731 (62)	1 460 (63)	
	Fort	3 120 (94)	2 794 (73)	2 907 (84)	2 134 (72)	

Temps de mise en culture après défrichement: (a) = 2^e année; (b) = 3^e année; (c) = 2^e année; (d) = 1^e année

(*) Expérimentation conduite sur 70 hectares.

() - Variation du rendement entre semis précoce et tardif / niveau de correction.

Source : Séguy L., Bouzinac S. et al., 1994 - Lucas do Rio Verde, Sorriso et Sinop - MT

(1) Correction phosphatée de fort niveau: 2 000 Kg/ha thermophosphate + 600 Kg/ha gypse/ 3 ans + N-K annuel similaire au niveau NPK. Correction progressive NPK: - sur soja = 8 N - 80 P₂O₅ + oligo; sur riz = 60 a 80 N - 75 P₂O₅ - 75 K₂O + oligos.

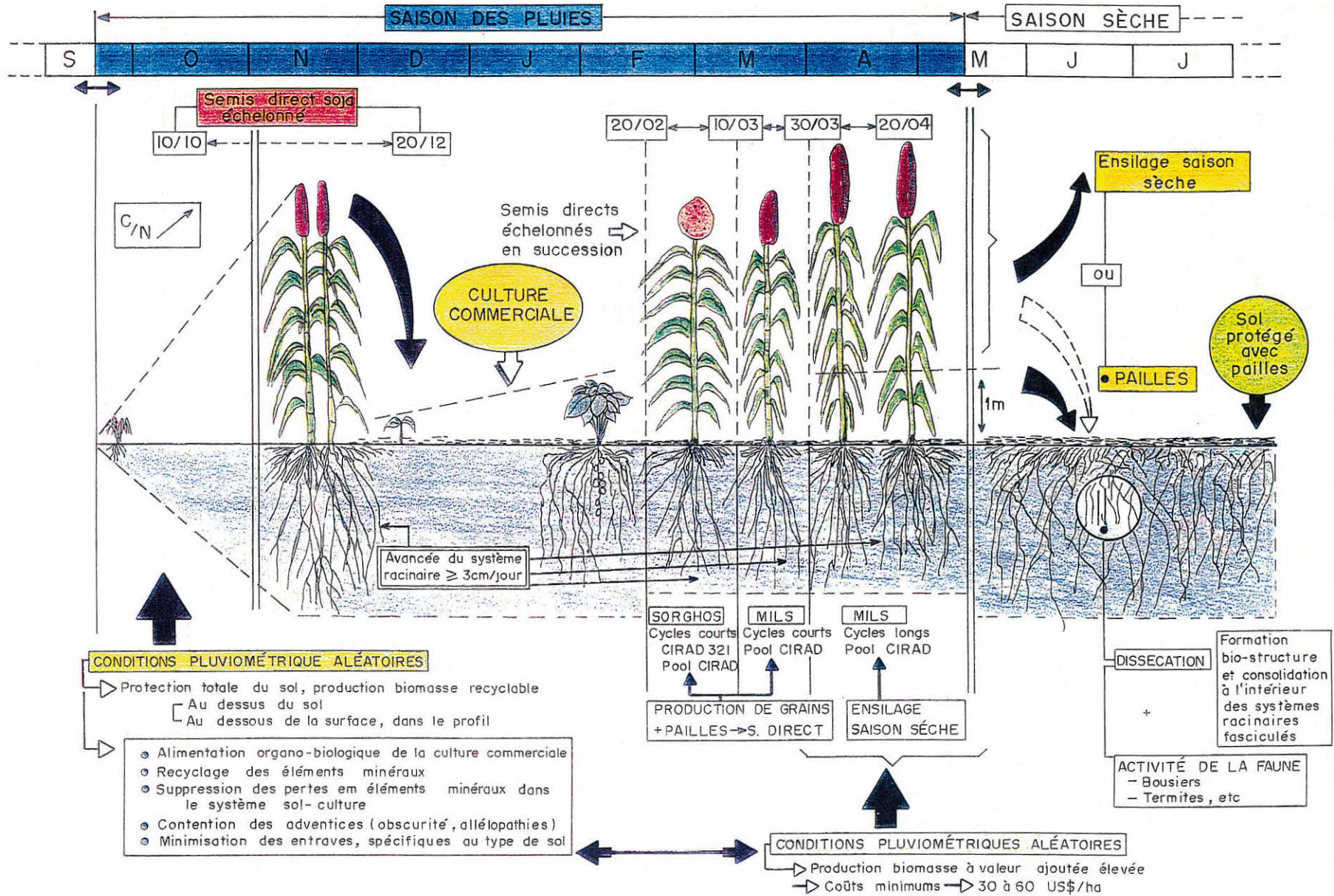
(2) Fazenda Progresso à Lucas do Rio Verde - Écologie de savanes

(3) Écologie de forêts

Schéma 3

COMMENT FONCTIONNE LE SEMIS DIRECT? LES CULTURES = UNE MINI-FORÊT

SOURCE: L. Seguy
S. Bouzinac
A. Trentini
CIRAD-1986/1994



genres *Sesbania*⁽¹⁾ et *Crotalaria*⁽¹⁾.

Les résultats obtenus, en terre neuve de forêt et sur pâturage dégradé en savanes, montrent que, comme dans le cas du soja, ces pompes biologiques permettent de maintenir la productivité du riz pluvial sur un étalement des semis de plus de 60 jours (tableau 6).

Les successions annuelles utilisant l'effet pompe biologique, permettent donc d'étaler les semis de riz et soja sur plus de 60 jours après les premiers pluies utiles, sans perte de productivité importante, et offrent une grande flexibilité d'exécution des opérations et une capacité accrue des équipements.

Les successions annuelles avec pompe biologique, pratiquées en rotation sur 4 ans -

En terre de vieille culture⁽²⁾

Ces résultats sont extraits d'une expérimentation de longue durée visant l'optimisation de la fertilisation minérale dans les systèmes de culture, de faibles variations de coûts de production pouvant entraîner des marges nettes positives ou négatives dans le contexte économique très sensible des fronts pionniers [Séguy L., Bouzinac S. et al., 1989 (8), 1994 (18)].

Dix-huit traitements de fumure minérale mis en comparaison, sont appliqués à 4 rotations de cultures différentes, intégrant les successions à 2 cultures annuelles. Les traitements de fertilisation sont bâtis autour du niveau de fumure de correction progressive recommandée, qui sert de référence à l'évaluation agro-économique⁽³⁾; ils portent sur des formes solubles NPK annuelles complétées ou non par des applications périodiques de calcaire dolomitique, et sur des

Productivités du soja (en Kg/ha), 3 ans après défrichement, sur sol oxydé de forêt				
Mode de gestion du sol	Niveau de correction	Semis de début octobre	Semis de début décembre	Semis de début janvier
Semis direct sur pailles mil de fin de cycle	Progressif	3 260 (100)	3 483 (107)	1 904 (58)
	Fort	3 680 (100)	3 370 (92)	2 520 (68)
Offset sol nu	Progressif	2 600 (100)	2 100 (81)	1 050 (40)
	Fort	3 140 (100)	2 570 (82)	1 615 (51)

(*) Expérimentation conduite sur 20 hectares.
() - Variation du rendement entre semis précoce et tardif / niveau de correction.
Source : Séguy L., Bouzinac S. et al., 1995 - Lucas do Rio Verde, Sorriso et Sinop - MT

Productivités du riz pluvial (en Kg/ha), en fonction de la date de semis, du niveau de correction du sol et de son mode de gestion					
Mode de gestion du sol	Niveau de correction	Écologie des forêts			Écologie des savanes
		Sols oxydés riz après riz (2 ^e année de culture)	Sols hydratés 3 ^e année de monoculture riz	Sols hydratés riz après soja (2 ^e année culture)	Sols oxydés après 12 ans pâturage
Semis précoce x Travail profond	Progressif	3 980 (100)	2 171 (100)	3 622 (100)	3 278
	Fort	4 487 (100)	3 044 (100)	4 871 (100)	5 529
Semis tardif (60 jours après) x Semis direct sur <i>Sesbania s.</i>	Progressif	3 705 (93)	2 271 (105)	3 233 (89)	1 444
	Fort	4 785 (107)	2 947 (97)	3 805 (78)	3 743
Semis tardif (60 jours après) x Offset traditionnel	Progressif	-	-	-	1 199
	Fort	-	-	-	2 903

(*) Expérimentation conduite sur plus de 100 hectares.
() - Variation du rendement entre semis précoce et tardif / niveau de correction.
Source : Séguy L., Bouzinac S. et al., 1994 - Lucas do Rio Verde, Sorriso et Sinop - MT

formes de phosphore non solubles et solubles (thermophosphate, superphosphate) apportées comme fumures, ou annuelle, ou de fond, amorties sur deux ou trois ans, complétées par des fumures N, K, solubles.

Parmi les 18 formules de fumures expérimentées sur 4 ans, dans 4 rotations (tableaux 7 à 10), nous avons retenu de ne présenter que les résultats agro-économiques relatifs aux formules qui, sur toutes les rotations, offrent des marges brutes et nettes/ha, supérieures à celle de la fumure recommandée⁽⁴⁾, et les plus stables (cv%, des marges, les plus bas

possibles), car, finalement, ce qui intéresse avant tout l'agriculteur, c'est le revenu immédiat, à moindre coût.

Ces meilleures formules retenues d'abord sur le critère économique des marges, sont ensuite passées au crible de l'analyse de stabilité de productivité, pour les mêmes cultures et successions; la stabilité est évaluée par rapport aux formules de fumure les plus riches en éléments nutritifs (référence du potentiel).

Les tableaux 7 à 10 qui synthétisent les principaux résultats de cette analyse sur 4 ans,

(1) *Sesbania speciosa*, *Crotalaria spectabilis*, *retusa*.

(2) Fazenda Progresso - 13 ans de culture continue au départ de l'expérimentation dont 4 années de riz pluvial après le défrichement, suivies de 6 ans de monoculture de soja à l'offset, et les 3 dernières années conduites en rotation soja/riz, avec travail profond.

(3) L'expérimentation couvre 10 hectares - (1000 m²/parcelle élémentaire)- Elle est conduite en conditions d'exploitation réelles; le dispositif expérimental est une *collection testée*, la fumure de correction progressive recommandée NPK + calcaire dolomitique, servant de témoin de référence, est intercalée tous les 6 traitements fumure à évaluer. Au départ, et à la fin de l'expérimentation, des analyses physico-chimiques sont réalisées sur tous les traitements (actuellement en cours d'analyse).

(4) Recommandations EMBRAPA, CPAC - (Souza D.M.G., 1987 - Van Raij B., 1991, Lopes A. S., 1984).

Sur soja : 8 N - 80 P₂O₅ - 80 K₂O + oligo éléments - Sur riz : 35 à 40 N - 70 P₂O₅ - 70 K₂O + oligo éléments.

Application d'amendement calcaire magnésien, lorsque le taux de saturation en bases échangeables descend en dessous de 40%.

NC (Nécessité en tonne/ha) = (V2 - V1) x T

x f ⇔
$$\begin{cases} V1 = \% \text{ saturation en bases, actuel} \\ V2 = \% \text{ saturation désiré} \\ T = \text{capacité d'échange} \\ f = \text{un facteur de correction du pouvoir relatif de neutralisation du calcaire (PRNT)} \\ f = 100/\text{PRNT} \end{cases}$$

Tableau 7
Influence des interactions niveaux de fumure x rotations sur la productivité du riz pluvial et leurs conséquences économiques

Formules de fumures (Kg/ha)	Productivité (en Kg/ha)				Coûts de production (\$/ha)		Marges nettes (\$/ha)	
	Après riz + sorgho I		Après soja + sorgho III		Après riz + sorgho I	Après soja + sorgho III	Après riz + sorgho I	Après soja + sorgho III
	Riz	Sorgho	Riz	Sorgho	soja + sorgho	soja	soja + sorgho	soja
② Fumure NPK (TR) (1) recommandée sans calcaire	2 108	(501)	5 308	(614)	444	508	- 141	+ 324
⑤ T1 + 1 500 calcaire (2) /3 ans	2 205	(727)	5 308	(880)	421	485	- 82	+ 370
⑥ T1 + 3 000 calcaire (2) /3 ans	2 416	(636)	5 255	(795)	435	493	- 69	+ 346
⑦ T2 + 1 500 calcaire (3) /3 ans	2 170	(615)	5 523	(1 020)	482	553	- 168	+ 334
⑫ 1 000 thermophosphate (4) /3 ans	2 293	(645)	5 201	(1 134)	449	511	- 106	+ 337
⑭ 1 500 thermophosphate (4) /3 ans	2 564	(786)	5 469	(1 279)	491	553	- 102	+ 342
⑯ 1 500 thermophosphate (4) /2 ans	3 489	(1 836)	6 622	(2 112)	596	661	- 02	+ 462
⑰ 1 500 superphosphate simple (5) /3 ans	2 268	(879)	5 227	(1 160)	485	547	- 137	+ 300
⑱ 1 ^{re} année 500 thermophosphate + T ₁ , (1) ensuite formule mixte (6)	2 194	(654)	5 142	(924)	446	507	- 118	+ 319
⑳ 500 thermophosphate granulé, sous la ligne, annuel	2 379	(909)	5 270	(1 428)	475	536	- 104	+ 339
㉑ 500 superphosphate (5) simple, sous la ligne, annuel	2 268	(760)	5 193	(1 209)	471	533	- 129	+ 315
Moyennes	2 396	(813)	5 411	(1 141)	472	535	- 105	+ 344
Effet rotation	(100)		(226)		-	-		

(*) Riz : cultivar CIAT 20

(*) Témoin monoculture soja x offset sur la même période ⇔ Productivité = 1 635 Kg/ha ; Coûts de production = 315 \$/ha ; Marges nettes = -55 \$/ha.

Source : Séguy L., Bouzinac S. et al., 1993 - Fazenda Progresso - Lucas do Rio Verde - Mato Grosso

- (1) T_R { Soja = 400 Kg/ha 0-20-20 + oligos
Riz = 400 Kg/ha 4-20-20 + oligos
(2) T₁ { Soja = 250 Kg/ha 0-20-20 + oligos
Riz = 250 Kg/ha 4-20-20 + oligos
(3) T₂ { Soja = 500 Kg/ha 0-20-20 + oligos
Riz = 500 Kg/ha 4-20-20 + oligos

(4) Sur fumure thermophosphate = 600 Kg/ha de gypse/2 ans et 100 Kg/ha KCl annuellement (+ N au semis pour riz)

(5) Sur fumure superphosphate simple = 100 Kg/ha KCl annuellement (+ N au semis pour riz)

(6) Mélange par hectare ⇔ Sur riz : 200 Kg/ha 4-20-20 + 200 Kg thermophosphate granulé + 70 Kg KCl + 20 oligo-éléments.

⇔ Sur soja : 200 Kg/ha 2-20-20 + 200 Kg/ha superphosphate simple + 80 Kg KCl + 20 Kg oligo-éléments

(7) Toutes les cultures pratiquées en semis direct, excepté le riz pluvial qui est précédé d'une scarification profonde qui laisse plus de 50% des résidus de récolte au dessus du sol.

Tableau 8
Influence des interactions niveaux de fumure x rotations sur la productivité de la succession soja + sorgho et leurs conséquences économiques

Formules de fumures (Kg/ha)	Productivité (en Kg/ha)			Coûts de production (\$/ha)		Marges nettes (\$/ha)	
	Après 2 sojas + 2 céréales	Mil	Après 1 soja + 2 céréales	Après 2 sojas + 2 céréales	Après 1 soja + 2 céréales	Après 2 sojas + 2 céréales	Après 1 soja + 2 céréales
② Fumure NPK (TR) (1) recommandée sans calcaire	3 472	(1 008)	3 413	393	351	+ 96	+ 62
⑤ T1 + 1 500 calcaire (2) /3 ans	2 727	(801)	3 181	356	324	+ 21	+ 61
⑥ T1 + 3 000 calcaire (2) /3 ans	2 862	(954)	3 211	369	335	+ 34	+ 53
⑦ T2 + 1 500 calcaire (3) /3 ans	3 390	(1 320)	3 830	429	393	+ 63	+ 71
⑫ 1 000 thermophosphate (4) /3 ans	2 741	(1 404)	2 786	376	333	+ 40	- 05
⑭ 1 500 thermophosphate (4) /3 ans	2 727	(1 512)	2 836	409	366	+ 05	- 37
⑯ 1 500 thermophosphate (4) /2 ans	3 992	(2 337)	4 345	518	472	+ 111	+ 49
⑰ 1 500 superphosphate simple (5) /3 ans	2 950	(1 419)	3 297	415	371	+ 15	+ 15
⑱ 1 ^{re} année 500 thermophosphate + T ₁ , (1) ensuite formule mixte (6)	3 441	(1 152)	3 415	382	339	+ 114	+ 76
⑳ 500 thermophosphate granulé, sous la ligne, annuel	3 331	(1 659)	3 668	406	360	+ 111	+ 87
㉑ 500 superphosphate (5) simple, sous la ligne, annuel	3 174	(1 540)	3 137	397	351	+ 85	+ 23
Moyennes	3 164	(1 373)	3 374	404	363	+ 63	+ 41
Effet rotation	(100)		(107)	-	-		

Source : Séguy L., Bouzinac S. et al., 1993 - Fazenda Progresso - Lucas do Rio Verde - Mato Grosso

- (1) T_R { Soja = 400 Kg/ha 0-20-20 + oligos
Riz = 400 Kg/ha 4-20-20 + oligos
(2) T₁ { Soja = 250 Kg/ha 0-20-20 + oligos
Riz = 250 Kg/ha 4-20-20 + oligos
(3) T₂ { Soja = 500 Kg/ha 0-20-20 + oligos
Riz = 500 Kg/ha 4-20-20 + oligos

- (4) Sur fumure thermophosphate = 600 Kg/ha de gypse/2 ans et 100 Kg/ha KCl annuellement (+ N au semis pour riz)
(5) Sur fumure superphosphate simple = 100 Kg/ha KCl annuellement (+ N au semis pour riz)

- (6) Mélange par hectare ⇨ Sur riz : 200 Kg/ha 4-20-20 + 200 Kg thermophosphate granulé + 70 Kg KCl + 20 oligo-éléments.
⇨ Sur soja : 200 Kg/ha 2-20-20 + 200 Kg/ha superphosphate simple + 80 KCl + 20 Kg oligo-éléments

(*) Toutes les cultures pratiquées en semis direct, excepté le riz pluvial qui est précédé d'une scarification profonde qui laisse plus de 50% des résidus de récolte au dessus du sol.

Tableau 9
Influence des interactions niveaux de fumure x rotations sur la productivité de soja et leurs conséquences économiques

Formules de fumures (Kg/ha)	Productivité (en Kg/ha)			Coûts de production (\$/ha)			Marges nettes (\$/ha)		
	Après 3 sojas + 3 céréales	Après 2 sojas + 3 céréales	Après 1 soja + 5 céréales	Après 3 sojas + 3 céréales	Après 2 sojas + 3 céréales	Après 1 soja + 5 céréales	Après 3 sojas + 3 céréales	Après 2 sojas + 3 céréales	Après 1 soja + 5 céréales
② Fumure NPK (TR) (1) recommandée sans calcaire	2 868	2 983	2 848	313	315	313	+ 68	+ 84	+ 66
⑤ T1 + 1 500 calcaire (2) /3 ans	2 421	2 360	2 840	270	270	277	+ 49	+ 42	+ 108
⑥ T1 + 3 000 calcaire (2) /3 ans	2 507	2 477	2 784	272	271	276	+ 62	+ 58	+ 100
⑦ T2 + 1 500 calcaire (3) /3 ans	2 655	3 140	3 334	334	341	345	+ 10	+ 77	+ 103
⑫ 1 000 thermophosphate (4) /3 ans	2 775	3 611	3 700	312	325	327	+ 55	+ 169	+ 181
⑭ 1 500 thermophosphate (4) /3 ans	2 467	3 551	3 655	341	358	360	- 27	+ 121	+ 135
⑯ 1 500 thermophosphate (4) /2 ans	2 699	3 339	3 588	424	434	438	- 91	- 03	+ 31
⑰ 1 500 superphosphate simple (5) /3 ans	2 176	2 647	3 379	312	319	331	- 37	+ 27	+ 127
⑱ 1 ^{re} année 500 thermophosphate + T ₁ , (1) ensuite formule mixte (6)	2 831	3 395	3 393	313	322	321	+ 63	+ 140	+ 140
⑳ 500 thermophosphate granulé, sous la ligne, annuel (4)	2 556	2 888	3 263	331	336	342	- 01	+ 45	+ 96
㉑ 500 superphosphate (5) simple, sous la ligne, annuel	2 450	2 956	3 234	312	319	324	+ 06	+ 75	+ 113
Moyennes	2 582	3 031	3 275	321	328	332	+ 14	+ 76	+ 109
Effet rotation	(100)	(117)	(127)	-	-	-	(100)	(542)	(100)

Source : Séguy L., Bouzinac S. et al, 1994 - Fazenda Progresso - Lucas do Rio Verde - Mato Grosso

- (1) T_R { Soja = 400 Kg/ha 0-20-20 + oligos
Riz = 400 Kg/ha 4-20-20 + oligos
(2) T₁ { Soja = 250 Kg/ha 0-20-20 + oligos
Riz = 250 Kg/ha 4-20-20 + oligos
(3) T₂ { Soja = 500 Kg/ha 0-20-20 + oligos
Riz = 500 Kg/ha 4-20-20 + oligos

(4) Sur fumure thermophosphate = 600 Kg/ha de gypse/2 ans et 100 Kg/ha KCl annuellement (+ N au semis pour riz)

(5) Sur fumure superphosphate simple = 100 Kg/ha KCl annuellement (+ N au semis pour riz)

(6) Mélange par hectare ⇨ Sur riz : 200 Kg/ha 4-20-20 + 200 Kg thermophosphate granulé + 70 Kg KCl + 20 oligo-éléments.

⇨ Sur soja : 200 Kg/ha 2-20-20 + 200 Kg/ha superphosphate simple + 80 KCl + 20 Kg oligo-éléments

(*) Toutes les cultures pratiquées en semis direct, excepté le riz pluvial qui est précédé d'une scarification profonde qui laisse plus de 50% des résidus de récolte au dessus du sol.

Tableau 10
Moyennes des marges nettes et des gains de marges nettes des meilleures formules de fumure minérale (en US\$/ha/an)
par rapport aux marges nettes de la fumure recommandée dans 4 rotations avec successions annuelles, conduites en semis direct (7)

Formules de fumures (Kg/ha)	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		
	Marges nettes	Gain	CV % Marges	Marges nettes	Gain	CV % Marges	Marges nettes	Gain	CV % Marges	Marges nettes	Gain	CV % Marges
② Fumure NPK (TR) (1) recommandée sans calcaire	+ 64	+ 49	(227)	+ 102	+ 27	(27)	+ 153	+ 12	(74)	+ 118	+ 45	(49)
⑤ T1 + 1 500 calcaire (2) /3 ans	+ 67	+ 28	(155)	+ 80	+ 2	(66)	+ 165	+ 19	(86)	+ 85	+ 6	(79)
⑥ T1 + 3 000 calcaire (2) /3 ans	+ 81	+ 33	(126)	+ 85	+ 6	(44)	+ 153	+ 5	(86)	+ 95	+ 13	(79)
⑦ T2 + 1 500 calcaire (3) /3 ans	+ 40	- 16	(352)	+ 73	- 7	(70)	+ 152	+ 3	(80)	+ 105	+ 21	(39)
⑫ 1 000 thermophosphate (4) /3 ans	+ 123	+ 68	(125)	+ 96	+ 15	(58)	+ 191	+ 53	(52)	+ 99	+ 27	(75)
⑭ 1 500 thermophosphate (4) /3 ans	+ 143	+ 91	(123)	+ 104	+ 25	(45)	+ 175	+ 42	(64)	+ 132	+ 67	(115)
⑯ 1 500 thermophosphate (4) /2 ans	+ 118	+ 70	(103)	+ 112	+ 33	(58)	+ 176	+ 46	(111)	+ 93	+ 33	(114)
⑰ 1 500 superphosphate simple (5) /3 ans	+ 97	+ 51	(165)	+ 87	+ 9	(132)	+ 157	+ 32	(71)	+ 140	+ 82	(64)
⑱ 1 ^{re} année 500 thermophosphate + T ₁ , (1) ensuite formule mixte (6)	+ 90	+ 45	(164)	+ 123	+ 47	(42)	+ 170	+ 48	(66)	+ 90	+ 35	(83)
⑳ 500 thermophosphate granulé, sous la ligne, annuel (4)	+ 90	+ 49	(151)	+ 100	+ 26	(69)	+ 160	+ 42	(79)	+ 185	+ 135	(58)
㉑ 500 superphosphate (5) simple, sous la ligne, annuel	+ 85	+ 45	(175)	+ 114	+ 41	(76)	+ 182	+ 67	(55)	+ 120	+ 72	(61)
Moyennes												
Effet rotation												

12

Source : Séguy L., Bouzinac S. et al, 1994 - Fazenda Progresso - Lucas do Rio Verde - Mato Grosso

- (1) T_R { Soja = 400 Kg/ha 0-20-20 + oligos
Riz = 400 Kg/ha 4-20-20 + oligos
(2) T₁ { Soja = 250 Kg/ha 0-20-20 + oligos
Riz = 250 Kg/ha 4-20-20 + oligos
(3) T₂ { Soja = 500 Kg/ha 0-20-20 + oligos
Riz = 500 Kg/ha 4-20-20 + oligos

(4) Sur fumure thermophosphate = 600 Kg/ha de gypse/2 ans et 100 Kg/ha KCl annuellement (+ N au semis pour riz)

(5) Sur fumure superphosphate simple = 100 Kg/ha KCl annuellement (+ N au semis pour riz)

(6) Mélange par hectare ⇨ Sur riz : 200 Kg/ha 4-20-20 + 200 Kg thermophosphate granulé + 70 Kg KCl + 20 oligo-éléments.

⇨ Sur soja : 200 Kg/ha 2-20-20 + 200 Kg/ha superphosphate simple + 80 KCl + 20 Kg oligo-éléments

(7) Toutes les cultures pratiquées en semis direct, excepté le riz pluvial qui est précédé d'une scarification profonde qui laisse plus de 50% des résidus de récolte au dessus du sol.

attirent les conclusions et recommandations suivantes :

- Au plan agronomique

L'effet rotation est toujours plus important que l'effet fumure minérale sur la productivité des cultures, dès lors que celle-ci n'est pas limitante [Séguy L., Bouzinac S. et al., 1989 (8) 1992 (14)]. La productivité de soja est corrélée positivement avec un maximum de paille précédente sa culture, avec effet cumulatif au cours du temps, et corrélée négativement avec la fréquence de la sole soja; les gains de productivité par l'effet paille, vont, suivant sa fréquence dans la rotation de 17 à 27% (tableau 9).

À l'inverse, la productivité de riz est corrélée positivement à la fréquence du précédent soja dans la rotation et corrélée négativement à la fréquence du facteur paille; le niveau de réponse du riz à la fréquence du précédent soja est très important, puisque la productivité peut, plus que doubler, par rapport à des précédents où les pailles dominent : 126% d'augmentation moyenne de rendements toutes fumures confondues, avec un effet différentiel minimum du niveau de fumure (rotation III du tableau 7).

La fumure NPK de fort niveau appliquée sous la ligne de semis sur les cultures principales annuelles, riz et soja, de 25% supérieures en dosage à la fumure recommandée⁽¹⁾, n'apporte aucune augmentation significative de rendement sur riz (traitement 7 du tableau 7).

Dans toutes les rotations, le riz pluvial exprime les rendements les plus élevés et le meilleur état sanitaire en présence des formules contenant du thermophosphate⁽²⁾ et surtout lorsque le thermophosphate est appliqué comme fumure de fond pour 2 ou 3 ans, soit 4 à 6 cultures successives (tableau 7, traitements 14 et 16).

Pour atteindre des objectifs de production de soja, entre 3 et 4 tonnes/ha, il faut, outre un important précédent paille, utiliser des formules à base de thermophosphate + gypse, l'élément soufre étant un élément nutritionnel majeur pour le soja (tableau 8), ou des formules combinant, thermophosphate et fumure PKS, soluble (tableaux 8 et 9).

L'utilisation des successions annuelles dans ces 4 rotations, permet d'augmenter très significativement la production annuelle par unité de surface, tout en protégeant totalement le sol contre l'érosion.

L'efficacité des fumures minérales est très élevée, lorsque les meilleurs modes de gestion des sols sont appliqués; par exemple dans la rotation : soja + sorgho/soja/riz + sorgho, avec la fumure minérale utilisant le thermophosphate, en fumure de fond à la dose de 1 500 Kg/ha, pour 5 cultures successives, la part de la fumure qui revient à chaque culture est, en unités/ha = 52,5 P₂O₅, 43,2 K₂O, 79,2 Ca, 27 Mg, 75 SiO₂, 15,6 S ; ces niveaux d'éléments minéraux sont extrêmement modérés en regard du niveau élevé des productivités obtenues. Ce qui confirme clairement, l'importance prépondérante des modes de gestion agrobiologique des sols et des cultures qui permettent de minimiser l'utilisation des engrais minéraux par une meilleure valorisation de la ressource sol grâce aux pompes biologiques, en semis direct.

- Au plan économique

La conjoncture économique a été extrêmement fluctuante et chaotique au cours de la période 1989-1993.

Aux difficultés inhérentes à l'isolement des fronts pionniers

(état déplorable des routes entraînant des coûts de fret prohibitifs) se sont ajoutés les dysfonctionnements financiers provoqués par les plans de restructuration économique successifs. Il en résulte pour les années 1991, 1992 et 1993, des coûts de production très élevés croissants, et des prix payés au producteur, ou stagnants ou en baisse pour les produits soja et riz, malgré, pour ce dernier, la diffusion de variétés de riz de qualité de grain équivalente à celle du riz irrigué⁽³⁾; cette situation économique s'est encore aggravée, en 1995, provoquant la faillite générale des fronts pionniers⁽⁴⁾ (figures 1, 2 et 3).

Dans ces conditions très contraignantes pour les producteurs, les formules de fumure qui apportent les accroissements de revenus les plus importants et les marges nettes les plus stables par rapport à la fumure vulgarisée, sont :

Dans la rotation I (riz + sorgho/soja + sorgho/riz + sorgho/soja), soit 5 céréales plus 2 sojas sur 4 ans, la fumure de fond de 1 500 Kg/ha de thermophosphate + 600 Kg/ha de gypse; elle procure une marge nette⁽⁵⁾ moyenne sur 4 ans, de 143 US\$/ha/an et 91 US\$/ha/an de plus que la fumure recommandée (tableau 10).

- dans la rotation II (soja + sorgho/soja + sorgho/soja + sorgho/soja), la fumure mixte : thermophosphate + NPK soluble, ou la formule 500 Kg/ha de superphosphate simple + 100 Kg/ha de KCl, appliquées sous la ligne de semis, sur la culture principale soja de la succession annuelle; ces formules procurent des marges nettes moyennes de 123 US\$/ha/an et 114 US\$/ha/an respectivement, et plus de 40 US\$/ha/an de plus que la fumure recommandée (tableau 10).

Dans la rotation III (soja + sorgho/soja/riz + sorgho/soja),

(1) Recommandations EMBRAPA, CPAC - (Souza D.M.G., 1987 - Van Raij B., 1991, Lopes A. S., 1984).

Sur soja : 8 N - 80 P₂O₅ - 80 K₂O + oligo éléments - Sur riz : 35 à 40 N - 70 P₂O₅ - 70 K₂O + oligo éléments.

Application d'amendement calcaire, lorsque le taux de saturation en bases échangeables descend en dessous de 40%.

NC (Nécessité en tonne/ha) = (V2 - V1) x T

x f ⇒
$$\begin{cases} V1 = \% \text{ saturation en bases, actuel ; } V2 = \% \text{ saturation désiré ; } T = \text{capacité d'échange} \\ f = \text{facteur de correction du pouvoir relatif de neutralisation du calcaire (PRNT)} \\ f = 100/\text{PRNT} \end{cases}$$

100

(2) Composition du thermophosphate Yoorin master, en % ⇒ P₂O₅ = 17,5 ; CaO = 28 ; MgO = 14,5 ; B = 0,1 ; Zn = 0,55 ; Mn = 0,12 ; Cu = 0,05 ; Mo = 0,006 ; Fe = 1,0 ; SiO₂ = 25.

(3) Créations du CIRAD-CA (Séguy L., Bouzinac S., 1990-1995).

(4) Il faut produire plus de 3 700 Kg/ha de soja en 1995 pour couvrir les coûts de productions. Le prix payé pour sac de 60 Kg est, sur les frontières de 33% inférieur au prix offert dans l'état de São Paulo.

(5) Calcul des marges ⇒ marges brutes = recettes - coûts de production ; marges nettes = recettes - (coûts de production + 20%). Les 20% servent à couvrir les frais financiers plus les frais généraux de l'exploitation.

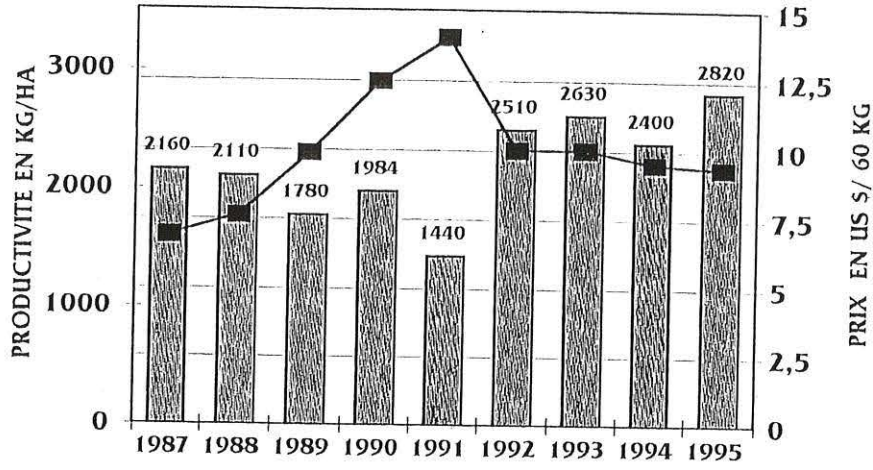


FIG.1

PRODUCTION POUR COUVRIR LES COUTS
 PRIX PAYE POUR LE RIZ

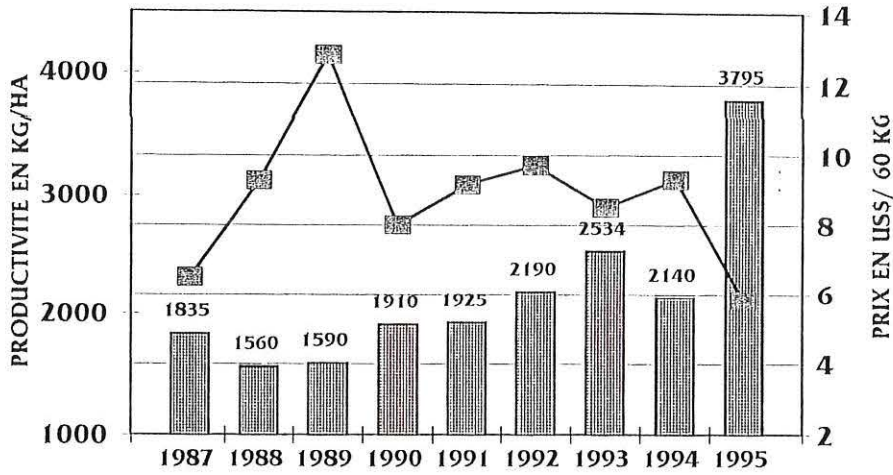


FIG.2

PRODUCTION POUR COUVRIR LES COUTS
 PRIX PAYE POUR LE SOJA

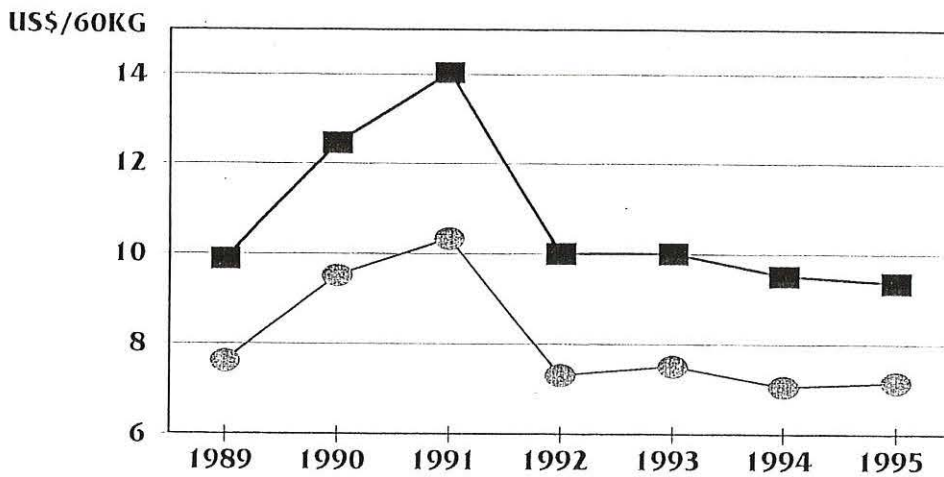


FIG. 3

PRIX PAYE POUR LE RIZ COMMUN
 PRIX PAYE POUR LE RIZ LONG FIN

Tableau 11
Coûts de l'installation de la pompe biologique mil avant semis direct du soja, comparés à ceux des modes de preparation des sols

	Installation des pompes biologiques		Modes de preparation des sols	
	1 ^o technique	2 ^o technique	Labour	Offset traditionnel
Opérations	Semis à la volée du mil + incorporation à l'offset + dessication du mil	Semis direct du mil + dessication du mil	Offset lourd + labour + speed tiller	2 offsets lourds 2 offsets léger
Coûts de production (en US\$/ha)	47,55	46,55	51,40	48,90

Source : Séguy L., Bouzinac S. et al, 1994 - Fazenda Progresso - Lucas do Rio Verde - Mato Grosso

Tableau 12
Performances agro-économiques des pompes biologiques pratiqués avec semis direct, en succession annuelle de soja ou riz

Opération - Coûts de production (\$/ha)		2 Hypothèses de productivité (kg/ha)	Recette (\$/ha)	Marge nette (\$/ha)
Dessication (Paraquat)	14,65	Ⓐ 1 200	80,00	29,75
Semis (1)	20,6			
Récolte	15,00	Ⓑ 2 000	133,3	83,00
Total	50,25			

(1) Semences de la fazenda traitées aux fongicides (Thiabendazole + Thiram)

Source : Séguy L., Bouzinac S. et al, 1994 - Fazenda Progresso - Lucas do Rio Verde - Mato Grosso

la formule annuelle 500 Kg/ha de superphosphate simple + 100 Kg/ha de KCl, ou la formule mixte : thermophosphate + NPK soluble appliquée sous la ligne, ou, 1 000 Kg/ha de thermophosphate + 600 Kg/ha de gypse en fond, pour 3 ans (5 cultures) : les marges nettes moyennes sont respectivement de : 182, 170 et 176 US\$/ha/an et les gains par rapport à la fumure recommandée correspondent de : 67, 48 et 46 US\$/ha/an. On notera que les formules à bas niveaux d'engrais (formules 2,5, 12 du tableau 10), inférieure à celle de la formule vulgarisée, procurent également des marges nettes moyennes équivalentes, ou légèrement supérieures à celle de la fumure vulgarisée, et que la fumure soluble de fort niveau NPK au contraire, n'entraîne en moyenne, aucune augmentation de marge nette/ha, pour toutes les rotations.

Les coûts d'installation des pompes biologiques (mil précédent le semis direct du soja), sont équivalents ou légèrement inférieurs à ceux de préparation des sols, réalisés à l'offset ou aux socs (tableau 11) ; mais la capacité de travail et la flexibilité d'utilisation des équipements sont nettement supérieures avec semis direct : par exemple, après une seule pluie de 80 mm, on peut réaliser le semis direct, 6 heures après ; de même, en période pluvieuse, quasi permanente, même lorsque le sol est saturé d'eau, il est possible, si nécessaire, de semer en semis direct, après une heure sans pluie.

Les résultats économiques obtenus sur les pompes biologiques (sorgho, mil), installées en succession de la culture principale soja ou riz, montrent que leur coût de production est d'environ 50 US\$/ha et que leurs marges nettes peuvent varier de 30 à 80 US\$/ha en fonction de 2 hypothèses de productivité, respectivement 1 200 et 2 000 Kg/ha, qui sont couramment obtenues en grande culture (tableau 12) [Séguy L., Bouzinac S et al., 1993 (16), 1994 (18)].

Une meilleure valorisation de ces pompes biologiques de qualité,

(farine, alcool fin, pâtes, bière, ensilage, pâturage), permettrait d'accroître encore nettement ces marges et de représenter ainsi un intérêt économique décisif allié à leurs qualités agronomiques remarquables.

Pour ce qui concerne les limitations techniques à l'utilisation du semis direct continu dans les successions annuelles en rotation, il faut relever l'importance de bien laisser amorcer la pompe biologique avant semis, soit la nécessité d'avoir des conditions d'humidité suffisantes dans le profil cultural ; sinon, en cas d'insuffisance hydrique, il y a immobilisation temporaire de l'azote, et une minéralisation très lente de la matière organique au dessus du sol, provoquant une sous alimentation temporaire de la culture, en éléments nutritifs ; ces conditions sont souvent réunies dans le cas d'un semis très précoce, aux premiers pluies utiles ; il convient dans ce cas d'appliquer sous la ligne, au semis 100 Kg/ha de sulfate d'ammoniaque comme fumure starter [Séguy L., Bouzinac S. et al., 1993 (17)].

Une fois établies les règles agrotechniques de la production, ce sont les conditions de prix offertes au producteur (taux d'intérêt sur le crédit, incitation aux investissements en correction phosphatée, en machines de semis direct) qui déterminent le choix des rotations et assolements : des études de simulation ont été réalisées à cet égard pour l'aide à la prise de décision de l'agriculteur, des coopératives, des banques et des responsables de la politique agricole [Séguy L., Bouzinac S. et al., 1993 (18), 1994 (19)].

B/ L'INTÉGRATION AGRICULTURE ÉLEVAGE : LA VOIE ROYALE DE LA STABILITÉ ÉCONOMIQUE⁽¹⁾

Dans la conjoncture économique actuelle, très instable et chaotique qui régnait sur les fronts pionniers et qui engendre des difficultés financières chroniques chez les agriculteurs, il est de première importance de diver-

sifier les productions agricoles. L'état du Mato Grosso possède 15 millions d'hectares de pâturages naturel et cultivé, avec un troupeau de l'ordre de 10,5 millions de têtes (de race zebu dominante).

L'élevage est conduit de manière extensive, avec une charge de bétail inférieure à 0,5 UGB/ha. Les activités de production de grains et d'élevage sont totalement séparées [Cortés N. de, 1993 (1)].

L'intégration agriculture-élevage, au delà de permettre la transformation en viande ou lait des productions de grains mal rémunérées, (maïs, sorgho, mil) et de capitaliser l'agriculteur, peut apporter des améliorations agronomiques décisives pour la gestion des sols, à moindre coût, par l'importance de la biomasse que les graminées fourragères sont capables de mobiliser (espèces *Brachiaria brizantha*, *Panicum maximum*), aussi bien au dessus du sol, qu'en dessous dans le profil cultural, par le puissant recyclage d'éléments nutritifs, la restructuration du profil par voie biologique profonde, la reconstitution du stock de matière organique, ses effets sur le complexe parasitaire des cultures, etc...

La combinaison, en rotation, des systèmes de production de grains à base de semis direct (grands producteurs de biomasse, au dessus, comme dans le profil, grâce aux "pompes biologiques"), avec les graminées fourragères qui sont également des "pompes biologiques" extrêmement puissantes, permettent de construire des systèmes reproductibles, moins dépendants du système économique actuel, qui protègent complètement le capital sol.

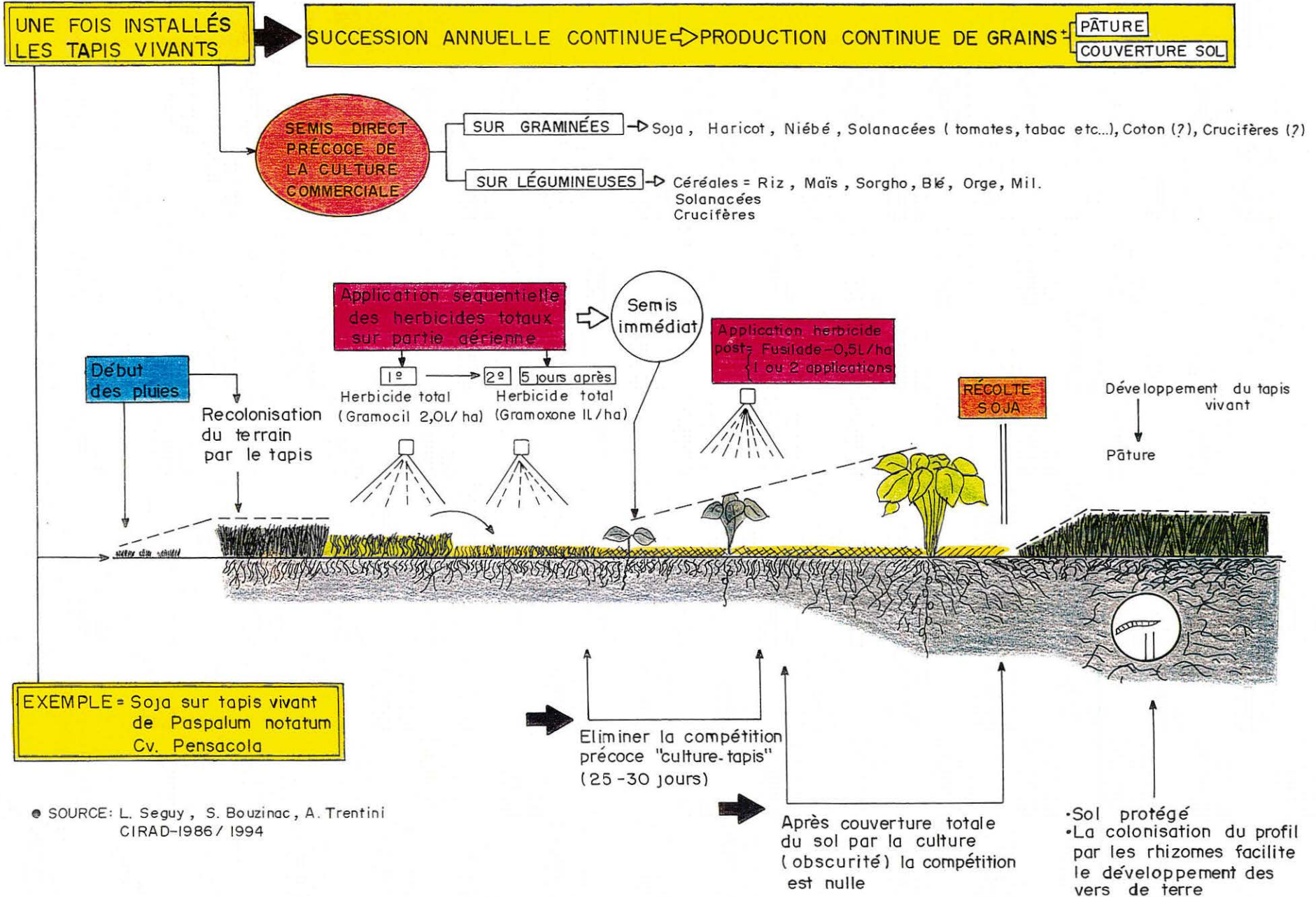
Ces systèmes offrent toutes les garanties agronomiques, techniques et économiques pour valoriser, à moindre coût, les ressources naturelles (capacité photosynthétique) au profit d'une activité agricole diversifiée, stable et lucrative.

Deux voies complémentaires d'intégration ont été construites depuis 1990 :

- les rotations, sur 3 ou 4 ans, des systèmes de production de grains et d'élevage⁽¹⁾,

(1) Le CIRAD-CA conduit en partenariat avec l'EMPAER-MT (recherche de l'état du Mato Grosso) et la Cooperlucas, une unité expérimentale de 120 hectares entièrement consacrée à ce thème capital. L'unité étudie depuis 1992, les rythmes de rotations les plus performants agroéconomiquement entre les deux activités : les rotations portent sur 2, 3, 4 et 5 ans entre pâturages *Brachiaria brizantha* et *Panicum maximum* (cv. Tanzânia) pour la production de lait et viande, et les meilleurs systèmes de production de grains à 2 cultures annuelles conduits en semis direct.

Schéma 4



- les successions annuelles : production de grains + pâturage en succession annuelle, dans lesquelles la culture est installée sur un tapis permanent vivant qui sert de pâturage.

1. Les rotations triennales ou quadriennales : cultures-pâturages

• **Implantation du pâturage en succession annuelle après la culture principale (soja, riz), en semis direct**

Le soja (ou riz) est semé précocement en octobre, récolté fin février; au fur et à mesure de la récolte de soja, le pâturage est planté en semis direct : *Panicum Tanzânia* ou *Brachiaria Brizantão*, dont les semences ont été, au préalable traitées aux fongicides (Thiabendazole + Thiram).

Ce système a été implanté à la Fazenda Progresso sur 400 hectares, avec des résultats remarquables : charge de 2,2 têtes de bouillons (de 27 mois) par hectare durant toute la saison sèche (84 jours), avec un gain moyen de poids de 0,423 Kg/ha/tête (Cortês N. de A., 1993). En saison des pluies, la charge peut atteindre de 4 à 6 UGB/ha, à condition d'organiser un système de pâturage tournant, avec clôture électrique.

Le coût d'implantation du pâturage, en semis direct derrière soja est de 47,86 US\$/ha.

Par rapport au système traditionnel d'élevage extensif actuellement en vigueur au Mato Grosso tous les indices zootechniques sont nettement améliorés comme le montrent les résultats du tableau 13.

Le coût du pâturage est dans ce système intégré de 63,42 US\$/ha, le coût d'un boillon par "arroba" (unité de poids = 15 Kg), est de 13,50 US\$, le coût d'un boeuf de 4 ans, par arroba, de 16,18 US\$.

La Fazenda Progresso compte aujourd'hui un cheptel de 1 500 têtes de bétail sur 400 hectares de pâturages (variétés *Tanzânia* et *Brizantão*) et le pâturage installé depuis 1990, ne manifeste aucun signal de déclin après 3 ans d'utilisation intensive, sans fertilisation d'entretien.

Les profils racinaires effectués

Indices zootechniques comparatifs entre élevage traditionnel et élevage en rotation avec les cultures		
	Système traditionnel	Système intégré (Fazenda Progresso)
Naissance (%)	55	85
Mortalité (%)	10	5
Âge à l'abattage (années)	4	2 à 2,5
Poids à l'abattage (Kg)	255	245
Intervalle entre velages (mois)	22	14

Source : Nelson de Angelis Cortês (EMPAER) - Fazenda Progresso - 1995

après 18 mois sous *Panicum maximum* (cv. *Tanzânia*) révèlent un enracinement très puissant, supérieur à 2,50 m de profondeur avec des racines très riches en exsudats à partir de 80 cm : une pompe biologique restructurante, exceptionnelle.

• Le passage du pâturage à la culture

En fin de saison de pluies (15-20 avril), une très forte charge animale est conduite sur le pâturage pour la rabattre au maximum ; ensuite, trois options possibles pour passer à la culture :

- **option 1** : offset lourd pour pré-incorporer le pâturage, puis labour profond au soc, dressé (si nécessaire, apporter les amendements au labour) ; à l'entrée de la saison des pluies suivante, passer un cultivateur à dents sur le labour et planter le riz pluvial, 1^{ère} culture d'une séquence de 6 cultures en semis direct (riz + sorgho, mil/soja + sorgho, mil/soja + sorgho, mil) ;

- **option 2** : herbicide total (glyphosate à la dose de 1 680 g/ha) en fin de saison de pluies ; aux premiers pluies suivantes achever l'herbicidage au glyphosate sur les repousses et levées (720 g/ha), puis semis direct en suivant de soja, dans lequel le contrôle des repousses éventuelles de pâturage, sera effectué à l'herbicide Fluzifop P butyl ;

- **option 3** : passage d'un paraplow, en fin des pluies (début mai), qui provoque à la fois une rupture capillaire et une rupture complète des systèmes racinaires ; à l'entrée des pluies, on procède comme dans l'option 2, par herbicidage.

2. Le concept des tapis vivants : une pompe biologique, qui

fonctionne en continu, pour les successions annuelles "production de grains-pâturage"

Ce concept est certainement celui qui offre la simplification maximum des opérations culturales, tout en assurant une protection parfaite des sols contre l'érosion et qui associe, chaque année les activités de production de grains et d'élevage, en succession [Séguy L., Bouzinac S. et al., 1989 (18), 1995 (20)].

Le principe de cette succession est basé sur la culture de grains sur des tapis permanents à rhizomes et/ou stolons.

Ces tapis sont exclusifs des autres espèces (adventices en particulier) et doivent présenter une bonne qualité fourragère.

Ce sont, parmi les graminées : *Cynodon dactylon* (variétés **Tifton**⁽¹⁾ en particulier), *Paspalum notatum* (nombreuses espèces), *Pennisetum clandestinum* (plusieurs variétés), genres *Axonopus*, *Stenotaphrum* etc..., et parmi les légumineuses : genres *Arachis* (*pinto*, *repens*), *Lotus* (*uliginosus*, *corniculatus*), *Trifolium* (*semi pilosum*), *Tephrosia* (*pedicellata*), *Calopogonium* (*mucunoides*), *Pueraria* (*phaseoloides*)⁽²⁾, etc... [Séguy L., Bouzinac S. et al., 1989 (8), 1995 (20)].

Le principe de culture est d'abord 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 "culture-tapis" en voie d'installation est annulée par herbicides jusqu'à ce que la culture recouvre totalement le sol, moment à partir duquel, sous l'ombrage de la culture, la compétition est réduite au minimum. Après la récolte de la culture commerciale, le tapis recouvre

(1) Ces hybrides de *Cynodon*, créés par le Pr. Burton, Glenn W., Dr. Usda Georgie-EUA, possèdent 20% de protéines brutes dans la matière sèche et peuvent produire entre 15 à 18 tonnes de matière sèche/ha/an - (Tifton 68 et 85).

(2) Travaux du CIRAD-CA réalisés à la Réunion par R. Michellon (Doc. internes CIRAD-CA - 1995).

rapidement le sol et peut être pâturé par les animaux (ou exploité sous forme de foin, dans le cas des légumineuses et des *Cynodons Tifton*). Ce système est permanent, sa pérennité est assurée par sa dominance absolue sur les autres espèces, son exclusivité, grâce aux rhizomes ou stolons ou graines [Séguy L., Bouzinac S., 1992 (15)]. La gestion herbicide de ces tapis vivants est maintenant au point pour la plupart des cultures annuelles (soja, maïs, sorgho, etc) - [Séguy L., Bouzinac S., 1995 (20)].

Une fois ces tapis vivants installés, le pilotage de la culture se fait par voie herbicide comme le montre le schéma 3. Les opérations culturales sont réduites au minimum : herbicide de contact juste avant le semis direct, herbicide post émergent à faible dose, si nécessaire, et récolte. Ce système de culture est praticable aussi bien par les petites agricultures manuelles et à traction animale, que par la grande agriculture mécanisée.

De nombreuses observations convergentes, obtenues depuis 1989, aussi bien au Brésil, qu'en Afrique, Madagascar, La Réunion, montrent que ces systèmes sont les plus aptes 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 - [Séguy L., Bouzinac S. et al., 1992 (15)] ; de même les vers de terre, en sols ferrallitiques acides, et sols à allophanes⁽¹⁾, prennent un développement extraordinaire sous les graminées à rhizomes des genres *Paspalum notatum*, *Pennisetum clandestinum*⁽²⁾ - [Séguy L., Bouzinac S. et al., 1992 (14)].

Le système *Calopogonium* + maïs, sorgho, riz de cycle court

Il a été implanté d'abord sur la fazenda Progresso au Mato Grosso et a permis d'atteindre les plus hautes productivités de maïs, sur la période 1986-1992, avec un minimum d'intrants en 1989 (6 500 Kg/ha), et plus récemment sur l'unité expérimentale de la Cooperlucas où la productivité du

maïs a dépassé 9 200 Kg/ha, en 1994 [Séguy L., Bouzinac S. et al. 1994 (18)].

Il a été également pratiqué, en pré-Amazone, sur le Projet Agripec entre 1989 et 1992, où il a permis, de diminuer de moitié l'utilisation des engrais minéraux et des herbicides en ne les appliquant qu'un an sur deux, dans une rotation maïs + *Calopogonium* avec intrants, suivie de sorgho + *Calopogonium* sans intrants (ni engrais, ni herbicide - tableau 14).

Dans ce système, le *Calopogonium* est semé ou avant la culture à la volée, ou en même temps que le semis mélangé à l'engrais.

Les herbicides de pré-émergence Pendiméthaline et Alachlore lui sont sélectifs dans les cultures de riz et maïs, respectivement :

- après la récolte des céréales, le *Calopogonium* recouvre complètement le sol pour faire une masse de 8 à 10 tonnes/ha de matière sèche qui se rajoute aux résidus de récolte ; ses grains tombent sur le sol à maturité et lui assurent sa pérennité pour les cycles suivants.

En cas de besoin, avant semis direct, l'année suivante l'herbicide de contact Diquat peut être utilisé.

Les mêmes itinéraires peuvent être construits avec les légumineuses des genres *Pueraria*, *Tephrosia*, *Centrosema*, *Macroptilium*, *Stilozobium*⁽³⁾, etc...

Le semis direct de soja sur tapis vivants de *Paspalum notatum*, *Paspalum wettsteini*, *Cynodon dactylon*

Ces espèces sont faciles à implanter par graines mélangées à celles du riz pluvial (ou avec l'engrais), ou semées à la volée avant riz,

maïs, sur sol propre ; après la récolte des céréales, elles recouvrent rapidement le sol, étouffant toutes les adventices.

L'année suivante, à la reprise de végétation aux premières pluies, on effectue l'application séquentielle de l'herbicide Paraquat en deux fois à cinq jours d'intervalle (200 g/ha + 100 à 200 g/ha), puis le semis direct du soja, dans lequel, si nécessaire, l'herbicide Fluzifop P butil pourra être utilisé en post émergence à doses faibles (62 g/ha) pour ne pas détruire ses organes de pérennité : ses rhizomes (schéma 3) - [Séguy L., Bouzinac S. et al. 1992 (14), 1995 (20)].

Le tableau 15, montre que ce système, outre sa facilité d'exécution et son utilisation comme pâturage en succession annuelle, permet de réduire les coûts de production de près de 30% par rapport au système de semis direct sur pailles de riz.

La gestion peut être encore plus "écologique", en utilisant au lieu d'un herbicide de contact avant semis direct du soja, un régulateur de croissance à faible dose ; à l'île de la Réunion, le *Pennisetum clandestinum* est ainsi réduit à l'état de vie ralentie, non concurrentielle pour la culture, sur près de 45 jours, par 100 g/ha de matière active de Mefluidide, ce qui dispense ensuite l'utilisation d'herbicide post-émergent, et réduit encore les coûts de production.

Il est très important, de mentionner que, au-delà de son action très favorable sur le développement de la macrofaune (vers de terre en particulier), ce système de semis direct de légumineuses sur tapis de graminées pérennes, peut être aussi utilisé avec succès pour les

Tableau 14

Performances agro-économiques de la rotation maïs/sorgho sur <i>Calopogonium</i> , en semis direct					
Productivités (Kg/ha)		Coûts de production (US\$/ha)		Marges nettes (US\$/ha)	
Maïs (a)	Sorgho (b)	Maïs	Sorgho	Maïs	Sorgho
Avec intrants					
Sans intrants					
5 526	4 100	413	64	102	230

Source : Séguy L., Bouzinac S. et al., 1992 - Fazenda Agripec - état du Maranhão
 (a) - Hybride Pioneer 3210
 (b) - Hybride AG 2005

(1) Travaux du CIRAD-CA menés par Michellon R. à l'île de la Réunion (Documents internes CIRAD-CA 1993-1995).

(2) Grâce à la fois, au turn over permanent de la matière organique et l'amortissement des amplitudes thermiques et hydriques des sols.

(3) Avec maïs et sorgho, pas avec riz pluvial.

Tableau 15

Performances agro-économiques de la culture de soja en semis direct sur tapis vivant de <i>Paspalum notatum</i> , et sur pailles de riz					
Productivités (Kg/ha)		Coûts de production (US\$/ha)		Marges nettes (US\$/ha)	
Sur <i>Paspalum</i>	Sur pailles riz	Sur <i>Paspalum</i>	Sur pailles riz	Sur <i>Paspalum</i>	Sur pailles riz
2 686	3 027	265	329	116	93

(*) Sur la même expérimentation en conditions d'exploitation réelles (2 hectares/itinéraire), le système de monoculture de soja, pratiqué à l'offset a entraîné des marges nettes négatives de, - 114 US\$/ha, et le système soja en semis direct après la succession annuelle riz + sorgho, a permis d'obtenir une marge nette de + 142 US\$/ha.

Source : Séguy L., Bouzinac S. et al., 1992 - Fazenda Progresso - Mato Grosso

Tableau 16

Teneurs en matière organique comparée, après 2 ans, entre système de semis direct sur tapis de <i>Paspalum</i> et semis direct sur pailles		
Horizon (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

Source : Séguy L., Bouzinac S. et al., 1992 - Fazenda Progresso - Mato Grosso

cultures de solanées (tomates, pommes de terre), sur lesquelles, ilsupprime totalement l'incidence de *Pseudomonas solanacearum* sur andosols de la Réunion⁽¹⁾.

Ce système est également un excellent pourvoyeur et reconstituant en matière organique pour le profil cultural des sols ferrallitiques rouges-jaunes des fronts pionniers humides, comme le montrent les résultats du tableau 16.

Enfin, sur la même voie, nous étudions actuellement le même système de semis direct de soja et coton sur Tifton, Coast cross, (*Cynodon dactylon*), espèces à très haute teneur en protéine brute, forte productivité de matière sèche qui peuvent être, ou pâturées en succession annuelle après la récolte, ou utilisées comme foin d'excellente qualité en saison sèche (complément d'alimentation pour le bétail en saison sèche, période la plus critique [Séguy L., Bouzinac S. et al., 1995 (20)]).

3. Réaménager l'espace rural

Sur toutes les frontières agricoles, le "rouleau compresseur" de la mécanisation, a systématiquement tout défriché, exceptées les

forêts galeries bordant les fleuves (filtres naturels), laissant des immensités agricoles totalement dénudées et ouvertes à tous les excès climatiques (vents, érosion éolienne, élimination des prédateurs, etc...).

Il est important de réaménager, réorganiser cet espace rural totalement ouvert, dans le sens de la création d'un bocage, régulateur climatique et biologique. Le CIRAD-CA s'est engagé dans ce sens depuis 1992 sur les fronts pionniers [Séguy L., Bouzinac S. et al., 1995 (20)].

Deux voies sont actuellement en cours d'étude :

1^o option : les terrasses de base large, maintenant implantées systématiquement comme dispositif anti érosif, peuvent être plantées, à leur sommet, sur 1 m de large, sans gêner la mécanisation, d'espèces fourragères à très forte production de biomasse, résistantes à la sécheresse : *Bana grass*⁽²⁾, *Tripsacum laxum*, *Pennisetum purpureum*, et à reproduction exclusivement végétative pour ne pas polluer les parcelles de culture (plantation par boutures).

autre option possible : les terrasses de base large sont semées

aux premières pluies en maïs ou sorgho, (qui peut être ensilé pour le bétail) ; après la récolte du maïs ou du sorgho, semis direct de mil à cycle court pour la production de grains sur une partie des terrasses ; sur l'autre partie, semis direct de mils à cycles longs, non photosensibles, gros pourvoyeurs de matière verte pour la saison sèche.

Au delà de la production de plantes fourragères à très forte biomasse et d'excellente qualité fourragère, utilisée en vert, ou comme ensilage, qui peut permettre d'engraisser de jeunes bovins en saison sèche, donc apporter un revenu substantiel additionnel, l'espace rural sera fragmenté durant toute la saison des pluies et partie de la saison sèche par les haies vives qui doivent jouer un rôle de régulateur biologique et climatique contre les excès climatiques, la circulation des spores de champignons, les insectes, et permettra d'abriter leurs prédateurs.

Une troisième voie mérite d'être expérimentée : plantation des terrasses avec *Acacia albida* (légumineuses arbustives sahéliennes à haute valeur fourragère et agronomique) ; cette espèce offre la particularité de perdre son feuillage en saison de pluies, donc permet de ne pas perdre de surface de semis, et de recouvrir son feuillage en saison sèche, pouvant servir d'ombrage et d'alimentation pour les animaux (gousses très riches en protéines)

III - CONCLUSIONS

Le présent article retrace la construction, par la recherche, oeuvrant avec, pour et chez les agriculteurs dans leur milieu, de nouveaux concepts et pratiques agricoles réellement adaptés aux contraintes pédoclimatiques des fronts pionniers de la zone tropicale humide de l'Ouest du Brésil. Les nouveaux concepts de gestion agrobiologique des sols et leur mise en pratique sont basés sur le fonctionnement de la forêt ombrophile, adaptés à l'activité agricole : le sol est totalement protégé contre l'érosion par une forte biomasse en surface, pour

(1) Travaux du CIRAD-CA menés par Michellon R. à l'île de la Réunion (Documents internes CIRAD-CA 1993-1995).

(2) *Bana grass* = hybride stérile entre *Pennisetum purpureum* et *Pennisetum typhoides*

éviter sa minéralisation rapide ; cette biomasse, véritable pompe biologique, est renouvelable, à moindre coût, avant et/ou après chaque culture, en conditions climatiques marginales et a pour fonctions agronomiques essentielles, à la fois, de protéger complètement le sol contre l'érosion, d'alimenter la culture par voie biologique, de minimiser, voire supprimer les pertes en éléments nutritifs dans le système sol-plante par un puissant système racinaire recycleur, de maintenir une biostructure stable dans le profil cultural, et de permettre un meilleur contrôle, des adventices et du complexe parasitaire des cultures, en général.

Trois grands types de systèmes de culture ont été construits à partir de ce concept de base, à l'image de la forêt : les systèmes de production continue de grains, bâtis sur des successions à 2 cultures annuelles (1 culture principale + 1 culture "pompe biologique") pratiquées en semis direct ; ce sont : - les successions : mil + soja + sorgho-mil, soja + sorgho-mil, riz + sorgho-mil, crotalaire + riz, qui peuvent être organisées en diverses rotations et assolements en fonction de la conjoncture économique.

- Les systèmes intégrant les activités de production de grains, en semis direct, en rotation avec l'élevage, tous les 3 à 4 ans.

- Les successions annuelles sur tapis vivants pérennes, de production de grains en semis direct, suivies de pâturage.

Les résultats agro-économiques obtenus sur les systèmes à 2 cultures annuelles en succession, pratiquées en semis direct, en conditions d'exploitation réelles, aussi bien en terres neuves de savanes et de forêts qu'en terre de vieille culture (18 ans de culture continue) montrent que ce sont bien les facteurs biologiques, à travers la gestion du statut organique du sol qui sont prépondérants pour l'obtention de hautes productivités, stables, à moindre coût, sous une pluvio-

métrie de 2 000 à 3 000 mm. Ces systèmes, en semis direct, sont plus productifs et lucratifs que les mêmes systèmes avec travail du sol et leur productivité peut se maintenir, sur une période d'étalement des semis de 60 jours à partir des premières pluies, à condition que les sols soient bien drainés et qu'une fumure de fond à base de thermophosphate + gypse soit utilisée (pour 5 à 6 cultures) pour que les pompes biologiques placées avant et/ou après les cultures principales, puissent exercer leurs fonctions avec un maximum d'efficacité : volume de biomasse nourricière au dessus du sol, profond et puissance restructurante de l'enracinement recycleur, contrôle des adventices, et protection totale contre l'érosion.

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 (semis direct x pompes biologiques). En particulier, la correction de l'acidité (toxicité Al) et son entretien peuvent se faire, à moindre coût, dès lors que le système de culture utilisé permet de minimiser les pertes en Ca, Mg, K, NO₃ dans le système sol-plante. La résolution de ce problème d'acidité par le fonctionnement recycleur et organo-biologique du système de culture, constitue sans aucun doute, la solution la plus efficace pour l'exploitation durable de la ressource sol acide, sous forte pluviométrie à moindre coût ; ne rien perdre dans le système sol-plante constitue la règle d'or de la stratégie de fertilisation, et passe d'abord par le choix du système de culture. Une bonne gestion agrobiologique du profil grâce à ces systèmes recycleurs permet d'obtenir des productivités lucratives et stables, avec des niveaux d'engrais minéraux inférieurs à ceux qui sont actuellement recommandés [Séguy L., Bouzinac S. et al., 1993 (16), 1994 (18)].

La consommation d'éléments fertilisants (engrais) dans les sys-

tèmes les plus productifs, lucratifs et stables, est dérisoire, en regard des productivités obtenues par unité de surface, si comparée à celle des pays tempérés pour des niveaux de production similaires, ce qui traduit bien, la formidable capacité photosynthétique de la zone tropicale humide qui peut être convertie, à moindre coût⁽¹⁾, en productions agricoles. Ces nouveaux modes de gestion plus écologiques des sols par les biomasses renouvelables à turnover rapide, permettent de mieux gérer, canaliser les ressources naturelles au profit de l'activité agricole. La capacité de production du sol (augmentations conjuguées de la surface annuelle cultivée x productivité) est plus que doublée par rapport à celle des systèmes actuellement dominants à une seule culture annuelle, avec des coûts de production sensiblement équivalents, voire inférieurs ; l'état sanitaire des cultures est nettement amélioré (diminution nette de la pression du complexe parasitaire : champignons, insectes, nématodes).

La capacité des équipements est multipliée par 1,5 à 1,8 sur ces systèmes à 2 cultures annuelles en semis direct, avec une flexibilité d'utilisation nettement accrue, due aux techniques de semis direct et d'une meilleure organisation des calendriers culturaux (éche-lonnement des semis, des récoltes).

Ces systèmes à deux cultures annuelles en semis direct et principalement les successions soja + mil, soja + sorgho, soja + maïs, ont la faveur des agriculteurs et se diffusent très rapidement, puisque après 4-5 ans de divulgation, ils couvrent environ un million d'hectares dans le Centre-Ouest [Landers J. et al., 1994 (5)].

Les autres systèmes intégrant les activités production de grains-élevage n'en sont pour l'instant, qu'à un niveau modeste d'adoption par les agriculteurs ; cependant, ils contiennent sans aucun doute tous les atouts à la

(1) Les systèmes recycleurs à 2 cultures annuelles, en rotation tels que : riz + sorgho/soja + mil/soja, sur 3 ans, permettent des productivités respectives en rotation : an 1 = 4 500 à 5 500 Kg/ha de riz + 1 500 Kg/ha sorgho

an 2 = 3 500 à 4 000 Kg/ha de soja + 1 500 Kg/ha mil

an 3 = 3 500 Kg/ha soja

La part de fumure (engrais) qui revient à chaque culture, n'est que de (en Kg/ha) : 18 N, 70 P₂O₅, 48 K₂O, 104 Ca, 36 Mg, 100 SiO₂, 2,2 Zn.

Résultats reproductibles, obtenus avec la fumure de fond de 2 000 Kg/ha de thermophosphate + 600 Kg/ha de gypse, appliquée pour 5 à 6 cultures sur 3 ans.

fois agronomiques (sommant les effets organo-biologiques des deux activités) techniques, et économiques (capitalisation, moindre dépendance du système économique actuel) pour exploiter, à moindre coût, tous les potentiels, hydrique et photosynthétique de ces zones tropicales des fronts pionniers.

Les solutions techniques et agronomiques existent maintenant pour exploiter ce vaste réservoir des sols acides de la zone tropicale humide. Les systèmes de culture créés et, déjà en voie de diffusion active doivent permettre la fixation d'une agriculture durable, diversifiée, lucrative à moindre coût, capable de protéger et d'augmenter le potentiel de son bien le plus précieux, le capital sol.

Le succès de la mise en pratique de ces nouvelles techniques dépend aujourd'hui bien davantage de mesures de politique agricole brésilienne locale, que de nouvelles solutions techniques.

Ces mesures doivent assurer : l'entretien du réseau routier, l'organisation d'une politique incitative et cohérente du crédit pour financer les investissements en amendements, en machines de semis direct performantes, en industries locales de transformation, en moyens de recherche, une offre constante de prix incitatifs et stables aux agriculteurs pour leurs produits de qualité⁽¹⁾.

Ces mesures doivent être prises rapidement pour exploiter au profit de l'économie brésilienne, ce formidable grenier à grains que constituent les savanes humides de l'Ouest du Brésil. Elles sont d'autant plus urgentes, que les fronts pionniers sont arrivés au bord de la forêt amazonienne. Ce soutien à la fixation d'une agriculture durable en zones de savanes est donc prioritaire pour épargner la forêt.

Enfin, ces nouveaux systèmes de gestion agrobiologiques des sols, créés sur les frontières agrico-

les du Brésil, et déjà pratiqués sur de vastes surfaces, sont la concrétisation de nouveaux concepts décisifs aussi bien pour l'avenir de l'agriculture tropicale que pour jeter les bases d'une agronomie tropicale capable de mieux valoriser les ressources naturelles, d'économiser sur les intrants chimiques et de protéger totalement le capital sol.

Ces concepts et pratiques agricoles, sont, sans aucun doute, à diffuser avec les méthodes de recherche en milieu réel qui les ont fait naître, dans les régions similaires du monde tropical et équatorial et à adapter dans des écologies moins humides; le CIRAD est en train de le faire activement en Afrique, en Amérique Latine, en Asie, à Madagascar et à la Réunion. La révolution doublement verte a depuis longtemps déjà, largement dépassé le stade des idées; elle est déjà une réalité praticable, en zone tropicale humide.

Références bibliographiques

1. Cortês N. de A., Cortês J. de A., 1993.

Conservação de resíduo úmido da pré-limpeza de soja e sua utilização na alimentação de bovinos - EMPAER-MT 1993. 23 p. (Boletim de pesquisa) Cuiabá - MT.

2. Greenland D. J., Dart P. J., 1972.

Biological and organic aspects of plant nutrition in relation to needed research in tropical soils - Trop. soils res. sem., IBADAN-Nigeria - 1972.

3. Lal R., 1979.

Management of soils for continuous production : controlling erosion and maintaining physical conditions. in : Greenland D.J. (ed.) Characterisation of soils in relation to their classification and management : exemples from same of the humid tropics. Oxford University press, London - 1979.

4. Landers J., et al., 1994.

Fascículo de experiências de plantio direto no cerrado - APDC

- Brasília - 1994

5. Nye P. H., 1961

Organic nutrient cycles under a moist tropical forest. Pl soil - 13 : 333-346 - 1961.

6. Séguy L., Bouzinac S., Pacheco A., Kluthcouski J., 1989.

Des modes de gestion mécanisés des sols et des cultures aux techniques de gestion en semis direct, sans travail du sol, appliqués aux cerrados du Centre-Ouest brésilien - Goiânia : CIRAD-IRAT-CNPAF, 1989, 165 P. - Doc. interne. BP 5035 - 34032 - Montpellier cedex - France.

7. Séguy L., Bouzinac S., 1990.

La recherche appliquée au service du développement régional - Brésil - 1990 - Document I-p. 6-70, rapport interne CIRAD-CA - BP 5035 - 34032 - Montpellier cedex - France.

8. Séguy L., et al., 1991.

Gestion des sols et des cultures dans les zones de frontières agricoles des cerrados humides du Centre-Ouest - Brésil - 1991 p. 107, doc. interne CIRAD-CA - BP

5035 - 34032 - Montpellier cedex - France.

9. Séguy L., et al., 1992.

Gestion des sols et des cultures dans les zones de frontières agricoles des cerrados humides du Centre-Ouest brésilien - Tome I et II (p. 65, P. 34), 1992 - Doc. interne CIRAD-CA - BP 5035 - 34032 - Montpellier cedex - France.

10. Séguy L., Bouzinac S., Pieri C., 1991.

An approach to the development of sustainable. Farming systems ; in : evaluation for sustainable land management in the developing world. Technical papers. ISBRAM Proceedings n° 12, vol. II, Bangkok, Thailand 1991.

11. Séguy L. et al., 1989-90.

Première évaluation de l'adoption par les agriculteurs du Centre-Ouest brésilien des technologies mises au point par la recherche franco-brésilienne. Doc. IRAT, 55 p. - BP 5035 - 34032 - Montpellier cedex - France.

12. Séguy L. et al., 1990-91.

Évaluation de l'adoption par les

(1) Riz très long fin, créations du CIRAD-CA, de l'EMBRAPA (CNPAF).

agriculteurs du Centre-Ouest brésilien des techniques mises au point par la recherche franco-brésilienne - seconde phase - Doc. IRAT, 118 p. - BP 5035 - 34032 - Montpellier cedex - France.

13. Séguy L., Bouzinac S. et al., 1989-92.

Gestion des sols et des cultures en écologie pré amazonienne. 1989-92 - 52 p. Doc. interne CIRAD-CA - BP 5035 - 34032 - Montpellier cedex - France.

14. Séguy L., Bouzinac S. et al., 1992-93.

Gestion des sols et des cultures dans les zones de frontières agricoles des cerrados humides du Centre-Ouest brésilien - 1992-93 - Doc. interne CIRAD-CA - 83 p., - BP 5035 - 34032 - Montpellier cedex - France.

15. Séguy L., Bouzinac S. et al., 1993.

Systèmes de culture pour la régions Centre Nord de l'état du Mato Grosso - Recommandations techniques 1993 - Doc. Interne CIRAD-CA/RHODIA - BP 5035 - 34032 - Montpellier cedex - France.

16. Séguy L., Bouzinac S. et al., 1993-94.

Gestion des sols et des cultures sur les fronts pionniers des cerrados et forêts humides de l'Ouest brésilien. Région Centre Nord Mato Grosso - 1993-94 - 256 p. Doc. interne CIRAD-CA - BP 5035 - 34032 - Montpellier cedex - France.

17. Séguy L. et al., 1994.

Contribution à l'étude et la mise au point des systèmes de cultures 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 - 1994. Doc. interne CIRAD-CA - 191 p. - BP 5035 - 34032 - Montpellier cedex - France.

18. Séguy L., Bouzinac S., Trentini A., 1995.

La construction d'une agriculture durable, lucrative, adaptée aux contraintes pédoclimatiques de la zone tropicale humide. - Cheminements technologiques présentés sous la forme de dessins - 1995 - Doc. interne CIRAD-CA - BP 5035 - 34032 - Montpellier cedex - France.