

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

1. GESTION DE LA FERTILITÉ PAR LE SYSTÈME DE CULTURE

Lucien SÉGUY(1), Serge BOUZINAC(1), Ayrton TRENTINI(2)

RESUMÉ

Les frontières agricoles du Brésil sont arrivées, dès les début des années 1980, dans la zone tropicale humide de l'Ouest, en bordure du bassin amazonien, sur les savanes (cerrados) de sols acides, sous une pluviométrie comprise entre 2 000 et 3 000 mm, répartie sur 8 mois. Les agriculteurs colonisateurs, en provenance des états du Sud, ont apporté sur les fronts pionniers, leurs pratiques de travail du sol aux offsets, et la monoculture de soja ; comme dans les états du Sud, mais de manière plus rapide, dans ces régions chaudes et humides, la gestion inadéquate, et continue de la ressource sol aux offsets, sans restitutions organiques importantes, a conduit également à une érosion accélérée et catastrophique du capital sol, avec dans les cas les plus sévères, faillites rapides et abandons des terroirs.

La recherche franco-brésilienne et ses partenaires du développement sont intervenus sur les fronts pionniers à partir de 1986 ; après un diagnostic rapide caractérisant la situation agro-économique régionale de départ qui a mis en évidence, les préjudices physiques infligés au sol par le système de monoculture de soja et l'isolement économique des fronts pionniers, la recherche s'est attaquée à la restauration du statut de fertilité des sols grâce à une démarche d'intervention originale en milieu réel, avec, pour, et chez les agriculteurs.

Elle a mis au point, à partir de cette démarche dynamique et participative, des systèmes de cultures de plus en plus performants, diversifiés, agronomiquement justifiés et reproductibles, techniquement praticables et préservateurs du capital sol qui conduisent à des assolements lucratifs et relativement stables, malgré la conjoncture économique chaotique de la période 1986-1992.

Cette expérience montre que l'objectif de gestion de la fertilité des sols acides dégradés, ne peut être dissocié de l'objectif de gestion du risque économique qui passe nécessairement par la mise au point d'un large choix de systèmes diversifiés.

Ces systèmes mis au point ont été diffusés sur des centaines de milliers d'hectares dans l'Ouest et le Centre-Ouest du Brésil, montrant la portée de ces modes de gestion des sols et des cultures pour les sols acides des savanes et la fiabilité de la méthode de création-diffusion de l'innovation utilisée.

Mots et expressions clés : *Systèmes de culture, création-diffusion, gestion des sols, restauration fertilité, matière organique, rotations, successions annuelles, modes de travail du sol, semis direct, soja, riz pluvial, performances agronomiques, techniques, économiques, adoption technologies.*

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 I. MANAGEMENT OF SOIL FERTILITY THROUGH THE CROPPING SYSTEM

By the beginning of the 1980's, in Mato Grosso, Brazil's agricultural frontier had reached the Amazon forest, a region of acid soils, with rainfall varying between 2 000 and 3 000 mm/year, concentrated during 8 months. The colonizing farmers, from the South of Brazil, brought to these pioneering areas their practice of soil preparation with offset discs and adopted the monoculture of soya. As in the southern states, but faster in these hot and humid regions, the continued inadequate soil management, with insufficient returns of organic matter, leads to accelerated and catastrophic erosion of the soil's capital. This results, in the most severe cases, in rapid bankruptcy and abandonment of the land.

The Franco-Brazilian research programme and its partners in extension became interested in the pioneer areas starting in 1986. Following on a rapid diagnostic survey, to characterize the initial situation, which indicated the physical losses of soil provoked by monoculture of soya plus the isolated location of these frontiers, the research addressed itself to the restoration of fertility via a strategy of intervention at farm level, with and for the farmers.

From this dynamic and participative focus, increasingly diversified, reproducible and practical cropping systems were developed. Besides preserving the soil's capital, these proved to be more lucrative and relatively stable, in spite of the chaotic economic conditions between 1986-1992.

This experience shows that the objective of soil fertility management in degraded acid tropical soils cannot be dissociated from that of financial risk management, which necessarily demands the choice of more diversified systems.

The systems developed have been adopted over tens of thousands of hectares in the West and Centre-West of Brazil, confirming the wide range of application of these soil management techniques and cropping systems in the acid Cerrado (Savannah) soils. This vindicates the methods developed for generation and extension of innovative technology.

Keywords and phrases : *cropping systems, technology generation and extension, soil management, fertility restoration, organic matter, crop rotations and successions, soil preparation methods, double cropping, soybeans, upland rice, technology adoption.*

(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

I - INTRODUCTION - Les oxysoils et ultisoils de la classification des sols de l'USDA (1975) qui correspondent approximativement aux sols ferrallitiques de la classification française représentent de loin, la majorité, avec 63%, des sols des tropiques humides (Robert M., 1992[5]). Cessols acides sont, avant mise en culture, généralement bien pourvus en matière organique et bien structurés, mais sont toujours carencés en Ca, Mg, P, K souvent en zinc (Brésil), et présentent un fort taux de saturation en Al, toxique pour la plupart des cultures.

En Amérique Latine, les savanes de sols acides occupent près de la moitié des terres cultivables, soit environ 243 millions d'hectares, concentrés pour la plupart au Brésil, en Colombie et au Venezuela, une surface plus vaste que toutes les terres cultivées de l'Afrique subsaharienne ; les savanes représentent donc un vaste réservoir encore peu exploité, pour alimenter l'humanité de demain, et en particulier les savanes humides caractérisées par un fort potentiel climatique qui peut être utilisé pour les cultures pérennes, alimentaires et industrielles annuelles, l'élevage, si l'homme sait l'exploiter sans le dégrader.

Un des objectifs majeurs pour la recherche et le développement est de fixer l'agriculture sur les savanes, pour épargner les forêts et préserver ainsi la biodiversité.

Au Brésil, la mise en culture des savanes de la zone tropicale humide a commencé vers la fin des années 1970, avec l'arrivée des agriculteurs des états du Sud, qui ont colonisé et conquis rapidement les états du centre-ouest, puis de l'Ouest plus humide (Carte 1) ; l'agriculture qui s'est développée, est mécanisée et a été construite, au début, sur une monoculture industrielle de soja, pour gérer des excédents exportables ; elle s'est révélée rapidement fortement déprédatrice du capital sol [Séguy L., Bouzinac S. et al. 1989(9)].

Le CIRAD CA⁽¹⁾ est intervenu sur les fronts pionniers du centre nord Mato Grosso, ou près d'un million d'hectares sont maintenant cultivés, pour construire les bases de la fixation d'une agriculture durable, avec, pour et chez les agriculteurs,

dans leur milieu, d'abord en zone de savanes entre 1983 et 1989, puis en zone de forêt pour précéder et préparer l'arrivée éventuelle des fronts pionniers mécanisés dans cette écologie.

Ces fronts pionniers de l'Ouest brésilien, sont très éloignés des grands centres de transformation, de consommation, des ports d'exportation, et en l'absence d'une politique agricole incitative, sont fortement pénalisés économiquement, car ils dépendent de l'État du réseau routier, le plus souvent très précaire, et mal entretenu, qui élève considérablement le coût du fret, donc les coûts de production et réduit les prix payés aux agriculteurs, pour leurs productions.

Dans un tel contexte économique, très sensible, si la gestion de la fertilité des sols, à moindre coût, constitue, sans aucun doute, un objectif majeur pour la recherche, elle ne peut être dissociée de l'objectif de gestion du risque économique. Partant de la situation généralisée de monoculture de soja, cette gestion du risque économique passe d'abord par la mise au point de systèmes de culture diversifiés, agronomiquement justifiés et reproductibles, techniquement praticables et préservateurs du capital sol, qui doivent conduire à la construction d'assolements lucratifs et les plus stables possibles.

L'objectif de cet article est de décrire de manière simplifiée, la première étape de la gestion de la fertilité, à travers l'élaboration et l'adoption par les agriculteurs des systèmes de culture restaurateurs du statut de fertilité, les plus attractifs et stables économiquement, entre 1986 et 1992, en partant de la monoculture généralisée de soja sur les fronts pionniers du centre nord Mato Grosso.

II - LA SITUATION DE DÉPART - LA MONOCULTURE EXCLUSIVE DE SOJA, FORTEMENT DÉPRÉDATRICE DU CAPITAL SOL : UNE IMPASSE ÉCO-NOMIQUE.

Les fronts pionniers ont commencé la colonisation des savanes humides du centre nord Mato Grosso, vers la fin des années 1970 ; les colonisateurs, en provenance des

états du Sud, sont des entreprises qui diversifient leurs investissements (Olacyr de Moraes par exemple, grand entrepreneur de travaux publics) des coopératives agricoles du Sud, et des entreprises de colonisation d'expérience (des états du Paraná, São Paulo). C'est donc une colonisation privée, qui a créé des surfaces de propriétés très variables qui vont de 200 à plus de 2 000 hectares, et qui d'abord été attirée par la spéculation sur la terre ; il est important de noter que c'est en effet l'état (Fédéral ou local) qui permet la valorisation de la terre et par conséquent assure les bénéfices des entreprises de colonisation, par l'ouverture et l'entretien des routes, la concession des titres définitifs de propriétés, l'implantation du système fédéral de crédits (Banque du Brésil entre autres), etc... [Lena, P. 1988(2)].

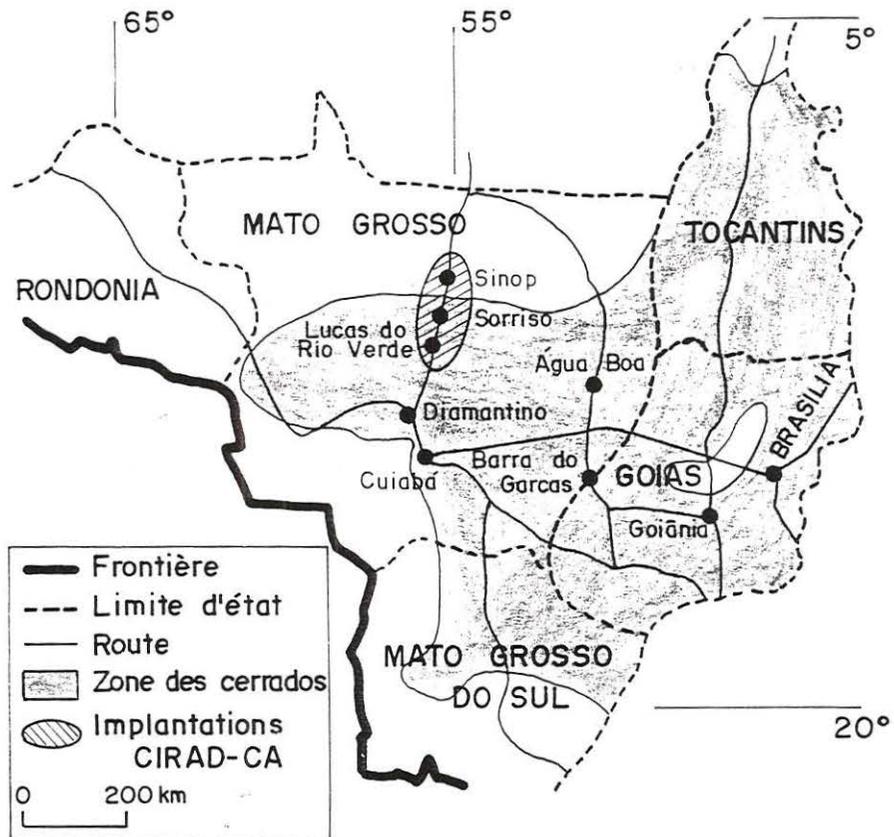
Les agriculteurs colonisateurs du Sud, ont apporté leur système de culture traditionnel : défrichement au câble d'acier, mise en andains de la végétation arbustive et brûlis, semis de riz pluvial avec minimum d'amendement calcomagnésien broyé (2,5 t/ha) et d'engrais minéral (40N-60 P₂O₅-40 K₂O/ha) les deux ou trois premières années, puis complètement d'amendement calcomagnésien (2,5 t/ha) à partir de la 3^{ème} ou 4^{ème} année pour rentrer dans le cycle ininterrompu de monoculture de soja ; une autre alternative, après 2 à 3 années de riz, consiste à établir, à moindre coût, un pâturage à *Brachiaria decumbens* (semis en mélange avec le riz pluvial), pour une exploitation extensive de 10 ans et plus ; les activités : production de grains et élevage sont totalement séparées.

La recherche pilote cette monoculture de soja au début des années 1980, par un diagnostic agronomique exclusivement chimique basé sur des recommandations de correction de l'acidité combinées à des niveaux de fumure minérale localisée sous la ligne de semis, établies à partir de seuils critiques pour la croissance du soja [Van Raj, B., 1991 (21); Souza D. M. G., 1987 (5)], par l'introduction de nouvelles variétés, de nouvelles matières actives pesticides (herbicides, insecticides).

(1) En coopération avec le CNPAF, Centre de Recherche Fédéral sur le riz et le haricot de l'EMBRAPA et l'EMPAER-MT, Centre de Recherche de l'état du Mato Grosso, puis, en partenariat avec RHODIA (filiale Brésil de Rhône Poulenc) et la coopérative COOPERLUCAS de Lucas do Rio Verde, de 1983 à 1995.



● Implantations CIRAD-CA



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

INTERVENTION DE LA RECHERCHE-ACTION, À PARTIR DE 1986: DIAGNOSTIC DES CONTRAINTES, PUIS MODÉLISATION DE SYSTÈMES DE CULTURE NOVATEURS, AVEC, POUR ET CHEZ LES AGRICULTEURS

Au cours de son diagnostic agronomique régional, basé sur le fonctionnement du profil cultural et sur ses relations avec les techniques culturales et la croissance des cultures (riz pluvial, soja), la recherche découvre un milieu physique très contraignant pour la production de grains ⁽¹⁾ : pluviométrie comprise entre 2 000 et 3 000 mm, répartie sur 7 mois de octobre à avril, avec des intensités pluviométriques très élevées (>100 mm/heure) à très fort pouvoir érosif, et responsables pour un drainage profond important, supérieur à 750 mm annuel [Steinmetz S. et al., 1988(7)], qui laisse augurer d'un risque de forte lixiviation annuelle en profondeur des éléments nutritifs pour les cultures (nitrates, bases : Ca, Mg, K) et donc peut constituer un handicap majeur pour la gestion, à moindre coût, de la fertilisation minérale. Les unités de paysage, sont des plateaux et collines à pentes très longues, supérieures à 1 500 m; leur déclivité faible dans les parties supérieures et médianes des interfluves (2 à 4%), augmente rapide-

ment en bas de pente (5-8%), caractéristiques très favorables à une érosion superficielle très active sous cette pluviométrie. Les sols sont ferrallitiques profonds, rouge-jaune, développés sur matériau acide gréseux; de texture argileuse à argilo sableuse sur 95% des interfluves, ils passent à une texture sableuse en bas de pente. Trois types de profil de sol caractérisent le potentiel pédologique des fronts pionniers de ces savanes humides : le sol vierge sous savane⁽²⁾, le sol sous pâturage extensif de longue durée, et le sol sous monoculture de soja, ouvert à la culture depuis au maximum 10 ans en 1986, pour les premiers pionniers.

Le tableau I, qui réunit les principales caractéristiques chimiques de ces profils (indicateurs de fertilité exclusifs au départ) montre que les profils culturaux situés sous savanes naturelles avant mise en culture et sous pâturage extensif de longue durée (11 ans) sont des "assiettes alimentaires vides" pour les cultures : carences en Ca, Mg, K, P, fort taux de saturation de l'aluminium; par contre ils présentent une très belle structure et des teneurs en matière organique élevées dans l'horizon 0-30 cm, surtout pour le profil sous *Brachiaria decumbens*, avec des teneurs supérieures à 3%, indiquant la puissance de ce dernier comme pourvoyeur de matière organique. À l'inverse, le profil situé sous culture (3 ans de riz suivis de 7

ans de monoculture de soja) indique une bonne correction des propriétés chimiques du profil. Mais l'examen du profil cultural révèle des propriétés physiques fortement limitantes pour l'enracinement des cultures avec la présence d'une semelle d'offsets fortement compactée entre 10 et 25 cm de profondeur.

À l'instar des grandes régions mécanisées du centre ouest brésilien, les sols ferrallitiques des fronts pionniers humides de l'ouest, sont systématiquement compactés en surface, déstructurés après 7 à 8 ans de mise en culture, dont les 5 derniers en monoculture de soja; cette déstructuration du profil cultural est due à l'utilisation exclusive et inadéquate des offsets lourds et légers, en conditions trop humides : étalement de la préparation des sols sur 2 mois après les premiers pluies (sous équipement), et également en sol sec ⁽³⁾ : enfouissement des amendements calcomagnésiens en pleine saison sèche [Séguy L., Bouzinac S. et al. 1989(9)].

Ces profils compactés, quelque soit la nature du sol ferrallitique, limitent fortement l'enracinement profond des cultures, favorisent l'engorgement permanent sous forte pluviométrie avec développement d'un horizon réduit, asphyxiant pour la culture de soja, et, à l'inverse, exposent les cultures à des sécheresses périodiques au cours des déficits pluviométriques.

Plus grave encore pour la fixation d'une agriculture durable, ces conditions de sols compactés en surface provoquent une érosion rapide, et catastrophique des terroirs même lorsque des dispositifs anti-érosifs sont implantés [terrasses de base large - Resck, D.V.S., 1981(4)].

De plus, les outils à disques facilitent la multiplication et la germination du potentiel semencier d'adventices, induisant une forte concurrence initiale pour les cultures [Séguy L., Bouzinac S. et al., 1989(9)].

Le diagnostic initial agronomique complété par l'analyse des conditions technico-économiques régionales de production, met également en évidence la grande

Tableau I

Caractéristiques chimiques des sols ferrallitiques rouge-jaunes des fronts pionniers en fonction de leur utilisation

Localisation des profils	Horizons (cms)	pH eau	M.O. %	P (ppm) (1)	K (ppm)	meq/100 ml			V %
						Ca + Mg	Al	CEC	
Sous savane	0-10	5,0	3,0	0,5	27	0,4	2,1	7,2	9,4
	10-20	5,3	2,3	0,4	25	0,6	1,2	6,4	7,2
	20-30	5,3	2,3	0,3	20	0,6	1,0	7,1	6,9
Sous pâturage extensif	0-10	4,8	3,6	2,0	25	0,9	0,9	8,7	8,0
	10-20	4,7	3,4	1,0	22	1,0	1,0	9,4	6,2
	20-30	4,7	3,3	1,0	22	1,0	1,0	9,6	8,2
Sous culture après 11 ans de culture continue	0-10	5,9	2,2	6,2	63	3,9	0,1	7,4	54
	10-20	4,9	1,8	2,1	27	1,1	0,6	6,2	27
	20-30	4,8	1,8	1,8	24	0,6	0,9	6,1	26

(1) Méthode Caroline du Nord (double acide)

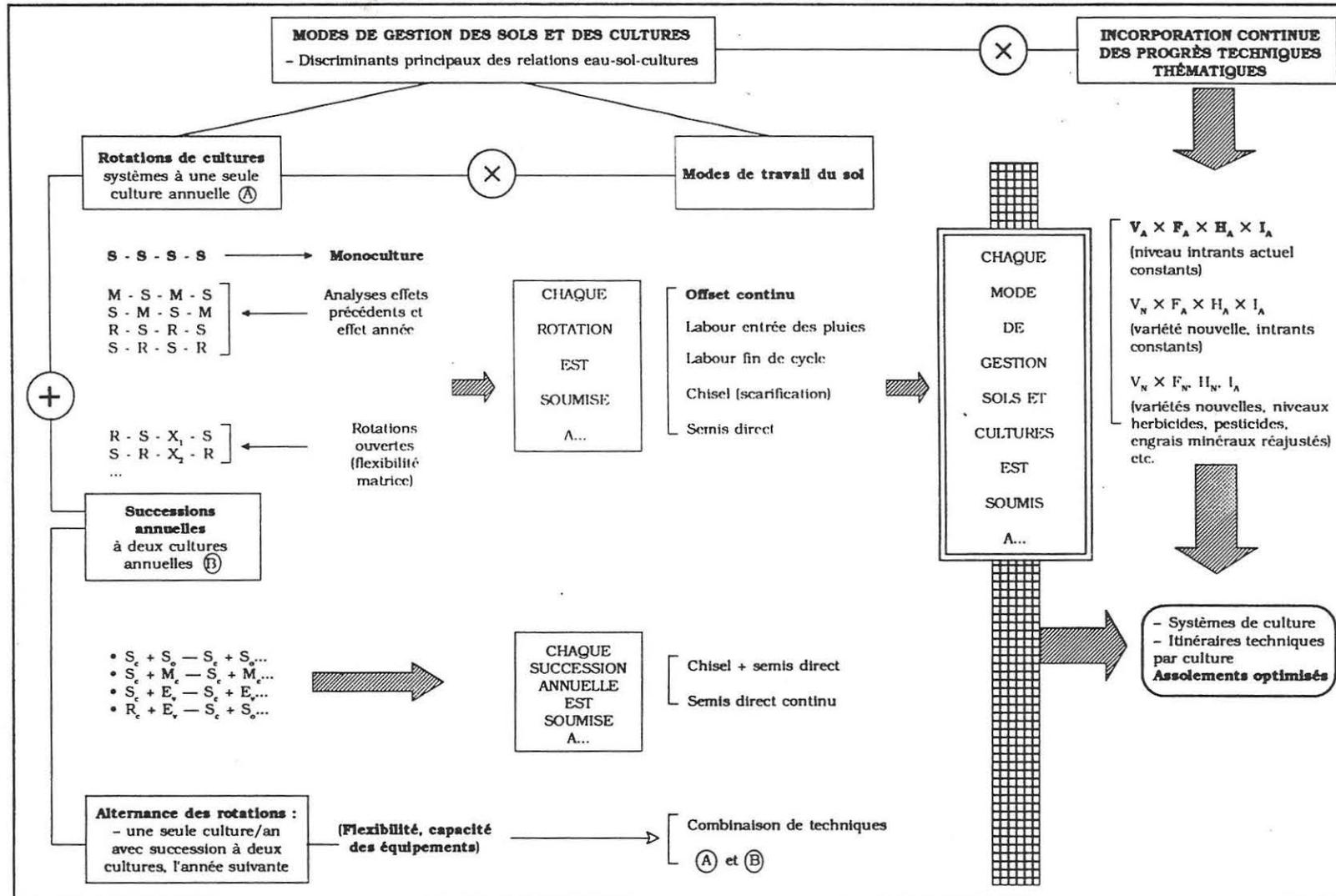
Source : Séguy L., Bouzinac S., Fazenda Progresso - MT - 1986

(1) Milieu traditionnellement exploité par les cultures pérennes : palmier à huile, hévéa, jusqu'au début des années 1970.

(2) Savanes appelées "cerrados" au Brésil.

(3) L'érosion éolienne est extrêmement active après pulvérisation des sols en pleine saison sèche.

Schéma 1 Exemple de matrice des systèmes, Cerrados du centre-ouest (L. SÉGUY et al., 1989)



V : variété, H : herbicide, I : insecticide, A : actuel, N : nouveau, S : soja, S_c : soja cycle court, M : maïs, M_c : maïs cycle court, S_s : sorgho, R : riz, E_v : engrais vert, X₁, X₂ : autres espèces, système traditionnel.
 → Surface cultivée de la matrice, sur l'étendue de la toposéquence représentative : 180 hectares. Aménagement contre l'érosion : terrasses d'absorption totale de l'eau (bases larges). Toute la surface est semée.

sensibilité économique du système de monoculture généralisé: aux fluctuations des prix du cours mondial du soja, s'ajoutent les coûts du fret routier fixés par l'état d'un réseau routier, qui est le plus souvent très mauvais.

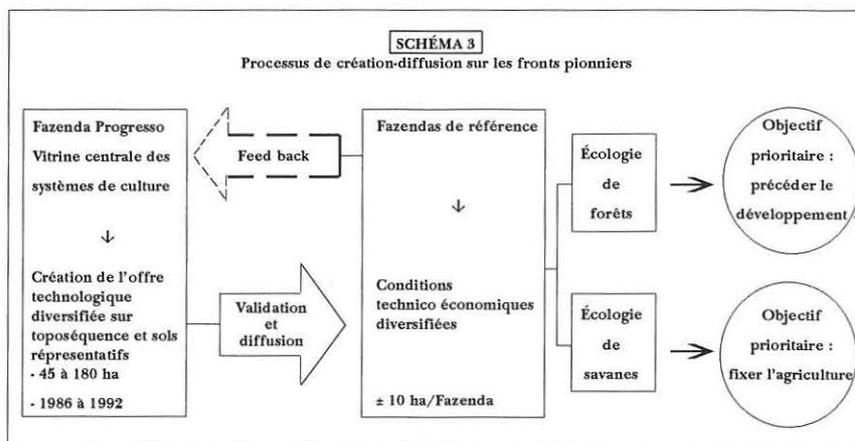
En définitive, à l'issue du diagnostic régional initial, fin 1985, la production agricole des fronts pionniers humides du centre nord Mato Grosso, apparaît comme une hérésie agronomique, qui n'utilise qu'une faible fraction du vaste potentiel pédoclimatique disponible, et expose les agriculteurs à des risques économiques considérables, compte tenu de l'absence d'une politique agricole qui soit réellement incitative et qui pourrait agir, à la fois sur : des prix payés pour le soja compensatoires des coûts du fret, l'entretien parfait du réseau routier, des financements à taux d'intérêt modéré tant pour le financement de la production annuelle de soja que pour sa transformation sur place.

Face à cette situation à haut risque économique, les agriculteurs adoptent une attitude le plus souvent "immédiatiste", vis à vis de la recherche, exigeant des résultats qui puissent leur procurer des bénéfices à très court terme.

III - MATERIEL ET METHODES - LA RECHERCHE-ACTION, S'ATTACHE D'ABORD AUX TERROIRS LES PLUS DÉGRADÉS : L'EXPERIENCE DE LA FAZENDA PROGRESSO - (1986-1992)

La recherche installe ses quartiers sur la Fazenda Progresso⁽¹⁾, la première installée dans la région (10 ans en 1986), à la demande de son propriétaire Mr. Munefumi Matsubara, avec l'ambition de créer, diffuser des systèmes de culture plus lucratifs et plus stables au niveau régional, de former les agronomes de la région à la maîtrise des innovations qui seront choisies par les agriculteurs.

Elle procède à une modélisation des systèmes de culture traduite sous forme d'une matrice systématisée (schéma 1), à partir des contraintes identifiées au cours du diagnostic initial ; l'outil opérationnel de terrain pour la mise en pratique de cette matrice des



Source : Séguy L., Bouzinac S., 1994

systèmes est constitué par une unité expérimentale 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, en conditions réelles d'exploitation et à l'échelle d'une unité de paysage représentative (pentes, flux hydriques, contraintes du profil cultural) - [Séguy L. et al. 1994 (17) (18)].

L'unité expérimentale construite sur la Fazenda Progresso commence sur une surface de 45 hectares en 1986, puis couvre progressivement jusqu'à 180 hectares en 1992, pour incorporer la création continue de systèmes de culture toujours plus performants (schéma 2). Les données pluriannuelles recueillies sur l'unité, offrent à partir de 3 ans, des possibilités et des garanties de généralisation à partir d'éléments explicatifs et rigoureux : croissance, développement, formation de la productivité des cultures et de sa stabilité en relation avec les états du profil cultural.

Puis, pour apporter une couverture plus large des résultats expérimentaux les plus significatifs, des unités de création-diffusion simplifiées de validation sont implantées au niveau multilocal régional sur des "fazendas de référence" par les agronomes formés sur l'unité principale, et permettent de contrôler la validité des résultats technico-économiques obtenus : performances agronomiques, type de matériel et capacité, goulots d'étranglement techniques, marges, etc.... (schéma 3).

La matrice des systèmes, mise en

pratique sur l'unité principale doit répondre, d'abord, à des objectifs à très court terme à la demande expresse des agriculteurs, pour résoudre les contraintes immédiates, le plus limitantes: décompactation des sols, réduction de la pression parasitaire (adventices en particulier), identification d'une culture de rotation, à la hauteur économique du soja ; elle doit également apporter des solutions à plus long terme sur la gestion de la fertilité à moindre coût dans une agriculture durable [Séguy L., Bouzinac S., et al. 1994 (20)].

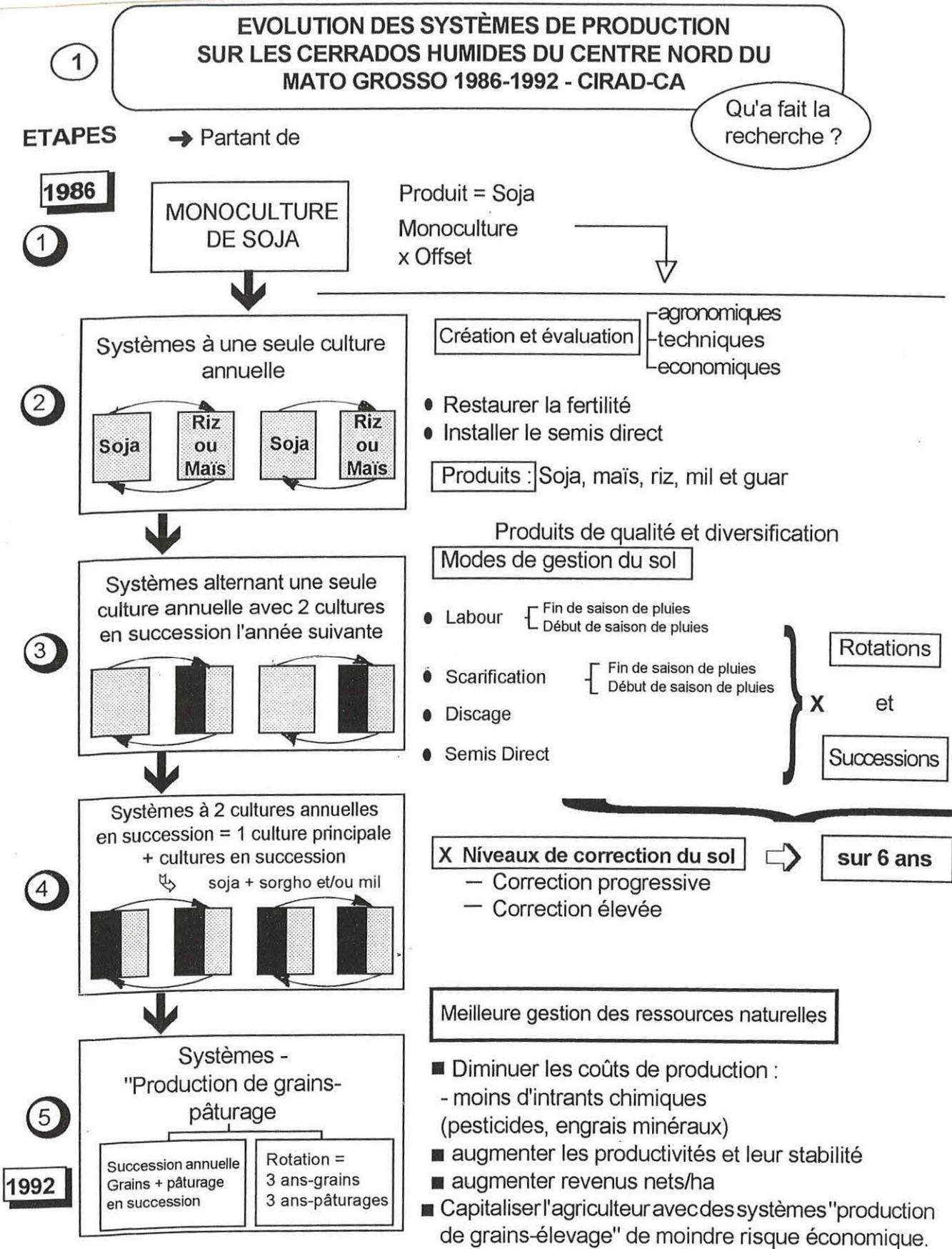
Les composantes principales des systèmes de culture sont donc, au départ, des modes de préparation des sols combinés à des rotations et successions annuelles diversifiées - (schéma 1)

La matrice des systèmes construite, comprend : le système des agriculteurs, comme référence agrotechnique et économique permanente, des systèmes à une seule culture annuelle, des systèmes à une seule culture annuelle alternés avec 2 cultures en succession l'année suivante et des systèmes à 2 cultures annuelles en succession (schéma 2); l'ensemble expérimental répond à la fois, à des utilisations différenciées de la biomasse, du potentiel pédoclimatique disponible, de la capacité des équipements, à la diversification des activités agricoles (schéma 2).

L'unité expérimentale est évolutive et pérennisée pour 6 ans, pour pouvoir : évaluer les effets cumulatifs des systèmes sur l'évolution des propriétés physico-chimiques et biologiques des sols, la capacité des équipements et leur flexibilité d'utilisation, identifier les systèmes de cultures les plus

(3) Localisée à Lucas do Rio Verde, 350 Km au Nord de Cuiabá (capitale du Mato Grosso) sur l'axe routier Cuiabá-Santarém.

Schéma 2



1992

lucratifs et les plus stables qui font la meilleure synthèse agronomique, technique et économique pour la construction d'assolements optimisés.

Sur chaque culture, dans chaque itinéraire technique en rotation, sont enregistrées et analysées chaque année et au cours du temps des données agronomiques sur le fonctionnement du profil cultural et les relations eau-sol-cultures, leurs conséquences sur la productivité de matière sèche et l'évolution de la fertilité du sol ; l'analyse des résultats se fait à partir de divers paramètres dont on établit la convergence et la cohérence : au niveau du profil cultural, au dessous de la surface du sol, sont étudiées les conditions de croissance des systèmes racinaires, leurs relations avec la structure du sol (porosité, résistance mécanique à la pénétration, vitesse d'infiltration de l'eau, dynamique de progression du front racinaire, et évolution des propriétés chimiques et biologiques) - [Séguy L., Bouzinac S., et al. 1994 (19)]. Au dessus du sol, sont évaluées la compétition adventices-cultures, la croissance des cultures : composantes du rendement, productivité de matière sèche, exportations de minéraux et leurs variations interannuelles. Des données techniques et économiques sont également enregistrées et analysées, sur des surfaces représentatives des conditions d'exploitation réelles : calendrier culturaux, capacité des équipements, faisabilité des travaux pour chaque opération, coûts de production détaillés, recettes, marges brutes et nettes pour chaque itinéraire technique puis par système de culture, au cours du temps (Séguy L., Bouzinac S., et al. 1994 (20)).

Dès la 2^{ème} année d'étude des systèmes, est effectué un premier tri des systèmes qui répondent le mieux à l'objectif immédiat de lucrativité ; c'est sur ces meilleurs systèmes qu'est réalisée, parallèlement à la matrice des systèmes, une étude plus fine de la fertilisation minérale : formes d'engrais solubles ou non, doses et rythmes d'apport,

conséquences technico-économiques, visant l'objectif d'optimisation économique dans les conditions des fronts pionniers. Entre la matrice système et l'expérimentation en conditions d'exploitation réelles sur la fertilisation minérale des systèmes, sont préservées des composantes communes des itinéraires techniques ; ces "ponts" entre expérimentations d'objectifs différents permettent de hiérarchiser l'importance du facteur fumure minérale par rapport aux autres composantes des systèmes. De même, d'autres expérimentations thématiques, spécifiques à chaque système, peuvent être entreprises pour assurer la progression des systèmes de culture, hiérarchiser l'importance de chaque thème : évaluations portant sur des variétés, pesticides pour chaque culture, par exemple [Séguy L., Bouzinac S. et al. 1994 (19)].

C'est à partir de cet ensemble de références obtenues sur un intervalle climatique et économique significatif (6 ans) que sont établies les bases de la production végétale et que sont identifiés les outils analytiques, d'abord in situ, peu coûteux qui permettent de mieux les caractériser. Les systèmes réalisant les meilleures synthèses à la fois agronomiques, techniques et économiques, de moindre risque, sont ainsi identifiés, leurs conditions de praticabilité et de reproductibilité sont déterminées, de même que sont retenus les paramètres du profil cultural les plus explicatifs et les plus pertinents de l'élaboration du rendement des cultures dans les systèmes, de sa stabilité - (outils de diagnostic).

Des jours de démonstration aux champs sont organisés tous les ans pour les agriculteurs, chercheurs, vulgarisateurs. Les unités de recherche sont ouvertes en permanence au public et structurées en conséquences (Séguy L., Bouzinac S. et al. 1994 (19)).

Les agriculteurs peuvent décider librement de leurs choix techniques, sans directives ni imposition de la recherche et du développement.

IV - RÉSULTATS

PREMIÈRE ÉTAPE : LA RESTAURATION DE LA FERTILITÉ DES SOLS DÉGRADÉS PAR LA MONOCULTURE DE SOJA - DES TECHNIQUES CULTURALES UNIVERSELLES.

Les principaux résultats extraits de la vitrine systèmes, sur 6 ans, mettent en évidence, les premières conclusions suivantes, exposées dans les figures 1 et 2 :

- *au plan agronomique*, ce sont les modes de gestion des sols et des cultures qui sont les facteurs déterminants de l'importance de la production de matière sèche et de sa stabilité au cours du temps :

Sur soja, par rapport au système de monoculture traditionnel en présence des mêmes niveaux d'intrants et de la même date de semis, le facteur rotation avec forte restitution de pailles, procure une augmentation de productivité qui varie de 46 à 70% en fonction du mode de travail du sol. Le facteur mode de travail du sol, dans les mêmes conditions, procure des augmentations des rendements comprises entre 6 et 27%, en fonction de la rotation. Les meilleures combinaisons "mode de travail x rotation" : labour⁽¹⁾ et semis direct x rotations avec riz et maïs, provoquent des gains de rendements de 82 à 85%, soit doublent pratiquement la productivité en présence d'un même niveau de fumure minérale (figure 1). Les meilleurs rendements moyens obtenus sur ces systèmes sont légèrement supérieurs à 3 000 Kg/ha, contre seulement 1 674 Kg/ha pour le système continu de monoculture x offset (après 13 ans de monoculture continue de soja).

On note également, et systématiquement, sur ces meilleurs systèmes légumineuses-céréales en rotation, une amélioration très importante du niveau de contrôle du complexe parasitaire en général : mauvaises herbes, insectes ; à l'inverse, sur le système de monoculture x offset, la pression du complexe

(1) - Les labours mis au point ne sont pas des labours classiques : ils sont précédés par une trituration et pré-incorporation des résidus de récolte à l'offset lourd ; ils sont réalisés en suivant, à la charrue à socs, entre 30 et 40 cm de profondeur (profondeurs alternées tous les ans) ; ils sont dressés, et très motteux en surface - leur reprise avant semis est réalisé au cultivateur à dents pour laisser une forte rugosité de surface que facilitera l'infiltration de l'eau, un développement racinaire rapide en profondeur, retardera la formation de croûte de battance et la germination des adventices. Lorsque le labour profond est effectué en fin de cycle des pluies, il est précédé d'un passage d'offset à grande vitesse pour conserver l'eau le plus longtemps possible dans le profil cultural. Cette technique de rupture de la capillarité offre une grande capacité de travail sur plus de 60 jours, et des conditions de réalisation idéales.

parasitaire est sans cesse croissante malgré l'utilisation de matières actives pesticides plus performantes : prolifération difficilement contrôlable des adventices, développement accéléré des maladies cryptogamiques telles que *Rhizoctonia solani*, de l'incidence des nematodes *Meloidogyne javanica*, *incognita* et *arenaria* [Séguy L., Bouzinac S. et al. 1991 (15)].

Sur riz pluvial, en rotation avec soja, le facteur travail profond du sol (labour au soc, scarification), procure, par rapport au travail aux offsets, et au semis direct sur résidus de récolte, des gains moyens de rendements, respectivement de 69% et 87% : la productivité moyenne sur labour est de 3 093 Kg/ha contre 1 835 Kg/ha sur offset et, 1 655 Kg/ha sur semis direct (figure 2). De même que sur soja, le meilleur système de culture combiné à une fumure de fond au thermophosphate (2 000 Kg/ha amorti sur 3 ans) permet de réduire très significativement l'incidence des maladies et en particulier de *Pycularia oryzae* [Séguy L., Bouzinac S. et al. 1989 (8)] et permet d'élever le niveau de rendement au dessus de 4 000 Kg/ha (tableau 2).

Le maïs se révèle la culture la moins sensible aux modes de travail du sol (figure 2).

Pour atteindre des objectifs de rendements voisins de 3 000 Kg/ha pour le soja, 2 500 à 3 000 Kg/ha pour le riz pluvial, 4 500 Kg/ha pour le maïs, la fumure minérale NPK de correction progressive, appliquée sous la ligne de semis est suffisante avec l'utilisation des meilleurs modes de gestion des sols et des cultures précédemment décrits ; cette fumure NPK localisée est de : 8N-80 P₂O₅-80 K₂O/ha sur soja, 35 à 40 N - 70 P₂O₅ - 70 K₂O sur riz pluvial, 60 à 80 N - 70 P₂O₅ - 70 K₂O sur maïs.

Ces fumures annuelles doivent être complétées par l'application d'amendement calcomagnésien lorsque le taux de saturation en bases descend en dessous de 40% pour la culture la plus exigeante de la rotation qui est le soja (le riz étant la culture la plus tolérante à l'acidité) [Van Raij B., 1991 (21), Lopes, A. S., 1984 (3), Séguy L., Bouzinac

S. et al. 1993 (18)].

Pour des objectifs de rendements de plus de 4 000 Kg/ha, lucratifs, pour le riz pluvial et le soja, le niveau de correction phosphatée doit être relevé avec 1 500 Kg/ha à 2 000 Kg/ha de thermophosphate Yoorin, investissement appliqué pour 3 ans⁽¹⁾ (5-6 cultures), plus 600 Kg/ha de gypse pour faciliter la migration des bases en profondeur, donc l'enracinement (tableau 4).

Sur soja et sur riz pluvial, cultures les plus sensibles aux modes de gestion des sols et des cultures, l'amélioration spectaculaire des rendements, provoquée par le travail profond du sol et les rotations, se traduit, au niveau du profil cultural, simultanément : par une amélioration importante de la structure du sol, sans discontinuité physique dans le profil, une redistribution des bases et de la matière organique en profondeur, qui induisent des dynamiques racinaires extrêmement puissantes dans les horizons profonds ; à l'inverse, l'enracinement de ces mêmes cultures sur travail du sol à l'offset, reste prisonnier des 10-20 premiers cm de sol, offrant une capacité limitée d'interception des flux hydriques et minéraux, exposant les cultures aux excès climatiques (sécheresse ou asphyxie périodiques) - [Séguy L., Bouzinac S. et al. 1989 (9)].

La productivité des cultures de soja⁽²⁾ et maïs, en semis direct sur résidus de récolte, est inférieure les deux premières années, à celle obtenue avec travail profond dans les mêmes rotations, mais elle progresse régulièrement et dépasse même celle du travail profond, les deux dernières années.

Lorsqu'une légumineuse volubile est utilisée comme plante de couverture associée aux céréales à cycle court dans les rotations, telle que le *Calopogonium mucunoides* (natif du Mato Grosso), la technique du semis direct permet des productivités de soja et maïs nettement supérieures à celles obtenues avec travail profond - (tableau 3). Dans ce cas, où la couverture du sol est renforcée, l'activité de la faune (macro et mésofaune) prend un développement spectaculaire, qui permet un brassage profond de la

matière organique, et crée des conditions de macroporosité exceptionnelles notamment par le travail d'une larve de bousier (*Diloboderus abderus*), qui creuse, après 5 ans de semis direct successifs plus de 20 galeries verticales par m², de 2 à 3 cm de diamètre, sur plus de 1,20 m de profondeur, créant des conditions d'enracinement extrêmement favorables pour les cultures (tableau 3) - dans ces conditions, le renforcement de la fumure avec du thermophosphate (1 500 Kg/ha) appliqué pour 3 ans, élève la productivité du maïs, entre 5500 et 6500 Kg/ha, la productivité de soja, au dessus de 3000 Kg/ha.

Dans tous les cas de travail du sol (profond, semis direct), excepté le discage aux offsets, chaque fois que la production de biomasse de paille de céréales est maximum, ce qui est la règle avec l'utilisation de l'amendement au thermophosphate, la productivité du soja qui suit est toujours la plus élevée : c'est le cas des rotations utilisant un maximum de pailles, dans les expérimentations sur l'optimisation de la fumure minérale, exposées dans le tableau 2.

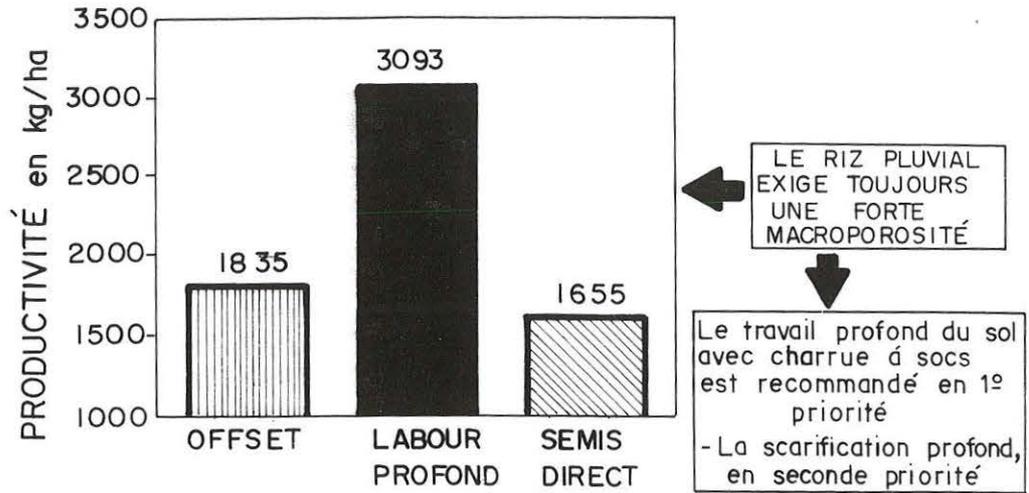
En ce qui concerne le diagnostic agronomique (fig. 3 à 6), parmi les paramètres physiques, suivis dans le profil cultural, in situ, sur les systèmes de culture qui induisent les productions de matière sèche les plus différenciées, la vitesse d'infiltration de l'eau apparaît corrélée positivement à la productivité du riz pluvial avec un coefficient de corrélation voisin de 0,9, viennent ensuite les densités apparentes et racinaires dans l'horizon 20-30 cm ; au contraire, les rendements sont corrélés négativement à la densité apparente croissante, au nombre d'adventices, et à la résistance mécanique à la pénétration. Pour ce qui concerne la culture de soja, les rendements sont corrélés positivement à la densité racinaire en profondeur - [Séguy L., Bouzinac S. et al., 1993 (18)]. Dans tous les cas, l'examen rapproché du profil cultural montre toujours une étroite relation de cause à effet, entre un enracinement rapide, puissant et profond et des productivités élevées pour toutes les

(1) - Si les conditions du crédit le permettent, soit avec des taux d'intérêt minimums.

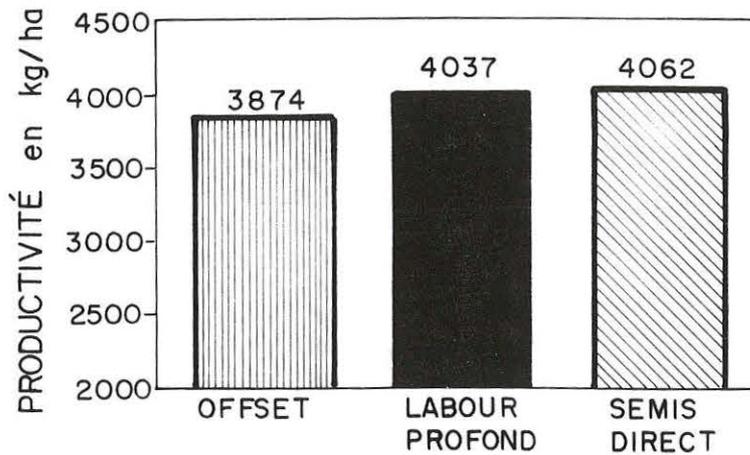
(2) - La productivité du soja de cycle court était inférieure à celle du soja de cycle moyen, ce qui constituait un handicap initial important pour les systèmes à deux cultures annuelles en succession. Pour contourner la difficulté, nous avons conservé les variétés de soja de cycle moyen et semé le sorgho par avion, sous couvert de soja, un mois avant la récolte du soja - (Séguy L., Bouzinac S. et al. 1989 (11)).

fig. 1

PRODUCTIVITÉ MOYENNE, SUR 5' ANS, DU RIZ PLUVIAL EN ROTATION AVEC SOJA - FAZ. PROGRESSO - SORRISO / MT - 1986 / 91

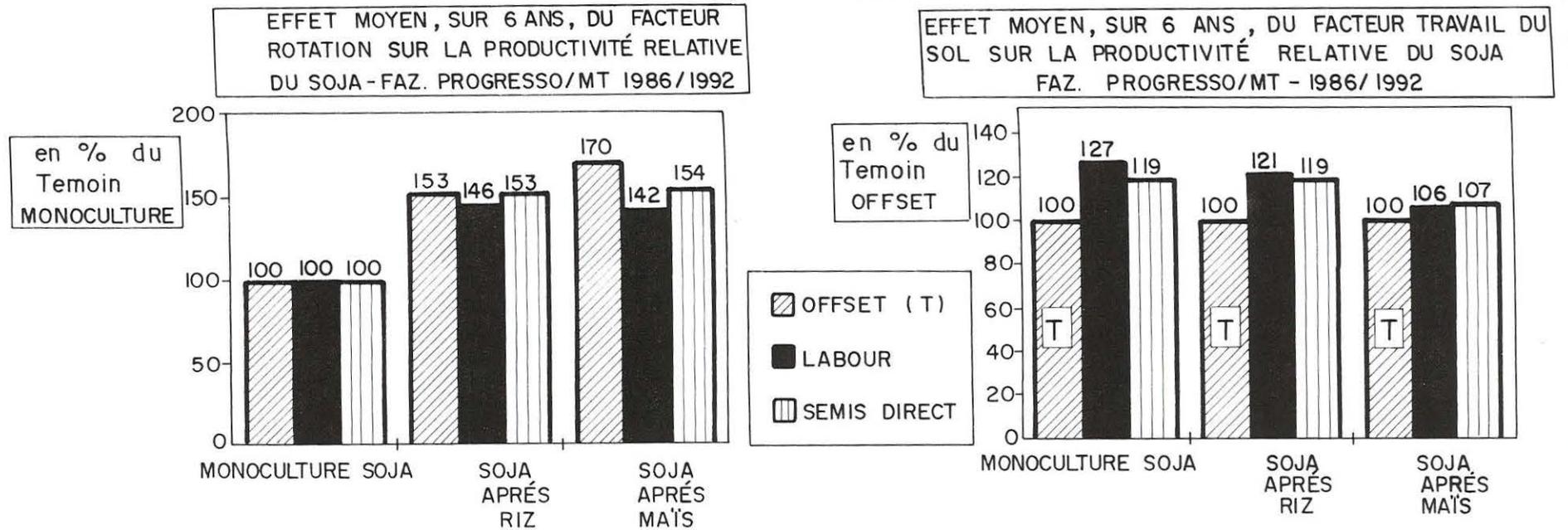


PRODUCTIVITÉ MOYENNE, SUR 6 ANS, DU MAÏS EN ROTATION AVEC SOJA, SUR 3 MODES DE PREPARATION DU SOL. FAZ. PROGRESSO - SORRISO / MT - 1986 / 92

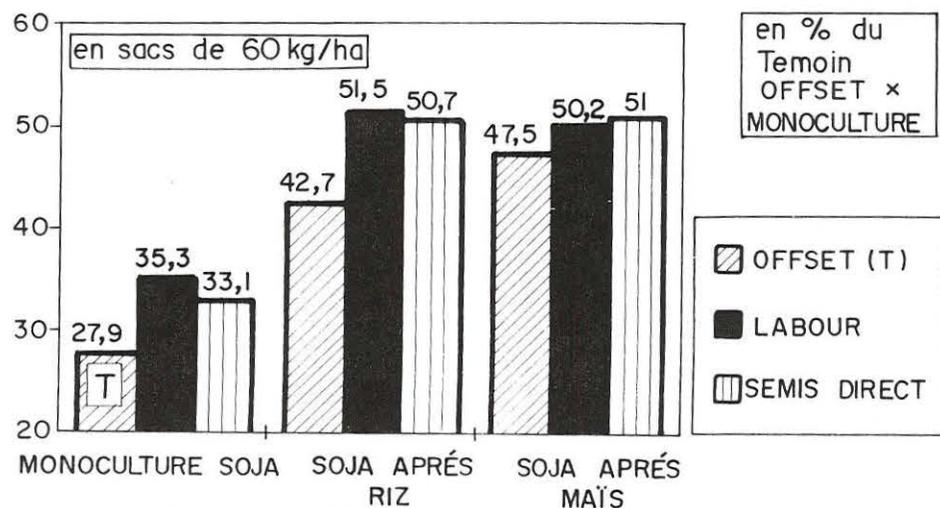


- SOURCE = CIRAD - CA
(L. Seguy , S. Bouzinac - 1986 / 1992)

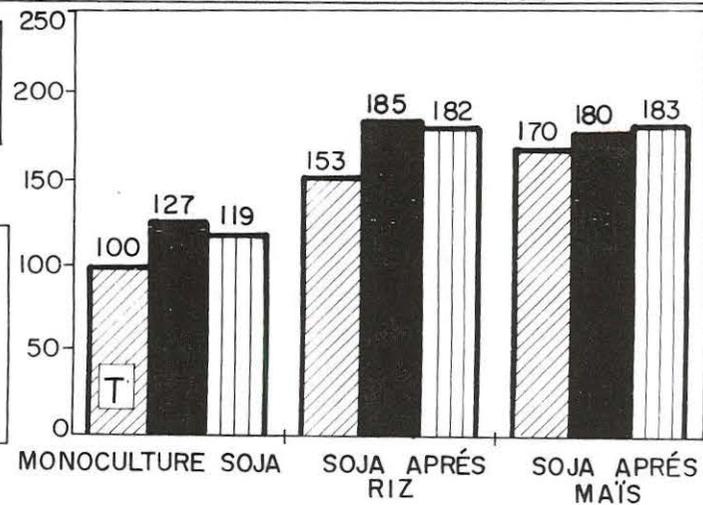
fig. 2 • EFFET MOYEN, SUR 6 ANS, DES MODES DE GESTION DES SOLS ET DES CULTURES, SUR LA PRODUCTIVITÉ DU SOJA (1) 1986/1992 -FAZ. PROGRESSO-MT



PRODUCTIVITÉ MOYENNE, SUR 6 ANS, DU SOJA DANS DIVERS SYSTEMES DE CULTURE -FAZ PROGRESSO/MT 1986/1992



EFFET MOYEN, SUR 6 ANS, DES FACTEURS TRAVAIL DU SOL x ROTATIONS, SUR LA PRODUCTIVITÉ RELATIVE DU SOJA FAZ. PROGRESSO/MT 1986/1992



- (1) AVEC NIVEAU DE FERTILISATION PROGRESSIVE = 400kg/ha 02-20-20+ Sous la ligne de semis+ correction calcaire dolomitique (2 à 3t/ha) Tous les 3 ans
- SOURCE : CIRAD - CA (L. Seguy, S. Bouzinac.)

Tableau 2
Performances agroéconomiques des meilleures rotations sur 3 ans en fonction de la stratégie de fertilisation minérale ⁽¹⁾

Système de culture x niveau fertilisation	Année	Culture	Productivité (Kg/ha)			Coûts de production (US\$/ha)	Marges en US\$/ha	
			Culture principale	% T	Culture de succession		Brutes	Nettes
Système traditionnel monoculture soja x offset (T) x NPK	1987/88	Soja	1 416	(100)	-	271	-65	-119
	1988/89	Soja	1 572	(100)	-	358	-44	-115
	1989/90	Soja	1 320	(100)	-	325	-122	-190
						\bar{X} 318	-77	-141
Système à une seule culture/an riz/soja/riz x labour x NPK	1987/88	Riz	3 245	-	-	301	+110	+50
	1988/89	Soja	3 048	(194)	-	350	+260	+190
	1989/90	Riz	2 090	-	-	364	-17	-90
						\bar{X} 338	+118	+50
Système à une seule culture/an riz/soja/riz x labour x 1500 thermophosphate	1987/88	Riz	3 770	-	-	343	+138	+78
	1988/89	Soja	3 396	(216)	-	395	+284	+205
	1989/90	Riz	2 900	-	-	390	+91	+13
						\bar{X} 376	+171	+99
Système alternant une culture/an avec 2 cultures en succession soja + sorgho/riz/soja + sorgho x labour ⁽²⁾ x NPK	1987/88	Soja + Sorgho	2 785	(197)	648	313	+166	+103
	1988/89	Riz	2 480	-	-	315	+93	+30
	1989/90	Soja + Sorgho	3 080	(233)	1620	340	+171	+103
						\bar{X} 323	+143	+79
Système alternant une culture/an avec 2 cultures en succession soja + sorgho/riz/soja + sorgho x labour ⁽²⁾ x 1500 thermophosphate	1987/88	Soja + Sorgho	3 080	(217)	1711	381	+225	+149
	1988/89	Riz	2 980	-	-	361	+130	+58
	1989/90	Soja + Sorgho	3 580	(271)	2830	444	+211	+123
						\bar{X} 395	+189	+110
Système alternant 1 culture/an avec 2 cultures en succession riz/soja + sorgho/riz x labour ⁽²⁾ x 2000 thermophosphate	1987/88	Riz	4 317	-	-	382	+164	+88
	1988/89	Soja + Sorgho	3 450	(219)	2022	514	+368	+265
	1989/90	Riz	3 360	-	-	426	+131	+46
						\bar{X} 441	+221	+133

(1) - NPK \Rightarrow Sur soja : 0N-84 P₂O₅ - 87 K₂O ; sur riz : 60 à 80 N - 75 P₂O₅ - 75 K₂O + oligos - appliquée sous sous la ligne de semis.
 Thermophosphate : complété par N, K, équivalents à fumure soluble NPK - appliqué pour 3 ans sur 5 à 6 cultures.

(2) - Labour sur culture principale (1^o culture riz, soja), semis direct sur la culture de succession ; cette dernière ne reçoit jamais de fumure.

(*) Source : Séguy L., Bouzinac S. et al., 1989 - Fazenda Progresso - MT

Tableau 3 : Productivités comparées des cultures de soja et maïs pratiquées avec techniques de labour profond continu et semis direct avec couverture morte permanente

1986-1987	Mode de gestion des sols et des cultures		1987-1988		1988-1989		1989-1990		1990-1991	
	Préparation du sol x fertilisation		Culture	Productivité (Kg/ha)	Culture	Productivité (Kg/ha)	Culture	Productivité (Kg/ha)	Culture	Productivité (Kg/ha)
Après labour profond semis riz + calopogonium en mélange Productivité riz = 3 225 Kg/ha	Labour profond	NPK localisé (1)	Soja	1 215	Maïs	4 700	Soja	1 775 (*)	-	-
			Maïs + <i>Calopogonium</i>	4 030			Maïs	2 678	Soja	2 422
couverture du sol en fin de saison sèche (pailles riz + calopogonium) = 12,5 t/ha	Labour profond	Thermophosphate 1 500 Kg/ha (2)	Soja	1 440	Maïs	6 500	Soja	900 (*)	-	-
			Maïs + <i>Calopogonium</i>	4 226			Maïs	3 068	Soja	3 197
Calopogonium se resème tout seul les années suivantes	Semis direct	NPK localisé (1)	Soja	2 040	Maïs	5 200	Soja	2 460	Maïs	5 472
			Maïs	4 360			Maïs	5 200	Soja	2 610
	Semis direct	Thermophosphate 1 500 Kg/ha (2)	Soja	2 486	Maïs	6 400	Soja	2 947	Maïs	5 419
			Maïs	4 940			Maïs	5 830	Soja	3 084

(1) Fertilisation - NPK localisée au semis

- soja = 350 Kg/ha 0-25-25

- maïs = 350 Kg/ha 5-30-15 + 100 Kg/ha urée couverture

(2) Fertilisation - Thermophosphate :

- 1 500 Kg/ha Yoorin Bz appliqués en 1987 pour trois ans. Fumure complétée en N et K pour obtenir les mêmes niveaux que sur (1).

(*) Parcelles dominées partiellement et/ou totalement par *Calopogonium sp.*

Source : Séguy L., Bouzinac S. - Fazenda Progresso - Lucas do Rio Verde - MT - 1986-1990.

cultures. L'enracinement du riz pluvial à la floraison sur les systèmes les plus productifs (rotation avec soja, travail profond, correction au thermophosphate, semis précoce) est toujours supérieur à 1,20 m de profondeur, assurance tous risques contre des déficits hydriques dans la phase reproductive - (1 mm de réserve d'eau/cm d'épaisseur de sol, si teneur en argile supérieure à 45%).

Les racines de soja, à la floraison, descendent entre 60 et 80 cm dans les meilleurs systèmes de culture [(Séguy L., Bouzinac S. et al., 1993(18)].

Le suivi de la dynamique de l'enracinement des cultures, jusqu'à la floraison se révèle donc comme l'outil de diagnostic le plus simple, le plus fiable et le moins coûteux ; ce suivi peut être réalisé soit par fosses pédologiques périodiques, soit par injection d'herbicides [Séguy L., Bouzinac S., 1992 (16)].

En ce qui concerne les paramètres chimiques, mesurés au départ et après 6 ans de pérennisation de l'unité expérimentale, sur les mêmes systèmes de culture, les plus contrastés, le tableau 4 montre que tous les paramètres : pH CaCl_2 , Ca, Mg, Al, K, CEC, V%, P, sont au dessus des seuils de déficiences fixés par la recherche⁽¹⁾ [Van Raij, B., 1991 (21), Lopes A.S., 1984 (3), Souza D.M. G., 1987(6)], exceptées les teneurs en matière organique, qui chutent fortement après 6 ans de pratique des traitements : labour profond, quelque soit la rotation à une seule culture annuelle (soja-riz, maïs-soja) et offset x monoculture ; les teneurs en matière organique, au départ supérieures à 2,5% en moyenne sur l'horizon 0-30 cm, tombent après 6 ans à moins de 1,4% dans le même horizon lorsque des pailles de céréales sont restituées, un an sur deux dans la rotation, et en dessous de 1% dans le cas de la monoculture de soja. Dans ce climat excessif, chaud et humide, le labour profond accélère donc fortement la minéralisation de la matière organique ; l'absence de pailles de céréales dans la rotation (cellulose,

lignine) aggrave encore le résultat ; dans le cas de la monoculture x offset, la forte compaction du profil, privilégie l'érosion superficielle du profil cultural et donc de la matière organique (en nappe, et en griffes) - [Séguy L., Bouzinac S. et al. 1984(9)]. Ces résultats sont préoccupants pour la gestion à long terme de la fertilisation, à moindre coût.

À l'inverse, les systèmes de semis direct, n'incorporant pas la paille, et offrant, tout au moins les deux premières années, des conditions de macroporosité bien inférieures à celles du labour profond, permettent de maintenir les taux de matière organique de départ, voire même de les augmenter dans l'horizon 10-30 cm, lorsque la macrofaune associée brasse et incorpore en profondeur la matière organique (tableau 4).

La mise en regard des autres paramètres chimiques analysés, avec la productivité des cultures sur 6 ans, montre que pour l'obtention de rendements voisins de 6 000 Kg/ha pour le maïs, 4 000 Kg/ha pour le riz pluvial et 3 500 Kg/ha pour le soja, les paramètres chimiques classiques (pH, somme des bases, P et K assimilables), peuvent présenter des intervalles de valeurs relativement importants (tableau 5) [Séguy L., Bouzinac S., et al. 1993, (18)].

On notera enfin, que, dès que sont pratiqués des modes adéquats de gestion des sols et des cultures, dans lesquels les facteurs biologiques jouent le rôle prépondérant (nuisances dans le cas de la monoculture de soja, et à l'inverse facteurs d'accroissement et de maintien de la productivité des systèmes avec des restitutions importantes de pailles), les questions relatives à la correction de l'acidité, et des carences en P, K, Zn peuvent être facilement résolues avec des quantités en amendements et engrais modestes en regard des productivités obtenues. Ces corrections peuvent se faire en terre neuve, soit de manière progressive (calcaire dolomitique broyé périodique + fumure NPK + oligo-éléments, légèrement supérieure aux besoins des cultures, appliquée sous la ligne de semis) soit immédiate, par investissement de calcaire broyé (2,5 t/ha) + thermophosphate (2 t/ha) + gypse (600 Kg/ha) + 160 Kg/ha KCl. Ce niveau fort de correction qui garantit les rendements (et biomasses recyclables) les plus élevés et plus stables, peut

être apporté et renouvelé tous les 3 ans - (tableau 2). Le choix entre l'une ou/et l'autre méthode dépend essentiellement des conditions de crédit et des prix payés localement aux producteurs pour leurs productions [Séguy L., Bouzinac S. et al., 1993, (18) 1994(20)].

- *au plan économique* - La conjoncture économique brésilienne a été extrêmement chaotique durant la période entre 1986 et 1992 au cours de laquelle plusieurs plans économiques se sont succédés. Cette situation de crise permanente est encore aggravée sur les fronts pionniers par suite de leur éloignement par rapport aux grands centres de consommation, aux ports d'exportation et surtout de leur étroite dépendance à l'axe routier, dont l'état le plus souvent précaire, pénalise fortement les recettes des agriculteurs en élevant le coût du fret à des niveaux souvent insoutenables pour la production agricole ; à titre d'exemple, en 1994, il est nécessaire de produire, avec les meilleurs systèmes de culture, 2 800 Kg/ha de soja pour équilibrer les coûts de production [Séguy L., Bouzinac S. et al, 1994(20)]; dans l'état de Goiás, déjà plus proche des grands centres de consommation, il est nécessaire de produire 2 400 Kg/ha de soja pour équilibrer les coûts de production dans des systèmes de culture similaires - [Landers J. 1994(1)]; dans les états du Sud, près des ports et des plus grandes centres de consommation, 2 100 Kg/ha de soja suffisent à équilibrer les coûts.

Les graphiques 3 et 4, traduisent les fortes fluctuations des coûts de production et des prix payés aux producteurs pour les deux produits les plus importants dans la région en 1992 : le soja dominant et le riz pluvial, avec 300 000 hectares et 68 000 hectares respectivement.

Dans cette conjoncture défavorable, les performances économiques des systèmes les plus différenciés, sont exposées dans la figure de synthèse 9, et le tableau 2, relatifs à l'optimisation de la fertilisation minérale:

Ils mettent en évidence, que les systèmes de monoculture, qui sont toujours les moins productifs, conduisent systématiquement à des pertes financières, quelque soit la

(1) IAC - Institut agronomique de Campinas (état de São Paulo).
EMBRAPA - Recherche fédérale brésilienne - (Centre des cerrados - CPAC - Brasília)

Fig. 3

1- ROTATION - RIZ - SOJA - 1987/88

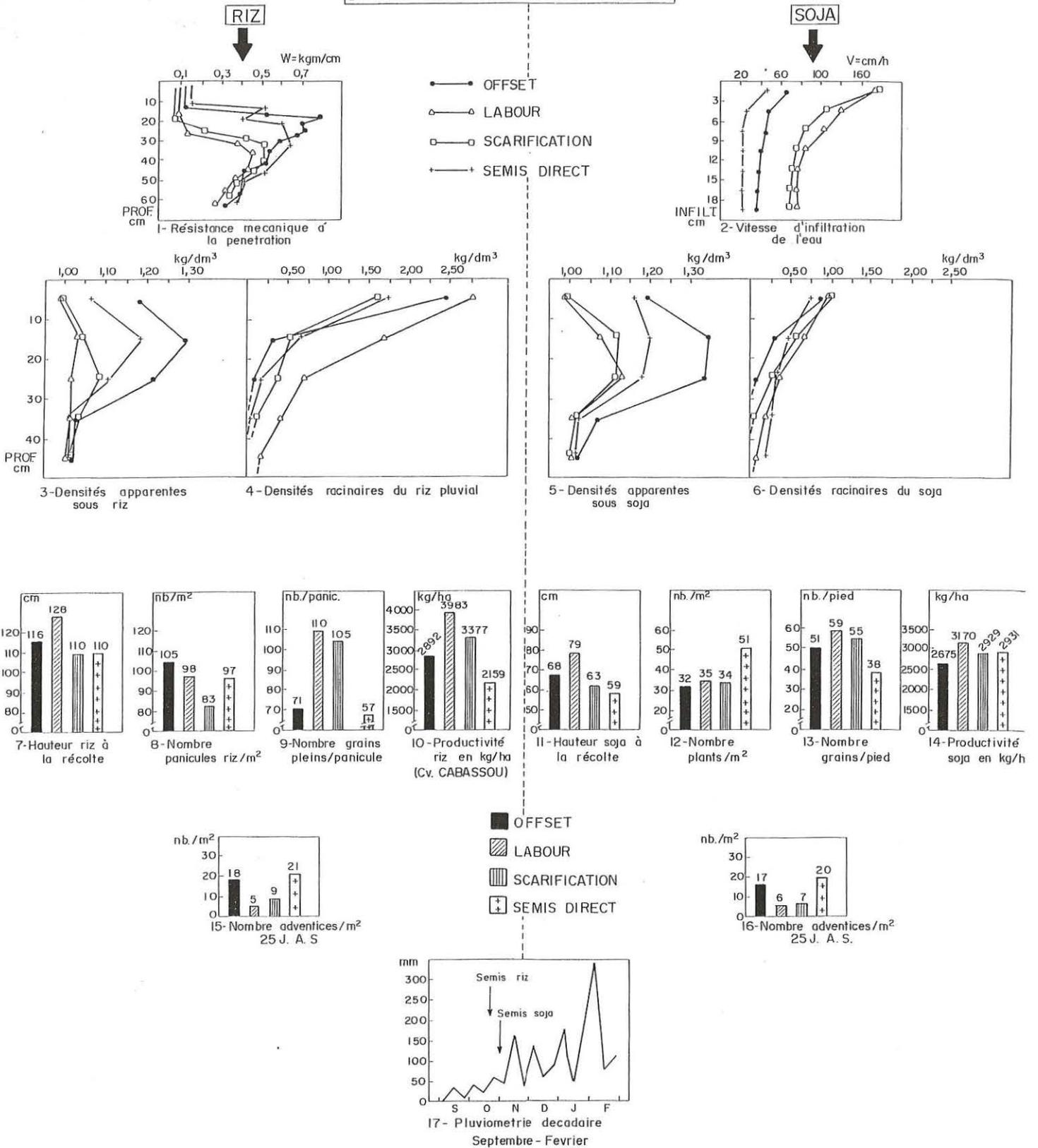


Fig. 4

II - ROTATION - RIZ-SOJA - 1988/89

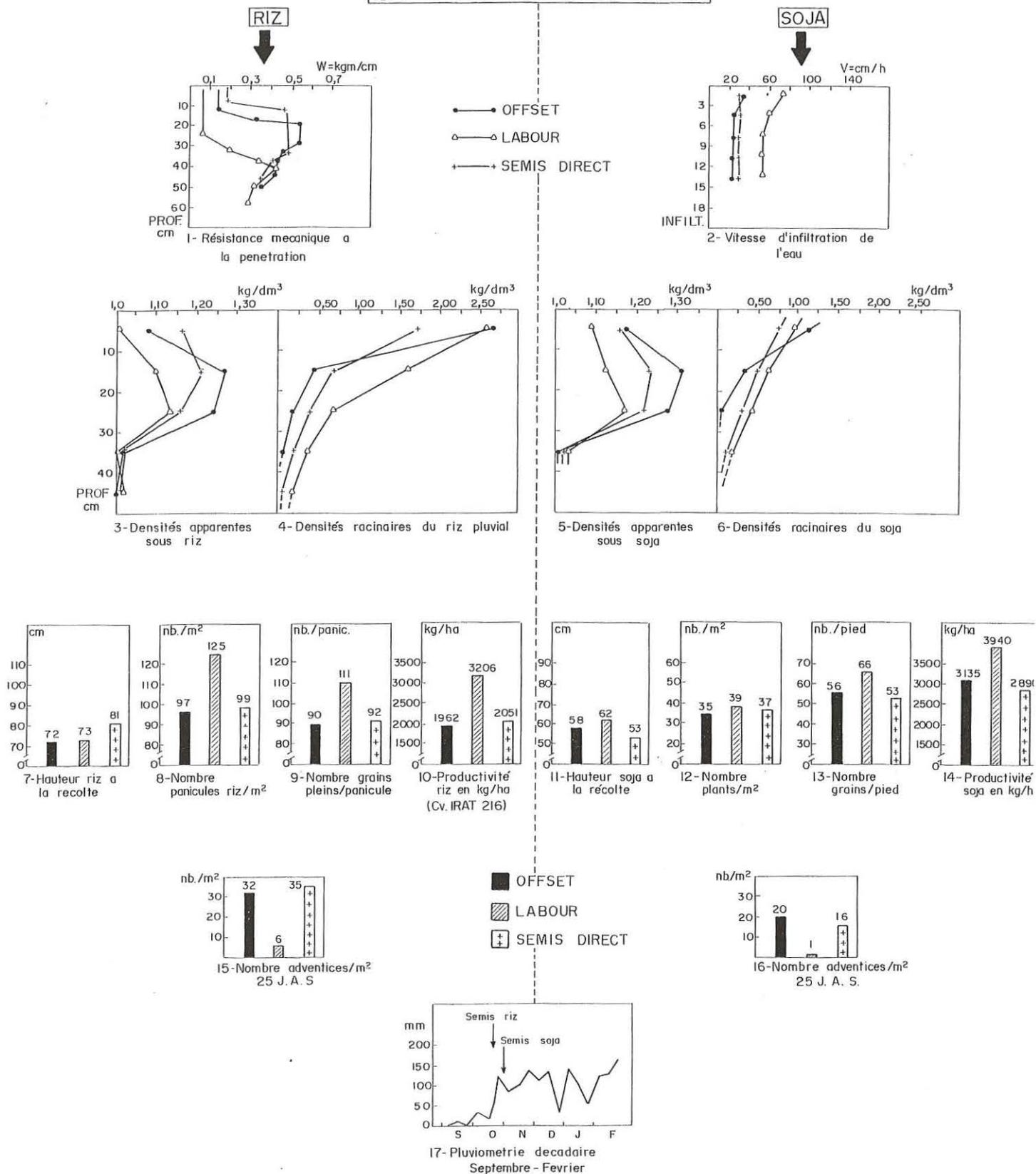


Fig. 5

III - ROTATION - RIZ - SOJA - 1989/90

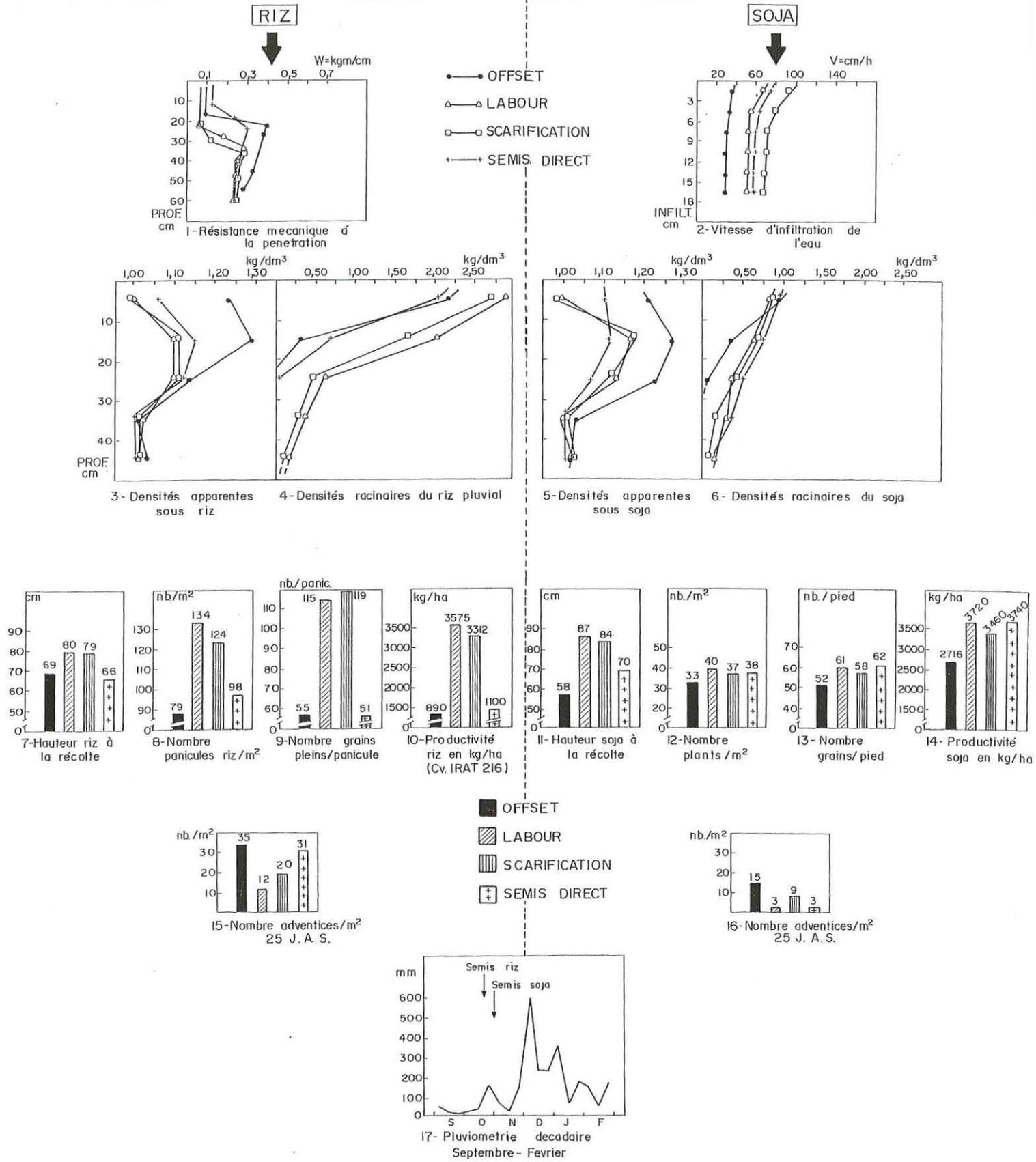
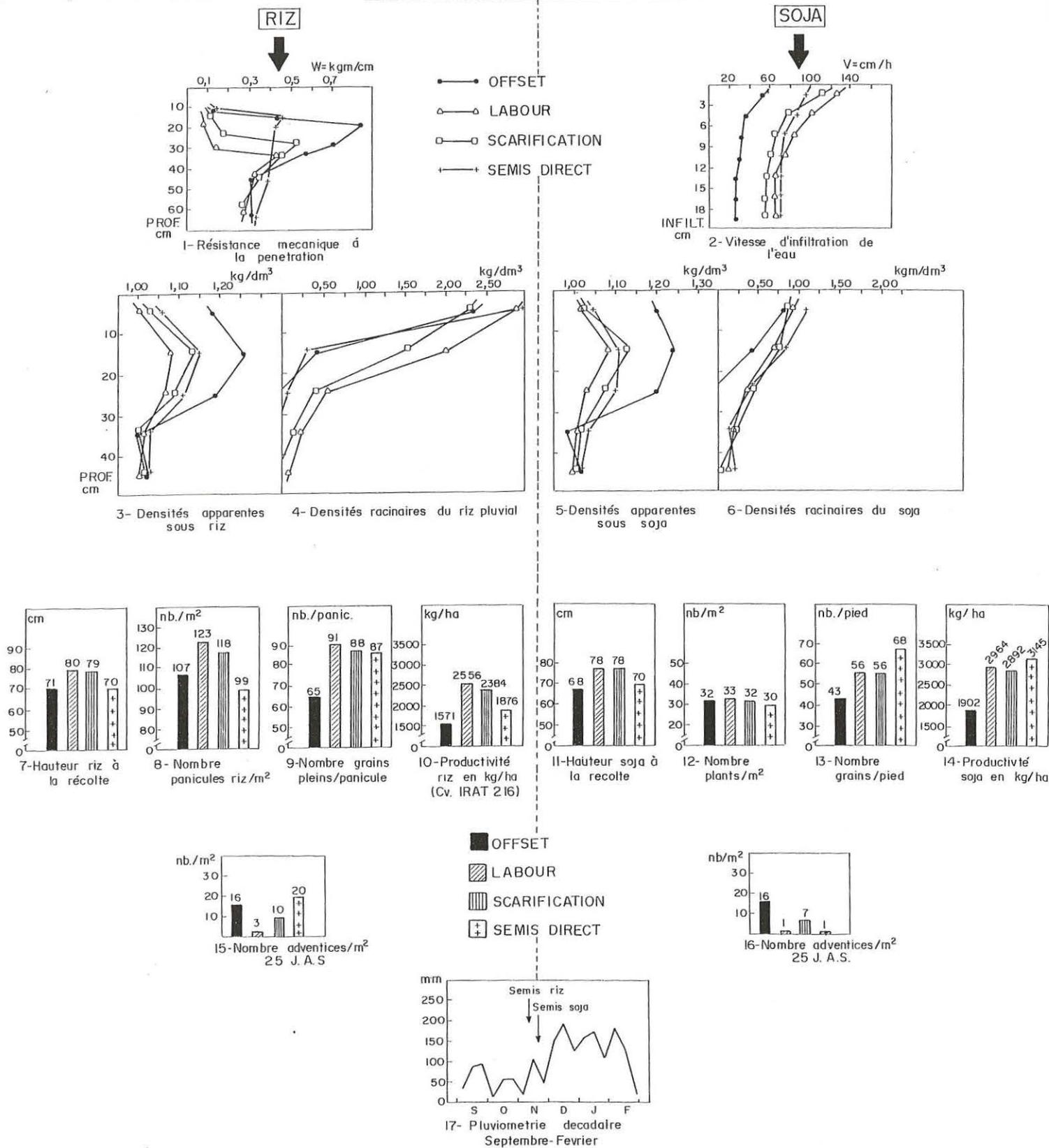


Fig. 6

IV-ROTATION - RIZ - SOJA - 1990/91



Modes de gestion des sols et des cultures	Profondeur des échantillons (cm)	pH		M.O. %	meq./100 ml						
		CaCl ₂	Eau		Ca	Mg	Al	K	CEC	V	P (ppm) %
Monoculture Soja x Offset (T) (1)	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 x 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 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	5,0	5,6	1,3	1,8	0,8	0,1	0,14	6,4	41,0	5,0
Systèmes alternant 1 seule culture avec 2 en succession x Semis direct	0-10	4,7	5,3	2,4	2,0	0,9	0,1	0,21	7,8	39,8	6,6
	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 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	4,7	5,3	1,3	2,8	0,9	0,1	0,10	8,5	44,7	4,0
	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 de semis direct (*)	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

(*) Plus de 20 galeries de 2-3 cm de diamètre, verticales, sur 1,20 m de profondeur/m² creusées par des larves de bousiers.
(1) Référence négative (système traditionnel).

- Source : CIRAD-CA - Fazenda Progresso - Lucas do Rio Verde - 1991 - L. Seguy, S. Bouzinac
- Laboratoire - Lagro - Campinas

pH		M.O. %	meq./100 ml					P (ppm)	V % Saturation de bases
CaCl ₂	Eau		Ca	Mg	Al	K	CEC		
entre	entre	entre	entre	entre	entre	entre	entre	entre	
5,0 et 5,4	5,6 et 6,0	1,7 et 3,0	2,0 et 3,5	0,8 et 1,3	< 0,2	0,15 et 0,24	6,5 et 10	5 et 10	40 et 60

(1) - Dans la mesure où les modes de gestion des sols et des cultures sont respectés.

(2) - Méthode Mehlich (Caroline du Nord).

(*) Source : Séguy L., Bouzinac S., 1993 - Fazenda Progresso et Cooperlucas - MT

culture, soja ou riz. À l'inverse, divers systèmes utilisant les rotations et successions de cultures offrent des marges brutes/ha attractives, comprises entre 100 et 370 US\$/ha, revenus qui peuvent être considérés comme très lucratifs, si l'on ne perd pas de vue que la surface minimum de l'exploitation est de 200 hectares dans la région. Ces systèmes de culture les plus lucratifs peuvent être combinés pour former des assolements annuels mieux équilibrés, assurant ainsi une meilleure gestion du risque économique (assolements "tampons" de gestion du risque - figure 9).

En réalité, ces résultats économiques calculés à partir des prix minimums garantis par le gouvernement, sont difficilement extrapolables : les prix minimums ne sont pas toujours respectés localement. La production est même parfois non commercialisée, ou a des prix bien en dessous des prix minimums garantis, ce qui entraîne des pertes financières pour les agriculteurs et des faillites fréquentes - (cas du maïs, du sorgho, du riz pluvial, de médiocre qualité de grain).

Cette réalité économique locale des fronts pionniers, nous amène à penser qu'avec la diversification des productions, il faut également nous engager sur la voie de la qualité des produits, favoriser leur transformation locale, pour, à la fois, garantir des prix payés plus élevés au producteur et diminuer au maximum l'incidence du coût du fret routier sur les coûts de production et ses recettes - (produits transformés ou de qualité commerciale garantie, de haute valeur ajoutée).

- *au plan technique* - les meilleurs systèmes de culture alternant une seule culture annuelle (riz-soja), avec deux cultures en succession annuelle en semis direct l'année suivante, ont été organisés en assolements pour optimiser l'utilisation des équipements de la Fazenda Progresso, à partir de 1988, soit deux ans après le début de l'intervention expérimentale.

Les temps consacrés à la préparation des sols qui étaient, en 1986, dans le système traditionnel de monoculture de soja de 80 à 90 jours, passent, avec les nouveaux assolements à 220 jours ; de la même manière, les temps de récolte passent de 80 jours à 135 jours et la

surface cultivée annuelle augmente de 50 à 60% sans ouverture de terre nouvelle - [Séguy L., Bouzinac S., 1989 (9), 1990 (13)].

Ces résultats montrent l'augmentation très significative de la capacité du parc de machines, ainsi que l'amélioration de sa flexibilité d'utilisation sur la Fazenda Progresso.

Dans le centre ouest, 6 entreprises commencent à fabriquer des charrues à socs (Ikeda, Sans, Baldan, Lavrale, Tatu, Maschetto), et les surfaces labourées dépassent 367 000 hectares en 1989 [Séguy L., Bouzinac S. et al 1989 (10), 1990 (14)].

Diffusion des technologies - Les systèmes de culture créés, ont été très largement diffusés à travers l'organisation de journées de démonstration au champ (plus de 1 000 agriculteurs présents chaque année), la presse, la télévision, les médias en général qui ont fait la réputation de cette intervention de la recherche action (nombreux articles dans les périodiques de grande audience).

Des enquêtes⁽¹⁾ conduites, deux ans de suite, en 1989 et 1990, dans toute le centre ouest Brésil, ont permis de mesurer l'importance de cette diffusion et son impact sur le développement ; les tableaux 6 et 7 qui résument les performances agronomiques des systèmes sur un échantillon de 42 664 hectares (116 producteurs) en 1989 et de 17 123 hectares (57 producteurs) en 1990, montrent que les performances moyennes des systèmes et leur classement sont conformes à ceux de l'unité expérimentale de la Fazenda Progresso, traduisant ainsi que ces technologies ont une portée très large dans l'agriculture mécanisée du centre ouest et que la méthode de recherche action utilisée (diagnostic puis création diffusion de systèmes en milieu réel avec les acteurs) est fiable et constitue un outil méthodologique précieux pour ce "type" de développement mécanisé, dans ce milieu.

V - CONCLUSION

À l'issue de cette première étape très résumée portant sur la restauration de la fertilité des sols dégradés par la monoculture de soja pratiquée exclusivement aux offsets, divers enseignements essentiels

peuvent être tirés pour l'action ultérieure de la recherche-développement :

- aux plans agronomique et technique, les modes de gestion des sols et des cultures (rotations, successions combinées aux modes de travail du sol) sont les facteurs prépondérants de la restauration de la fertilité par les systèmes de culture ; ils sont incontournables pour à la fois, diversifier les productions, augmenter la productivité des cultures, sa stabilité, la capacité des équipements mécanisés, leur flexibilité d'utilisation.

Cependant, le travail profond continu du sol à la charrue à socs, qui se montre pourtant la technique la plus rapide et efficace pour éliminer la compaction du profil cultural, minimiser les nuisances, accélère fortement la minéralisation de la matière organique dans nos conditions pédoclimatiques.

Le profil cultural s'appauvrit très rapidement en matière organique, à des niveaux qui laissent prévoir, à très brève échéance, une consommation accrue d'engrais minéraux pour maintenir des rendements élevés et stables.

De plus, le labour ne protège pas complètement contre les risques d'érosion.

Il faut donc substituer rapidement cette technique par le semis direct qui offre, de manière cependant plus progressive, les meilleures performances agrotechniques et économiques sur les cultures de soja, maïs et sorgho. Il protège totalement les terroirs contre l'érosion et utilise le mieux le potentiel pédo-climatique, à moindre coût, en augmentant la surface cultivée de plus de 50% et la production par unité de surface.

Au plan économique, la dépendance dramatique des fronts pionniers à un réseau routier en état le plus souvent déplorable, pénalise très lourdement les revenus des agriculteurs (coûts de fret prohibitifs) ; pour minimiser ce handicap, non seulement il faut augmenter la productivité des systèmes à moindre coût, mais également produire des grains de haute qualité mieux rémunérés, les mettre sur le marché au moment le plus favorable, favoriser leur transformation locale, diversifier les options de transformation à haute valeur ajoutée.

(1) Enquêtes conduites par l'EMBRAPA/CNPAF, et le CIRAD-CA sur financement du Ministère Français des Affaires Étrangères [Séguy L., Bouzinac S. et al., 1989 (10), 1990 (14)].

Tableau 6-Performances des technologies adoptées par les producteurs dans les "municipios" de Sorriso (Mato Grosso), Água Boa (Mato Grosso), Paracatu (Minas Gerais) Maracaju (Mato Grosso do Sul) : 42 664 hectares, 116 producteurs, Centre-Ouest brésilien - 1989-90.

Modes de gestion des sols et de cultures	Soja (32 531 ha)				Riz pluvial (7 121 ha)			Maïs (3 012 ha)	
	Surface (%)	Productivité (Kg/ha)			Surface (%)	Productivité (Kg/ha)		Surface (%)	Productivité (Kg/ha)
		CR	D	A*		Variétés anciennes	Variétés nouvelles		
Travail profond x tous précédents	46,5	2 551	2 283	2 641	14,6	2 100	2 145	81	4 656
Offset x défriche	7,4	1 650	1 476	1 560	67,0	1 704	1 428	-	-
Travail profond x rotation légumineuse-céréale	19,0	2 625	2 347	3 673	10,8	2 100	2 512	-	-
Monoculture x offset	27,1	2 025	1 827	2 132	7,6	1 537	1 451	3	3 360
Offset → tous précédents	-	-	-	-	-	-	-	16	3 507

* Variétés : CR : Cristalina, D : Doko, A : autres.

Source : Séguy L., Bouzinac S. et al, 1989 (10)

Tableau 7. Performances des technologies adoptées par les producteurs dans les "municipios" de Sorriso (Mato Grosso), Água Boa (Mato Grosso), Paracatu (Minas Gerais) : 17 123 hectares, 57 producteurs - 1990-91

Modes de gestion des sols et de cultures	Soja (13 904 ha)		Riz puvial (1 678 ha)	
	Surface (%)	Productivité (Kg/ha)	Surface (%)	Productivité (Kg/ha)
Monoculture x offset	40	1 410	28	1 050
Sur défriche x offset	1,5	1 110	37	1 470
Monoculture x labour profond	52	1 875	-	-
Rotation x offset	1,5	2 480	17	1 905
Rotation x labour profond	5	2 560	18	2 890

Source : Séguy L., Bouzinac S. et al, 1990 (14)

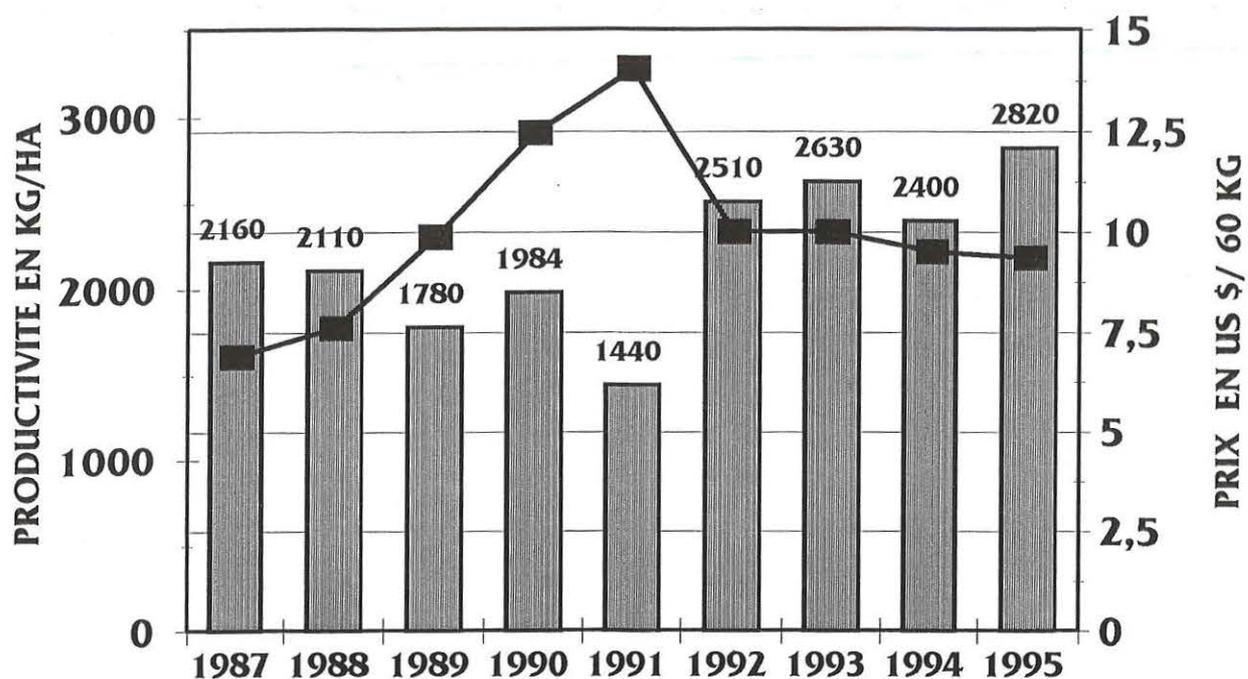


FIG.7

 PRODUCTION POUR COUVRIR LES COUTS
 PRIX PAYE POUR LE RIZ

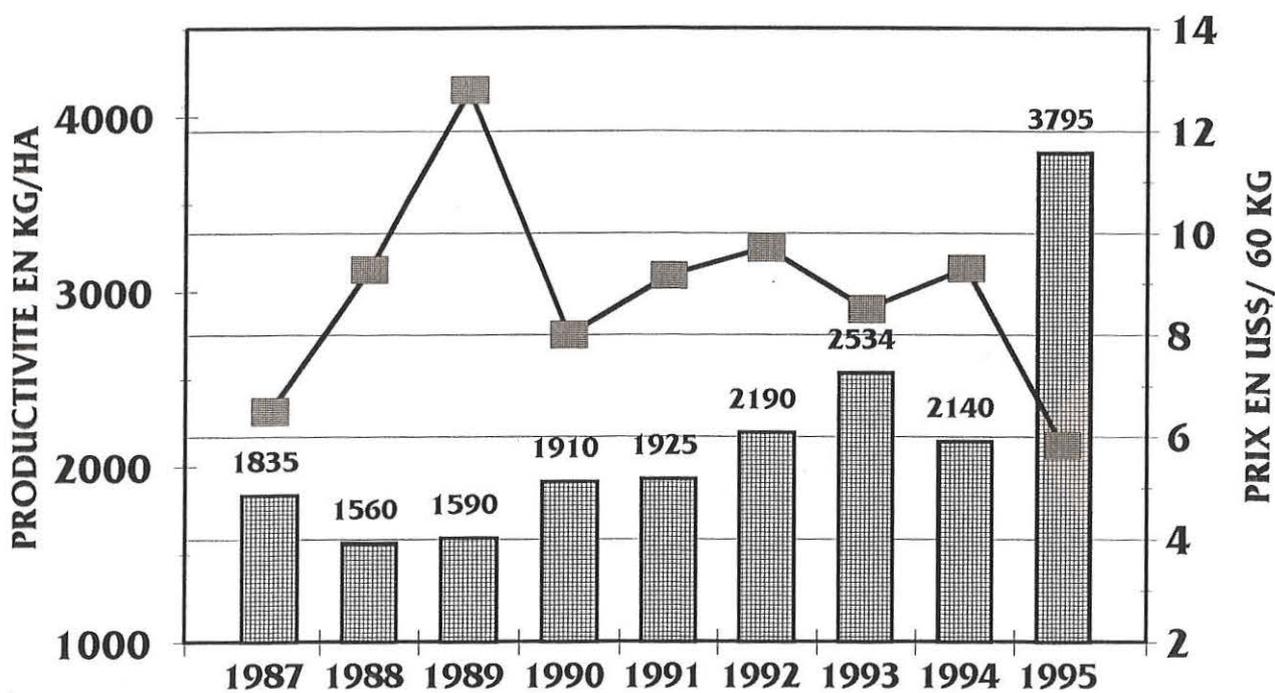
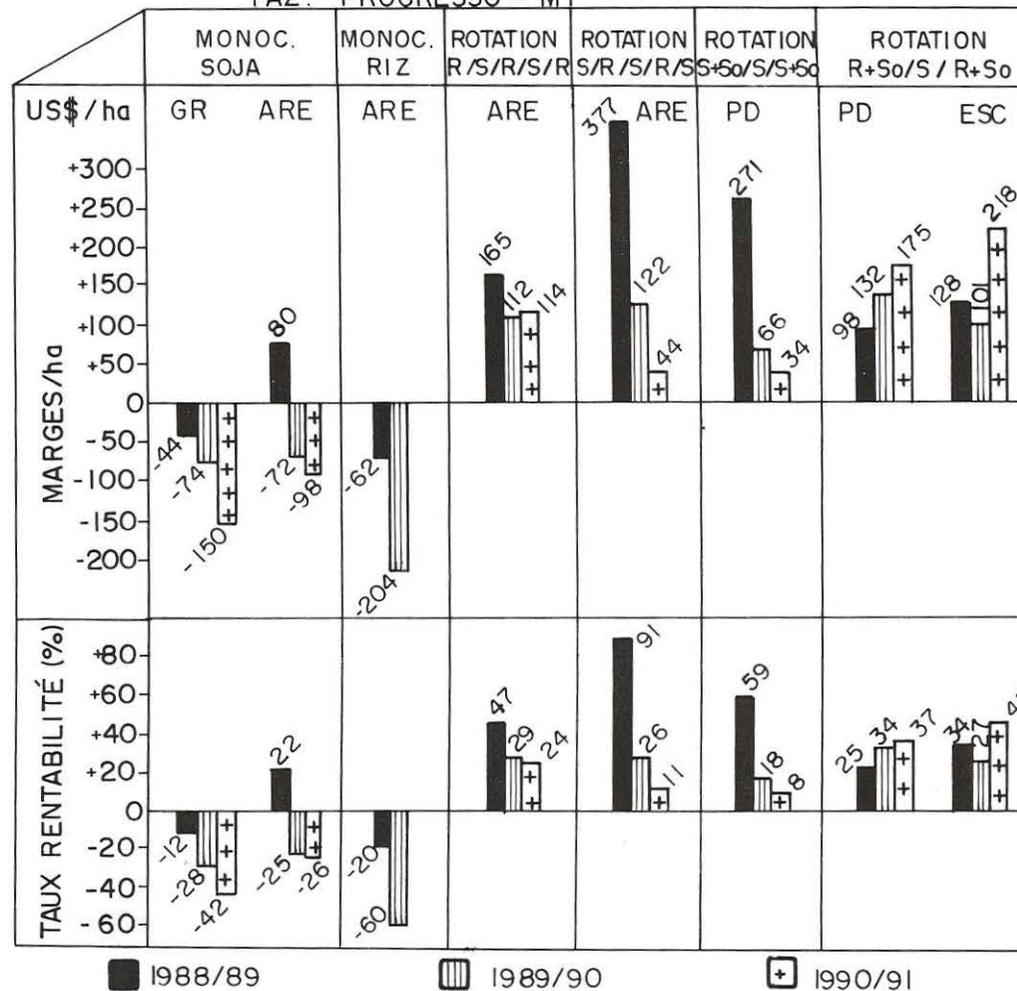


FIG.8

 PRODUCTION POUR COUVRIR LES COUTS
 PRIX PAYE POUR LE SOJA

Fig. 9 Performances économiques des meilleurs systèmes de cultures comparées à celles des monocultures de soja et riz - 1988/91
FAZ. PROGRESSO - MT



GR - Offset ESC - Scarification ARE - Labour profond au soc
 PD - Semis direct So - Sorgho S - Soja R - Riz

← MAXIMISER LES MARGES/ha, C'EST UTILISER ROTATIONS ET SUCCESSIONS DE CULTURES

↪ Systèmes tampons de meilleure gestion du risque économique

• SOURCE = CIRAD-CA (L. Seguy, S. Bouzinac.)

La recherche action doit s'engager résolûment dans cette voie.

Au plan de la méthodologie de travail, la très large diffusion des systèmes ou de leurs composantes essentielles (travail du sol, rotations) dans le centre ouest du Brésil, sur des centaines de milliers d'hectares,

la concordance des performances des systèmes entre le dispositif régional de recherche et le milieu réel sur une très vaste échelle géographique, la rapidité de diffusion des technologies, montrent l'importance et la portée générale des modes de gestion des

sols ferrallitiques acides pour l'agriculture mécanisée du centre ouest, débordant largement du seul cadre des savanes humides, et confirment la fiabilité de l'outil de recherche en milieu réel, utilisé.

References bibliographiques

1. **LANDERS J. N., TEIXEIRA S. M., MILHOMEN A., 1994.**
Possíveis impactos da técnica de plantio direto sobre a sustentabilidade da produção de grãos na região do cerrado. in ; "Reunião Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural - Brasília - 1994.
2. **LENA P., 1988 -**
Diversidade da fronteira agrícola na Amazônia-in Fronteiras- Editora Universidade de Brasília, Campus Universitário - Asa Norte - 70910 - Brasília - DF - Brasil - 1988.
3. **LOPES A. S., 1984 -**
Solos sob "cerrado" - Características, propriedades e manejo - 162 p. - Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato - Piracicaba, SP - 1984.
4. **RESCK D. V. S., 1981 -**
Parâmetros conservacionistas dos solos sob vegetação de cerrados - Planaltina EMBRAPA-CPAC, 1981-32 p. (EMBRAPA/CPAC, circular técnica 6).
5. **ROBERT M., 1992 -**
Le sol, ressource naturelle à préserver pour la production et l'environnement - In cahiers agricultures 1992 ; 1:20-34 - Aupelf et éditions John Libbey Eurotext - 6, rue Blanche, 92120 - Montrouge - France.
6. **Souza D. M. G. DE, MIRANDA L. N. DE, LOBATO E., 1987 -**
Interpretações de análise de terra e recomendações de adubos fosfatados para as culturas anuais nos cerrados - Planaltina - EMBRAPA-CPAC, 1987 - 7 p. (EMBRAPA-CPAC, comunicado técnico, 51).
7. **STEINMETZS., REYNIERS F. N., FOREST F., 1988 -**
Caracterização do regime pluviométrico e do balanço hídrico do arroz de sequeiro em distintas regiões produtoras do Brasil - vol. I. EMBRAPA-CNPAP - Documentos, 23- CP 179, Goiânia- Goiás - Brasil
8. **SÉGUY L., BOUZINAC S., PACHECO A., 1989 -**
Les principaux facteurs qui conditionnent la productivité du riz pluvial et sa sensibilité à la pyriculariose sur sols rouges ferrallitiques d'altitude - Goiânia, Centre-Ouest brésilien - Montpellier : CIRAD-IRAT, 1989, 41 p.
9. **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, appliquées aux cerrados du Centre-Ouest brésilien. Doc. interne IRAT-EMBRAPA, 156 p. + photos - CIRAD-CA - BP 5035 - 34032 Montpellier cedex - France
10. **SÉGUY L., BOUZINAC S. et al., 1989 -**
Première évaluation de l'adoption par les agriculteurs du Centre-Ouest brésilien des technologies mises au point pour la recherche franco-brésiliennes. Doc. interne IRAT-MAE 55 p., CIRAD-CA - BP 5035 - 34032 - Montpellier cedex - France.
11. **SÉGUY L., BOUZINAC S., PACHECO A., 1989 -**
Une nouvelle technologie très lucrative et de moindre risque, adaptée aux cerrados humides du Mato Grosso; la succession annuelle soja de cycle court suivi de sorgho, semé par avion un mois avant la récolte de soja, ou en semis direct au fur et à mesure de la récolte de soja. Doc. interne IRAT-CIRAD-CA - BP 5035 - 34032 - Montpellier cedex - France.
12. **SÉGUY L., BOUZINAC S., PACHECO A., 1989 -**
Un test simple pour évaluer la cinétique et la profondeur de l'enracinement du riz pluvial à l'usage des agronomes et des sélectionneurs. Montpellier : CIRAD-IRAT, DCV Programme Riz, 1989, 10 p.
13. **SÉGUY L., BOUZINAC S., 1990 -**
Gestion des sols et des cultures dans la zone des frontières agricoles des cerrados humides du Centre-Ouest brésilien. Synthèse actualisée 1986-1990 et highlights 1990. Doc. interne CIRAD-CA-BP5035-34032 Montpellier cedex - France.
14. **SÉGUY L., BOUZINAC S., YOKOYAMA L., 1990 -**
Évaluation de l'adoption par les agriculteurs du Centre-Ouest brésilien des technologies mises au point par la recherche franco-brésilienne. Seconde phase 1989-1990, 118 p. - Doc. interne CIRAD-CA - BP 5035 - 34032 - Montpellier cedex - France.
15. **SÉGUY L., BOUZINAC S., MATSUBARA M., 1991 -**
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. Doc. interne CIRAD-CA - BP 5035 - 34032 - Montpellier cedex - France.
16. **SÉGUY L., BOUZINAC S., MATSUBARA M., 1992 -**
Gestão dos solos e das culturas na fronteiras agrícolas dos cerrados úmidos do centro-oeste : 1. Destaques 1992 e síntese atualizada 1986-1992 - 2. Gestão ecológica dos solos. Doc. interne CIRAD-CA - BP 5035 - 34032 - Montpellier cedex - France.
17. **SÉGUY L. et al., 1993 -**
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. Doc. interne CIRAD-CA - 83 p. - BP 5035 - Montpellier cedex - France
18. **SÉGUY L., 1993 -**
Systèmes de culture pour la région Centre-Nord de l'état du Mato Grosso - Recommandations techniques 1993 - Doc. interne - 58 p. - CIRAD-CA - BP 5035 - 34032 - Montpellier cedex - France.
19. **SÉGUY L., BOUZINAC S., CHARPENTIER H., MICHEL-LON R., 1994 -**
Contribution à l'étude et à 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.

**20. SÉGUY L., BOUZINAC S.,
DOUZET J. M., BELOT J. L.,
GIARETTA W., TRENTINI A.,
CORTÈS N. DE A., SOUZA F.,
1994 -**

Gestion des sols et des cultures
sur les fronts pionniers des cerrados
et forêts humides de l'Ouest
brésilien - Région Centre-Nord du
Mato Grosso - Année agricole 1993-
94. Doc. interne 256 p., CIRAD-CA-
BP 5035-34023-Montpellier cedex
- France

21. VAN RAIJ B., 1991 -

Fertilidade do solo e adubação -
342 p., Ed. Agronômica Ceres Ltda-
São Paulo - 1991