



*Institut de Recherches Agronomiques Tropicales
et des cultures vivrières*

*Département du Centre de Coopération Internationale
en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD)*



MINISTÉRIO DA AGRICULTURA – MA
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA
Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão – CNPAF

*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*

L. Séguy
S. Bouzinac
A. Pacheco
J. Kluthcouski



Institut de Recherches Agronomiques Tropicales
et des cultures vivrières

Département du Centre de Coopération Internationale
en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD)



MINISTÉRIO DA AGRICULTURA – MA
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA
Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão – CNPAF

*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*

L. Séguin
S. Bouzina
A. Pacheco
J. Kluthcous

Sommaire

Introduction	5
I — Rappel de quelques définitions et concepts fondamentaux relatifs aux modes de gestion des sols et des cultures en zones tropicales	9
Modes de gestion des sols et des cultures	11
Le travail du sol : des termes simples qui recouvrent une prise de décision complexe	11
II — Les modes de gestion mécanisés des sols et des cultures sont la clé de la restauration de la fertilité du profil cultural, et de la fixation d'une agriculture productive, stable et rentable dans les Cerrados du Centre-Ouest brésilien	17
Méthodologie	19
Principaux résultats agro-économiques 1983/1988. Première phase de restauration des profils culturaux	29
III — Adaptation des techniques de semis direct dans les Cerrados humides du Mato Grosso : concept, écueils, performances agro-économiques et techniques, perspectives	73
Les techniques de semis direct au Brésil : importance et caractérisation	75
Adaptation des techniques de semis direct dans les Cerrados humides du Mato Grosso	77
IV — Essai de synthèse des travaux : les assolements optimisés, outils d'aide à la prise de décision prévisionnelle de l'agriculture	145
V — Conclusions	153
Bibliographie	163

Introduction

Plus que nulle part ailleurs, l'évolution très rapide de la fertilité des sols et des conditions techniques et agro-économiques, dans les vastes frontières agricoles des cerrados du centre-ouest brésilien, remet constamment en question le choix des cultures et des techniques par les producteurs pour la fixation d'une agriculture qui soit, à la fois, rentable et préservatrice de l'environnement.

La mise en culture galopante de ces milieux neufs sur plusieurs millions d'hectares, en moins de dix ans dans ces régions du centre-ouest, s'est faite essentiellement dans le but de produire un maximum d'excédents exportables (SUDECO, 1984), ce qui a conduit à la pratique quasi exclusive de gigantesques monocultures industrielles des produits les plus attractifs et sûrs économiquement, tels que la canne à sucre et plus récemment le soja.

Face à cette situation, la recherche s'est efforcée de répondre aux questions suivantes :

- comment proposer aux agriculteurs, à partir de références expérimentales pluriannuelles, un choix optimisé de systèmes de cultures stables et lucratifs, face à la situation actuelle ?
- comment envisager **prévisionnellement** les tendances évolutives des systèmes de cultures et **leurs possibilités d'adaptation** face à la fois à l'érosion du capital sol avec la mise en culture, et aux entraves techniques et économiques en constante mutation ?

Une telle problématique relève d'une intervention urgente de type recherche-développement en prise directe sur le milieu ; la démarche de la recherche doit être évidemment d'abord synthétique pour permettre la mise au point rapide de systèmes de cultures régionaux, les plus favorables à la fois à la productivité, à la rentabilité et à la stabilité agro-économique des exploitations, mais aussi capables d'assurer la préservation de l'espace rural pour la fixation d'une agriculture viable à court, moyen et long termes.

Une telle démarche suppose que la recherche soit capable très rapidement, dans un premier temps, de s'approprier les techniques actuelles d'exploitation pour pouvoir en corriger très vite les effets les plus indésirables : érosion, pressions croissantes des adventices, des maladies, etc., puis dans un second temps de créer et d'élaborer avec les producteurs de nouveaux systèmes plus stables et plus lucratifs visant la réalisation d'assolements optimisés et donc l'organisation des modes de gestion du sol et des cultures correspondants (L. Séguy *et al.*, 1989).

Les unités expérimentales dites de « création-diffusion » de systèmes de cultures, pour et avec les producteurs, peuvent être l'outil approprié de création et de synthèse des données pour l'orientation des décisions techniques régionales, car elles s'appuient sur des références biologiques et agronomiques sûres, issues de dispositifs expérimentaux de longue durée, représentatifs des conditions d'exploitation réelles.

L'ensemble des données, créées et gérées de manière anticipée par rapport aux systèmes en vigueur actuellement, doit permettre de proposer des assolements dont la gestion soit logique et cohérente, et d'étudier leurs possibilités d'adaptation face aux fluctuations climatiques et économiques.

L'ensemble de la démarche doit donc, en définitive, fournir, prévisionnellement, par rapport à la prise de décision des agriculteurs, des assolements techniquement praticables, économiquement motivants et agronomiquement justifiés.

Un tel travail a nécessité plusieurs niveaux d'intervention de la recherche :

- la mise au point continue en station, mais surtout chez les producteurs, des modes de gestion des sols et des cultures qui assurent rapidement la restauration de la fertilité du profil cultural afin de minimiser le risque climatique et l'incidence de l'érosion, et d'assurer les productions les plus élevées et les plus stables :

- parallèlement aux meilleurs modes de gestion mécanisés des sols, l'adaptation des techniques de semis direct (no tillage), les plus aptes à préserver la fertilité du capital sol contre l'érosion, et les plus flexibles d'utilisation dans les Cerrados les plus humides du Centre-Ouest brésilien :

- enfin, la synthèse générale des données, traduite sous forme d'un large choix d'assolements optimisés, capables de concilier à la fois impératifs techniques agronomiques et économiques.

Les résultats de ce travail, obtenus sur une période de six ans, dans diverses conditions pédoclimatiques différenciées des Cerrados du Brésil central, s'adressent en priorité à l'agriculture pluviale industrielle productrice de grains commercialisables qui représente plus de 95 % de la surface actuelle exploitée à cette fin.

L. Séguay

Chapitre I

*Rappel de quelques définitions
et concepts fondamentaux
relatifs aux modes de
gestion des sols et des
cultures en zones tropicales*

1.1 - Modes de gestion des sols et des cultures

Ils sont le produit des combinaisons possibles entre modes de travail du sol, rotations de cultures et modes de gestion des résidus de récolte sur une même parcelle au cours du temps. Leurs analyses et évaluations annuelles et pluriannuelles font appel à la fois à des critères agronomiques techniques et économiques (L. Séguy et S. Bouzinac, 1988).

1.1.1 - Critères agronomiques

Evolution des propriétés physico-chimiques et biologiques du profil cultural et ses conséquences sur les relations eau-sol-plantes, la croissance des cultures, leur stabilité de production et leurs relations avec la flore adventice.

1.1.2 - Critères techniques

Définition pour chaque opération culturale :

- des possibilités d'intervention des équipements ;
- de leur capacité en fonction de l'état physique du sol ;
- de leur facilité ou difficulté d'exécution.

1.1.3 - Critères économiques

Coût de chaque opération culturale.

Le terme gestion est employé sciemment pour bien marquer l'importance du facteur sol dans le processus de production ; le sol est considéré ici comme un véritable **capital**, qui doit être administré et valorisé à court, moyen et long termes.

1.2 - Le travail du sol : des termes simples qui recouvrent une prise de décision complexe

« Le premier principe du travail du sol est de ne pas faire plus que ce qui est nécessaire » (Richard Butler, in : Soil management, 1982).

Le travail du sol qui doit être réalisé sur une parcelle déterminée, dépend toujours de multiples facteurs de telle sorte que, généralement, les opérations qui devront être exécutées ne peuvent être encadrées dans un système rigide prédéterminé.

Chaque situation requiert une décision spécifique pour les conditions dans lesquelles se trouve le terrain dont :

- le degré d'infestation par les mauvaises herbes ;
- les résidus végétaux à la surface (type, constitution, volume) ;
- les cultures antérieures ;
- l'humidité du sol ;
- l'existence d'horizons compactés ;
- les risques d'érosion ;
- le type de semoir disponible, etc.

La décision finale sur l'équipement adéquat et le type de travail du sol qui devra être exécuté sera prise seulement après l'appréciation de ces divers facteurs.

1.2.1 - Proposition de définition

Le travail du sol peut être défini comme une manipulation physique, chimique et/ou biologique du sol, ayant pour objectifs d'optimiser les conditions de germination et d'émergence des semences, de même que les relations eau-sol-plantes, du semis jusqu'à la récolte.

En termes génériques, le travail du sol peut être défini comme étant toute manipulation du sol avant et après le semis des cultures.

Le travail et les manipulations du sol peuvent être généralement divisés en trois catégories d'opérations :

- préparation primaire du sol ;
- préparation secondaire du sol ;
- travail du sol après semis.

On entend par préparation primaire du sol, les opérations initiales, plus profondes et grossières qui visent essentiellement à la fois à éliminer et/ou enterrer les adventices et les restes de cultures et à recomposer la macroporosité.

Par préparation secondaire du sol, peuvent être définies toutes les opérations superficielles suivant la préparation primaire, qui visent entre autres : le nivellement du terrain, l'émottage, l'incorporation des herbicides (exemple Trifluraline) l'élimination des adventices, et permettent de localiser le plus exactement possible les semences dans le profil, tout en créant une ambiance favorable au développement initial des cultures.

On entend par travail du sol après semis, toutes les manipulations du sol après semis : élimination des mauvaises herbes, des croûtes superficielles, pour améliorer l'infiltration de l'eau et sa conservation dans le profil (binages, sarclages).

1.2.2 - Les objectifs du travail du sol

Les objectifs des opérations de travail du sol peuvent être résumés par les points suivants applicables universellement (Raus et Lorenz, 1979) :

- ▲ Élimination des plantes indésirables et minimisation de leur compétition avec la culture à planter ;
- ▲ Obtention de conditions favorables pour le positionnement des semences dans le profil permettant une bonne germination et émergence, de même qu'un excellent développement racinaire et végétatif ;
- ▲ Maintien de la fertilité et de la productivité au cours du temps, à travers une bonne conservation du sol et de l'eau, tout en préservant de hautes teneurs en matière organique.

Dépendant des conditions locales de sol, climat et cultures, d'autres objectifs doivent être aussi pris en compte :

- élimination d'horizons compactés ;
 - incorporation et mélange au sol d'amendements, fertilisants et produits agro-chimiques en général ;
-

- incorporation des restes culturaux ;
- nivellement du sol ;
- optimisation des conditions de température et d'humidité tant pour les semences et l'enracinement des cultures que pour la vie biologique des sols ;
- rupture des croûtes superficielles.

Les objectifs décrits ci-dessus, devront être atteints avec un nombre minimum possible d'opérations sur le terrain, visant à réduire le temps, minimiser la consommation de combustible et le trafic des machines sur le sol.

Le travail excessif du sol est toujours négatif : en détruisant la structure superficielle par pulvérisation puis compactation, il favorise également l'intensité de l'érosion laminaire superficielle.

1.2.3 - Principales techniques de travail du sol

Il est hors de question dans ce document de faire un relevé exhaustif de toutes les techniques de travail du sol, de leurs avantages et défauts respectifs ; nous citerons simplement pour mémoire les plus communément utilisées en régions tropicales d'Amérique du Sud.

■ Les labours, réalisés de préférence en sol humide, en fin ou en début de saison des pluies, soit à la charrue à socs, soit à la charrue à disques en sol humide ; ils sont généralement suivis de divers passages de pulvérisateurs légers pour préparer le lit de semences.

■ De nouvelles techniques de réalisation des labours, mieux adaptées aux conditions tropicales, ont été mises au point par L. Séguy et S. Bouzinac (1983-1987). Les conditions optimales de réalisation doivent à la fois :

- permettre l'incorporation des résidus de récolte à 45° d'inclinaison dans le profil cultural ; ces restes de cultures devront au préalable avoir été fragmentés, triturés et pré-incorporés ;
- créer une surface du sol qui soit motteuse, à structure grossière, ouverte, de forte rugosité, bien nivelée ; cet état structural grossier de la surface est indispensable pour lutter efficacement contre la battance et la germination des adventices.

Le semis peut être effectué directement sur ce type de labour ; outre, l'économie d'un passage d'outil supplémentaire pour la préparation du lit de semences, on préserve la forte macroporosité créée par le labour et on évite un nouveau salissement des terres. Toutefois, dans le cas de la culture de soja, dont la récolte nécessite une surface très plane pour minimiser les pertes de grains, on peut utiliser un vibroculteur léger pour assurer une préparation finale plane du lit de semences, qui conservera une structure grossière en surface.

■ Les pseudo-labours, qui comprennent :

- des techniques de préparation superficielles réalisées soit avec des outils à disques (offsets lourds et légers), des outils à dents (cultivateurs à dents flexibles) ou des fraises rotatives (fraises à axe vertical ou horizontal) ;
- des techniques de préparation profonde du sol, réalisées avec des outils à dents flexibles type Chisel, ou à dents rigides type scarificateur (décompacteurs) qui laissent une forte rugosité du sol en surface avec plus de 50 % des résidus de récolte, deux facteurs décisifs dans la lutte contre l'érosion.

■ Des techniques de travail minimum du sol qui regroupent plusieurs techniques dont le but commun est la réalisation d'un semis accompagné ou non d'une préparation sommaire du sol, le tout en un seul passage :

— semis sur ameublissement superficiel au cultivateur rotatif, soit devant le cultivateur, soit derrière :

— semis sur préparation en bandes : seul la ligne de semis est préparée.

■ Le sous-solage qui permet de rompre des horizons profonds compactés sans altérations notables des horizons superficiels.

■ Les techniques de semis direct (no tillage) par lesquelles le semis est réalisé dans une couverture morte, sans aucun travail du sol, avec des machines spécialement adaptées, et est accompagné de l'utilisation rationnelle des herbicides.

1.3 - Bon et mauvais modes de gestion du sol et des cultures : principales règles à suivre et erreurs à éviter

En conditions de climat agressif et sur sols sensibles à l'érosion (sols ferrallitiques, ferrugineux), le contrôle de l'érosion et le maintien de la productivité au cours du temps doivent être les principaux objectifs des bons modes de gestion des sols et des cultures.

Les règles les plus importantes, qui doivent être observées pour la réalisation d'un bon travail du sol en climat tropical, peuvent être résumées comme suit (Rolf Derpsch, IAPAR Londrina, 1981) :

— éliminer efficacement les mauvaises herbes, évitant la concurrence avec la culture, à l'aide d'un minimum d'opérations culturales :

— créer un bon lit de semences, sans désagréger ni pulvériser excessivement le sol :

— maintenir le sol couvert et protégé avec des plantes en croissance ou avec des restes culturaux, le plus longtemps possible, afin de le protéger de l'impact des intensités pluviométriques, et de réduire l'amplitude thermique du sol, protégeant ainsi sa vie biologique :

— réduire les périodes durant lesquelles le sol reste découvert au minimum de temps possible :

— maintenir les restes de cultures en surface sans les brûler :

— réaliser une préparation à **structure grossière en surface**, sans pulvériser le sol :

— utiliser des plantes de couverture verte et les rotations de cultures pour promouvoir un travail biologique du sol par les systèmes racinaires :

— éviter l'utilisation des pulvérisateurs lourds et légers à disques qui facilitent l'érosion par pulvérisation superficielle et formation de semelle compacte à faible profondeur :

— rompre, si besoin est, les horizons compacts superficiels à la charrue à socs ou au scarificateur à dents rigides (décompacteur).

Parmi les erreurs les plus communes à éviter, nous citerons :

— préparation excessive du sol, aussi bien en temps qu'en intensité, ce qui augmente le coût ;

— utilisation d'équipements inadéquats comme les offsets lourds ;

-
- préparation du sol en conditions d'humidité excessive, qui favorise la formation de semelle et la compaction du profil cultural ;
 - préparation du sol quelques mois avant le semis le laissant découvert et exposé à l'action des agents climatiques et de l'érosion ;
 - brûlis des restes culturaux ;
 - trafic excessif des tracteurs et des machines sur le sol en conditions humides.

Ces erreurs, très communes en Amérique latine, conduisent inévitablement à la même résultante finale : forte érosion, désagrégation et destruction de la structure du profil cultural et diminution conséquente de la productivité des cultures.

Les bons modes de gestion du sol et des cultures sont finalement ceux qui permettent simultanément :

- d'atteindre les objectifs préalablement établis et clairement définis avec un minimum d'effort de traction, de consommation d'énergie et d'usure des équipements ;
 - de répondre à la fois aux nécessités spécifiques de germination des semences, à la croissance et à la stabilité de production des cultures sans que n'interviennent ni érosion, ni dégradation du profil cultural ;
 - de maintenir et améliorer la productivité du sol au cours du temps.
-

Chapitre II

Les modes de gestion mécanisés des sols et des cultures sont la clé de la restauration de la fertilité du profil cultural, et de la fixation d'une agriculture productive, stable et rentable dans les Cerrados du Centre-Ouest brésilien

Des travaux de recherche sont conduits depuis 1983 par L. Séguy et S. Bouzinac *et al.* sur l'élaboration des systèmes techniques de cultures les plus aptes à fixer l'agriculture mécanisée dans trois régions pédoclimatiques différenciées des Cerrados du Brésil central (Cartes 1 et 2) [L. Séguy et S. Bouzinac, 1987].

Des recherches sur la mise au point continue des systèmes de cultures sont pratiquées en vraie grandeur, sur des unités expérimentales pérennes, représentatives des conditions réelles d'exploitation, chez les agriculteurs et avec leur participation effective.

L'essentiel des résultats très significatifs obtenus et en voie de vulgarisation active sur des dizaines de milliers d'hectares, peut être résumé en fonction des trois critères complémentaires d'évaluation des systèmes de cultures : agronomiques, techniques et économiques, dont la conciliation et la synthèse aboutira en fin de document, aux assolements optimisés proposés.

2.1-Méthodologie

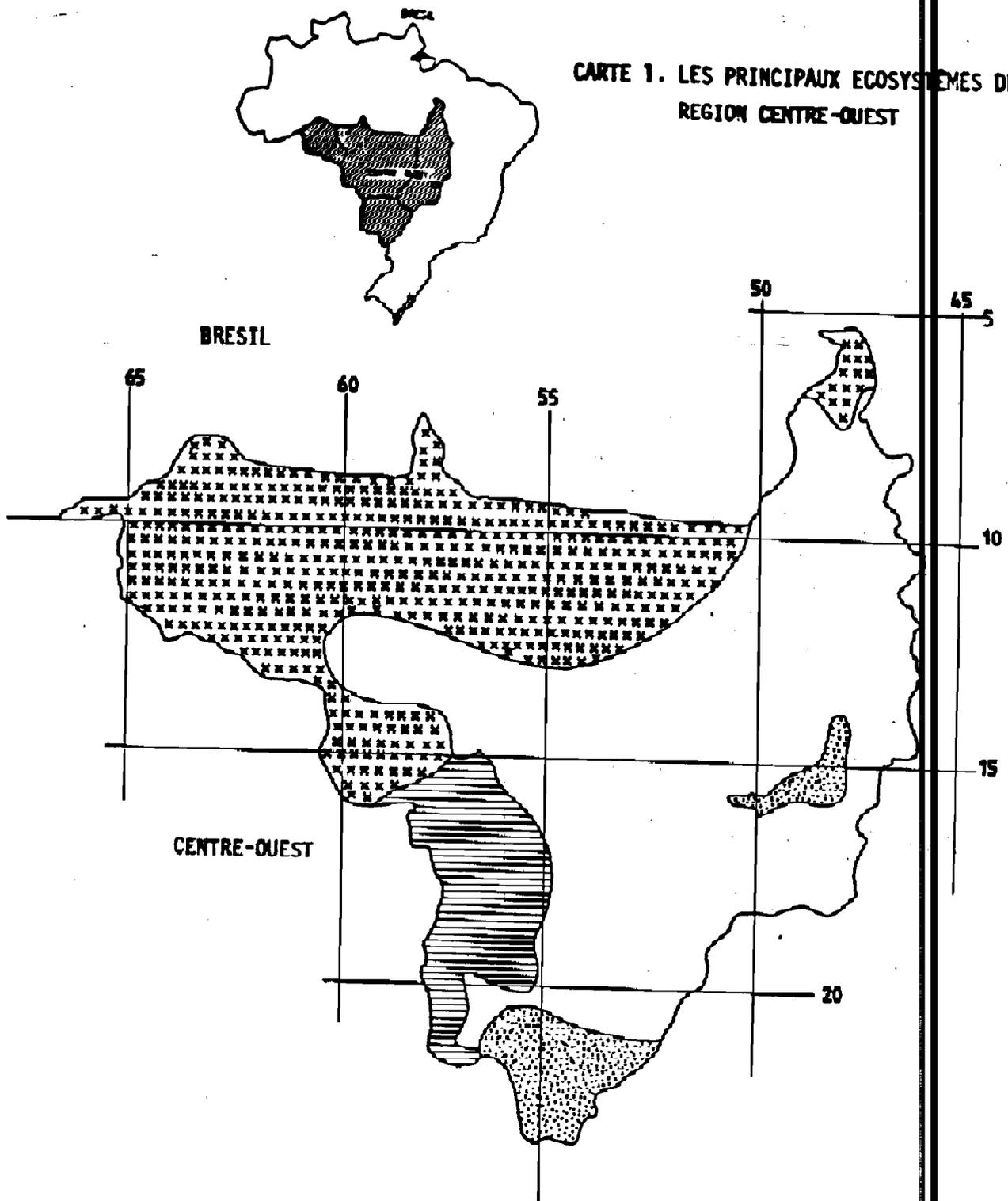
L'outil opérationnel de terrain est constitué par des unités dites de « création-diffusion », sur lesquelles sont mis au point les systèmes de cultures ; ces unités expérimentales pérennes, pratiquées en conditions d'exploitation réelles étudient en interactions des facteurs agronomiques techniques et économiques, identifiés lors d'un diagnostic initial agro-socio-économique régional (Schémas 1, 2 et 3).

Le but principal de ces unités est d'extraire les interactions systèmes les mieux adaptées aux conditions pédoclimatiques, aux disponibilités en matériel et main-d'œuvre, tout en fournissant les revenus les meilleurs et les plus stables compte tenu des prix pratiqués.

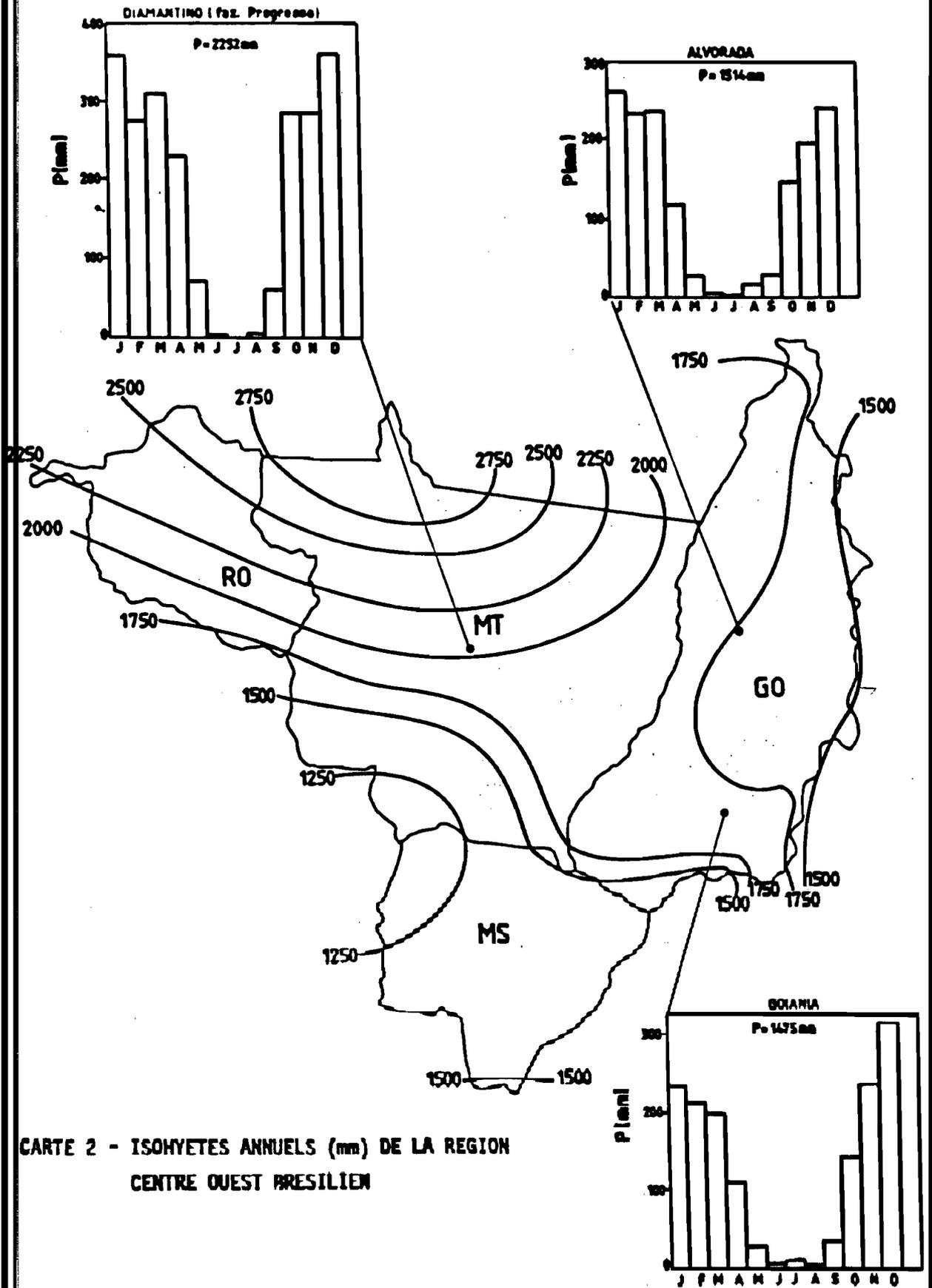
Le contenu, le montage, le rôle et le fonctionnement de ces unités, véritables exercices opérationnels pratiqués en conditions d'exploitation réelles par les agriculteurs, présentent les caractéristiques principales suivantes :

- Elles puisent **leur origine et la nature de leurs composantes** dans un diagnostic initial agro-socio-économique régional.
- **Leur conception et leur fonctionnement** s'appuient sur la complémentarité des recherches thématiques par produit (riz, maïs, soja, haricot, etc.) et des recherches systémiques très dépendantes des milieux ruraux retenus.
- **Leur objet central de recherche** est le système de culture.
- **Leur localisation :**
 - une unité en station, comme outil à la fois de hiérarchisation des facteurs limitants et d'orientation des recherches thématiques ;
 - des unités dans les exploitations représentatives des conditions agro-socio-économiques régionales et pédoclimatiques différenciées.
- **Leurs composantes :**
 - à la fois des thèmes simples susceptibles de résoudre des problèmes limitants par culture (variétés, doses de fumure, pesticides, etc.),
 - et surtout des facteurs agronomiques qui conditionnent la fixation de l'agriculture à plus long terme, tels que :
 - techniques de stabilisation et de protection du milieu physique,

CARTE 1. LES PRINCIPAUX ECOSYSTEMES DE LA REGION CENTRE-OUEST



-  ECOSYSTEME AMAZONIEN - ECOSISTEMA AMAZONICA
-  ECOSYSTEME DU CERRADO - ECOSISTEMA DE CERRADO
-  ECOSYSTEME DU PANTANAL - ECOSISTEMA PANTANEIRO
-  ECOSYSTEME DE FORÊT TROPICALES
ECOSISTEMA DE MATA TROPICAL



CARTE 2 - ISOHYETES ANNUELS (mm) DE LA REGION CENTRE OUEST BRÉSILIEN

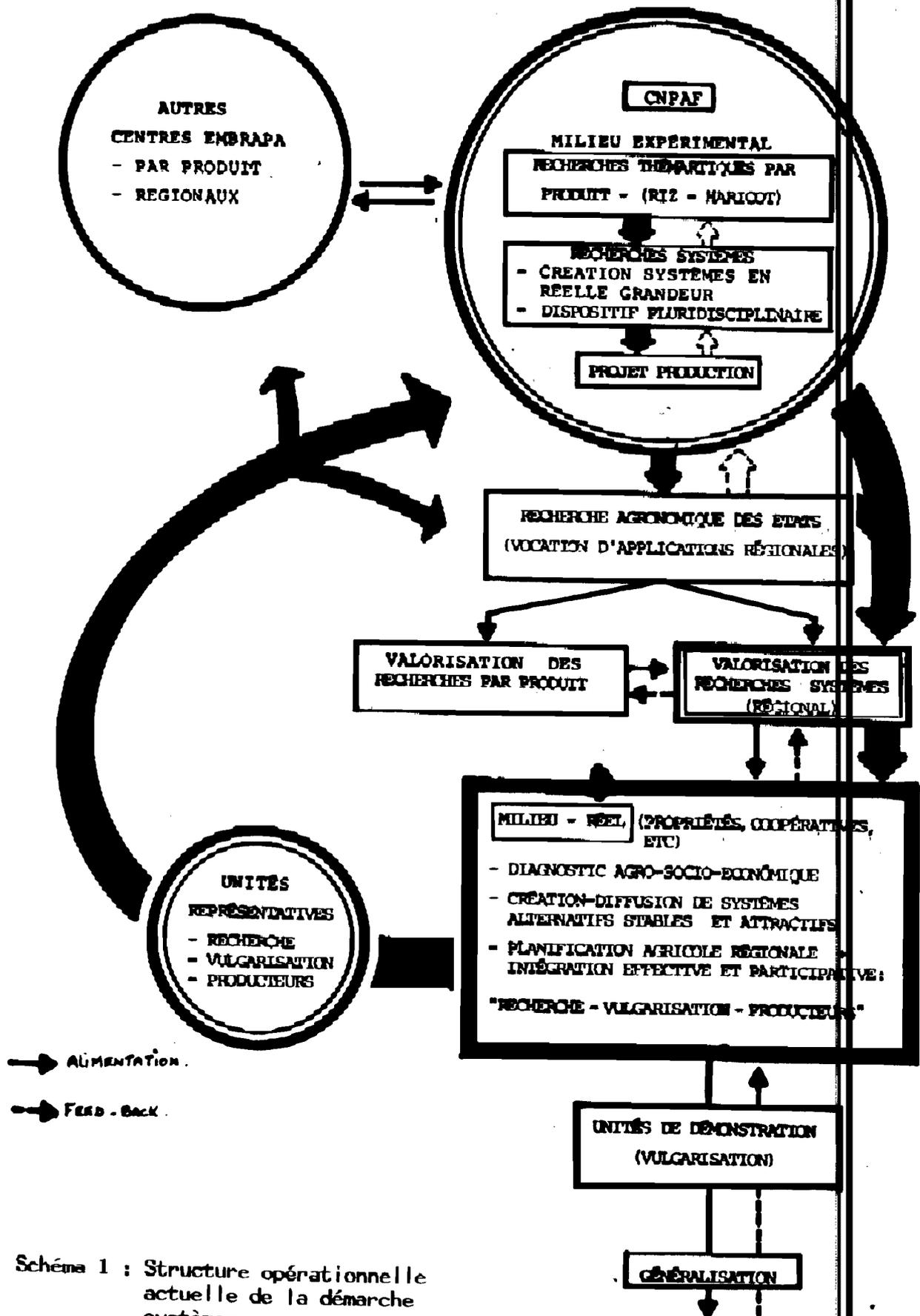
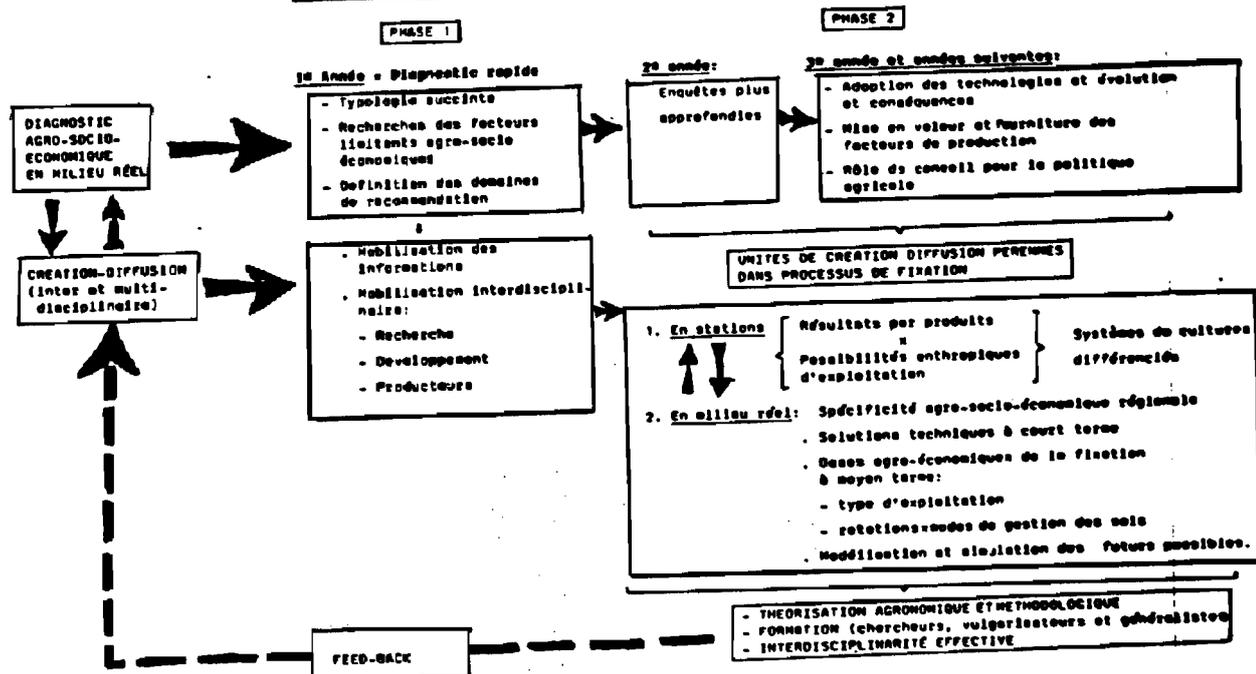
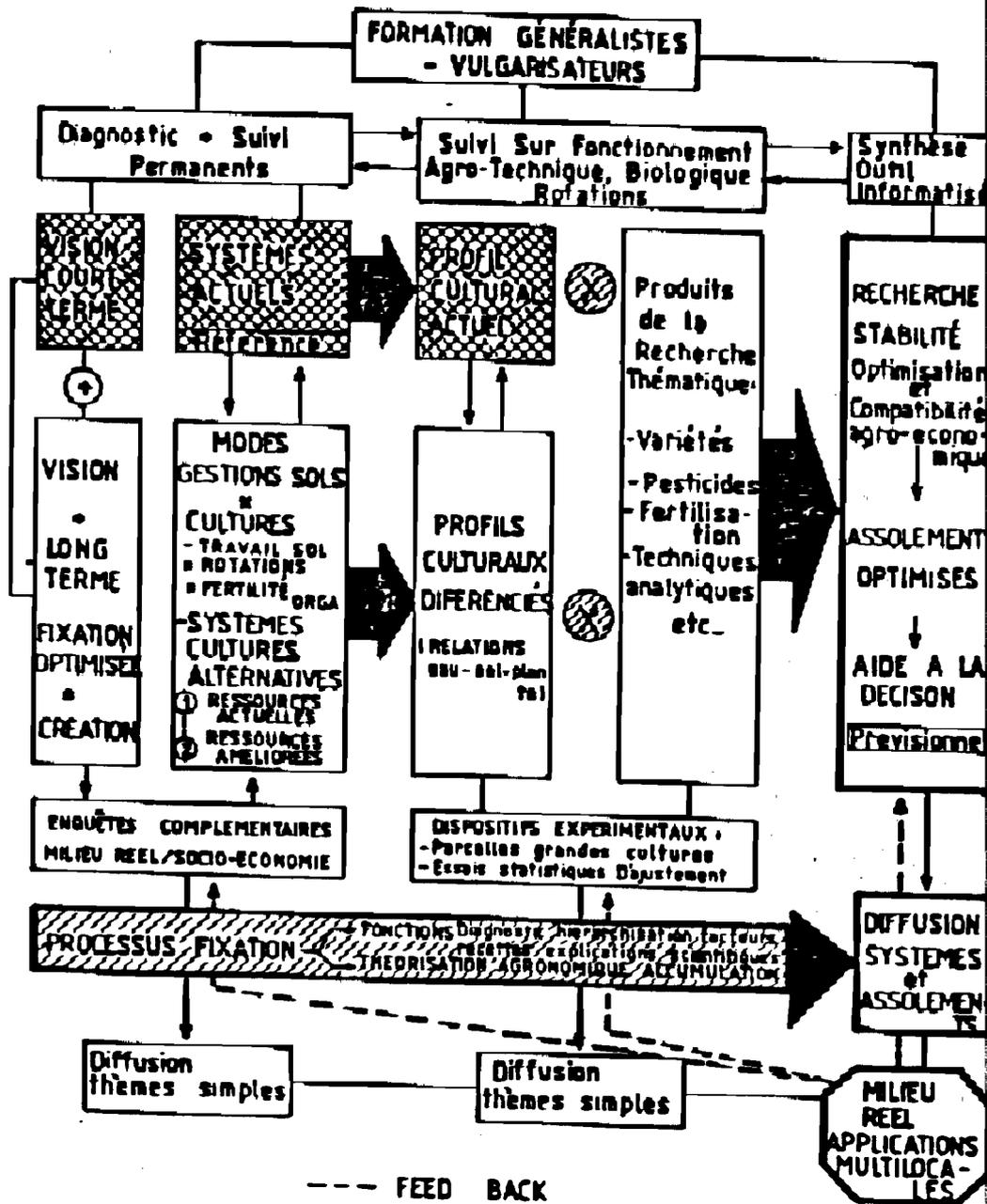


Schéma 1 : Structure opérationnelle actuelle de la démarche systèmes

SCHEMA 2 - RECHERCHE SYSTEMIQUE DE CREATION DIFFUSION REGIONALE

Diagnostic Permanent et Dynamique en Milieu Réel (Agronomes et Economistes)





SCHEMA 3 - Unité de Creation Diffusion pour un Domaine de Recommendation
 CNPAF, 1987 - L. Seguy.

— techniques d'amélioration du profil cultural :

- modes de préparation des sols,
- rotation de cultures,
- traitement des restes culturaux et utilisation d'engrais verts,
- lutte contre l'acidification.

(Schéma 3)

■ **Leur réalisation** : elles sont pratiquées par les agriculteurs avec l'assistance de la recherche et de la vulgarisation, ce qui permet :

— à la recherche de formuler des propositions qui soient **praticables** dans les systèmes de cultures ;

— d'accélérer la « professionalisation » des trois partenaires pour le développement.

■ **Leur montage** obéit à des règles méthodologiques rigoureuses dont les plus importantes sont les suivantes :

— les systèmes de cultures actuels des producteurs constituent la référence agro-économique de l'unité ;

— les composantes principales de différenciation des problèmes agro-économiques dans le processus de fixation de l'agriculture sont les systèmes de cultures : les modes de gestion du sol et des cultures déterminent la nature et l'évolution des thèmes de recherche qui assureront leur progrès ; \

— chaque culture en rotation est représentée chaque année, pour évaluer l'effet annuel climatique sur chaque culture ;

— les rotations sont étudiées par binômes pour faciliter l'étude des précédents culturaux ;

— une culture pivot est obligatoire pour faire le point explicatif de l'effet rotation ;

— le système de monoculture est toujours conservé pour la culture pivot (référence agro-économique négative pour l'effet rotation) ;

— les acquisitions et progrès de la recherche thématique amont sont intégrés aux systèmes au fur et à mesure de leur obtention dans les centres par produits (riz, maïs, soja, etc.) ;

■ L'échelle d'expérimentation est compatible avec les objectifs d'évaluation agro-techniques et économiques (30 à 80 ha en culture mécanisée).

■ **Le suivi-évaluation explicatif agro-économique** est appliqué à chaque culture, à chaque itinéraire technique en rotation, et l'on enregistre :

— des données agronomiques sur le fonctionnement du profil cultural et les relations eau-sol-cultures ;

— des données techniques et économiques mesurées en vraie grandeur (calendriers, capacité des équipements, coûts de production, recettes, soldes, etc.).

Les données agronomiques : l'analyse des résultats se fait à partir du comportement de divers paramètres, dont on étudie la convergence et la cohérence :

— **au-dessous du sol** : sont étudiées les conditions de croissance des systèmes racinaires et leurs relations avec la structure du sol : porosité, résistance mécanique à la pénétration, vitesse d'infiltration de l'eau, densités racinaires et évolution des propriétés chimiques et biologiques ;

— **au-dessus du sol** : sont évaluées la compétition avec les adventices, la croissance des cultures : composantes du rendement, productivité et leurs fluctuations interannuelles.

Les données techniques et économiques mesurées sur des surfaces représentatives des conditions d'exploitation réelles ; calendriers culturaux, capacité des équipements et temps de travaux pour chaque opération, recettes et soldes pour chaque itinéraires techniques.

C'est à partir de ces unités expérimentales pérennes, pratiquées par les agriculteurs entre 1983 et 1989 qu'a pu être acquis un ensemble de données biologiques, agronomiques sur le fonctionnement des systèmes de cultures dans trois régions pédoclimatiques différenciées des Cerrados du Brésil central :

— une unité à Colônia, en milieu contrôlé (60 ha), représentative des sols rouges ferrallitiques foncés, de texture argileuse, riches en matière organique et originaires de l'écosystème de forêts tropicales ; la région agricole est typique des zones de cultures anciennes à faible risque climatique, et altitude de 700 à 800 m ;

— une unité le centre-nord de l'Etat de Goiás (Alvorada) implantée en milieu réel (15 ha), représentative des sols jaunes ferrallitiques de basse altitude, de texture argilo-sableuse, à faible teneur en matière organique ; la région agricole est en expansion récente à partir de la monoculture de soja ; le risque climatique y est très important ;

— une unité dans le centre-nord de l'Etat du Mato Grosso (Diamantino), implantée sur le domaine de la coopérative Coopervale représentative des sols ferrallitiques rouge-jaune, (LVA) de texture argilo-sableuse, de très faible fertilité naturelle. Les conditions climatiques sont préamazoniennes avec une pluviométrie annuelle supérieure à 2 000 mm ; cette unité est représentative de frontières agricoles de l'Ouest, en pleine expansion, pratiquant la monoculture de soja (Tableau 2) ; en 1986, les activités de recherches ont été transférées sur la Fazenda Progresso, dans la même région, avec création d'une unité plus complète (environ 130 ha).

Les données pluriannuelles recueillies sur ces trois unités au cours des six années consécutives constituent pour cette première étape nos références de base et offrent des possibilités et des garanties de généralisation à partir d'éléments explicatifs (croissance, développement, formation de la productivité des cultures).

D'autre part, diverses unités simplifiées, multilocales (1 à 2 rotations x 2 techniques de préparation du sol x 2 cultivars) ont permis d'apporter une couverture plus large des résultats expérimentaux.

Ils ont, en outre, permis de vérifier, pour différents lieux et conditions, les perspectives d'application de nos données.

Des contrôles dans les exploitations agricoles où sont situées les unités ont permis de contrôler la validité des résultats économiques et techniques obtenus (capital, type de matériel, capacité des machines, goulots d'étranglement techniques, etc.).

Enfin, au fur et à mesure que sont créées et diffusées les nouvelles technologies, sont aussi étudiées leurs conditions d'appropriation et d'adoption par les producteurs.

Peuvent être adoptées, des technologies simples aux plus complexes allant jusqu'à l'intégralité des systèmes de cultures. Cette phase se réalise par l'intermédiaire d'enquêtes dans les régions où les unités peuvent transmettre le message agro-technique : on peut retirer de cette étape des méthodes de développement ou de planification agricole, mais aussi des enseignements sur les changements que ces technologies entraînent sur les systèmes en vigueur dans la région. Dès que les références expérimentales sont suffisantes (quatre ans), celles-ci sont complétées par des hypothèses socio-économiques en milieu réel (capital, matériel, main-d'œuvre) en vue de l'élaboration d'un outil informatique pour aider au choix annuel et prévisionnel d'assolements optimisés - cet outil est un auxiliaire opérationnel précieux pour la prise de décision des utilisateurs.

Tableau 1 : Répartition par surface totale de propriété sur un échantillonnage de 200 producteurs dans la région Centre-Ouest (étude S. Teixeira).

Taille de la propriété (ha)	Nombre de propriétés	Pourcentage nombre total	Pourcentage surface total des propriétés
0-10	2	1,0	-
10-100	17	8,0	0,38
100-500	82	41,5	11,97
500-1 000	53	26,0	18,37
+ de 1 000	46	23,5	69,28
Total	200	100,0	100,0

Source : Teixeira et al., 1986.

Tableau 2 : Evolution des surfaces plantées, productions et rendement des principales cultures dans le Centre-Ouest comparées à celles du Brésil (1975-1988).

Année	Produit	Total Brésil			Cerrados du Centre-Ouest				Rendement (kg/ha)
		Surface récoltée (ha)	Production (t)	Rendement (kg/ha)	Surface récoltée		Production		
					(ha)	(% T)	(t)	(% T)	
1975	Riz*	5 306 270	7 781 538	1 465	1 720 937	(32)	1 871 366	(24)	1 087
	Haricot	4 145 916	2 282 464	551	275 008	(07)	157 874	(07)	572
	Maïs	10 854 687	16 339 516	1 525	885 634	(08)	1 610 756	(10)	1 818
	Soja	5 823 735	9 892 299	1 699	249 880	(04)	345 016	(03,5)	1 385
1980	Riz*	6 207 577	9 378 635	1 569	2 584 574	(42)	3 134 659	(33)	1 213
	Haricot	4 643 409	1 968 165	424	307 692	(07)	95 030	(05)	309
	Maïs	11 451 297	20 372 072	1 779	995 461	(09)	2 082 475	(10)	2 092
	Soja	8 774 023	15 155 804	1 727	1 123 056	(13)	1 895 049	(13)	1 687
1988	Riz*	5 961 378	11 807 242	1 981	2 072 786	(35)	2 854 158	(24)	1 377
	Haricot	5 903 530	2 884 032	489	280 716	(05)	115 786	(04)	412
	Maïs	13 152 801	24 700 904	1 878	1 680 722	(13)	4 324 911	(18)	2 573
	Soja	10 525 250	18 049 413	1 716	3 209 353	(30,5)	6 673 235	(37)	2 079

* Riz pluvial et riz irrigué pour le total Brésil, alors que dans le Centre-Ouest, uniquement riz pluvial. Source : Lydia Tokokuze.

2.2 - Principaux résultats agro-économiques 1983/1988 Première phase de restauration des profils cultureux

2.2.1 - Influence des modes de gestion du sol sur l'évolution et le contrôle de la flore adventice dans les systèmes de cultures

L'analyse du facteur mauvaises herbes dans les systèmes de cultures, se fait essentiellement par :

- un relevé initial de la flore adventice ;
- un suivi dynamique des populations en fonction de systèmes de cultures pratiqués, donc des itinéraires techniques et des méthodes de contrôle associés ;
- l'évaluation des méthodes de contrôle dans les divers systèmes et leurs conséquences sur les rendements et leur évaluation ; la nuisibilité totale est estimée sur des témoins maintenus non sarclés au cours du temps.

Les paramètres les plus utilisés pour l'estimation de la compétition des adventices sont :

- les comptages d'adventices par mètre carré, vingt à trente jours après le semis ;
- le poids de matière sèche ou verte d'adventices par mètre carré avant la récolte, leur identification et leur distribution ;
- la couverture du sol trente à quarante jours après la récolte, avec les espèces dominantes.

Les principaux résultats présentés sont relatifs, essentiellement, aux unités de Goiânia et d'Alvorada, après plus de six ans de mise en culture, en 1987 (Tableaux 3 à 8, Figures 1 à 3).

Les résultats de l'unité du Mato Grosso relatifs aux années 1988 et 1989 après treize ans de mise en culture continue, complètent utilement l'analyse (Tableaux 9 et 10, Figure 4).

Ils peuvent être synthétisés comme suit :

- la majorité des espèces adventices identifiées dans les trois conditions pédoclimatiques sont ubiquistes et disséminées par les semences de grains ;

quelle que soit la situation édaphoclimatique en l'absence d'herbicide, l'évolution de la flore et ses méthodes de contrôle obéissent aux règles suivantes :

- la nocivité des adventices affecte notablement les rendements des cultures (riz et surtout soja) à partir de la troisième année après le défrichage,

chaque culture favorise les mauvaises herbes qui ont des exigences similaires de germination : dans les cultures de riz et de maïs, les graminées sont dominantes (*Cenchrus echinatus*, *Digitaria horizontalis*, *Eleusine indica*, genres *Brachiaria* et *Pennisetum*, parfois cynodon) ; sur les cultures de légumineuses (soja et haricot) : *Acanthospermum australe*, *Bidens pilosa*, diverses Hypomnées, Rubiacées et Euphorbiacées (Tableaux 5, 7 à 10),

quelles que soient les cultures et les conditions pédoclimatiques, les modes de gestion du sol et de culture qui associent la technique du labour profond continue à la pratique de rotations, sont toujours les plus efficaces pour limiter la flore adventice ; ces modes de gestion réduisent de 80 %, aussi bien le nombre de mauvaises herbes par mètre carré à vingt jours après le semis, que leur poids sec à la récolte, par rapport aux pires modes de gestion du sol que constituent l'offset continu et la scarification profonde associés à la monoculture de riz (Figures 1, 2 et 3).

Tableau 3 : Influence de quatre modes de gestion du sol et des cultures sur le poids sec d'adventices à la récolte du riz pluvial. CNPAF, 1985-1986.

Mode de gestion du sol et des cultures		Variétés	Mode d'entretien	Poids sec d'adventices par mètre carré ⁽²⁾	Influence du mode de gestion du sol et des cultures ⁽³⁾	Influence du mode de gestion du sol et des cultures ⁽⁴⁾	Productivité	
Rotation	Préparation du sol ⁽⁴⁾						(g/m ²)	(% T)
Monoculture de riz	Préparation superficielle continue à l'usine	IRAT 177 (T) (Cebuana)	{ Sans contrôle Herbicide	266 107	-	100	350 1 587	100 453
		Armagosa	{ Sans contrôle Herbicide	1 082 171	-	142	0 1 310	-
Riz + maïs + riz	Labour profond de fin de cycle	IRAT 177 (T)	{ Sans contrôle Herbicide	446 72	75	58	3 725 2 786	100 162
		Mo Pansaba	{ Sans contrôle Herbicide	388 63	46	51	1 950 2 885	100 149
	Sensibilisation profonde	IRAT 177 (T)	{ Sans contrôle Herbicide	584 122	100	26	1 380 2 445	100 229
		Labour profond en herbe entre de saison des pluies	IRAT 177 (T)	{ Sans contrôle Herbicide	142 32	25	19	3 239 4 264
Caféier riz + riz haricot	Labour profond continu en herbe	IRAT 177 (T)	{ Sans contrôle Herbicide	95 24	-	12	3 950 4 626	100 137
Riz + haricot (succession annuelle)	Labour profond continu en herbe	Guano	Herbicide	66	-	9	3 381	-

(1) Herbicides : Omliazon en pré-émergence ou dose de 750 g de m.a./ha = 1 080 g de m.a./ha de 2-4-D un mois, 50 jours après le semis.
 (2) Moyenne de quatre répétitions.
 (3) Sur une même rotation en fonction du traitement sans contrôle, le plus élevé.
 (4) Terrain : Cebuana (IRAT 177) sur monoculture à préparation superficielle continue.

Tableau 4 : Influence de quatre modes de gestion du sol et des cultures sur le poids sec d'adventices à la récolte de riz pluvial. CNPAF, 1986-1987.

Mode de gestion des sols et des cultures		Variétés	Mode d'entretien ⁽¹⁾	Poids sec d'adventices par culture carré ⁽²⁾	Influence du mode de préparation ⁽³⁾	Influence du phénotype ⁽⁴⁾	Influence du mode de gestion du sol et des cultures ⁽⁵⁾	Productivité	
Rotation	Préparation de sol							(kg/ha)	(% T)
Maraichère de riz	Préparation superficielle à l'effort	IRAT 177 (T)	{ Sans contrôle Herbicide 1	542	100	100	100	240	100
				264				962	401
		Anguara	{ Sans contrôle Herbicide 1	774	143			0	-
				331				560	-
Maïs-riz-maïs-riz	Sérialisation profonde	IRAT 177 (T)	{ Sans contrôle Herbicide 1	246	100	100	45	1 930	100
				46				3 657	189
		Rio Paranaíba	{ Sans contrôle Herbicide 1	197	80	36	2 020	100	
				65			4 573	226	
		GA 4146	{ Sans contrôle Herbicide 1	214	27	39	1 760	100	
				41			3 463	197	
Caiabara	{ Sans contrôle Herbicide 1	341	139	63	1 315	100			
		74			3 393	258			
	Labour profond de début de saison des pluies	IRAT 177 (T)	{ Sans contrôle Herbicide 1	131	53		24	2 914	100
				34				3 636	123
Cajouas -riz- cajous + haricot	Labour profond continue de début de saison des pluies	IRAT 177 (T)	{ Sans contrôle Herbicide 1	112	100	21	3 130	100	
				36				4 244	136
		Rio Paranaíba	{ Sans contrôle Herbicide 1	97	87	18	3 420	100	
				24			5 238	153	
		GA 4146	{ Sans contrôle Herbicide 1	104	93	19	2 840	100	
				31			3 700	130	
Caiabara	{ Sans contrôle Herbicide 1	162	145	30	1 980	100			
		77			2 956	149			
Cajouas cajouas + riz	Labour profond sur riz	Oeste America	{ Sans contrôle Herbicide 1 Herbicide 2	127	133		133	1 030	100
				46				1 377	150
				22				1 240	118

(1) Herbicide 1: Penflorfenol en préémergence (1 500 g a.a./ha) + 2-4D acide à 45-50 jours (730 g a.a./ha)
Herbicide 2: Flécosulprop éthyl. (1 800 g a.a./ha) + 2-4D acide (400 g a.a./ha) à 40 jours après semailles.
(2) Moyenne de dix répétitions.
(3) Sur une même rotation en fonction du traitement sans contrôle, le plus élevé.
(4) En fonction de IRAT 177 (T) tirées dans chaque rotation.
(5) En fonction de riz IRAT 177 (T) sur maraichère continue + effort pour le cas de série précoce 20.10.1986.

Tableau 5 : Influence de deux modes de gestion du sol et des cultures sur le nombre d'adventices dans la culture du maïs à vingt jours après le semis, et sur le poids sec des adventices à la récolte. CIPAF, 1985-1986.

Modes de gestion du sol et des cultures			Mode d'entretien	Nombre d'adventices par m ² à 20 jours ⁽¹⁾	Influence de mode de préparation du sol ⁽²⁾	Poids sec d'adventices à la récolte (g/m ²)	Influence du mode de préparation du sol ⁽²⁾	Productivité	
Rotation	Préparation de sol	Variété						(kg/ha)	(%)
Maïs-riz-maïs	→ Scarification profonde en sol sec	Cargill 111-S	→ sans contrôle	141	100	452	100	4 910	100
			→ 815 g atrazine + 815 g simazine/ha ⁽³⁾	16		41		5 880	120
			→ 1 190 g atrazine + 1 180 g métolachlor/ha ⁽³⁾	11		58		6 419	128
	→ labour profond en sol humide	Cargill 111-S	→ sans contrôle	26	18	91	18	4 236	127
			→ 175 g atrazine + 175 g simazine/ha ⁽³⁾	4		78		6 950	161

(1) Moyenne de six répétitions

(2) En pourcentage de l'échelle sans contrôle, la plus sale. Adventices dominantes sur la scarification sans contrôle = *Acanthospermum australe*, *Ridgwaya pilosa*, *Marranthus villosus* et *Sporobolus digitatus*, *Digitaria horrida*, *Conyza echinatus*, *Commelina virginica*, *Echinochloa colonum*, *Echinochloa indica*, *Ipomea sp.*, *Sida sp.*, *Brachiaria decumbens*, *Portulaca oleracea*, *Richtera brasiliensis*, *Cynodon dactylon*.

(3) Espèces résistantes :
 - Atrazine + Simazine = *Cassia tora*, *Cynodon dactylon* ;
 - Atrazine + Métolachlor = *Cassia tora*, *Cynodon dactylon*.

Tableau 6 : Influence de deux modes de gestion du sol et des cultures sur le nombre d'adventices à vingt jours après le semis et sur le poids sec des adventices à la récolte. Dans la culture du maïs, CNPAF, 1986-1987.

Modes de gestion des sols et des cultures				Nombre d'adventices par m ² à 20 jours ⁽¹⁾	Influence des modes de préparation du sol	Poids sec d'adventices à la récolte g/m ² ⁽²⁾	Influence du mode de préparation du sol ⁽³⁾	Productivité	
Rotation	Préparation du sol x	Variété x	Mode d'entretien					(kg/ha)	(% T)
Riz-maïs-riz-maïs	Scarification profonde en sol sec	Cargill 111-S	→ sans contrôle	206	100	432	100	7 175	100
			→ 875 g atrazine + 875 g simazine/ha	12	-	45	-	7 125	99
	Labour profond de fin de cycle	Cargill 111-S	→ sans contrôle	107	52	190	44	7 555	100
			→ 875 g a.a. atrazine + 875 g simazine/ha	08	-	36	-	7 345	97
	Labour profond début saison de pluies	Cargill 111-S	→ sans contrôle	76	37	84	19	7 850	100
			→ 875 g a.a. atrazine + 875 g a.a. simazine/ha	04	-	24	-	7 972	102

(1) Moyenne de dix répétitions.

(2) Pourcentage du témoin sans contrôle le plus sale.

(3) Espèces résistantes : *Cassia thora*, *Cynodon dactylon*.

Tableau 7 : influence de deux modes de gestion du sol et des cultures sur le nombre d'adventices dans la culture du haricot, vingt jours après le semis et sur le poids sec des adventices à la récolte. CNPAF, 1955-1966.

Mode de gestion du sol et des cultures			Cultivar	Mode d'entretien	Nombre d'adventices par mètre carré à 20 jours ⁽¹⁾	Poids sec d'adventices à la récolte ⁽²⁾ (g/m ²)	Influence du mode de gestion ⁽³⁾	Productivité	
Rotation	Mode de préparation du sol 1 ^{re} culture	2 ^e culture						(kg/ha)	(%)
Riz-riz + Vigna + haricot	Labour profond sol humide sur riz	Semis direct sur haricot	A 176	Herbicide d'entretien ⁽⁴⁾	8	19	14	944	-
			Carica	Herbicide d'entretien ⁽⁴⁾	12	31	22	709	-
Cajanus + haricot riz Cajanus + haricot	Labour profond sol humide sur Cajanus	Préparation minimum à l'afset sur haricot	A 176	- sans contrôle ⁽⁵⁾	64	82	59	630	100
				- 230 g sethoxydim + 1,5 l huile minérale/ha ⁽⁶⁾	73	40	29	920	146
				- 230 g sethoxydim + 720 g bentazon + 1,5 l huile minérale ⁽⁶⁾	111	36	26	835	133
			Emgopa 201	- sans contrôle	171	140	100	690	100
				- 230 g sethoxydim + 1,5 l huile minérale/ha ⁽⁶⁾	148	46	33	950	138
				- 230 g sethoxydim + 720 g bentazon + 1,5 l huile minérale/ha ⁽⁶⁾	127	31	22	957	139

(1) Moyenne de six répétitions - Nombre d'adventices comptés avant l'application d'herbicide de post-levée.
 (2) Pourcentage du traitement sans contrôle, le plus élevé.
 (3) 300 g de paraquat + 670 g 2-40/ha avant le semis direct sur les palles de riz.
 (4) Principales espèces dominantes : *Acanthopogon distachyoides*, *Eleusine indica*, *Amaranthus hybridus*, *Digitaria horradensis*, *Bauhinia indica*, *Cenchrus ciliaris*, *Commelina verna*, *Echinochloa polystachya*, *Ipomoea sp.*, *Portulaca oleracea*, *Bomarea indica*, *Cynodon dactylon*.
 (5) Application de post-levée.

Tableau 3 : Effets des modes de gestion des sols et des cultures sur les poids sec d' adventices (g/m²) à la récolte sur les récoltes de riz, maïs et soja après six ans de cultures continues, Alvorada, 1985-1986.

Culture x travail du sol x cultivar x rotation x fumure ²⁾	Herbicide ¹⁾			Herbicide ¹⁾		
	Poids sec (g/m ²)	Adventices (% T)	Productivité (kg/ha)	Poids sec (g/m ²)	Adventices (% T)	Productivité (kg/ha)
Riz Offset x Araguaia x monoculture x A ₁ (T)	984	(100)	0	166	(17)	273
Offset x Araguaia x monoculture x A ₂	1 012	(103)	0	184	(19)	197
Offset x IAC 47 x monoculture x A ₁	584	(100)	0	76	(13)	110
Offset x IAC 47 x monoculture x A ₂	622	(106)	0	94	(16)	387
Offset x Araguaia x après soja x A ₁	324	(33)	776	119	(12)	1 438
Offset x Araguaia x après soja x A ₂	410	(42)	1 155	106	(11)	1 759
Offset x IAC 47 x après soja x A ₁	196	(34)	836	46	(08)	1 103
Offset x IAC 47 x après soja x A ₂	210	(36)	1 351	39	(07)	1 538
Offset x IAC 47 x après soja x A ₁	407	(41)	639	116	(12)	669
Labour x Araguaia x monoculture x A ₁	396	(40)	651	121	(12)	1 154
Labour x Araguaia x monoculture x A ₂	187	(32)	605	49	(06)	792
Labour x IAC 47 x monoculture x A ₁	201	(34)	591	60	(10)	946
Labour x IAC 47 x monoculture x A ₂	96	(10)	1 322	31	(03)	1 965
Labour x Araguaia x après soja x A ₁	87	(09)	2 072	22	(02)	2 072
Labour x Araguaia x après soja x A ₂	74	(13)	1 456	23	(04)	1 953
Labour x IAC 47 x après soja x A ₁	46	(08)	2 433	16	(03)	2 333
Maïs Offset x Cargill 111-S x après soja x A ₁ (T)	331	(100)	2 180	35	(10)	2 881
Offset x Cargill 111-S x après soja x A ₂	173	(52)	3 569	68	(20)	3 851
Labour x Cargill 111-S x après soja x A ₁	92	(28)	3 414	12	(04)	3 521
Labour x Cargill 111-S x après soja x A ₂	98	(30)	4 564	19	(06)	4 667
Soja Offset x Tropical x monoculture x A ₁	-	-	-	106	(100)	1 401
Offset x Tropical x monoculture x A ₂	-	-	-	78	(74)	1 558
Offset x Tropical x après maïs x A ₁	-	-	-	35	(33)	1 433
Offset x Tropical x après maïs x A ₂	-	-	-	16	(15)	1 847
Offset x Tropical x après riz x A ₁	-	-	-	46	(43)	1 666
Offset x Tropical x après riz x A ₂	-	-	-	23	(22)	1 947
Labour x Tropical x monoculture x A ₁	-	-	-	46	(43)	1 582
Labour x Tropical x monoculture x A ₂	-	-	-	30	(28)	1 793
Labour x Tropical x après maïs x A ₁	-	-	-	10	(09)	1 625
Labour x Tropical x après maïs x A ₂	-	-	-	24	(23)	1 840
Labour x Tropical x après soja x A ₁	-	-	-	20	(19)	1 763
Labour x Tropical x après soja x A ₂	-	-	-	17	(16)	2 278

Moyenne de six répétitions

- 1 - Fertilisants :
 - sur riz : Casadiam 750 g m.s./ha en préémergence
 - sur maïs : 875 g m.s./ha de simazine + 875 g m.s. atrazine en préémergence
 - sur soja : 1,5 l/ha de trifluraline en présemis

- 2 - Traçages :
 A₁ - riz : 100 kg/ha 5-10-15 + Zn au semis + 100 kg/ha sulfate d'ammoniaque
 - maïs : 100 kg/ha 5-30-15 + Zn au semis + 150 kg/ha sulfate d'ammoniaque
 - soja : 200 kg/ha 0-18-20 + Zn au semis
 A₂ - riz : 200 kg/ha 5-10-15 + Zn au semis + 100 kg/ha sulfate d'ammoniaque
 - maïs : 100 kg/ha 5-30-15 + Zn au semis + 150 kg/ha sulfate d'ammoniaque
 - Soja : 300 kg/ha 0-28-20 + Zn au semis

3 - Production de riz mille, écouffée par pression précoce d' adventices

Principales adventices après six ans de culture :
 - Graminées : *Digitaria sanguinalis* et *horizontalis*, *Cenchrus echinatus*,
Eulalia indica, *Echinochloa colonum*

- Dicotylédones : *Sidaea pilosa*, *Amaranthus* sp., *Acanthospernum australe* et
Hispidium, *Borreria aiata* et *Richardia brasiliensis*, *Emilia scabifolia*

Tableau 9 : Indice de couverture du sol et principales adventices à quarante-cinq jours après les récoltes de riz, maïs, soja (cycle unique) en fonction de divers modes de gestion de sols et de culture. Fazenda Progresso, Mato Grosso, 1987-1988.

Culture (87-88)	Précedent (86-87)	Offset continus		Sols direct (no tillage)		Offset (86-88) après labou (85-86)		Scarification		Labours d'entrée et de fin de cycle	
		Indice de couverture ⁽¹⁾	Principales adventices ⁽²⁾	Indice de couverture	Principales adventices	Indice de couverture	Principales adventices	Indice de couverture	Principales adventices	Indice de couverture	Principales adventices
Soja	Après soja (monoculture)	6	<i>Acanthospermum</i> <i>Cenchrus</i>	7	<i>Acanthospermum</i> <i>Ageratum</i>	4	<i>Acanthospermum</i> <i>Phytolacca</i>	5	<i>Acanthospermum</i> <i>Ageratum</i>	3	<i>Acanthospermum</i>
	Après riz	-	-	9	<i>Ageratum</i> <i>Setaria</i> <i>Ipomea</i>	0-1	<i>Phytolacca</i>	0-1	<i>Phytolacca</i>	0-1	<i>Phytolacca</i> <i>Cenchrus</i>
	Après maïs	-	-	8	<i>Ageratum</i> <i>Acanthospermum</i> <i>Cenchrus</i>	0-1	<i>Phytolacca</i>	0-1	<i>Phytolacca</i>	0-1	<i>Phytolacca</i>
Riz	Après riz (monoculture)	-	-	-	-	-	-	-	-	4-5	<i>Cenchrus</i>
	Après soja	3	<i>Acanthospermum</i> <i>Boreria</i>	4	<i>Ageratum</i> <i>Cenchrus</i> <i>Juncus</i>	7	<i>Acanthospermum</i> <i>Ageratum</i> <i>Ipomea</i>	4	<i>Acanthospermum</i> <i>Cenchrus</i> <i>Ipomea</i> <i>Boreria</i>	1-2	<i>Phytolacca</i> <i>Ageratum</i>
Maïs	Après soja	-	-	5	<i>Boreria</i> Maïs	4	<i>Acanthospermum</i> <i>Ageratum</i> Maïs	6	<i>Acanthospermum</i> Maïs	3	Maïs <i>Acanthospermum</i>

(1) Echelle de couverture du sol : évaluation visuelle : 1 = 10 %, 2 = 20 %, 3 = 30 %, 4 = 40 %, 5 = 50 %, 6 = 60 %, 7 = 70 %, 8 = 80 %, 9 = 90 %, 10 = 100 % de couverture.
 (2) Nom de genre des principales adventices classées par dominance.

Tableau 10 : Indice de couverture du sol et principales adventices quarante-cinq jours après la récolte du riz, maïs ou soja (cycle court) dans les successions annuelles sous divers modes de gestion des sols et des cultures. Fazenda Progresso, Mato Grosso, 1987-1988.

Succession de cultures (87-88)	Précédent (86-87)	Préparation			
		Semis direct		Scarification	
		Indice de couverture ⁽¹⁾	Principales adventices ⁽²⁾	Indice de couverture	Principales adventices
Soja + maïs	Après soja + maïs	4	<i>Cenchrus, Bidens</i>	2-3	<i>Bidens</i>
	Après maïs	3	<i>Acanthospermum, Bidens</i>	1	<i>Bidens</i>
	Après riz + <i>Cajanus</i>	2	<i>Acanthospermum, Bidens</i>	0	
	Après <i>Cajanus</i> + riz	3	<i>Digitaria, Bidens, Richardia</i>	0	
Soja + sorgho	Après soja + sorgho	3	<i>Acanthospermum, Bidens, Cenchrus</i>	2	<i>Cenchrus</i>
	Après maïs	4	<i>Acanthospermum, Cenchrus, Bidens</i>	0-1	<i>Bidens</i>
	Après riz + <i>Calopogonium</i>	0-1	<i>Bidens</i>	0	
	Après <i>Cajanus</i> + maïs	0		0	
Maïs + <i>Calopogonium</i>	Après soja + maïs	7	<i>Cyperus</i> et maïs	3-4	Maïs, <i>Acanthospermum, Bidens</i>
Sorgho (+ repousse)	Après soja + sorgho	0-1	<i>Ageratum</i>	1	<i>Ageratum</i>
Riz + <i>Calopogonium</i>	Après soja + sorgho	10	<i>Calopogonium</i>	3	<i>Calopogonium, Ageratum</i>
<i>Cajanus cajan</i> + riz	Après soja + maïs	1	<i>Ageratum, Physalis, Cyperus</i>	1-2	<i>Ageratum, Cenchrus, Physalis</i>

(1) Echelle de couverture du sol : évaluation visuelle : 1 = 10 %, 2 = 20 %, 3 = 30 %, ... 10 = 100 % du sol couvert par les adventices.

(2) Nom de genre des adventices, classé par dominance.

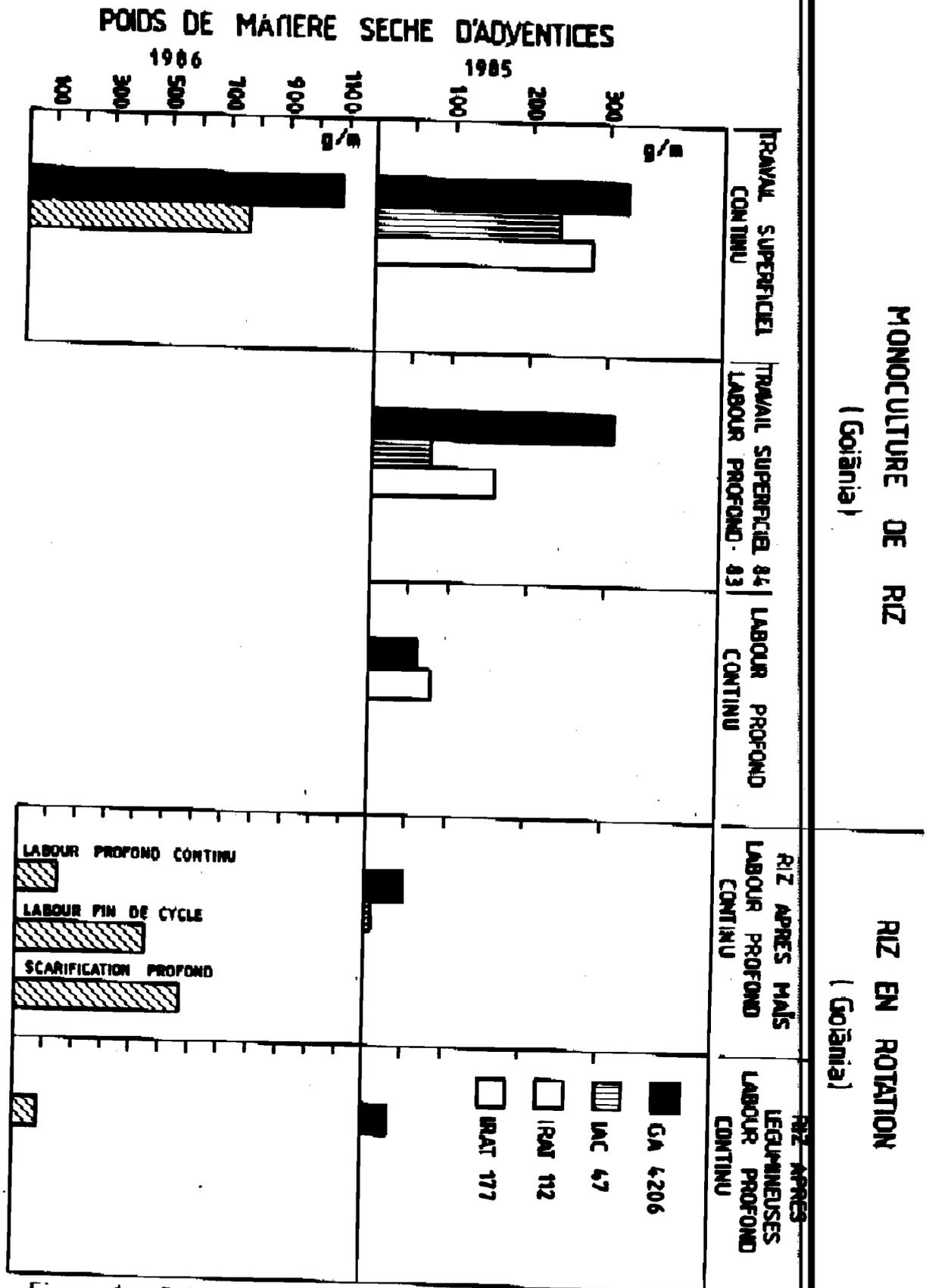


Figure 1 : Poids de matière sèche d'adventices à la récolte en fonction des modes de gestion des sols et des cultures - Goiania, 1985-1986

POIDS D'ADVENTICES À LA RECOLTE
Alvorada - 1986

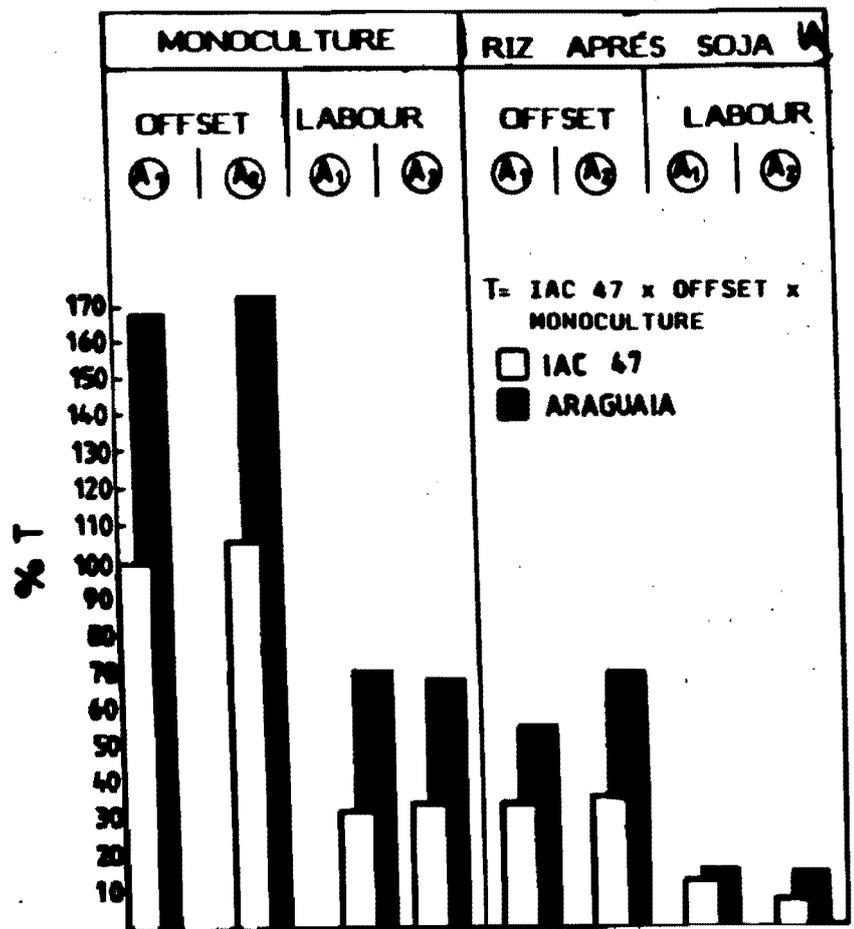
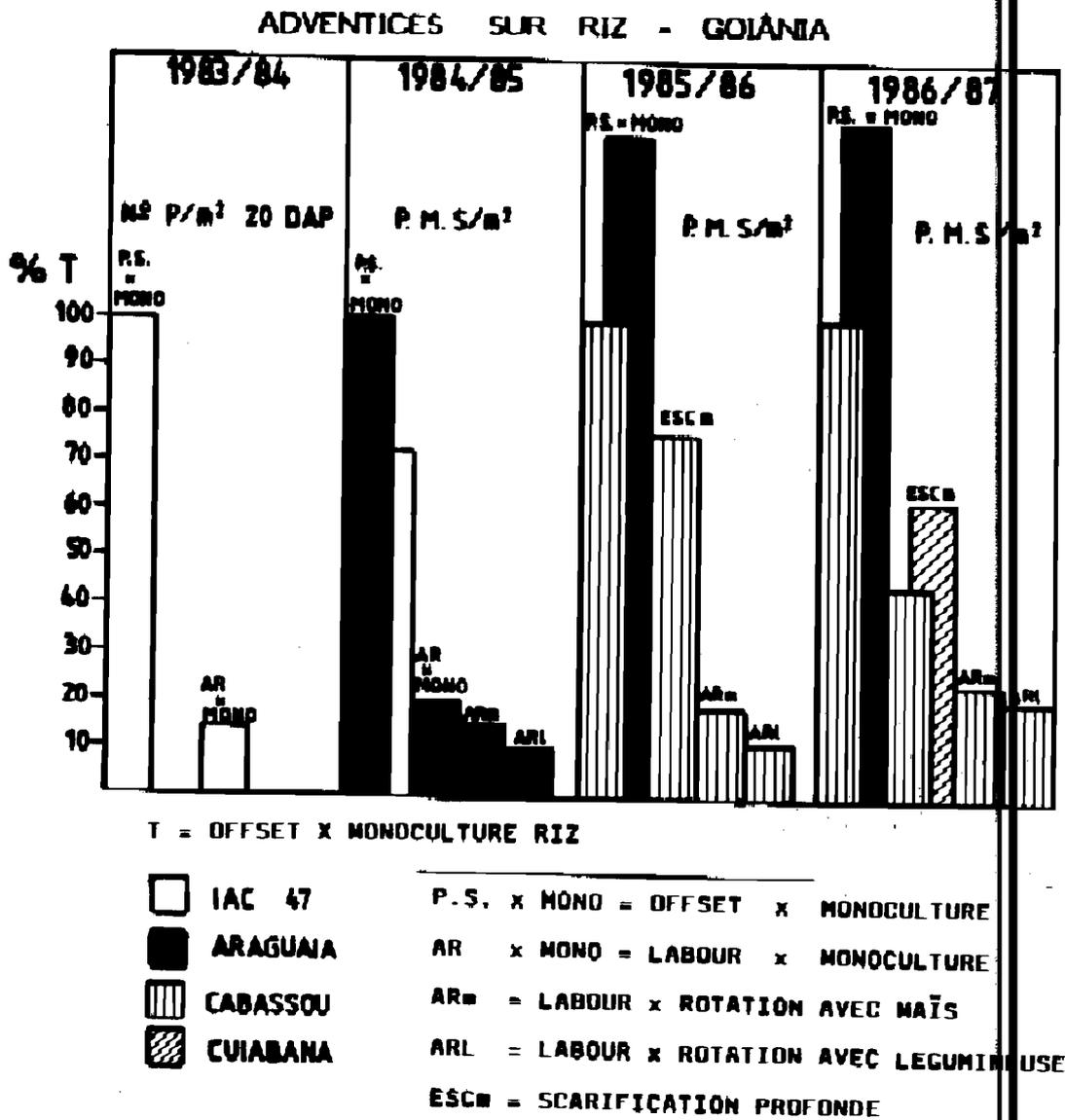


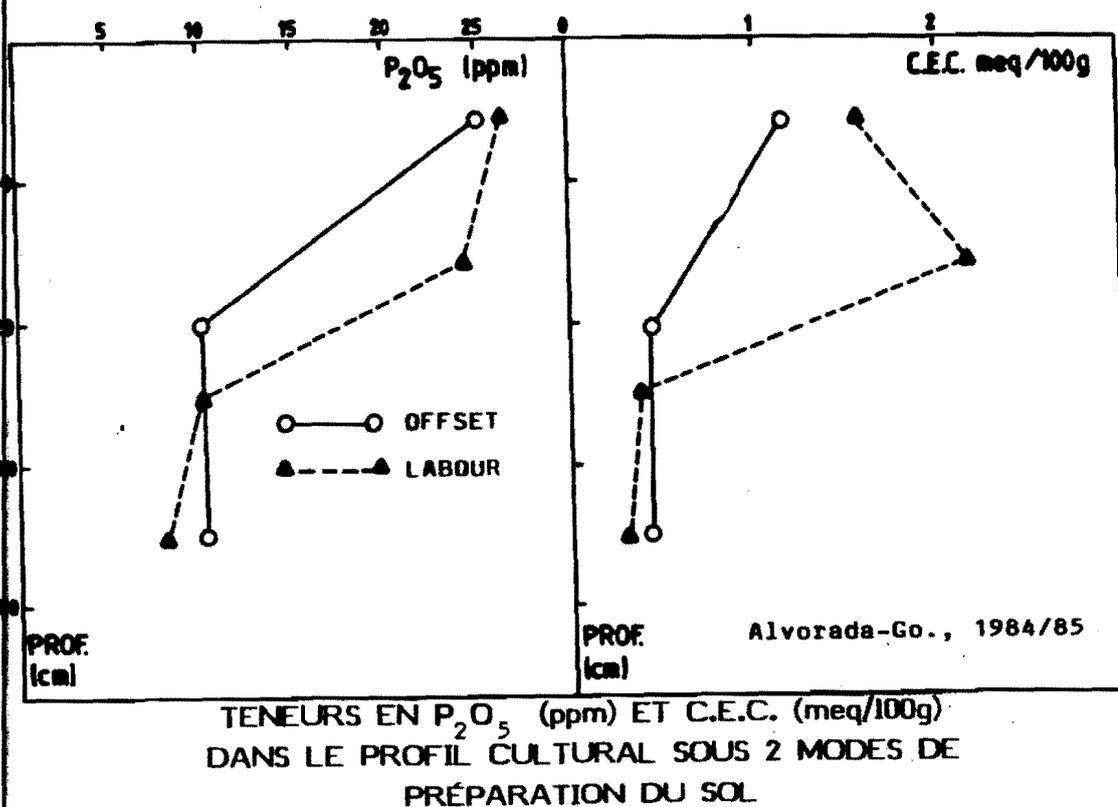
Figure 2 : Poids de matière sèche d'adventices sur divers modes de gestion de sol et cultures comparés au témoin (T = 100) Alvorada - 1986



-POIDS DE MATIERE SECHE/m² = PMS/m²

-NOMBRE D'ADVENTICES/m² 20 JOURS APRÈS SEMIS: =
NR P/m² (20 DAP)

Figure 3 : Adventices sur divers modes de gestion de sol et des cultures comparées au témoin (T = 100) Goiânia, 1983-1987



Figures 4 et 5

Alvorada - 1984/85

• parmi les rotations, les précédents légumineuses, sur tous les sites, (soja, engrais vert haricot) induisent sur la culture de riz suivante une pression d'adventices notablement inférieure à celle des précédents maïs et surtout riz (Figures 1 et 2).

• le phénotype de la variété de riz, grâce à sa vigueur initiale et à son architecture, constitue aussi un facteur important de compétition précoce contre les mauvaises herbes : cultivars Cabaçu et IAC 47 à système racinaire puissant et à feuilles retombantes qui assurent une couverture rapide du sol, sont supérieurs à la variété Araguaia, de port dressé (Figures 1, 2 et 3),

• quarante jours après la récolte, l'indice de couverture du sol et l'identification des espèces dominantes, confirme que les techniques de travail superficiel du sol à l'offset, et la technique de semis direct sans travail de sol sont les plus infestées : elles induisent la plus grande diversité d'espèces et, en même temps qu'augmente l'indice de couverture, augmente aussi le nombre d'espèces (Figure 4, Tableaux 9 et 10).

En définitive, quelle que soit la situation pédoclimatique, la technique de labour profond continu x rotation est la seule qui permette dans un premier temps de réduire les dosages herbicides avec un contrôle tout à fait satisfaisant dans les systèmes de cultures.

Les meilleures méthodes de contrôle intégré associant les modes de gestion des sols et les herbicides dans les systèmes de culture sont résumés dans le tableau 11.

Tableau 11 : Synthèse des principales tendances observées sur l'évolution de la flore et son contrôle dans les systèmes de culture du Centre-Ouest brésilien après plus de six ans de mise en culture continue. CNPAP, 1987.

Systèmes de cultures	Flore dominante sans herbicide	Sensibilité de la flore sans herbicide ⁽¹⁾	Estimation des pertes de rendement ⁽²⁾ en riz sans herbicide	Herbicides les plus utilisés et recommandés		
				Dosage et époque ⁽³⁾	Efficacité ⁽⁴⁾	Phytotoxicité
1. Monoculture de riz x préparation superficielle (soifant)	Graminées ⁽⁵⁾	****	50 à 80 %	Fenitrothialine-Eth (2 800 g/ha) + 2-4 Ambro-Post (1 419 g/ha)	4	1-2
2. Monoculture de soja x préparation superficielle	Cervinacées + dicotylédones	****	50 à 70 %	Trifluraline-Eth (170 g/ha) Alachlore-Eth (2 800 g/ha)	5-6 6	2-2 0-1
3. Maïs - riz x scarification profonde	Graminées ⁽⁵⁾	****	40 à 60 %	- riz (idem 1) - maïs + Atrazine + Alachlor-pré (1 400 + 2 190 g/ha) + Atrazine + métilachlor-post (1 800 + 1 190 g/ha)	7 8	0-2 0-2
4. Maïs } soja x scarification profonde riz	Graminées ⁽⁵⁾ + dicotylédones	***	30 à 50 %	Idem 1, 2, 3	7	0-1
5. Maïs } soja x labour profond riz	Graminées ⁽⁵⁾ + dicotylédones	**	20 à 10 %	Idem 1, 2, 3 avec dosages plus faibles (1-1/3)	9	0-1
6. Maïs } légumineuses engrais vert riz } + haricot ⁽⁶⁾ ou soja x x labour profond	Graminées ⁽⁵⁾ + dicotylédones	**	20 à 40 %	Idem 5	9	0-2
7. Succession annuelle Cyfama-riz x scarification profonde	Graminées (1) + dicotylédones	****	40 à 60 %	Idem 1 + si nécessaire ⁽⁶⁾ Fénitrothialine-Eth-post (180 g/ha) + 2-4 D Ambro (666 g/ha) Post	7 9	1-2 1

- (1) Graminées dont *Danthonia eciliacus*, *Digitaria pruriens*, *Panicum polyanthes*.
 (2) D'après le climat plus frais (altitude 600 m, latitude basse).
 (3) Eth = pré-émergent, post = post-émergent, pré = pré-émergent.
 (4) Efficacité : **** = très forte, *** = forte, ** = moyenne, * = réduite.
 (5) Echelle de 0 à 10, 0 = nulle, 10 = totale.
 (6) Recommandation récente (1987).

2.2.2 - Influence des modes de gestion du sol sur l'évolution des propriétés physico-chimiques du profil cultural, et ses conséquences sur l'enracinement du riz pluvial et la lixiviation des éléments minéraux

Cette influence a été évaluée par l'intermédiaire de divers paramètres explicatifs caractérisant le profil cultural, et par conséquent la qualité des relations eau-sol-plante tels que : densité apparente, résistance mécanique à la pénétration, vitesse d'infiltration de l'eau, distribution des bases (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+), de P_2O_5 de la matière organique.

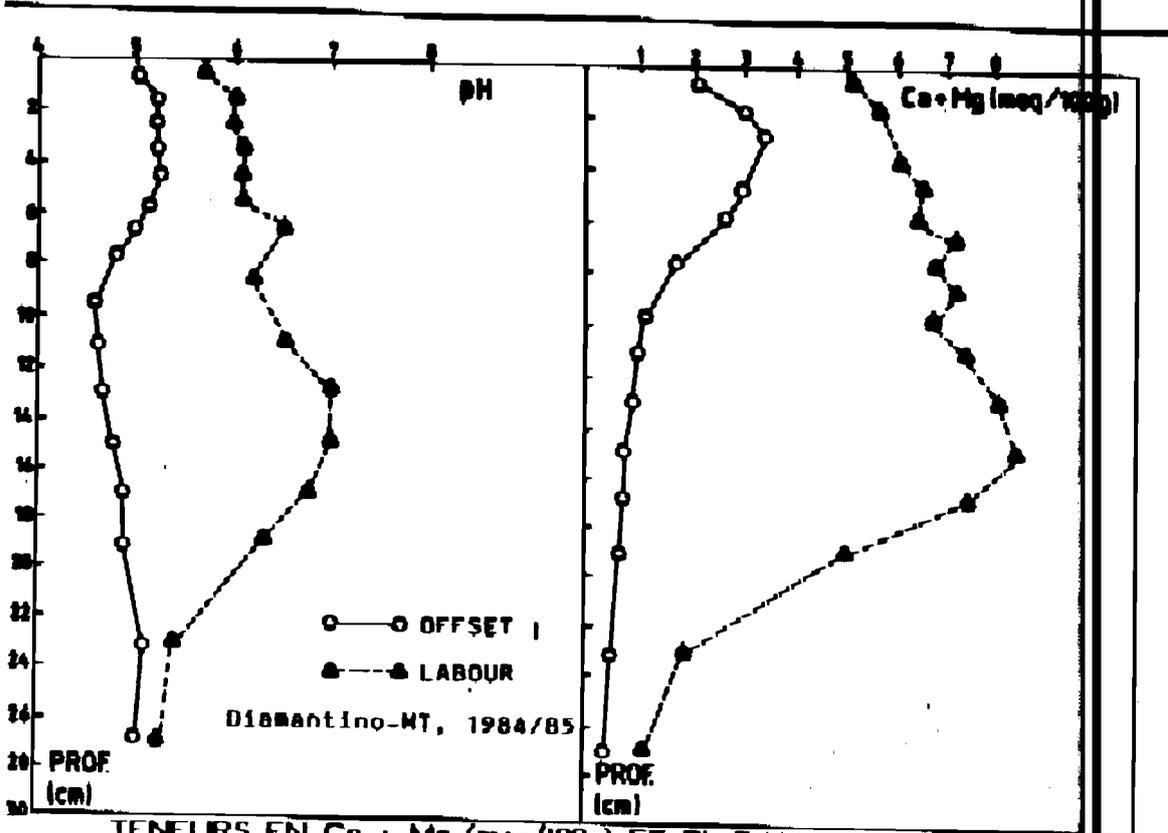
Les principaux résultats relatifs à l'évolution des propriétés physico-chimiques et ses conséquences sur l'enracinement du riz pluvial dans le profil cultural peuvent être résumés de la manière suivante.

▲ **Quelles que soient les conditions pédoclimatiques**, la technique de labour profond continu, réalisée à l'entrée de la saison des pluies se montre toujours supérieure aux autres ; ses bénéfices et avantages sont multiples et cumulatifs sur le profil cultural (LVA et LVE) ; au cours du temps :

- effet restaurateur des propriétés physiques en décompactant le profil sur les trente premiers centimètres, et en créant une forte macroporosité et un nouveau profil homogène sans discontinuité physique (Figures 22, 23, 24 et 28) ;
- redistribution en profondeur de la matière organique, des bases (Ca^{2+} Mg^{2+} , K^+), de P_2O_5 (Figures 5 à 21) donc de l'activité biologique ;
- grande vitesse d'infiltration de l'eau supérieure à cinquante mètres par heure (Figures 25 et 27) facilitant son emmagasinement et diminuant le ruissellement superficiel (érosion) ;
- associées aux rotations de cultures (légumineuses : soja et engrais verts), cette technique de labour favorise un enracinement extrêmement puissant du riz pluvial dans n'importe quelle situation de sol et de climat, principalement dans les horizons profonds, autorisant une réserve utile d'eau supérieure à 60 mm (Figures 29 à 34) ;
- lorsque, simultanément, sont pratiqués :
 - labour profond sans passage d'offset avant semis (préservation de la macroporosité),
 - incorporation au labour de 1 500 kg à 2 000 kg de thermophosphate (1) + 100 kg de chlorure de potasse,
 - l'utilisation de variétés à fort enracinement (Cabaçu, Makouta, IRAT 216),

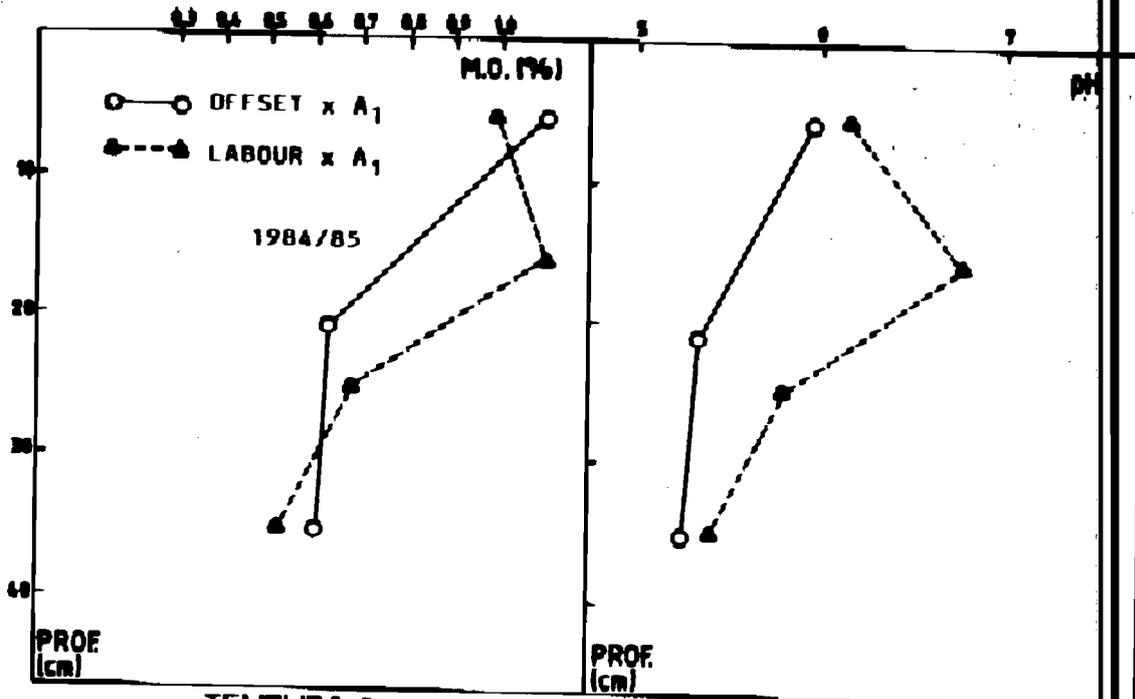
l'enracinement efficace à la floraison dépasse un mètre de profondeur, assurant une réserve utile d'eau, d'environ 80 à 100 mm (Figure 29).

▲ **Au contraire, l'utilisation continue d'offsets lourds et légers en sol humide** provoque à court terme la formation d'une forte semelle sur tous les sites (LVE et LVA), créant un obstacle décisif à l'emmagasinement de l'eau tout en favorisant l'érosion laminaire, les propriétés chimiques et biologiques restant concentrées dans les quinze premiers centimètres de sol, principalement sur les LVA de basse altitude (Figures 5 à 19, Alvorada et Diamantino). Ces propriétés défavorables du profil cultural non seulement entraînent un faible développement global du système racinaire du riz pluvial (Figures 29 à 34), mais surtout, concentrent plus de 80 % des racines dans les dix premiers centimètres de sol, autorisant une réserve utile d'eau inférieure à 30 mm, et exposant les cultures, aussi bien aux périodes sèches (verânicos) qu'aux excès pluviométriques (asphyxie racinaire sur soja), et aux effets nocifs allélopathiques accumulés par le système de monoculture (Figure 29 à 34 et Tableau 12).



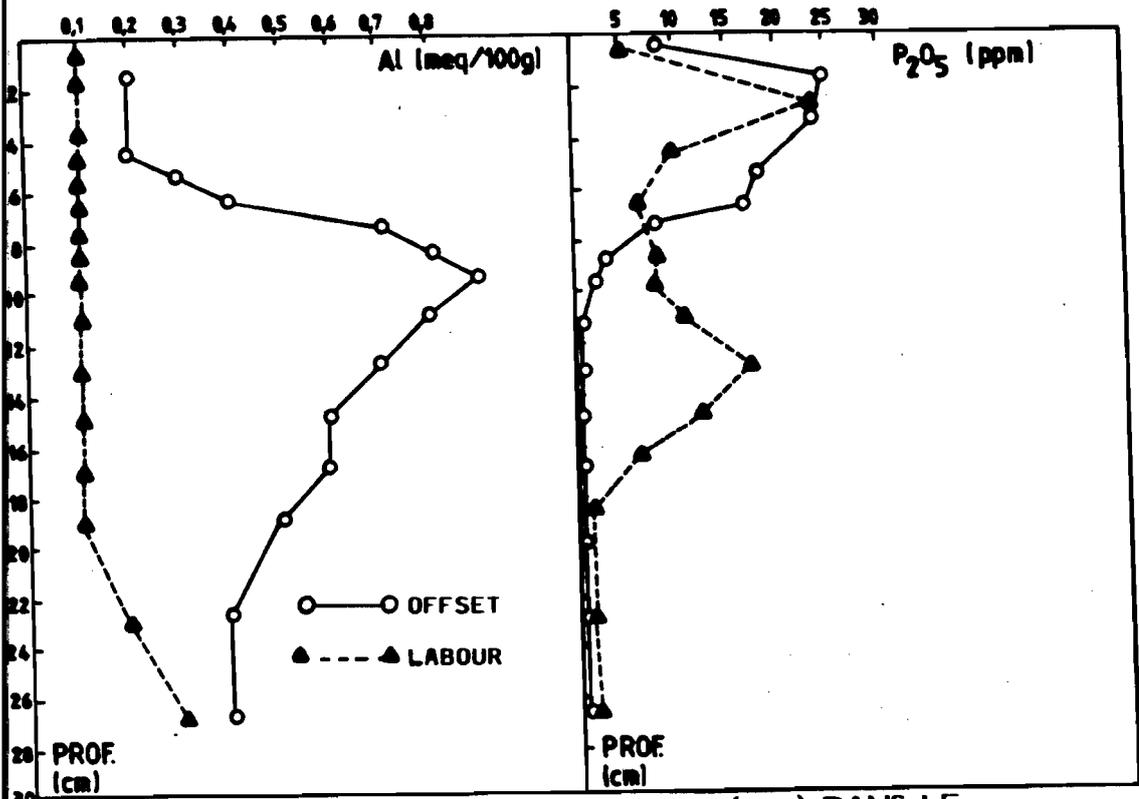
TENEURS EN Ca + Mg (meq/100g) ET Ph DANS LE PROFIL CULTURAL SOUS 2 MODES DE PRÉPARATIONS DU SOL
Diamantino/MT - 1984/85

Figures 6 et 7



TENEURS EN M.O. (%) ET Ph SOUS 2 MODES DE PRÉPARATION DU SOL
Alvorada - 1984/85

Figures 8 et 9



TENEURS EN Al (meq/100g) ET P₂O₅ (ppm) DANS LE PROFIL CULTURAL SOUS 2 MODES DE PRÉPARATION DU SOL

Diamantino/MT - 1984/85

Figures 10 et 11

FAZENDA PROGRESSO - MT/1988

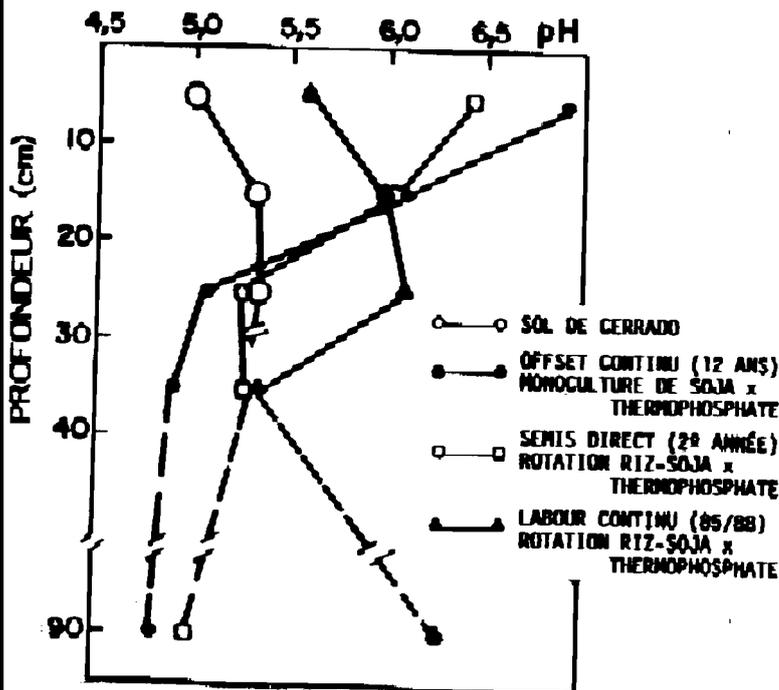


Fig. 13 - EVOLUTION DU Ph DANS LE PROFIL SOUS DIVERS MODES DE GESTION DU SOL.

FAZENDA PROGRESSO - MT/1988

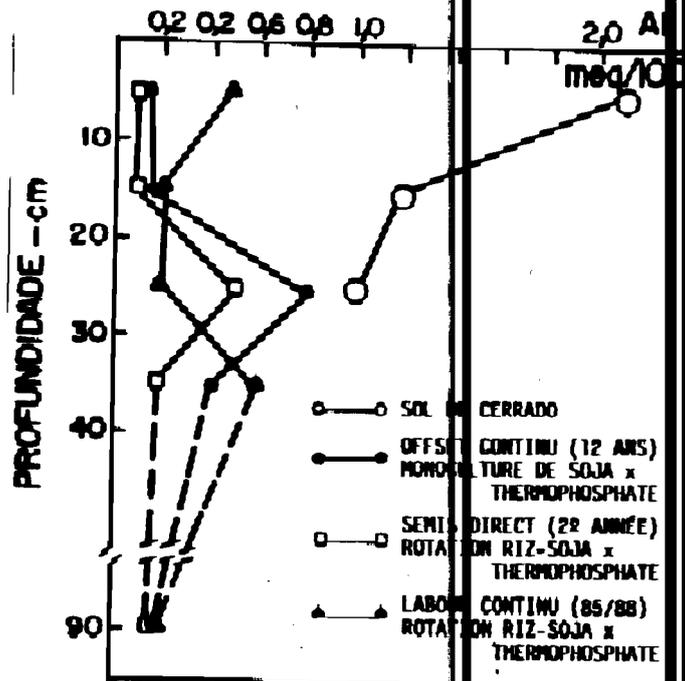


FIG. 14- EVOLUTION DES TENEURS EN AL DANS LE PROFIL SOUS DIVERS MODES DE GESTION DU SOL.

Fazenda Progresso/MT - 1988

FAZENDA PROGRESSO - MT/1988

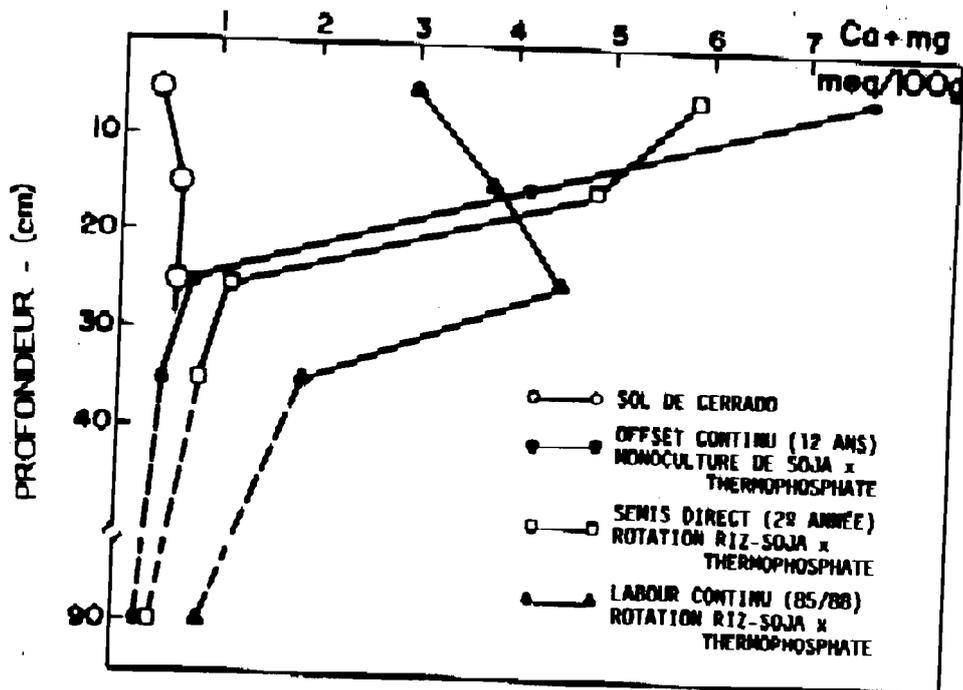


Fig. 15 - EVOLUTION DES TENEURS DE Ca + Mg (meq/100g) DANS LE PROFIL SOUS DIVERS MODES DE GESTION DU SOL.

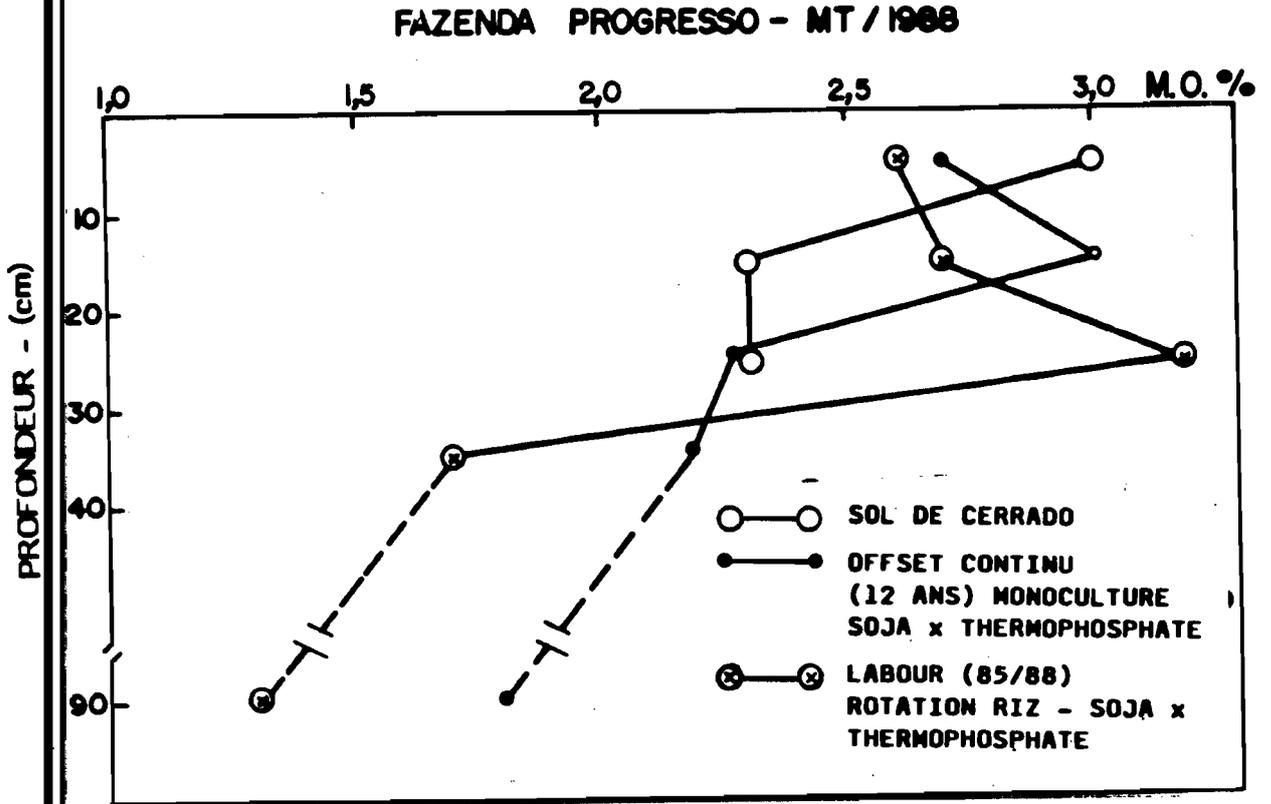


Fig. 16 - TENEURS DE MATIÈRE ORGANIQUE DANS LE PROFIL SOUS DIVERS MODES DE GESTION DU SOL.

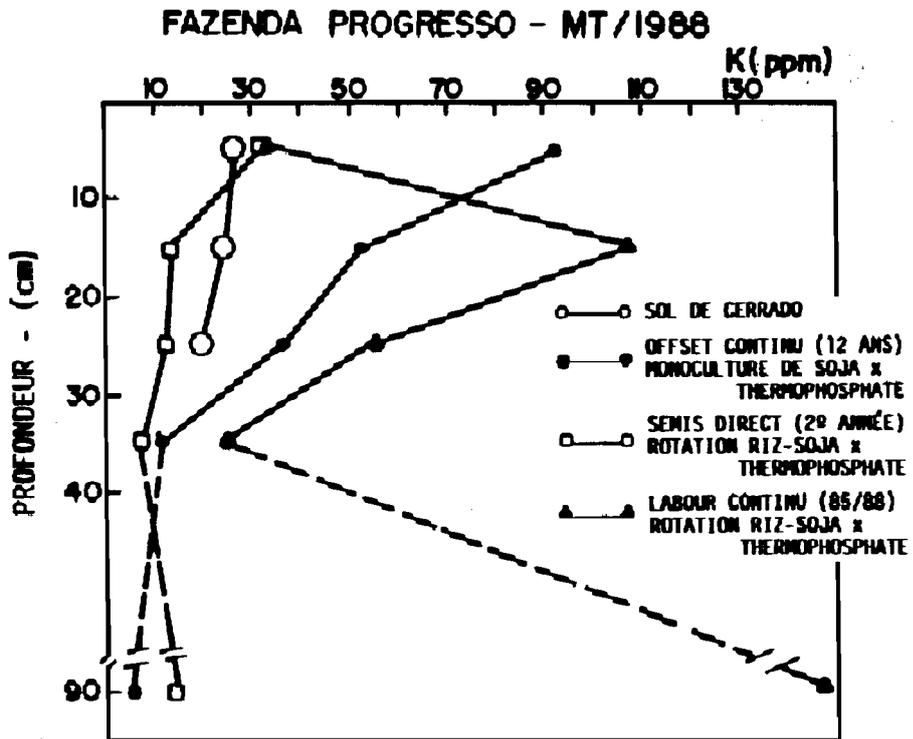


FIG. 17 - ÉVOLUTION DES TENEURS EN K (ppm) DANS LE PROFIL SOUS DIVERS MODES DE GESTION DU SOL.

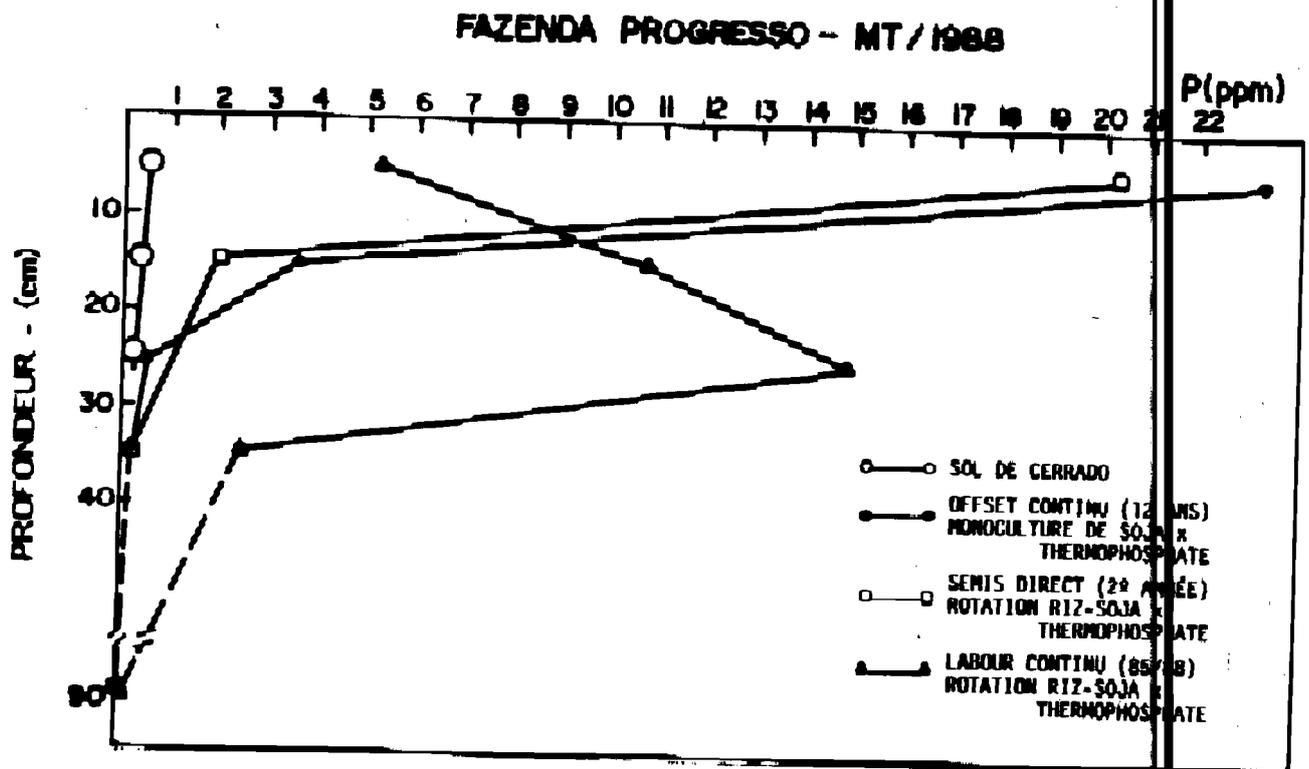


Fig. 18 - EVOLUTION DES TENEURS EN PHOSPHORE (ppm) DANS LE PROFIL SOUS DIVERS MODES DE GESTION DU SOL

Nt (ppm) DANS PROFIL SOUS DIVERS MODES DE GESTION DU SOL
Fazenda Progresso/Sorrião - 1988

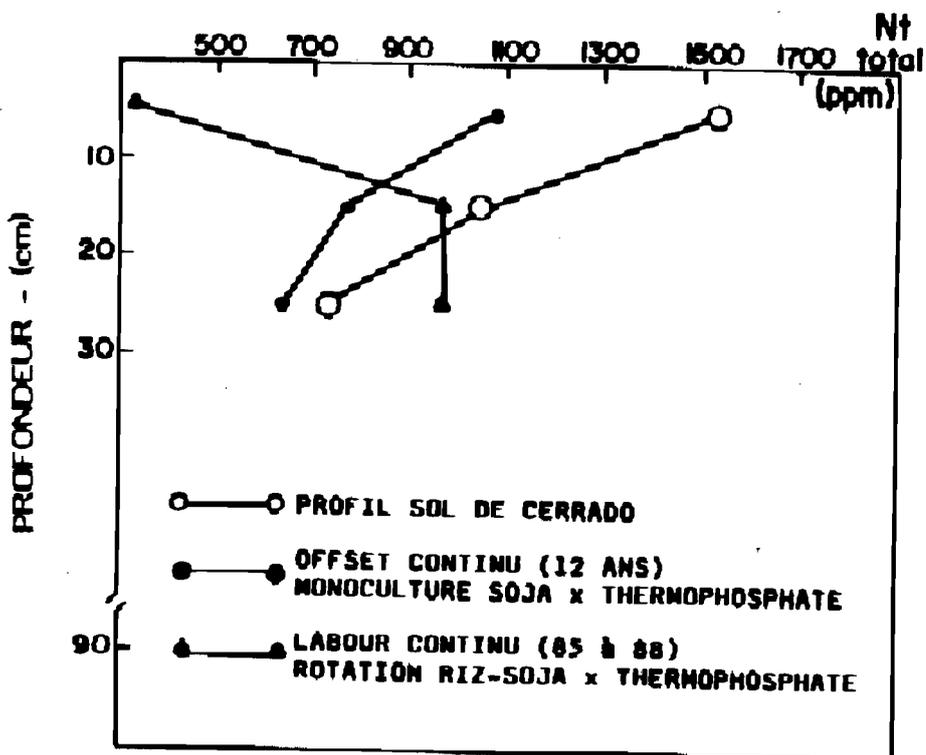


Fig. 19a

FAZENDA PROGRESSO - MT / 1988

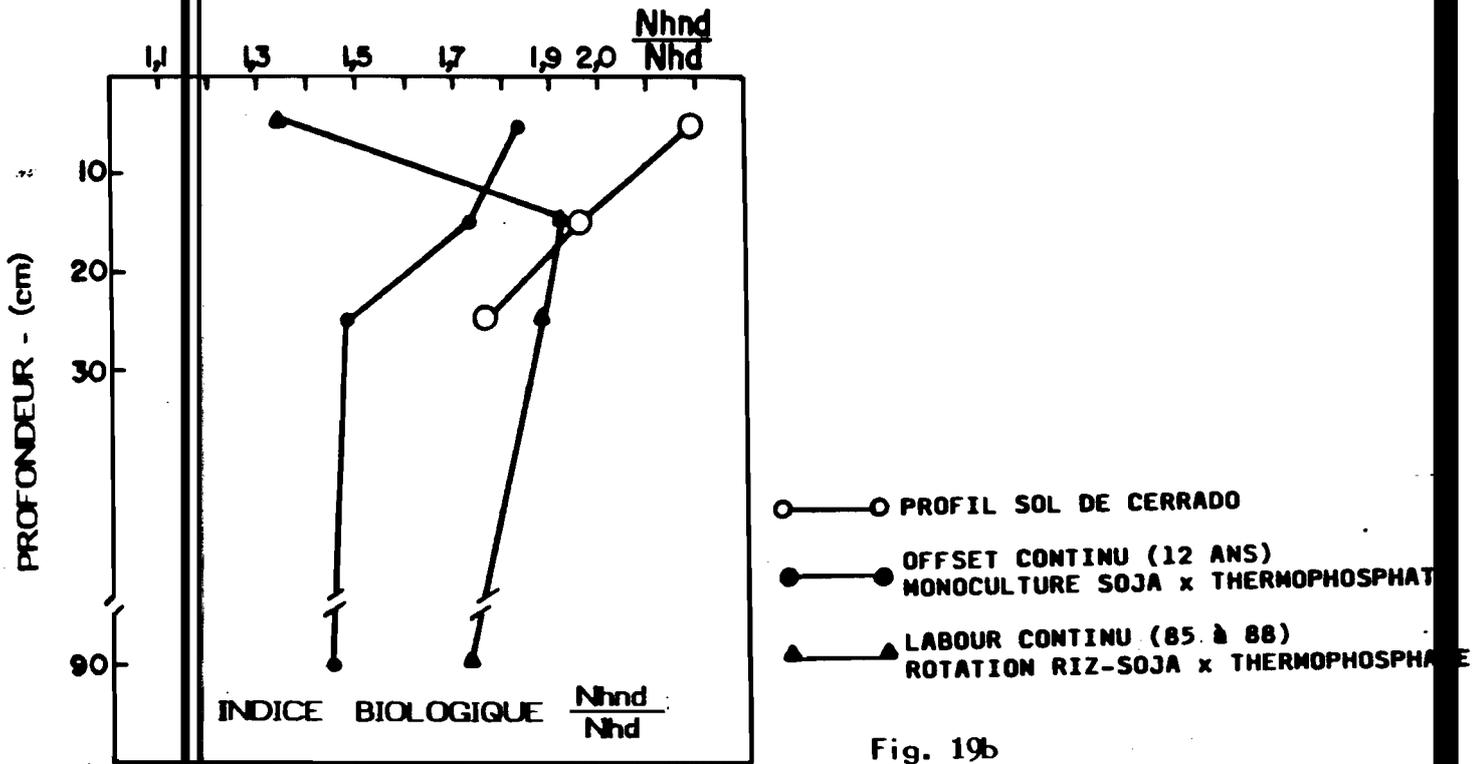


Fig. 19b

FAZENDA PROGRESSO - MT / 1988

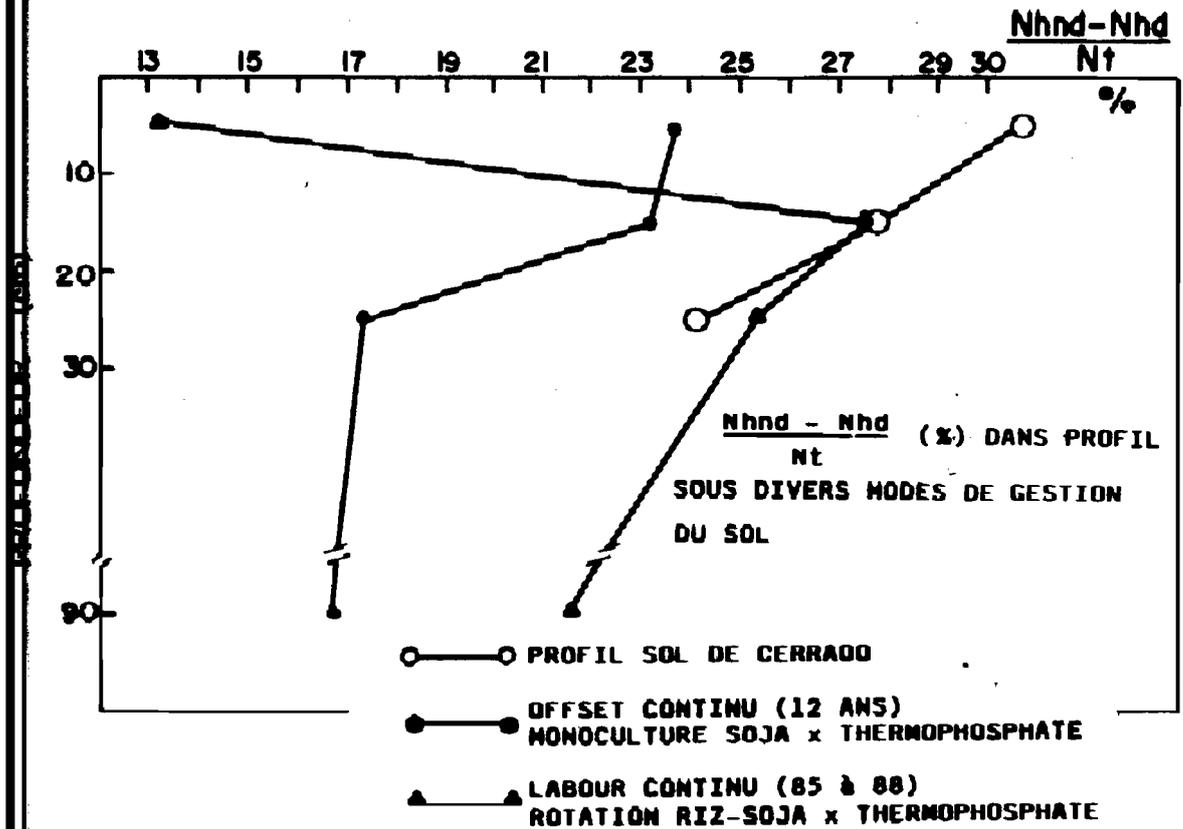


Fig. 19c

Nhnd (ppm) DANS PROFIL SOUS DIVERS MODES DE GESTION DU SOL

Fazenda Progresso/Sorriso - 1988

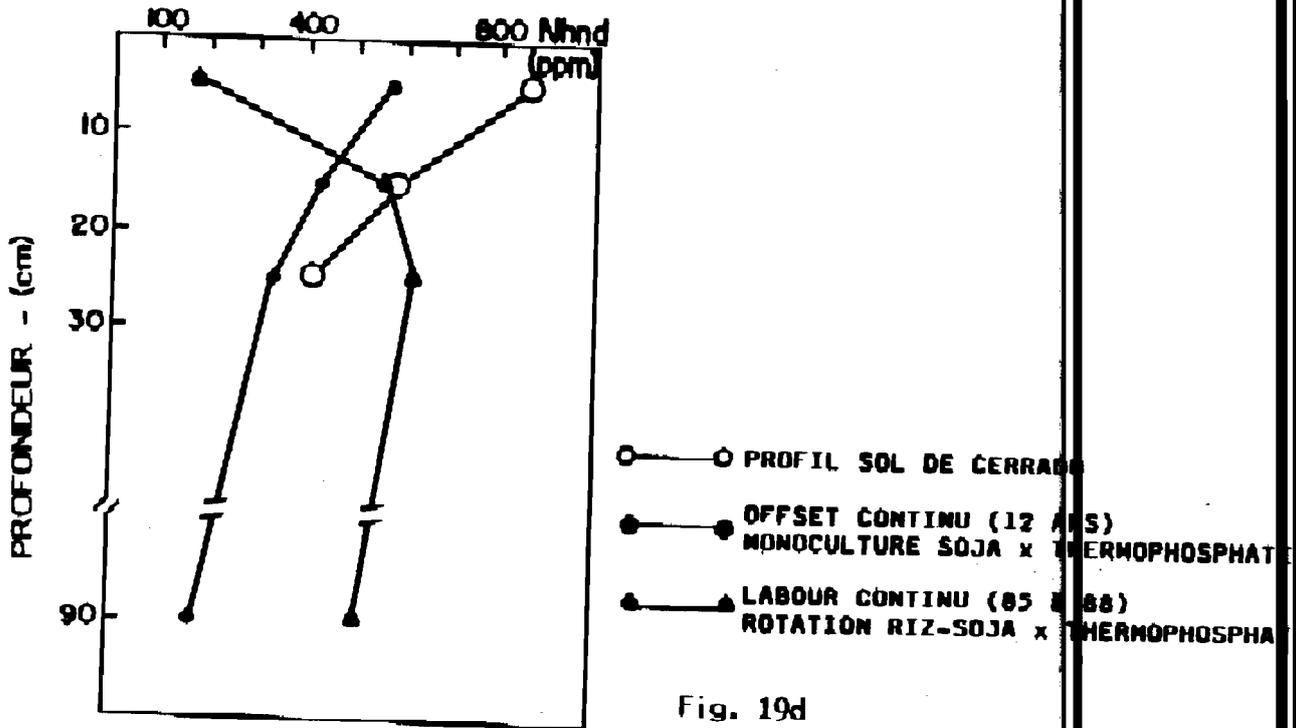


Fig. 19d

Nhnd - Nhnd (ppm) DANS PROFIL SOUS DIVERS DE GESTION DU SOL

Fazenda Progresso/Sorriso - 1988

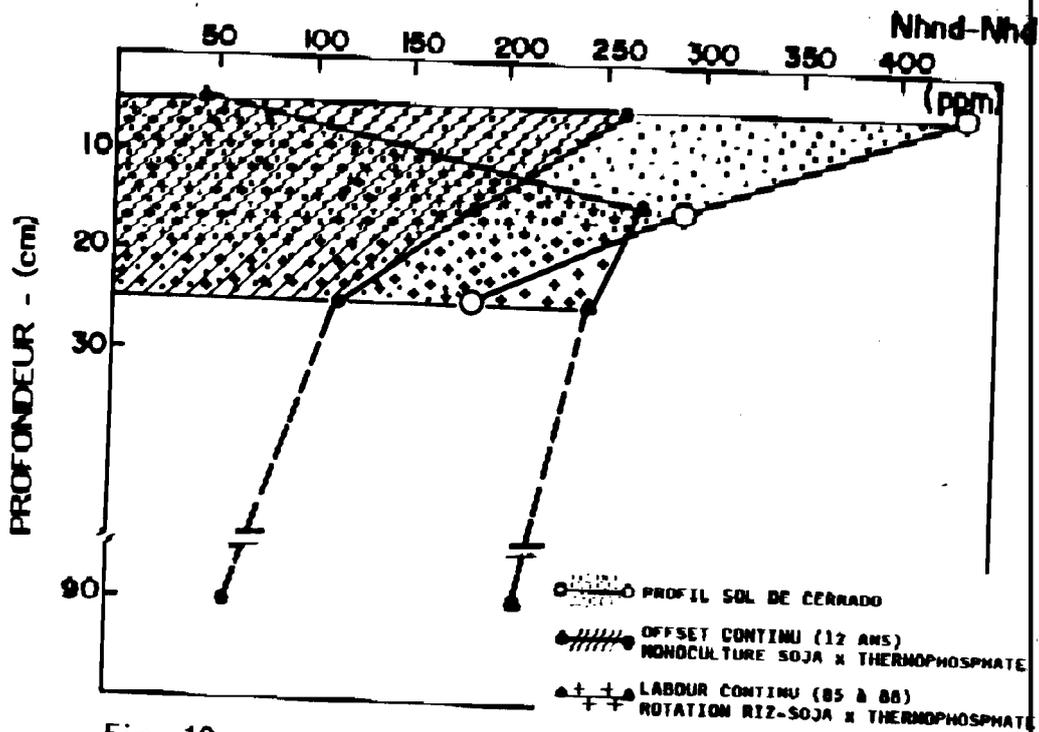


Fig. 19e

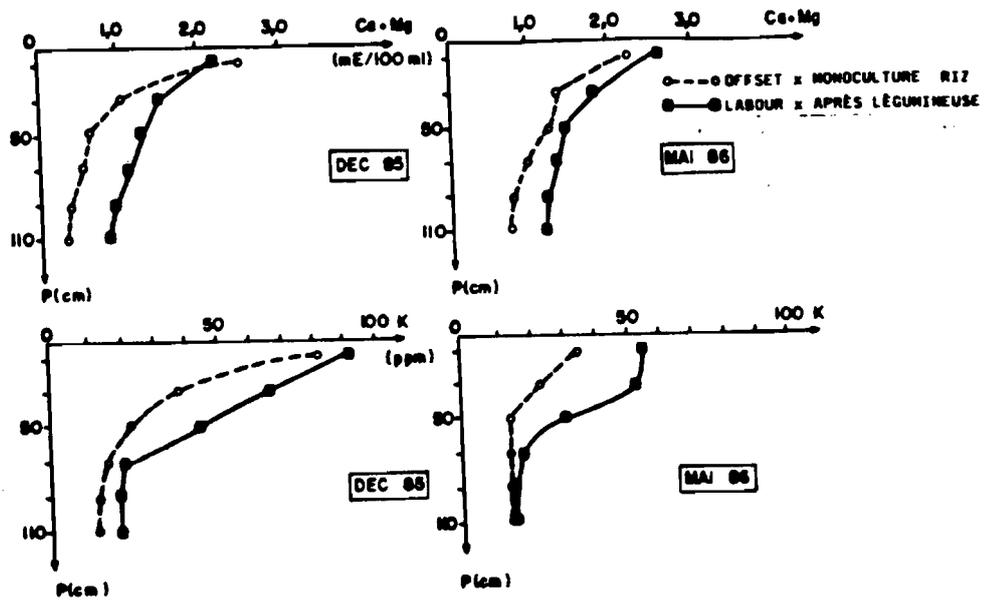
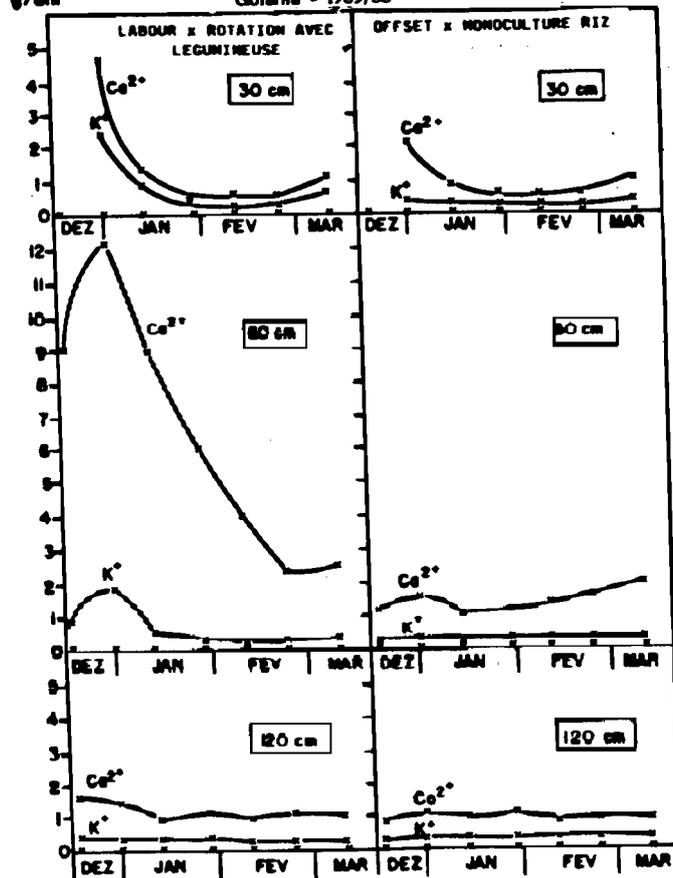


Fig. 20 - CONCENTRATIONS K, Ca, Mg, DANS PROFIL CULTURAL SOUS 2 MODES DE GESTION DU SOL A 2 EPOQUES
Colônia - 1985/86

Fig. 21. EVOLUTION DANS LE TEMPS DES CONCENTRATIONS DE Ca ET K A TROIS PROFONDEURS SOUS 2 MODES DE GESTION
Colônia - 1985/86



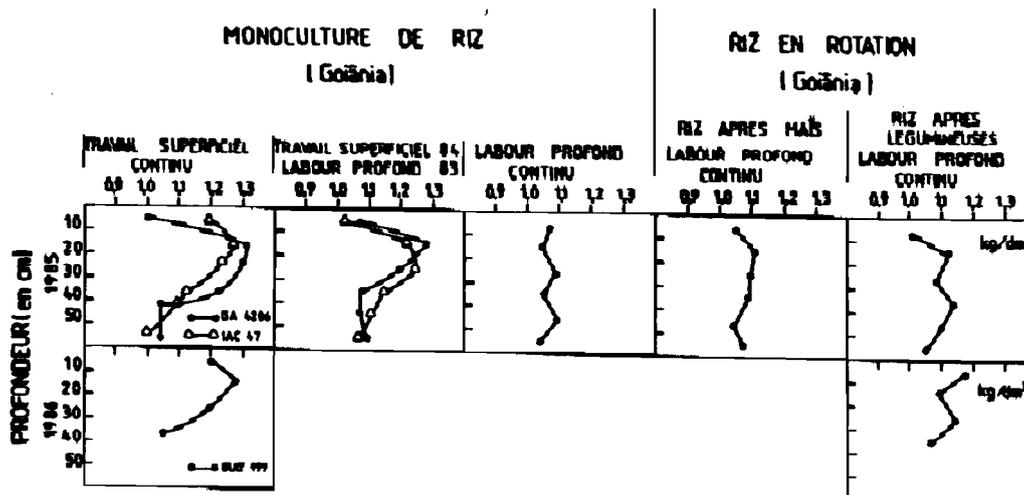


Fig. 22. Densités apparentes (g/dm^3) en fonction des modes de gestion de sol et cultures - Goiânia 1985-86.

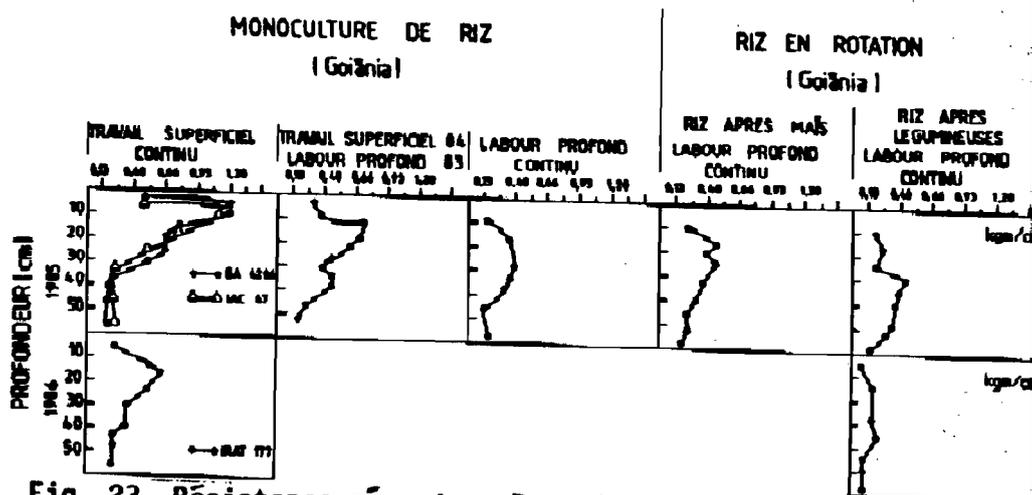


Fig. 23. Résistance mécanique à pénétration (en kg/cm) en fonction des modes de gestion de sol et cultures. Goiânia 1985-86.

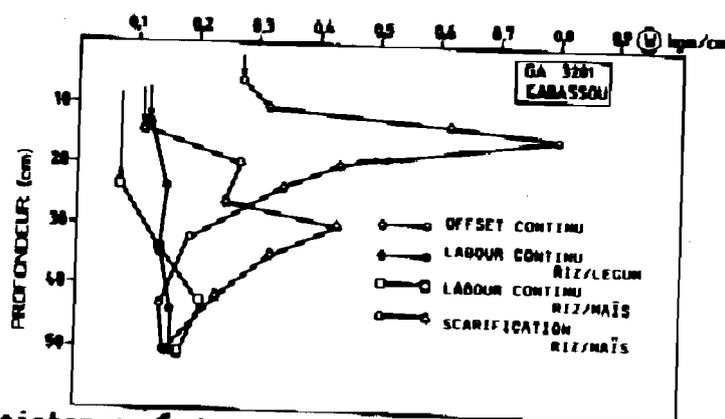


Fig. 24. Résistance mécanique à pénétration (kg/cm ; en fonction des modes de gestion de sol et cultures. Goiânia - 1987.

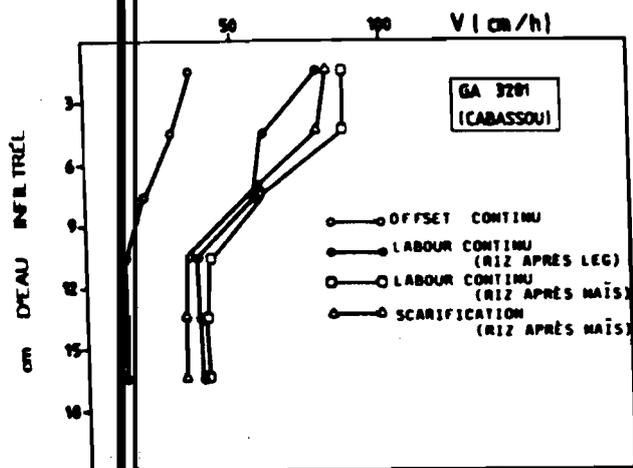


Fig. 25. Vitesse d'infiltration de préparation du sol Goiânia/1987.

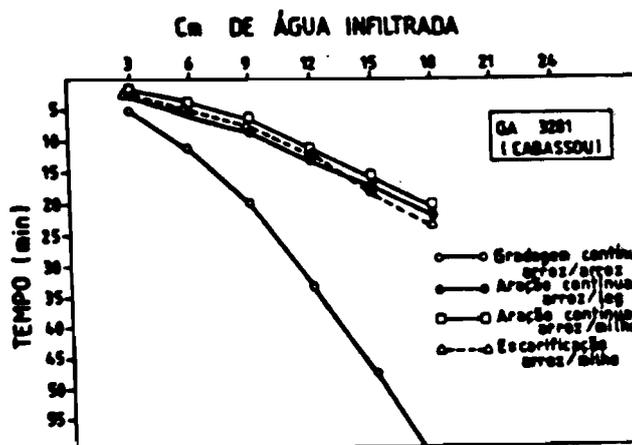


Fig. 26. Infiltration de l'eau sous diverses préparations du sol Goiânia. 1987.

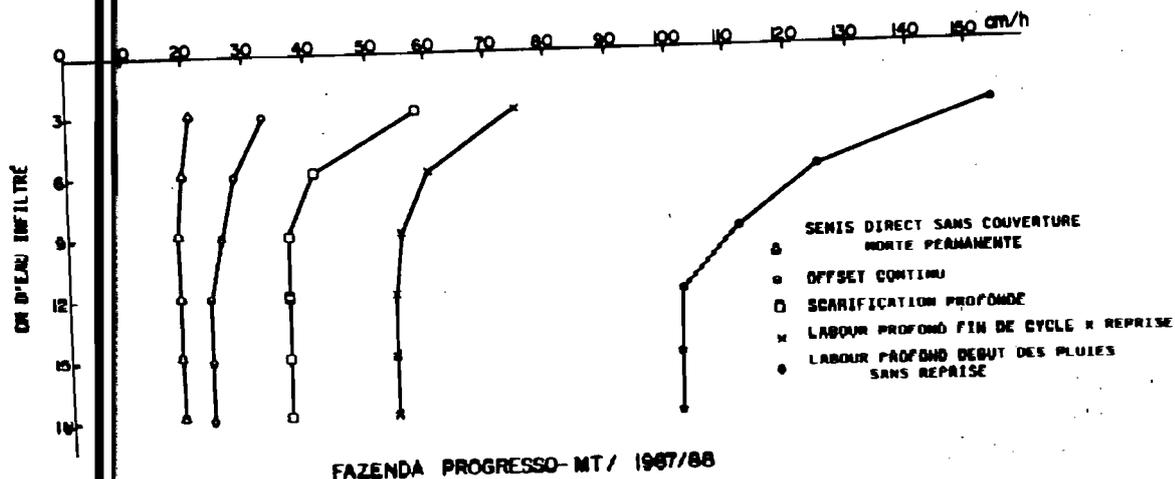


Fig. 27. VITESSE D'INFILTRATION DE L'EAU SOUS DIVERS MODES DE GESTION DU SOL.

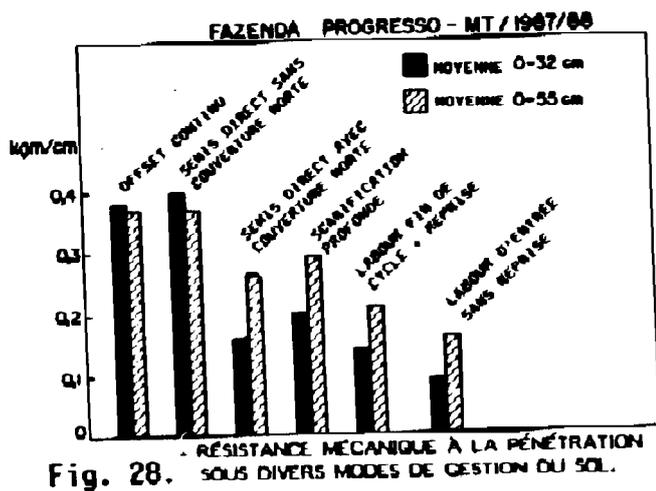


Fig. 28. RESISTANCE MECANIQUE A LA PENETRATION SOUS DIVERS MODES DE GESTION DU SOL.

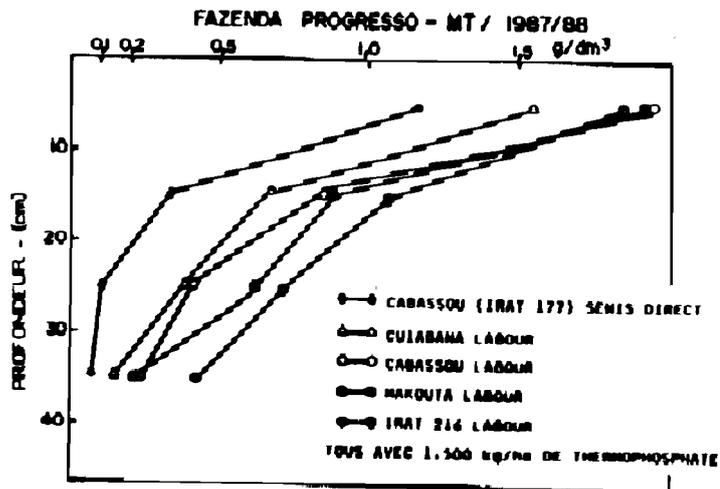


Fig. 29. DENSITÉ RACINAIRE DE RIZ PLUVIAL

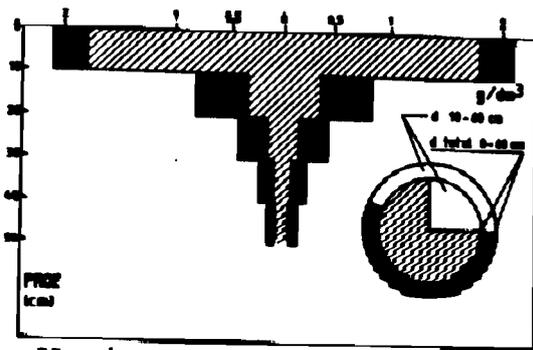


FIG. 30 DENSITÉ RACINAIRE RIZ PLUVIAL SOUS LABOUR
Alvorada - 1984/85

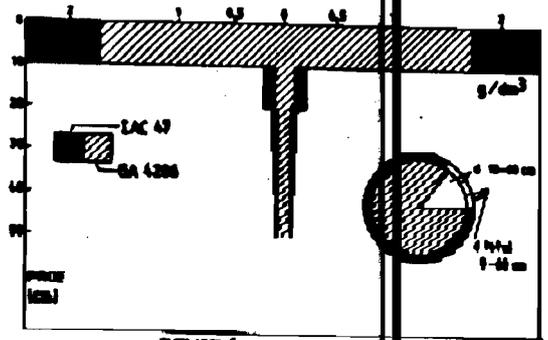


FIG. 31 DENSITÉ RACINAIRE RIZ PLUVIAL SOUS OFFSET CONTINU - Alvorada - 1984/85

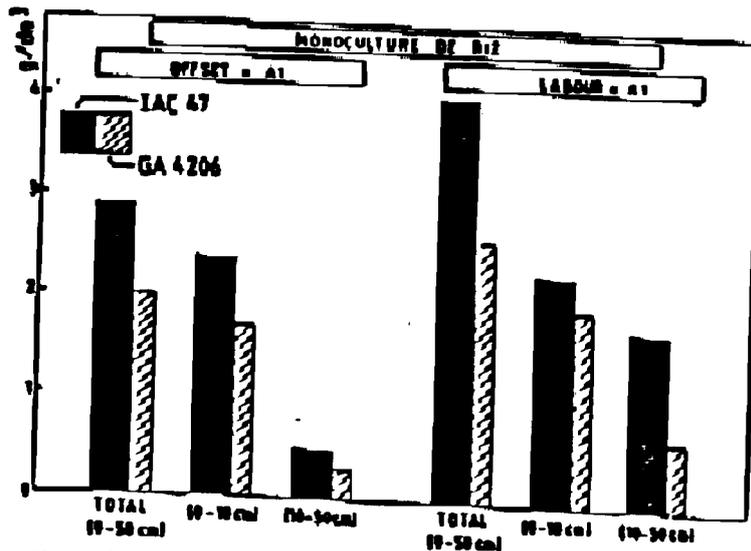


FIG. 32 ALVORADA 1985 - REPARTITION RACINAIRE SOUS 2 MODES DE PREPARATION DU SOL

MONOCULTURE DE RIZ

RIZ EN ROTATION

(Goiânia)

(Goiânia)

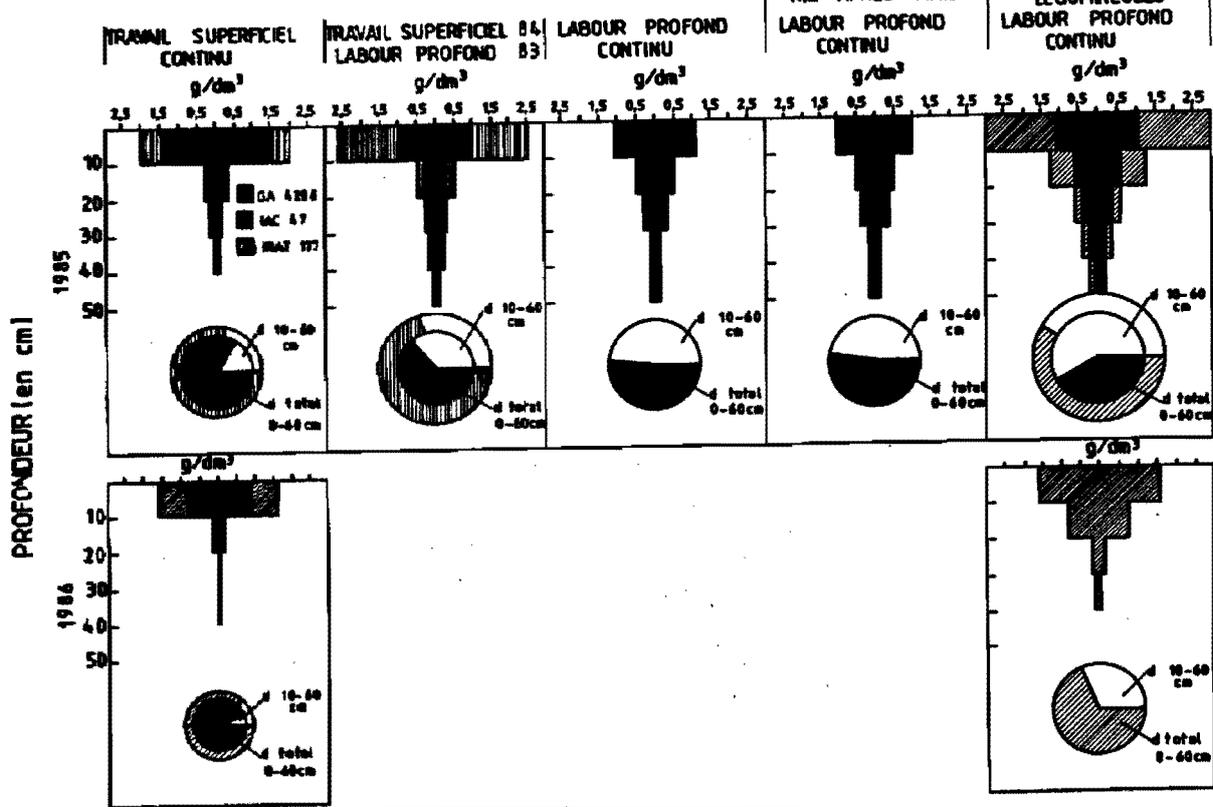


Fig. 33 - Enracinement du riz pluvial (en g/dm³) sous divers modes de gestion de sol et cultures, Goiânia, 1985-1986

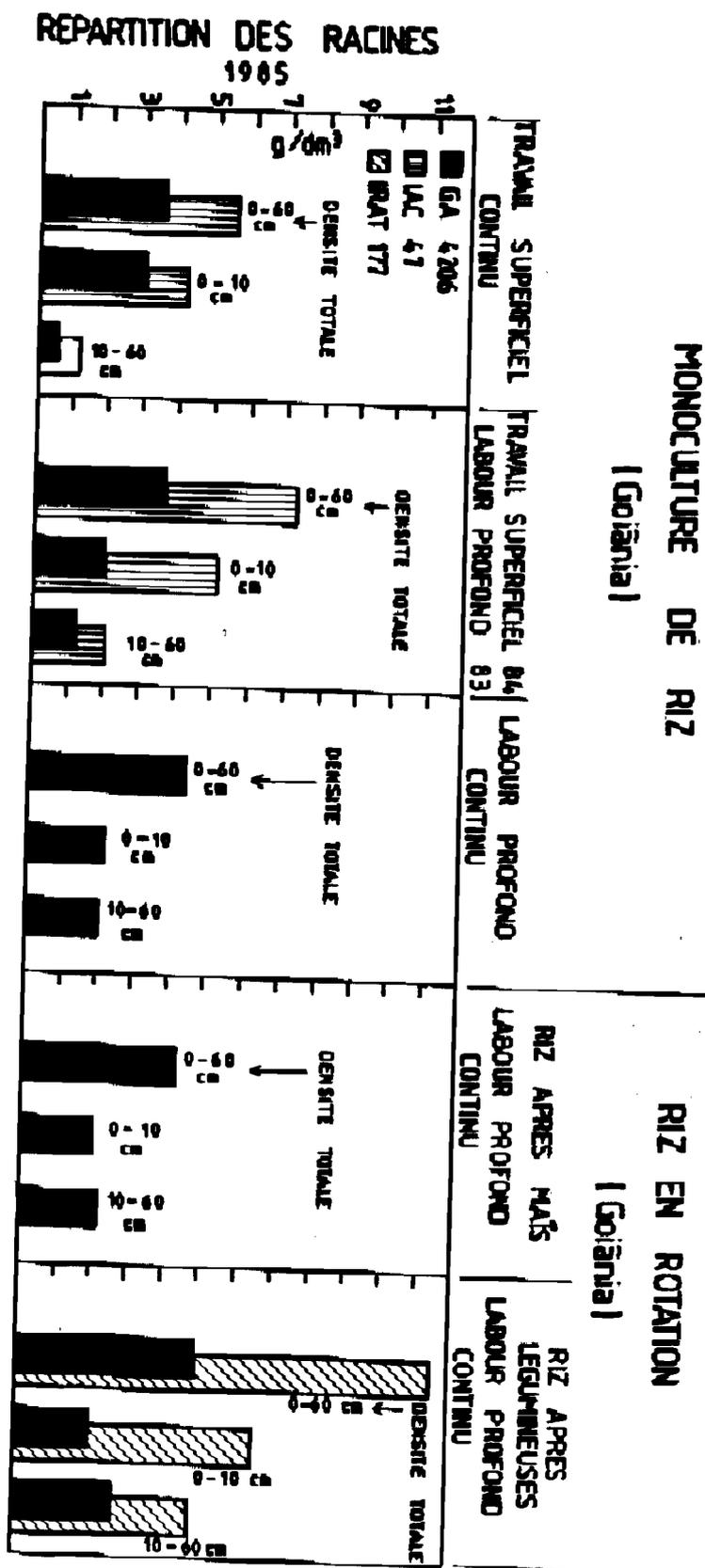


Fig. 34 - Distribution des racines de riz pluvial sous divers modes de gestion de sol et cultures
Goiania, 1985-1986

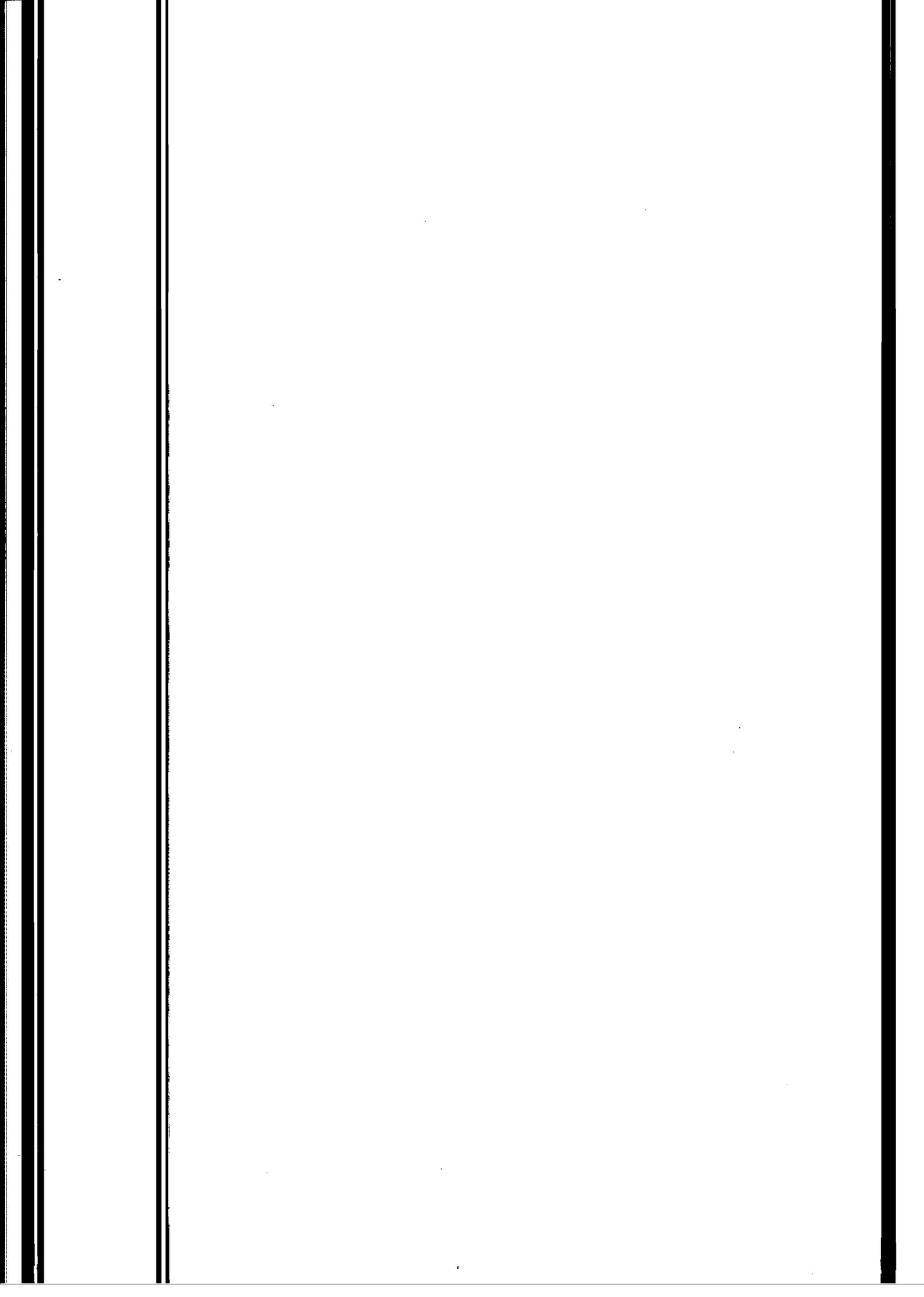


Tableau 12 : Effets des traitements de stérilisation du sol sur la croissance du riz pluvial en serre. Goiânia, CNPAF, 1978.

Traitement de stérilisation de sol en monoculture de riz depuis quatre ans	Couleur du riz (variété Guarani) (40 jours après semis)	Hauteur de la plante (cm) ⁽¹⁾ (40 jours après semis)	Poids de matière sèche (g/pied) ⁽²⁾ (40 jours après semis)
Non stérilisé	Jaune	21	2,23
Partiellement stérilisé ⁽³⁾	Vert foncé	55,5	10,05
Totalement stérilisé ⁽³⁾	Vert foncé	41,5	5,77

(1) En autoclave (1 heure)

(2) En autoclave (2 heures)

(3) Moyenne de trois répétitions.

▲ **La technique de scarification profonde**, si elle est utilisée après deux années de labour profond, permet de conserver un profil cultural homogène, lui aussi favorable à un puissant enracinement en profondeur (LVA, Figures 27 et 28).

▲ **Les techniques de minimum tillage et de semis direct (No tillage)**, sont pour l'instant insuffisantes, pour maintenir les conditions de profil cultural équivalentes à celles du labour profond ou de la scarification et favorisent un enracinement superficiel au détriment de son développement en profondeur. Un fort enracinement global et surtout en profondeur du riz pluvial, nécessite, dans ces sols très sensibles aux actions mécaniques en conditions humides, que la macroporosité soit refaite avant chaque cycle cultural.

▲ **Cependant, la technique de semis direct (No tillage)**, implantée dans des conditions convenables, c'est-à-dire, après restauration des propriétés physico-chimiques, et en présence d'une couverture morte permanente, offre un profil cultural dont les caractéristiques principales sont proches de celui sous labour continu (Figure 28).

▲ **Le classement actuel des modes de gestion du profil cultural**, s'établit de la manière suivante par ordre décroissant :

- labour profond sans offset avant semis ;
- labour profond avec offset avant semis ;
- scarification profonde ;
- No tillage avec couverture morte ;
- No tillage sans couverture morte ;
- travail superficiel continu à l'offset.

▲ **Pour ce qui concerne la lixiviation des éléments minéraux solubles** sur les divers modes de gestion du sol, les figures 8, 15, 17, 20 et 21 montrent que le labour profond, bien qu'il favorise une migration plus importante en profondeur de Ca^{2+} , Mg^{2+} et K^+ , facilite aussi leur recyclage par les racines profondes, alors que sur le travail du sol superficiel, la migration de ces éléments est de faible intensité, mais les risques de pertes par érosion laminaire superficielle sont plus importants.

Le travail profond continu et la pratique des rotations favorisent des enracinements très profonds, qui jouent le rôle de filtre pour les éléments minéraux, et les recyclent en surface comme le prouvent les analyses de sols à Goiânia après plus de dix ans de mise en culture ininterrompue, et surtout sur la Fazenda Progresso après douze ans de culture continue sous climat agressif (plus de 2 000 mm en six mois) et applications modérées de calcaire broyé (3 t/ha) tous les trois ans (Tableau 13, Figures 13 et 21).

Tableau 13 : Evolution des propriétés chimiques du profil cultural⁽¹⁾, 1976-1988, Fazenda Progresso, Mato Grosso, 1988.

Année	Mode de gestion du sol	Profondeur	pH	M.O. (%)	Ca + Mg meq/100 g	Al meq/100 g	P ppm	K ppm
1976 ⁽²⁾	Sous Cerrado	0-20 cm	5,0	-	0,4	1,5	0,4 à 0,8	15 à 20
1985 ⁽³⁾	Sous soja	0-10 cm	4,8 à 5,6	1,8 à 2,2	0,8 à 3,9	0,1 à 0,6	2,3 à 6,9	18 à 45
		10-20 cm	4,7 à 5,0	1,4 à 1,8	0,4 à 1,2	0,4 à 0,7	< 1	9 à 15
1988 ⁽⁴⁾	Sous Cerrado	0-10 cm	5,0	3,0	0,4	2,1	0,5	27
		10-20 cm	5,3	2,3	0,6	1,2	0,4	25
		20-30 cm	5,3	2,3	0,6	1,0	0,3	20
	Sous soja monoculture x offset continu (76-88)	0-10 cm	6,9	2,7	7,7	0,1	23,4	92
		10-20 cm	6,0	3,0	4,2	0,2	3,6	53
		20-30 cm	5,1	2,3	0,7	0,8	0,4	36
		30-40 cm	4,9	2,2	0,5	0,4	0,2	12
	Sous rotation riz-soja x labour continu (85-88)	0-10 cm	5,6	2,3	3,0	0,5	5,1	33
		10-20 cm	6,0	3,0	3,8	0,2	10,8	108
		20-30 cm	6,1	2,4	4,5	0,2	14,9	56
		30-40 cm	5,3	2,1	1,9	0,6	2,5	25

- (1) La granulométrie moyenne est : argile entre 32 et 45 %, limon entre 13 et 18 %, sable entre 16 et 62 %.
 (2) Avant la première mise en culture.
 (3) 1 t/ha de calcaire dolomitique en 1976, 3 t/ha de calcaire dolomitique en 1982.
 (4) 3 t /ha de calcaire dolomitique en 1986, et 1 500 kg/ha de thiocyanate de calcium en 1987.

Tableau 14 : Densités apparentes et densités racinaires⁽¹⁾ sur la variété IRAT 177 (Cabassou) sur deux modes de préparation du sol en succession annuelle après *Cajanus cajan*, semés le 20.01.1986, CNPAF, 1985-1986.

Profondeur (cm)	Densités apparentes (kg/dm ³)		Densités racinaires			
	Semis direct	Scarification profonde	Semis direct (g/dm ³)	(% T) ⁽²⁾	Scarification profonde (g/dm ³)	(% T) ⁽²⁾
0-10	1,28	1,06	1,354	(73,7)	2,182	(72,7)
10-20	1,15	1,15	0,354	(19,3)	0,432	(14,5)
20-30	1,00	1,13	0,069	(3,7)	0,216	(7,2)
30-40	1,06	1,07	0,032	(1,7)	0,110	(3,4)
40-50	1,03	1,04	0,028	(1,5)	0,065	(2,2)
			T = 1,837		T = 3,005	
			(100)		(163)	
70-80	0,99	0,98				

(1) Moyenne de six répétitions.

(2) Pourcentage de la densité totale (T) sur les niveaux 0 à 50 cm entre parenthèses.

2.2.3 - Effets des modes de gestion du sol et des cultures sur la productivité des cultures et leur stabilité dans les systèmes de culture

Après six ans d'étude dans ces trois conditions pédoclimatiques différenciées, nous pouvons tirer les conclusions suivantes.

▲ Le riz pluvial est la culture la plus sensible aux modes de gestion du sol et des cultures :

- le système de monoculture continue associé au travail du sol superficiel continu à l'offset, conduit à partir de la troisième année à la perte presque totale de la production, quelles que soient les conditions climatiques et les variétés (Figures 39 et 48) ;
- sur ce type de gestion négatif de même que sur no tillage sans couverture permanente, les cultivars rustiques, ayant un fort potentiel d'enracinement, une forte compétition précoce contre les adventices et une résistance stable à la pyriculariose sont les plus productifs comme par exemple Rio Paranaíba, Cabaçu (IRAT 177), Guarani (Figure 39).

▲ Au contraire, la technique de labour profond associée à la pratique des rotations de cultures, constitue le principal facteur de productivité et de stabilité pour le riz pluvial et les autres cultures ; il permet, en particulier :

- sur les LVA (sols ferrallitiques jaunes) pauvres en matière organique (Alvorada et Diamantino) :
 - de maintenir la productivité du riz après quatre ans, au dessus de 2 000 kg/ha, soit un rendement six fois supérieur à la monoculture x offset continu avec les mêmes niveaux d'intrants (Figure 43),
 - l'incorporation de 1 500 kg/ha à 2 000 kg/ha de thermophosphate + 100 kg/ha de chlorure de potasse au moment de la réalisation des labours profonds, permet de monter les rendements de riz pluvial au dessus de 4 000 kg/ha, en rotation avec le soja (Variété Cabaçu, Cuiabana, Makouta, IRAT 216, Tableau 14),
 - l'interaction géotypes x modes de gestion du profil cultural est très forte : extrême sensibilité aux modes de gestion de Araguaia et Cuiabana, au contraire, comportement homéostatique de Cabaçu, Makouta, GA 4146, Rio Paranaíba (Tableau 14, Figures 39, 40 et 46), la confirmation de cette réponse différentielle variétale aux modes de gestion du profil, a été mise à profit dans le dispositif de création variétale en 1988-1989 (cf. document : *Amélioration variétale dans les systèmes de production*, M. Chatel, en cours de publication),
 - de valoriser la fumure minérale : économie de 50 % de la fumure NPK à Alvorada (Figure 43),
 - d'obtenir les meilleures productivités de soja en rotation après maïs et riz, et de maintenir les rendements entre 2 500 et plus de 3 000 kg/ha (LVA Diamantino, Fazenda Progresso, Figure 46),
 - de produire les meilleurs rendements de maïs en progrès constant sur précédent soja entre 3 500 et 4 800 kg/ha (LVA, Figure 47). Les rendements réels dépassent six tonnes par hectare en 1987-1988 (Fazenda Progresso), mais les pertes à la récolte mécanique en conditions humides augmentées d'attaques de foreurs de tiges (verse), atteignent jusqu'à 30% de la production,
 - quand le facteur eau devient limitant (Alvorada, 1987), l'impact de ce mode de gestion sur la productivité des cultures est encore amplifié : avec une pluviométrie utile de 350 mm, la variété de riz Guarani atteint 1 900 kg/ha ; la variété de soja Doko dépasse 2 000 kg/ha et le maïs Cargill 111-s atteint 4 200 kg/ha avec moins de 600 mm de pluie sur le cycle (LVA, Figures 43 et 44),

Tableau 14 : Effets de deux modes de gestion de la fertilisation sur la productivité (kg/ha) du riz pluvial après soja. Fazenda Progresso, Mato Grosso, 1987-1988.

Fertilisation	Cultivar							
	IAC 47	Cuiabana	Cabassou (IRAT 177)	Makouta	Araguaia	Rio Paranaíba	GI 4146	IRAT 216
Fumure conventionnelle ⁽¹⁾	2 631	2 914	3 430	2 784	2 584	2 490	3 101	2 725
Thermophosphate ⁽²⁾	3 805	3 180	4 322	4 606	3 340	3 571	4 228	4 651
Gain de productivité avec thermophosphate(%)	+ 44	+ 09	+ 26	+ 65	+ 29	+ 43	+ 36	+ 71

(1) Fumure conventionnelle : 300 kg/ha 4-26-16-5n + 40 kg/ha micro-éléments TIE BR 12 au semis
couvertures :

- 50 kg/ha d'urée à 30 jours

- 50 kg/ha d'urée + 50 kg/ha KCl à 50 jours

(2) Thermophosphate : 1 500 kg/ha thermophosphate Yoorin B2 (pour 3 ans) + 100 kg/ha KCl
mêmes couvertures (cf. (1))

Préparation du sol : labour profond

Herbicide : 1 500 g n.a./ha pendiméthaline en préémergence

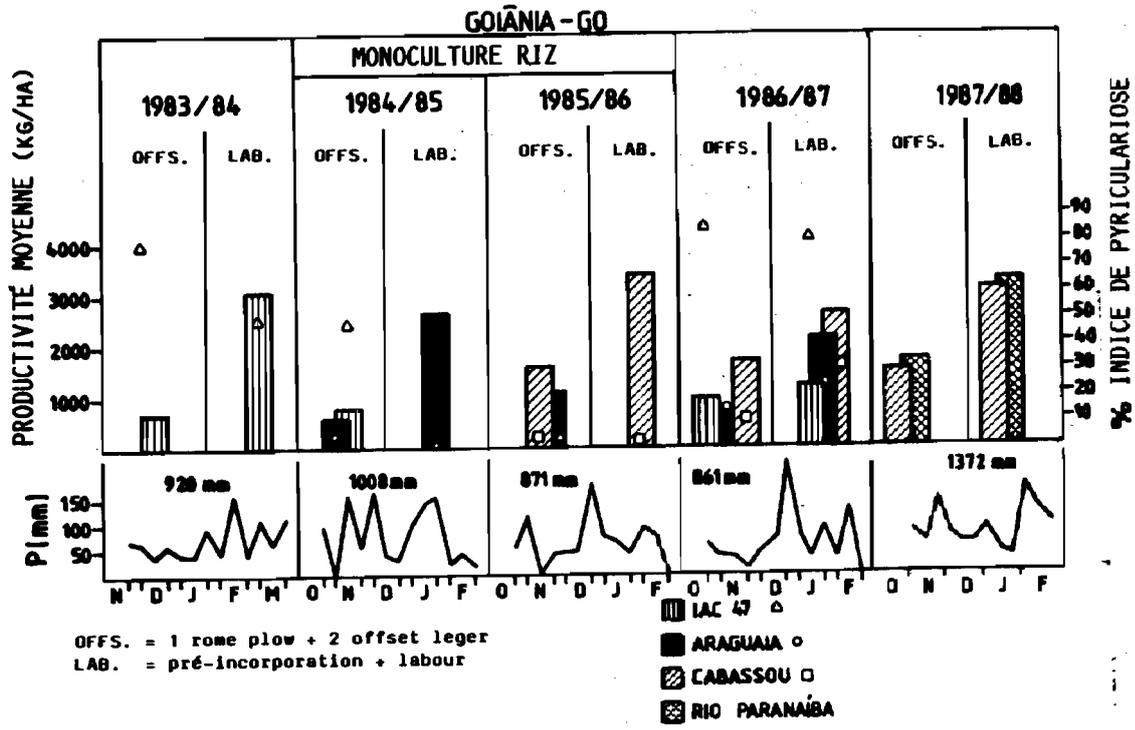


Fig. 39 - Productivité de riz pluvial en monoculture sous divers modes de gestion du sol

Fig. 40 - Productivité de riz pluvial en rotation sous divers modes de gestion du sol

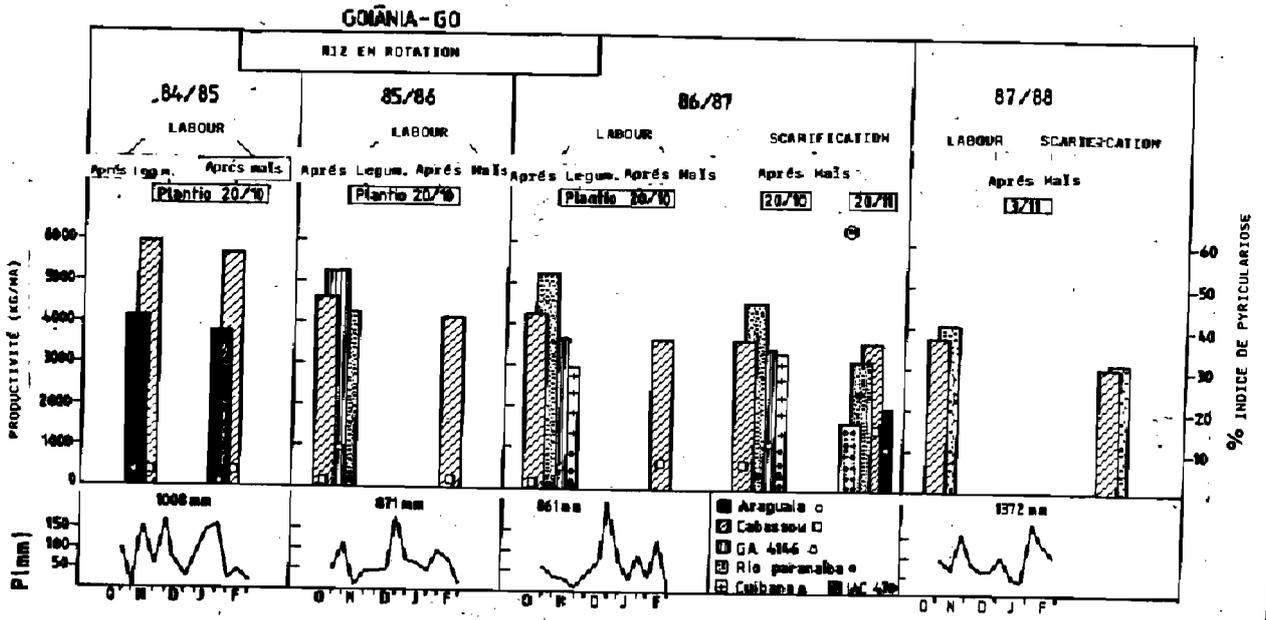


Fig. 43 -EVOLUTION PRODUCTIVITÉ RIZ PLUVIAL (83/87) SOUS DIVERS MODES DE GESTION DU SOL

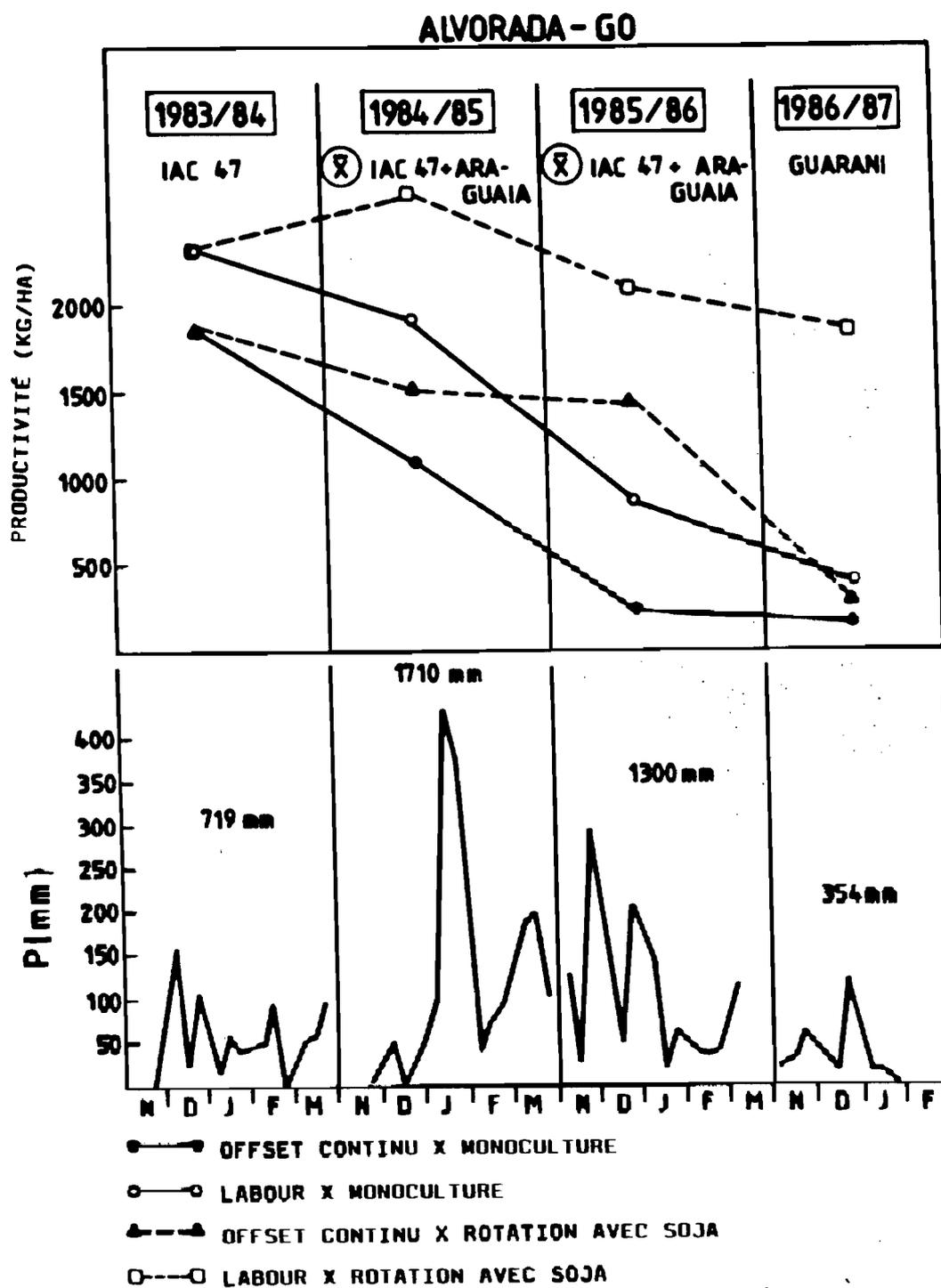
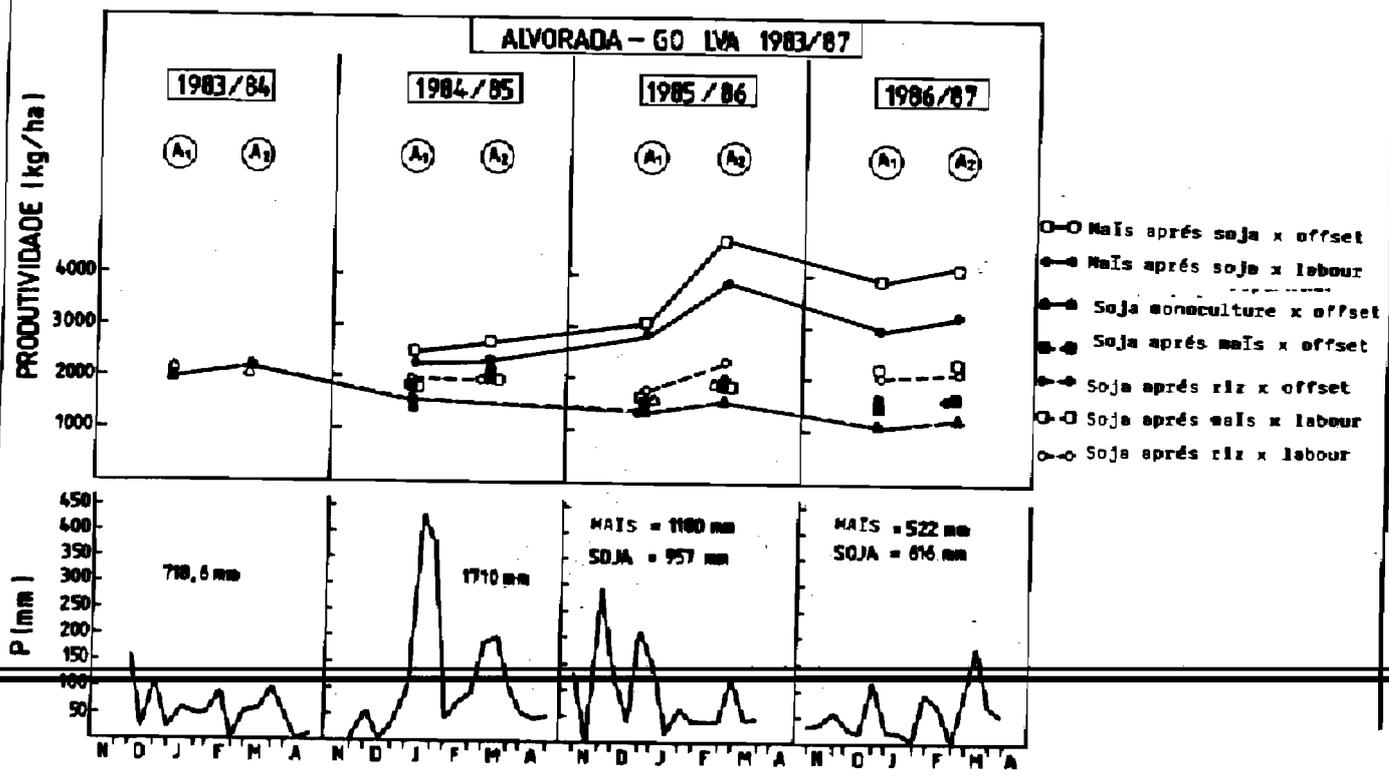


Fig. 44 - EVOLUION PRODUCTIVITE MAIS ET SOJA - (83/87) SOUS DIVERS MODES DE GESTION DU SOL



FAZENDA PROGRESSO - MT/ 1986/87 - 1987/88

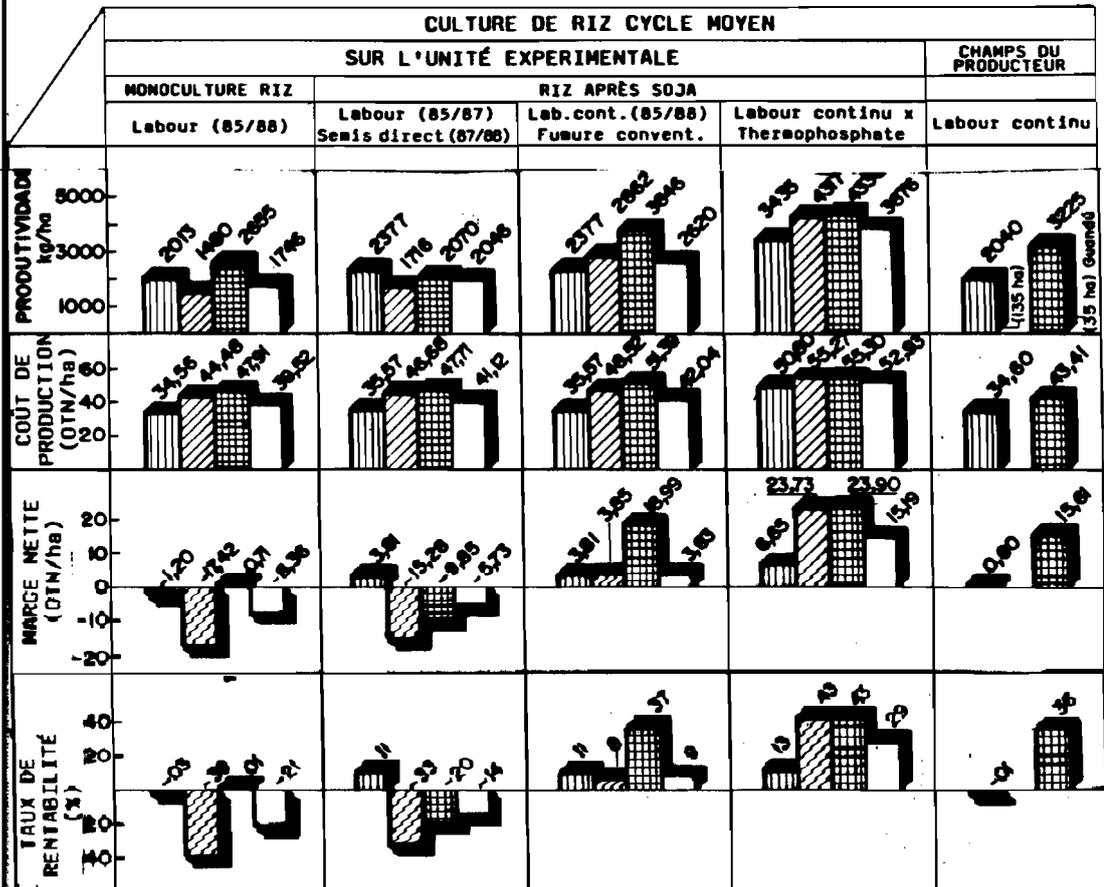


Fig. 46 - PRODUCTIVITÉS ET RÉSULTATS ÉCONOMIQUES DES PIRES AUX MEILLEURES ALTERNATIVES AVEC RIZ PLUVIAL. FAZENDA PROGRESSO (1986/88).

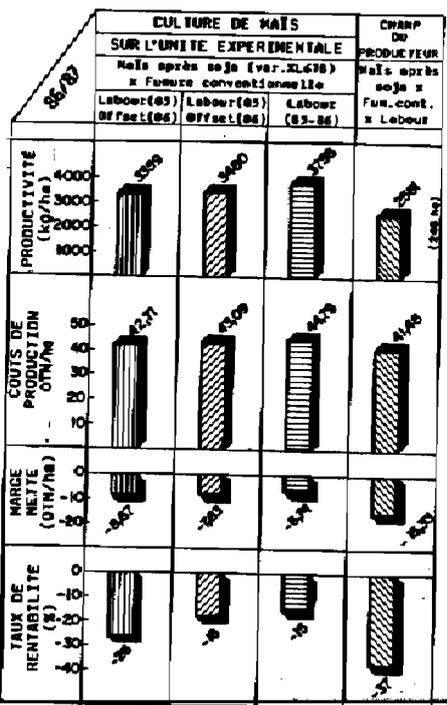


Fig. 47a - PRODUCTIVITÉS ET RÉSULTATS ÉCONOMIQUES DES PIRES AUX MEILLEURES ALTERNATIVES DE MAÏS (CYCLE UNIQUE) FAZENDA PROGRESSO (1986/87).

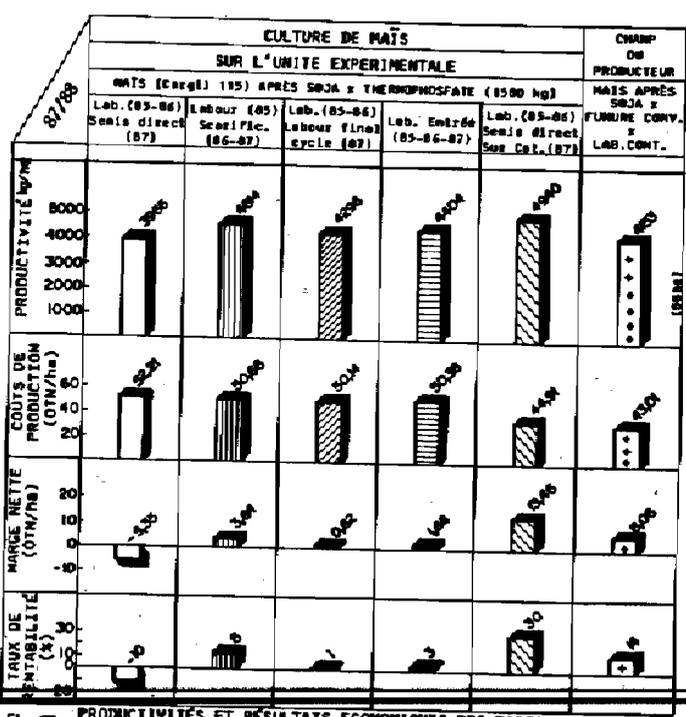


Fig. 47b - PRODUCTIVITÉS ET RÉSULTATS ÉCONOMIQUES DES PIRES AUX MEILLEURES ALTERNATIVES DE MAÏS (CYCLE UNIQUE) FAZENDA PROGRESSO (1987/88).

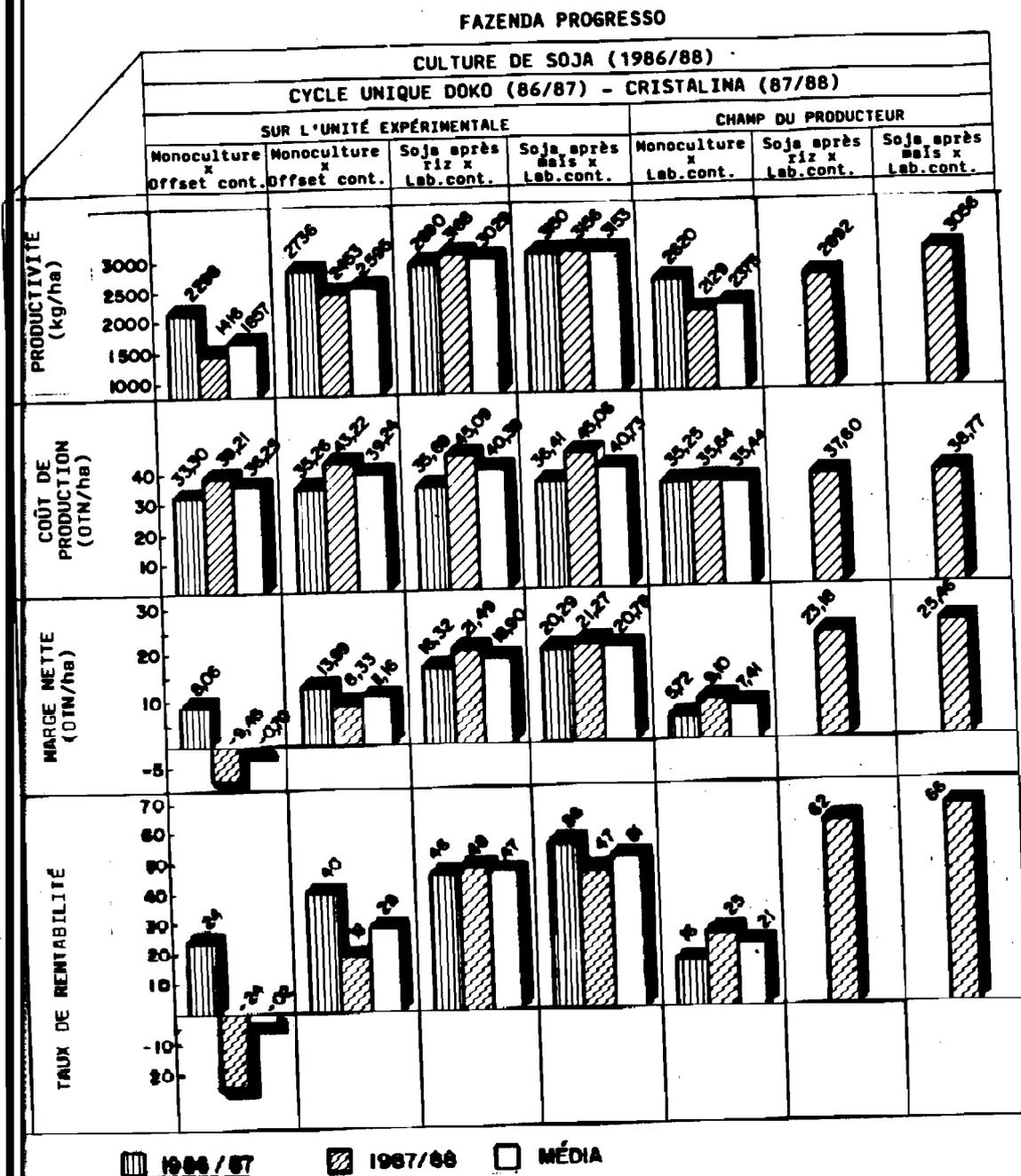


Fig. 48-PRODUCTIVITÉS ET RÉSULTATS ECONOMIQUES DES PIRES AUX MEILLEURES ALTERNATIVES DE SOJA (CYCLE UNIQUE), FAZENDA PROGRESSO (1986/87).

— sur les LVE (sols ferrallitiques rouge foncé d'altitude) riches en matière organique (Golânia), ce mode de gestion entraîne toujours les plus forts rendements et la meilleure stabilité dans les systèmes de cultures :

- la productivité du riz pluvial se maintient au dessus de 4 200 kg/ha pour les semis précoces et entre 2 000 et 3 000 kg/ha pour les semis tardifs de janvier en succession de *Cajanus cajan* (Figures 40 et 41),
- les rendements de maïs restent stables, aux environs de 8 000 kg/ha, avec des hybrides (Figure 37), autour de 7 000 kg/ha avec la variété BR 106,
- la productivité du haricot de fin de saison des pluies en semis direct est toujours supérieure à 900 kg/ha en succession de *Cajanus cajan* et succession de riz pluvial de cycle court Guarani qui produit lui-même plus de 3 400 kg/ha (Figure 38).

▲ A partir de la troisième année, sur LVE et LVA de moyenne et basse altitude, les techniques de scarification profonde et de labour de fin de saison des pluies peuvent être recommandées pour les cultures de maïs, de soja pratiquées en succession annuelle (Figures 37, 47 et 49). Leurs effets sur ces cultures sont équivalents à ceux du labour de saison des pluies.

▲ La technique de no tillage (semis direct) sur couverture morte permanente de *calopogonium*, permet d'obtenir 4 900 kg/ha de maïs hybride (Cargill 115) en présence de 1 500 kg/ha de thermophosphate (Figure 47).

Dans tous les cas et les situations pédoclimatiques, les effets des modes de gestion de sol et de cultures sont toujours bien plus déterminants dans la composition des rendements des cultures et dans leur stabilité dans les systèmes de cultures, que les facteurs variétés et niveaux de fumure minérale. Néanmoins, dans le cas des LVA sous climat agreste de basse altitude, l'association du thermophosphate aux techniques de travail profond est décisive pour dépasser 4 000 kg/ha de riz pluvial (Tableau 14).

2.2.4 - Conséquences économiques

Les résultats économiques, calculés en monnaie constante à partir des résultats agronomiques précédents, attirent les conclusions suivantes :

▲ Cette période de cinq ans a été caractérisée par de fortes fluctuations interannuelles des prix des intrants et des prix des produits payés aux producteurs ; l'analyse des tendances met en évidence l'érosion continue des marges brutes des diverses cultures pour un même niveau de rendement (Figure 35 et 36).

▲ Face à cette situation économique aléatoire, le travail profond du sol combiné aux rotations et au niveau faible de fumure minérale, sont les seuls modes de gestion qui garantissent des marges brutes positives et constituent une règle de recommandation générale ; toutefois, chaque écologie révèle un potentiel différencié par rapport aux diverses spéculations agricoles :

— en altitude supérieure à 650 m, les sols LVE, riches en matière organique offrent les marges brutes les plus élevées pour tous les produits (Figure 42) ;

— à basse altitude, sous climat plus chaud et moins contrasté, et sur sol LVA, pauvre en matière organique, quand le facteur eau n'est pas limitant (Mato Grosso), les cultures de riz et de soja assurent les marges brutes les plus fortes et les plus stables (Figures 46 et 47). Les performances économiques obtenues peuvent même avoisner celles des écologies plus favorables (LVE d'altitude) pour les modes de gestion du profil les plus performants (travail profond du sol x rotation riz-soja x thermophosphate) (Figure 50) ;

— quand le facteur eau devient limitant (LVA-Alvorada), les cultures de maïs et de soja offrent la meilleure sécurité économique (Figure 45).

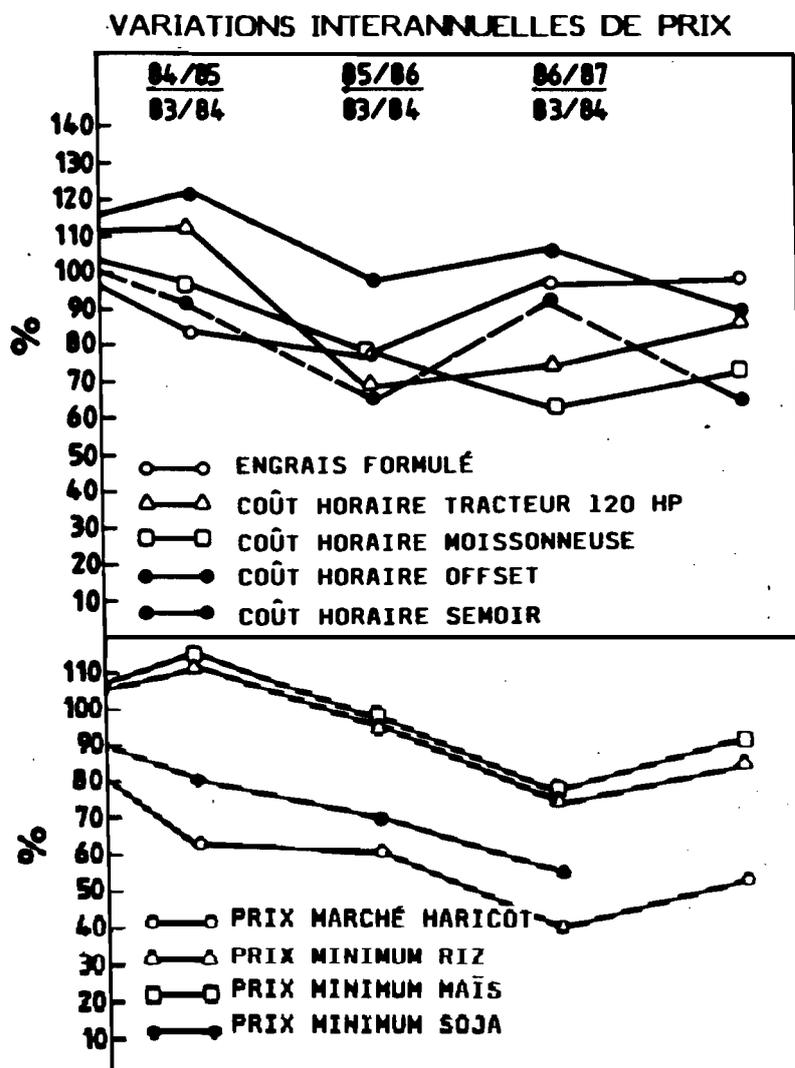


Fig. GOIÂNIA-GO

Fig. 35 - Variations interannuelles des prix des intrants et des produits payés aux producteurs

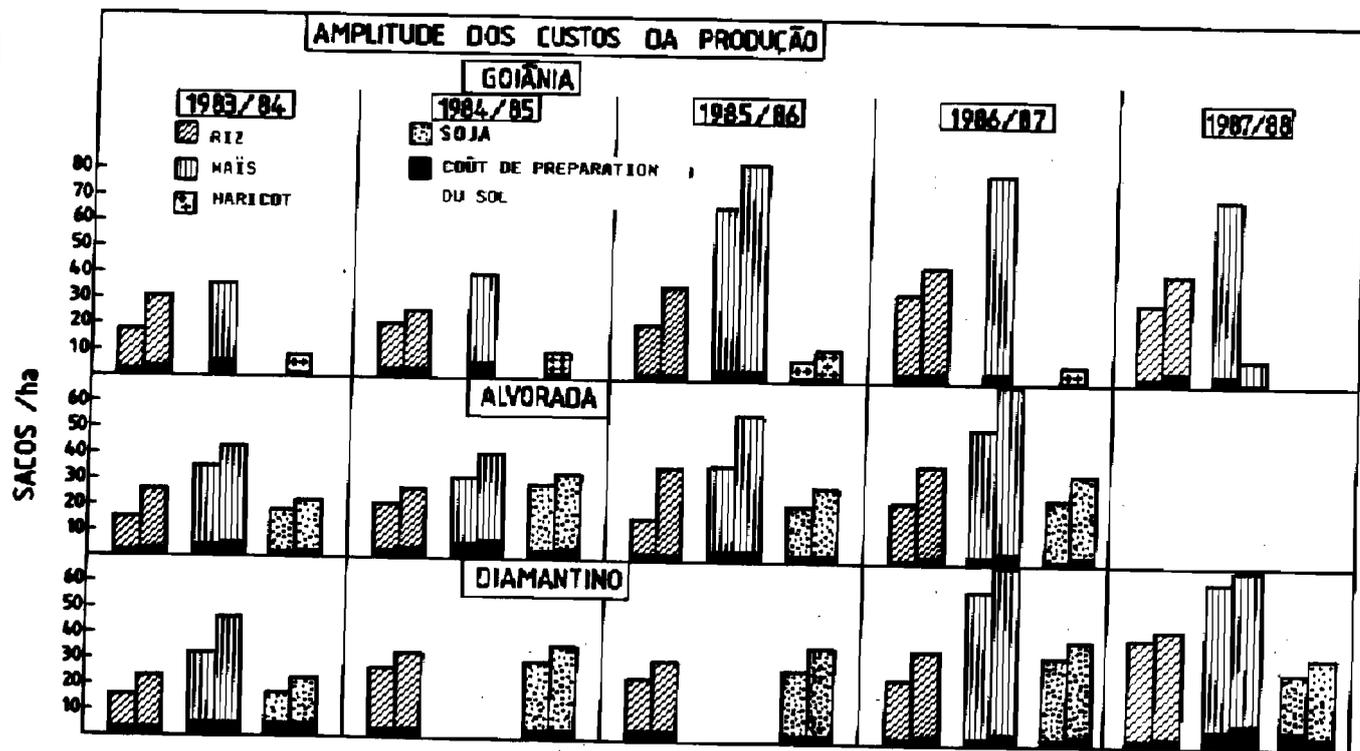


Fig. 36 - AMPLITUDE DES COUTS TOTAUX DE PRODUCTION ET DES COUTS DE PREPARATION DE SOL POUR LES DIFFÉRENTES CULTURES SUR 3 SITES (8/88).

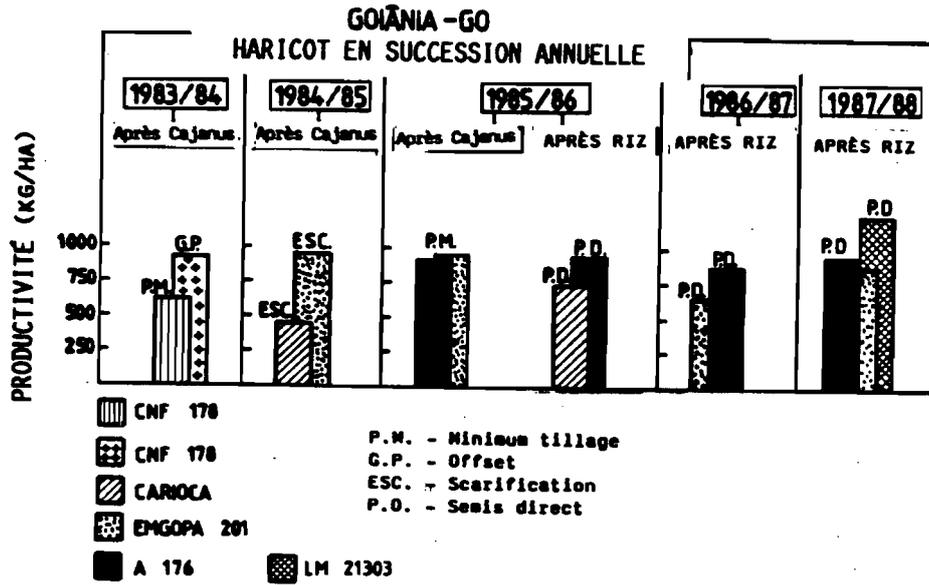


Fig. 37 - Productivité de maïs en rotation avec riz pluvial sous divers modes de gestion du sol

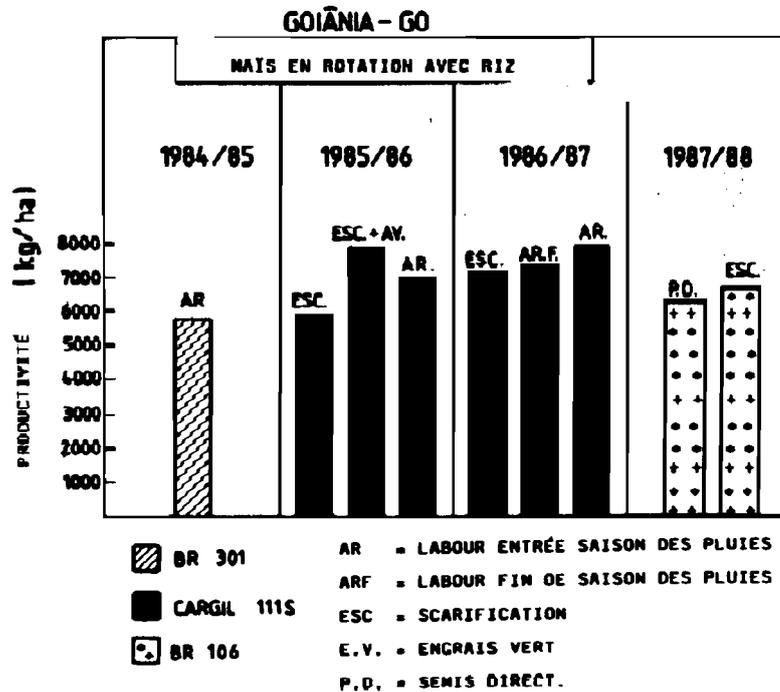


Fig. 38 - Productivité de haricot de fin de cycle sous divers modes de gestion du sol

Fig. 41 - EVOLUTION DES PRODUCTIVITÉS DE RIZ PLUVIAL SOUS DIVERS MODES DE GESTION DU SOL

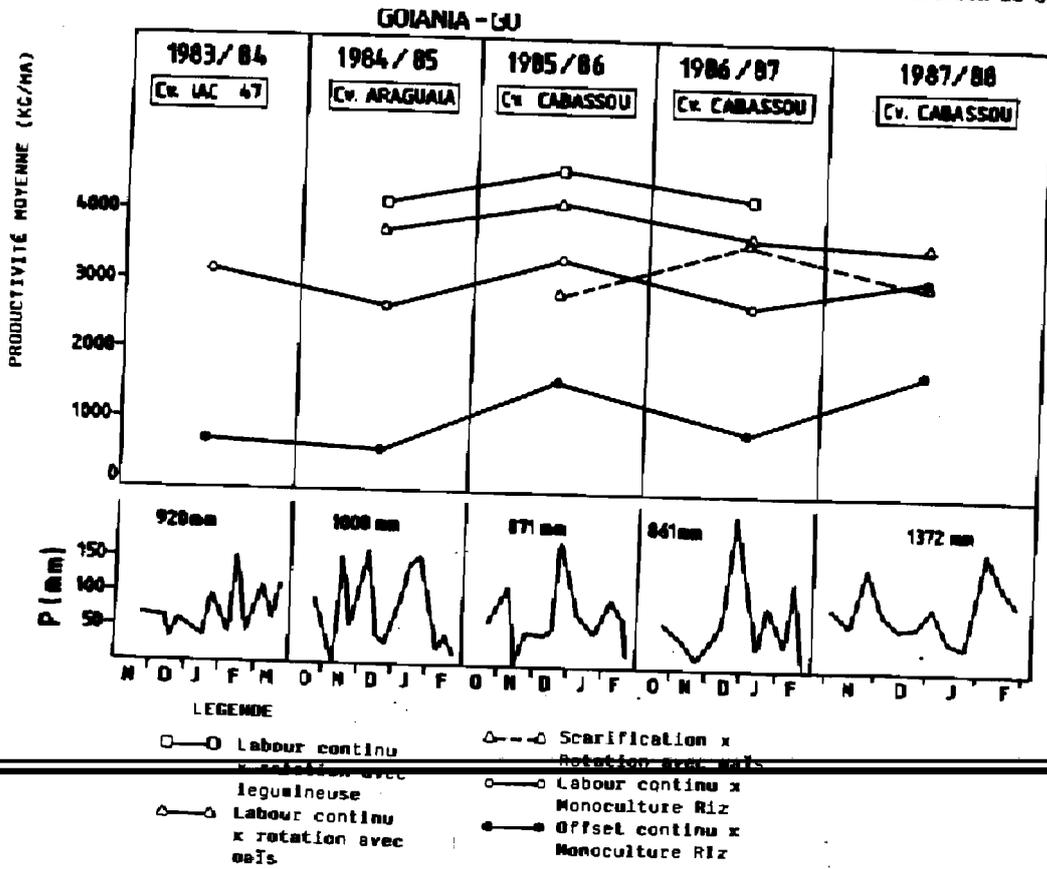


FIG. 4. - EVOLUTION DES MARGES NETTES DE DIFFERENTS MODES DE GESTION DU SOL COMPAREE AUX TENOIMS (T)

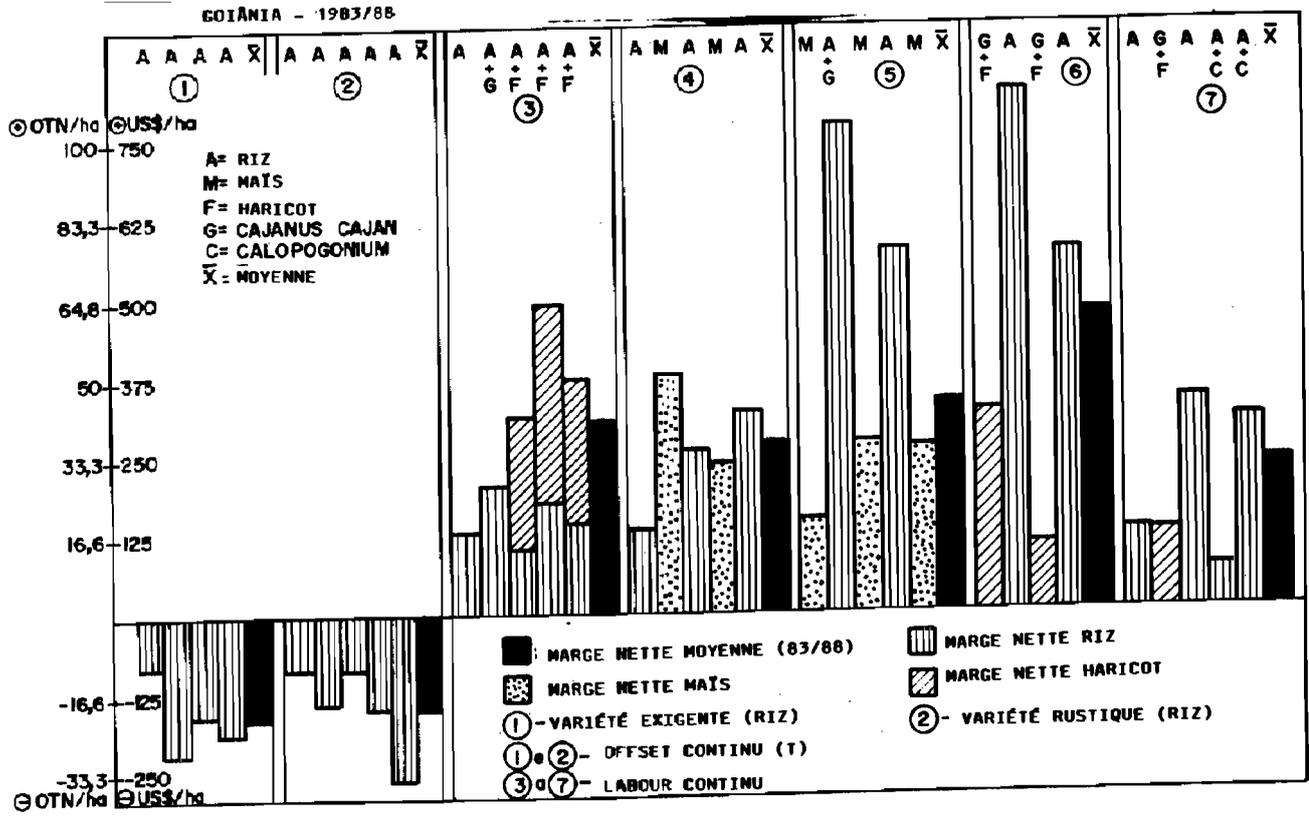
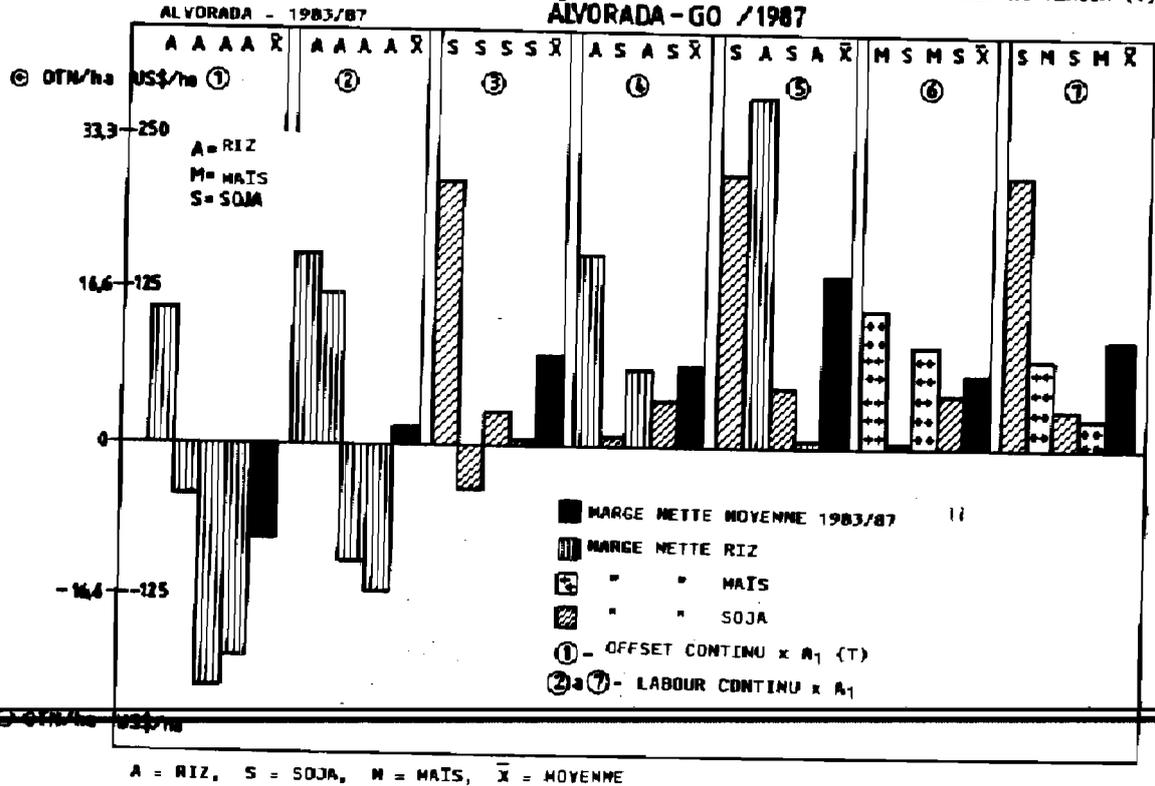
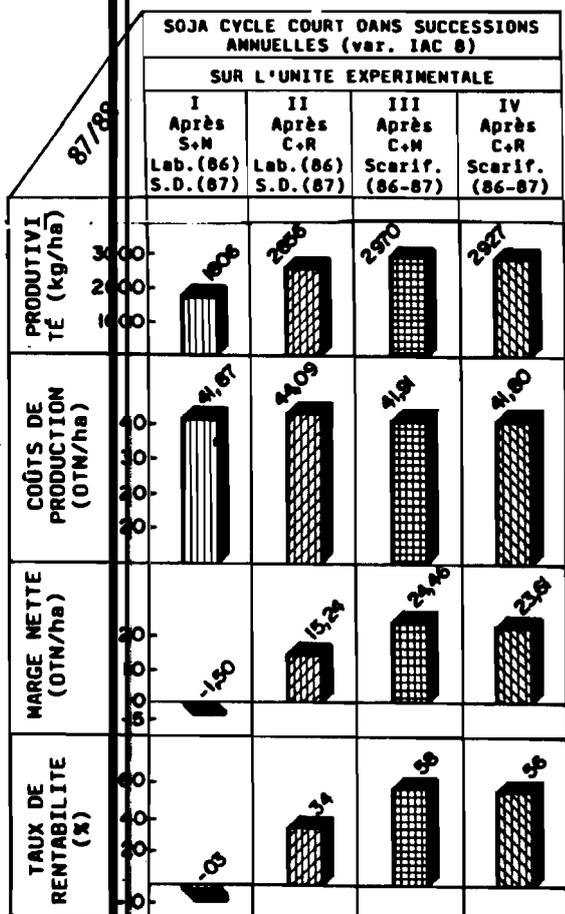


Fig. 45 - EVOLUTION DES MARGES NETTES DE NOUVEAUX MODES DE GESTION DU SOL COMPAREES AU TEMOIN (T)





S - SOJA
M - MAÏS
C - CANNES
R - RIZ
LAB - LABOR
SCARIF. - SCARIFICATION
S.D. - SEMIS DIRECT

Fig. 49 - PRODUCTIVITÉS ET RÉSULTATS ÉCONOMIQUES DES PIRES AUX MEILLEURES ALTERNATIVES DE SOJA CYCLE COURT DANS LES SUCCESSIONS. FAZENDA PROGRESSO (1987/88).

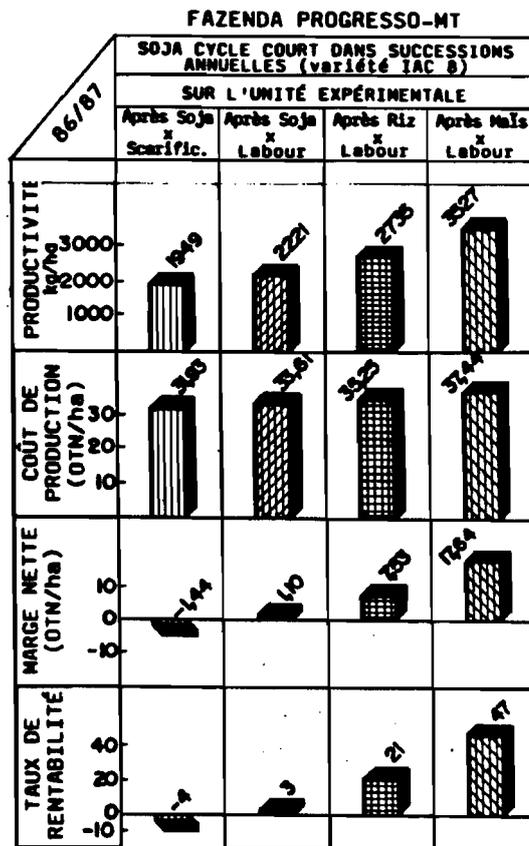


Fig. 49b - PRODUCTIVITÉS ET RÉSULTATS ÉCONOMIQUES DES PIRES AUX MEILLEURES ALTERNATIVES DE SOJA (CYCLE COURT) DANS LES SUCCESSIONS. FAZENDA PROGRESSO (86/87)

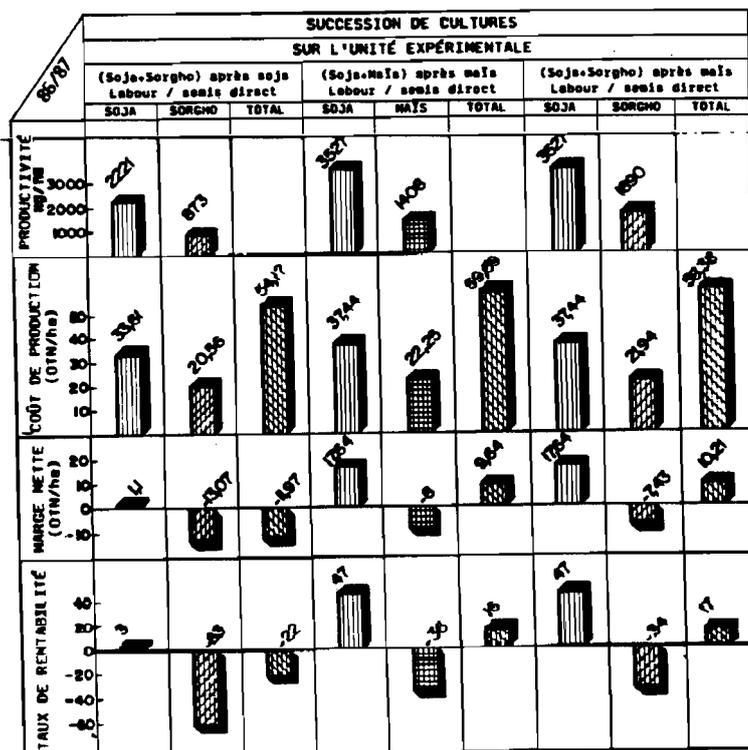


Fig. 50 - PRODUCTIVITÉS ET RÉSULTATS ÉCONOMIQUES DES PIRES AUX MEILLEURES ALTERNATIVES DE SUCCESSIONS DE CULTURES. FAZENDA PROGRESSO (1986/87).

▲ Dans l'analyse pluriannuelle des résultats économiques, la notion d'assolements annuels optimisés est l'instrument de synthèse et d'aide à la prise de décision le plus important : en effet, bien plus déterminante que la vision annuelle des marges brutes, est l'évolution interannuelle de ces marges et du taux de rentabilité dans les systèmes de cultures. En fait, c'est de cette synthèse pluriannuelle que peuvent être extraites les alternatives les plus stables et attractives qui préserveront le mieux la fertilité du sol (conciliation de la recherche des marges maximales à court terme et des règles agronomiques de conservation de fertilité à plus long terme).

▲ De cette analyse économique des systèmes sur cinq ans, nous pouvons tirer les conclusions suivantes :

— sur toutes les situations pédoclimatiques, la pratique de la monoculture x travail superficiel continu à l'offset appliquée aux produits soja et surtout riz pluvial, entraîne une réduction importante des marges brutes par rapport à ces mêmes produits pratiqués en rotation sur travail du sol profond et continu : les résultats économiques deviennent rapidement négatifs et le capital sol s'érode (Figures 42, 45, 46 et 48) :

— dans tous les cas étudiés le labour profond allié à la pratique des rotations et au faible niveau de fumure minérale, induisent toujours la meilleure stabilité économique :

- sur LVA, à fort risque climatique (Alvorada), les rotations combinant riz pluvial, maïs et soja autorisent des marges brutes variant entre 65 et 140 dollars par hectare et des taux de rentabilité de plus de 30 à 60 % (Figure 45),

- sur LVA, sans risque climatique (Mato Grosso), la rotation riz-soja est la plus stable et la plus lucrative : marges brutes de 76 à 169 dollars par hectare et taux de rentabilité de plus de 32 à plus de 61 % (Figures 46, 48, 49 et 51),

- sur les LVE, riches en matière organique (Golânia), les meilleurs systèmes sur labour profond continu sont : maïs — (riz+ engrais vert) et (*Cajanus cajan* + haricot) — riz qui permettent des marges brutes de 254 à 390 dollars par hectare et des taux de rentabilité de plus de 75 à plus de 120 % (Figure 42). Cependant, dans la recherche d'une meilleure planification agricole, les systèmes de double culture annuelle *Cajanus cajan* + riz et riz cycle court + haricot en semis direct, bien que moins lucratifs, entraînent une meilleure valorisation et capacité du parc matériel, et méritent d'être retenus (schéma 4).

2.2.5 - Conclusions et recommandations techniques

2.2.5.1 - Conclusions techniques

Les divers modes de gestion du profil cultural conditionnent, à très court terme, des évolutions très différenciées du profil cultural et par conséquent influencent fortement les conditions de croissance des cultures, leurs productivités et stabilité.

La technique de labour profond continu, associée à la pratique de rotations de cultures et variétés adaptées, constitue, sans l'ombre d'un doute, le premier facteur de stabilité économique et de minimisation des risques économique et climatique dans les trois conditions pédoclimatiques étudiées.

Au cours du temps, l'amélioration constante du profil cultural permet d'utiliser aussi les techniques de labour de fin de cycle et de scarification profonde, qui augmentent considérablement la flexibilité des calendriers agricoles et la capacité des machines (schéma 4).

Sur le plan méthodologique, la démarche pluri et interdisciplinaire a permis une ample diffusion des résultats, tout en accumulant des connaissances agronomiques décisives sur la fixation de l'agriculture dans ces trois régions. Ces travaux, en grande partie réalisés en

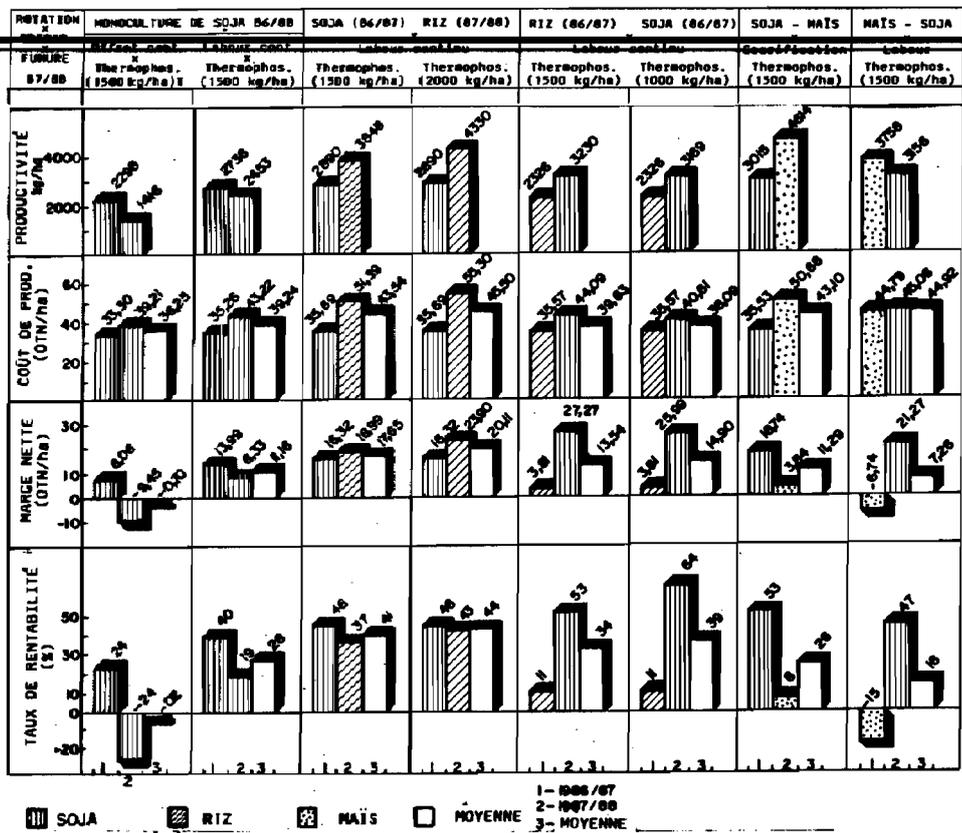
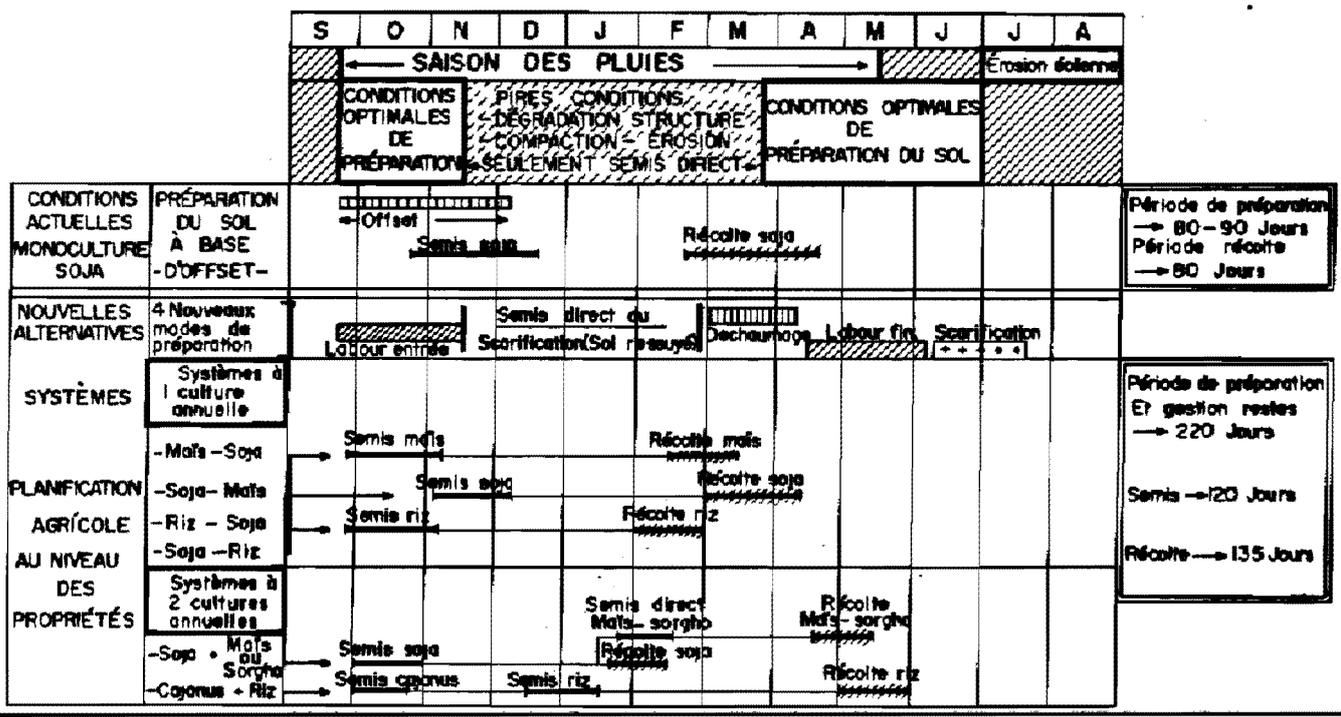


Fig. 51 - MEILLEURES NOUVELLES ALTERNATIVES SYSTEMES DE CULTURES COMPAREES AU TEMON DU PRODUCTEUR (T), FAZENDA PROGRESSO (1986/88).



SCHEMA 4-Capacité du parc matériel et flexibilité des calendriers culturaux dans le système de monoculture et sur les nouvelles alternatives systèmes (Fazenda Progresso - MT, L. SEGUY 1988.)

milieu réel, mettent en évidence la nécessité d'établir un diagnostic préalable à toute création de la recherche appliquée, et de hiérarchiser, pas à pas, les facteurs limitants agro-techniques dans ce processus de fixation. Enfin, cette démarche a démontré son efficacité pour l'aide aux prises de décision des producteurs dans ces trois régions, pour la diffusion de technologies simples jusqu'aux systèmes de cultures dans leur intégralité ; la diffusion des alternatives a pu, grâce à notre démarche, se faire de producteur participant à producteurs intéressés et a pu identifier bon nombre de sujets de recherches thématiques importants pour assurer le progrès constant des recherches appliquées.

2.2.5.2 - Recommandations techniques après cinq ans d'études

Après la nécessaire correction de la fertilité chimique des sols (calcaire et P_2O_5), et le montage d'un dispositif antiérosif adéquat (systèmes de bases larges sur les pentes supérieures à 3-4%) nous recommanderons après cette première phase des travaux :

— sur LVA, pauvre en matière organique, et dans les régions à faible risque climatique (Mato Grosso) :

- techniques de labour profond continu x rotations soja-riz ou riz-soja et le niveau faible de fumure minérale (A_1),
- techniques de scarification profond et labour de fin de cycle pour la rotation maïs-soja et les successions annuelles (soja de cycle court + maïs, soja de cycle court + sorgho),
- technique de zéro tillage (semis direct) sur maïs en présence de couverture morte permanente (*calopogonium*) et de thermophosphate,
- utilisation de thermophosphate associée au labour profond d'entrée de saison des pluies, sans passage d'offset avant semis, pour la culture de riz (variété Cabaçu).

— sur LVA, pauvres en matière organique, et dans les régions à risque climatique élevé (Alvorada - centre du Goiás) : technique de labour profond continu x rotation maïs-soja en priorité ; la culture de riz pluvial plus sensible, si elle est pratiquée, devra entrer en rotation avec soja x labour profond x niveau faible de fumure x semis simultané de deux variétés adaptées et de cycle différent (Guarani et Rio Paranaíba) ;

— sur LVE, riches en matière organique, (Goiânia et sud du Goiás) nous recommanderons la même technique de labour plus celle de labour de fin de saison des pluies et la scarification profonde ; ces deux dernières techniques devront être utilisées en priorité sur les cultures de semis précoce (maïs et engrais vert) et sur les successions de cultures annuelles (riz de cycle court suivi de haricot de fin de saison des pluies en semis direct. — *Cajanus cajan* + riz) ; seront privilégiées dans les assolements annuels les rotations légumineuses-céréales comme riz de cycle moyen — (*Cajanus cajan* + haricot) et maïs - (riz de cycle court + engrais vert).

Ces recommandations décisives peuvent être appliquées sans investissements onéreux, car les coûts de production des modes de préparation de sols représentent seulement 6 à 15 % des coûts totaux de production, coûts dérisoires par rapport à leurs effets bénéfiques agro-économiques à court et à long termes (Figure 36).

Chapitre III

Adaptation des techniques de semis direct dans les Cerrados du Mato Grosso : concept, écueils, performances agro-économiques et techniques, perspectives

In : Des modes de gestion mécanisés des sols et des cultures aux techniques de gestion en semis direct, sans travail du sol, appliqués au Cerrados du Centre Ouest Brésilien.

L. SEGUY et al, 1989, IRAT

On ne saurait aborder ce chapitre sans, au préalable, rappeler ce que sont les techniques de semis direct (no tillage) au Brésil, puisqu'elles sont à l'origine de nos travaux actuels dans ce domaine.

3.1 - Les techniques de semis direct au Brésil : importance et caractérisation

■ Leur importance

Les techniques de semis direct sont nées dans le monde avec l'apparition de l'herbicide Paraquat en 1956 ; plus tard, Allis Chalmers lançait sur le marché des semoirs capables de semer sans travail préalable du sol.

Au Brésil, des recherches intensives sur ces nouvelles techniques ont été initiées en 1971, dans l'Etat du Parana, au sud du Brésil (IAPAR). Les premières machines de semis direct sont apparues sur le marché brésilien en 1973.

Aujourd'hui ces techniques en pleine expansion couvrent **plus d'un million d'hectares** dans les Etats du Sud, en régions subtropicales et subtropicales d'altitude, à climat très contrasté comportant un hiver froid (Etat du Parana principalement, puis plus récemment Rio Grande do Sul, São Paulo, Mato Grosso do Sul, Santa Catarina).

La rapide expansion de ces techniques est due à la conjonction de travaux de recherches intensifs et remarquables conduits d'abord par l'Institut agronomique de l'Etat de Parana (IAPAR)⁽¹⁾ depuis 1971, puis par les instituts des Etats du Sud, du dynamisme exceptionnel **des coopératives de la fondation ABC** (Ponta Grossa, Parana) et de la prise de conscience aiguë des agriculteurs face à la perte continue et catastrophique de leurs terres par l'érosion.

Des investissements considérables ont été consentis, et aujourd'hui, avec l'avènement de nouveaux herbicides, de machines de semis plus performantes, le dynamisme et les acquis considérables de la recherche, le semis direct n'est plus une expérience, mais une technique bien établie et dominée par les meilleurs agriculteurs.

Grâce à ces efforts considérables, le Brésil est aujourd'hui sans conteste, tant sur le plan de la recherche que sur le plan technologique opérationnel, le pays tropical le plus en avance dans le domaine de la maîtrise de l'érosion, et la pratique d'une agriculture performante, préservatrice du milieu physique et économe en intrants (Etats du Sud Brésil et du Parana principalement).

■ Caractérisation des techniques de semis direct

Le semis direct est un système de semis dans lequel la semence est placée directement dans le sol non remanié, grâce à des machines spéciales ; seul un petit sillon, ou un trou de poquet est ouvert, de profondeur et largeur suffisantes pour garantir une bonne couverture et un bon contact de la semence avec le sol. L'élimination des mauvaises herbes avant et après le semis est généralement faite par l'emploi d'herbicides.

(1) On ne saurait aborder les techniques de semis direct au Brésil sans citer quelques uns des grands noms de la recherche des Etats du Sud, qui ont catalysé la mise au point de ces techniques par la qualité de leurs travaux : F.S. Almeida, B.N. Rodrigues, V.F. Oliveira, C. Castro Filho, A. Mondardo, R.M. Biscaini, R. Derpsch, N. Sidras, F.X. Heinzmann, G.S. Farias, K. Igue, H. Lorenzi, J.A. Machado, A.C.R. Brum, O. Muzilli, J.C. Henklatin, C.H. Roth, Z.L. Silva, M.J. Vieira.

■ Conditions de bases requises

Le semis sans aucune préparation mécanique du sol a été possible grâce simultanément à :

- la mise au point d'herbicides efficaces tant avant qu'après le semis ;
- le développement de machines appropriées pour le semis dans n'importe quelle couverture morte ou vive (nature, volume) ;
- des technologies adaptées aux conditions du Brésil subtropical.

Les acquis sont tels dans ces différents domaines que l'on connaît bien aujourd'hui en régions subtropicales les avantages et les limitations de ce système.

■ Avantages des techniques de semis direct en régions subtropicale et subtropicale d'altitude du sud Brésil (J.Z. Mazuchowski, R. Derpsch, 1984)

▲ Contrôle très efficace de l'érosion, sans aucun remodelage de la surface du sol (conservation du sol, de l'eau, des éléments minéraux et de la matière organique), réduction de la pollution des eaux (courantes et nappes).

▲ Moindre évaporation et enmagasinement accru de l'eau dans le sol, provoquant une meilleure germination et émergence des semences et réduisant le risque climatique.

▲ Possibilité de planter de six à douze heures après une très forte pluie contre trois à six jours en semis conventionnel.

▲ Réduction et moindre amplitude de la température du sol.

▲ Economie de temps et de combustible : le gain de combustible est environ des deux tiers par rapport aux techniques traditionnelles.

▲ Plus grande facilité d'exécuter le semis au moment recommandé et possibilité d'effectuer un semis en chaîne derrière la récolte d'une culture.

▲ Maintien et même augmentation du niveau de matière organique du sol au cours du temps.

▲ Aucune agression à la structure du sol.

▲ Augmentation de la vie biologique du sol (annélidés arthropodes, bactéries, etc.) grâce à une moindre amplitude de la température du sol et à des conditions d'humidité plus favorables.

▲ Evite les resemis fréquents en semis conventionnels à cause des pluies torrentielles érosives.

▲ Moindre usure des moissonneuses batteuses qui circulent sur un sol non érodé, plat.

▲ Durée de vie augmentée des tracteurs.

▲ Economie substantielle de main-d'œuvre.

■ Limitations et conditions requises pour l'utilisation de ces techniques de semis direct dans le sud du Brésil (Mazuchowski, J.Z ; Derpsch, R., 1984)

▲ Qualification de l'agriculteur qui doit connaître et dominer toutes les phases opérationnelles du système.

▲ Bon drainage du sol, les sols engorgés permanents sont peu aptes (nappe perchée)

- ▲ Elimination d'horizons compactés qui affectent négativement les relations eau-sol-culture.
- ▲ Surface plane nivelée du terrain.
- ▲ Correction de l'acidité du profil cultural réalisée avant de commencer le semis direct.
- ▲ Les niveaux de fertilité doivent être corrigés si nécessaire, principalement pour le phosphore, avant d'implanter ce système.
- ▲ Couverture indispensable par les résidus de récolte, d'au moins 50 % du sol (ne jamais brûler).
- ▲ Utilisation de broyeurs de pailles sur les moissonneuses pour répartir les pailles de façon homogène.
- ▲ Utilisation de rouleau à cornières (type landais) pour coucher les résidus de récolte et les laisser enracinés pour faciliter le semis ultérieur.
- ▲ Absence de fortes manifestations d'adventices pérennes compétitives.

3.2 - Adaptation des techniques de semis direct dans les cerrados humides du Mato Grosso

La transposition pure et simple des mêmes techniques de semis direct des régions subtropicales du sud Brésil, aux régions tropicales plus chaudes du centre est extrêmement difficile, pour ne pas dire impossible, en raison des multiples différences fondamentales de conditions pédoclimatiques, entre ces deux situations.

L'existence d'un climat très contrasté au sud avec une saison froide ralentit considérablement la minéralisation de la matière organique par rapport aux régions plus chaudes des Cerrados du centre ; les sols ferrallitiques sont généralement plus riches en matière organique et disposent d'un excellent squelette structural, relativement stable, ce qui n'est pas le cas dans les Cerrados du centre où les sols, déjà moins riches en matière organique au départ, sont extrêmement sensibles à l'action des outils, se destructurent et se compactent très rapidement (L. Séguy *et al.*, 1988).

En outre, le sud du Brésil bénéficie de conditions climatiques qui permettent de réaliser une seconde culture de saison froide (blé par exemple) ou des engrais verts pour reconstituer la couverture du sol, recréer une forte macroporosité, recycler les éléments minéraux, et lutter contre les adventices (allélopathies cumulées des couvertures mortes des deux cultures successives).

Au contraire, dans les Cerrados du centre, on ne dispose que d'une seule culture de saison des pluies, et la saison sèche, de cinq à six mois, ne permet aucune culture sans irrigation et donc aucune possibilité évidente de reconstituer la couverture du sol, qui le protégerait contre la température et les adventices qui se multiplient après la récolte.

En outre, une grande partie des Cerrados de l'ouest (Mato Grosso du Nord par exemple) se situe à une altitude inférieure à 500 m, sous des climats très souvent extrêmement agressifs — intensités pluviométriques très fortes et pluviométrie annuelle dépassant 2 000 mm en sept mois (Figure 52). Ces conditions rendent les possibilités d'adaptation de ces techniques encore plus difficiles, mais d'autant plus nécessaires pour la lutte contre l'érosion qui constitue le facteur prioritaire d'intervention de la recherche (L. Séguy *et al.*, 1987).

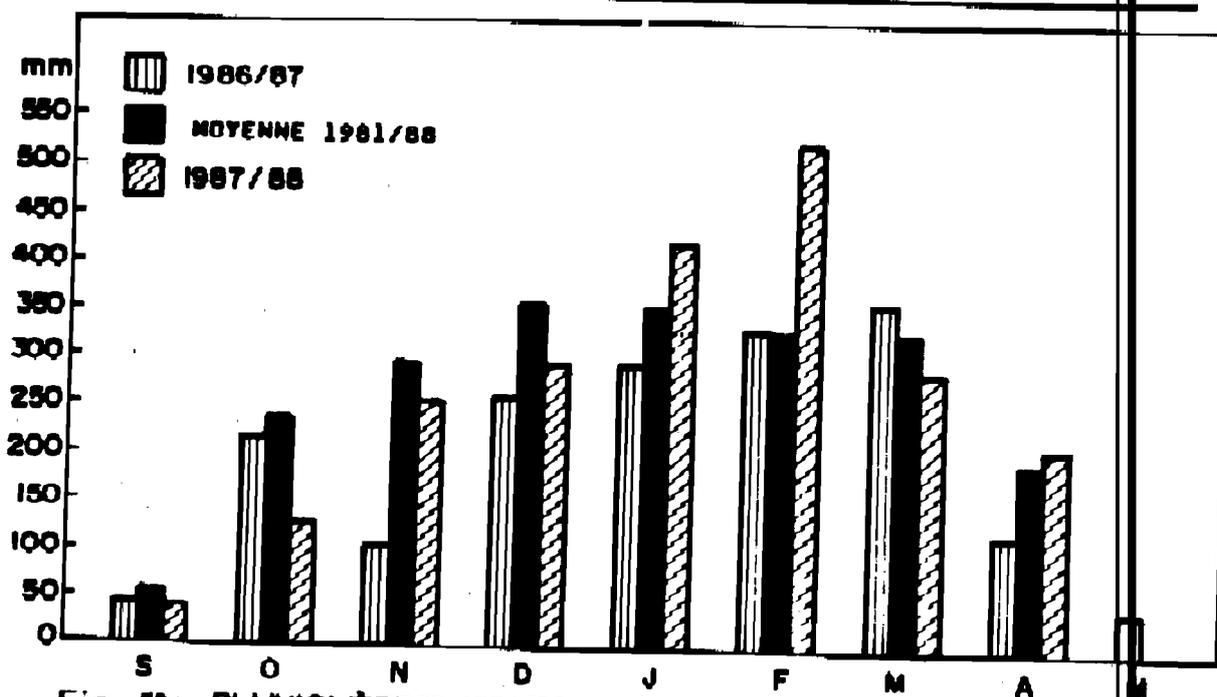


Fig. 52.- PLUVIOMÉTRIE 1986/88 ET MOYENNE DE 7 ANS.

La mise au point des techniques de semis direct dans les Cerrados du centre-ouest du Brésil se heurte donc à des conditions climatiques beaucoup plus sévères, sur des sols très sensibles à l'érosion et aux interventions mécaniques, et nécessite donc une approche spécifique, tout en conservant les principes essentiels énoncés dans le chapitre antérieur.

3.2.1 - Concept, étapes et écueils de l'adaptation des techniques de semis direct dans les Cerrados du centre-ouest

3.2.1.1 - Premier écueil et solution :

comment assurer une couverture permanente du sol en zone de Cerrados ?

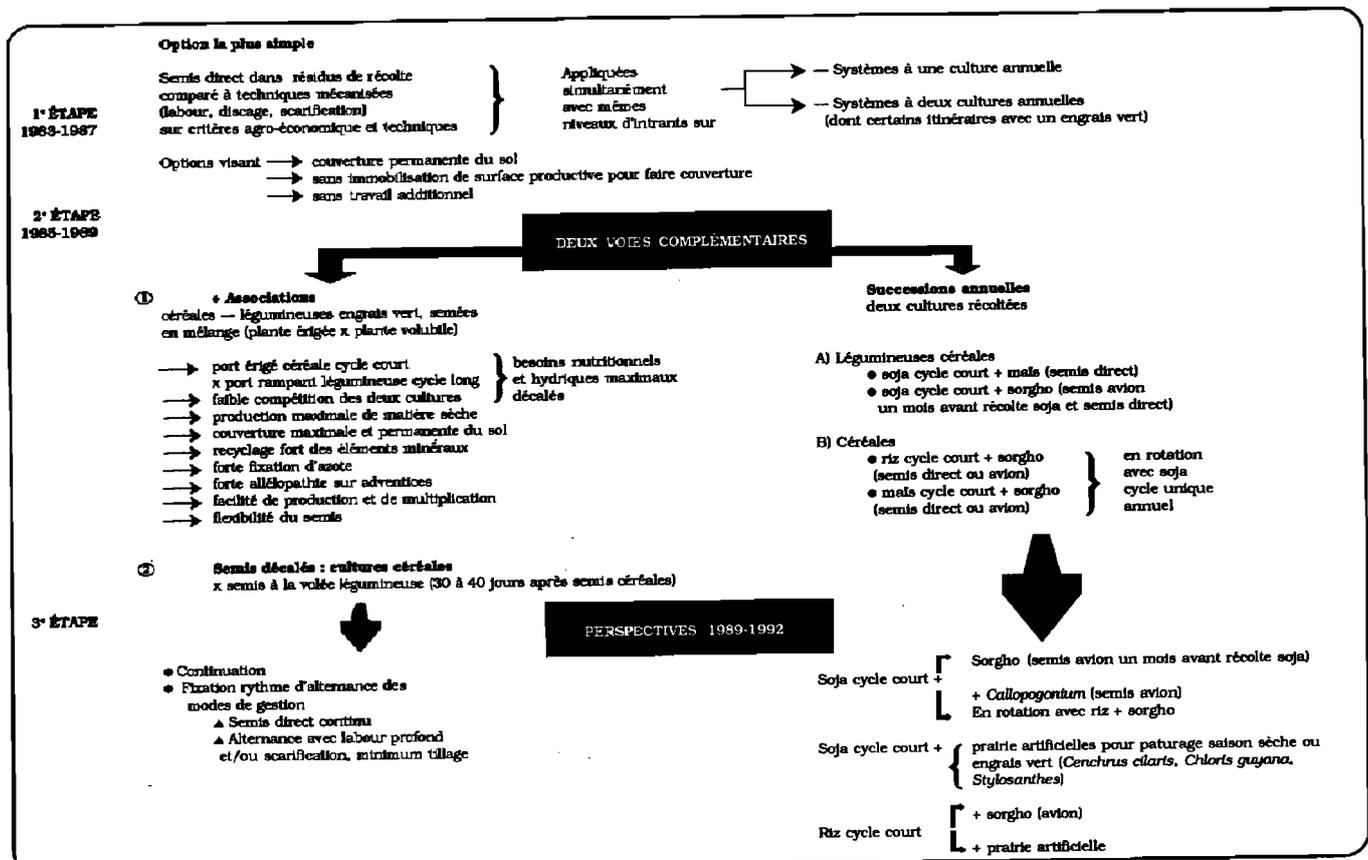
La protection permanente du sol par une couverture morte ou vive (à condition qu'elle ne soit pas compétitive pour la culture) est une des clés décisive du succès de l'implantation du semis direct sans travail du sol, dès lors que l'on a, au préalable corrigé les principaux défauts physico-chimiques et biologiques du profil cultural.

Rappelons ses principaux effets bénéfiques et cumulatifs sur profils ferrallitiques du Parana :

- régularisation de la température du sol (Sidiras, Vieira, 1981) ;
- protection de la structure (Sidiras et al., 1981) ;
- meilleure infiltration de l'eau (Sidiras et al., 1982 ; Faria et Rodrigues, 1983) ;
- protection quasi totale contre l'érosion (Mondardo et Biscata, 1981) ;
- effets allélopathiques limitant efficacement la germination et l'émergence des adventices et influençant fortement la sélection des espèces, donc leur contrôle chimique (Almeida, 1983, 1984).

La première étape de nos travaux de 1983 à 1987 a été focalisée d'abord sur la pratique de l'option la plus simple : mise au point du semis direct dans les résidus de récolte (Tableau 18), dans des conditions extrêmement difficiles pour le maintien d'une couverture morte

Tableau 18 : Concept et principales étapes de la mise au point des techniques de semis direct dans les Cerrados du Centre-Ouest.



(Etat du Mato Grosso : pluviométrie supérieure à 2 000 mm, faible amplitude thermique, écosystème pré-amazonien).

Les évolutions de la perte de poids de matière sèche et du pourcentage de couverture du sol pour les différents résidus de récolte sont montrés dans le tableau 15 et attirent les premières conclusions suivantes.

Tableau 15 : Evolutions de la perte de matière sèche des résidus de récolte et de l'indice de couverture du sol, Mato Grosso, 1985-1989, L. Séguy, S. Bouzinac.

Résidus	Nombre de jours après 1 ^{ère} pluies	Evolution de la perte de poids de matière sèche sur le sol (kg/ha)	Indice de couverture du sol ⁽¹⁾ (%)
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	7
	120	-	-

▲ L'évolution des résidus de récolte est extrêmement rapide dès le début de la saison des pluies, dès lors que ces résidus sont en contact avec le sol et facilitent la multiplication active de la macro et mésofaunes.

▲ La perte de matière sèche est plus lente pour les résidus les plus riches en lignine et cellulose : riz, maïs et sorgho.

▲ Dans tous les cas, le sol n'est plus couvert à 50 %, à partir de la huitième semaine après le début de la saison des pluies (Tableau 15).

Le sol n'étant plus suffisamment protégé, il est très rapidement soumis à l'action négative de deux facteurs qui affectent le rendement des cultures :

— prolifération des adventices comme le montrent les tableaux 9, 10 et 16 ;

— sensibilité accrue aux fortes intensités pluviométriques qui se traduit par une hausse rapide de la densité apparente, et donc une baisse corrélative de la macroporosité et une nette augmentation concomitante de la résistance mécanique à la pénétration (Tableau 14, Figures 53, 54 et 55).

Cette évolution est d'autant plus rapide que la disparition de la couverture est elle-même accélérée (Tableau 15), comme c'est le cas du *Cajanus cajan* (Guandu) dont les tiges les plus fines et les feuilles disparaissent en moins de quinze jours dès qu'elles sont mises en contact avec le sol.

Cette évolution a pour principale conséquence immédiate de réduire le développement racinaire en profondeur par rapport aux techniques de travail profond sur les cultures de soja et de riz comme l'indiquent les figures 56, 57 et 58.

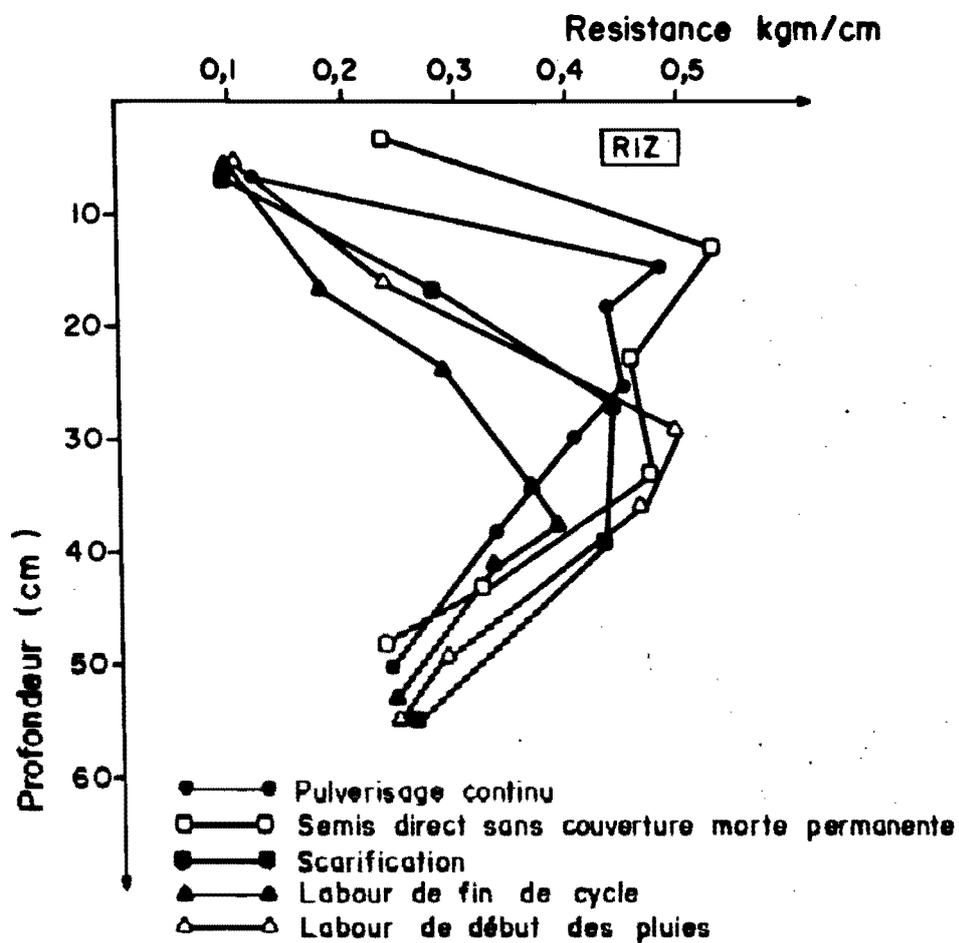


Fig. 53-RESISTANCE MECANIQUE A LA PENETRATION (en kgm/cm) SOUS DIVERS MODES DE GESTION DU SOL. FAZ. PROGRESSO/MT - 1989.

Fig. 54 - RESISTANCE MECANIQUE A LA PENETRATION (en kg/cm) SOUS DIVERS MODES DE GESTION DU SOL. FAZ. PROGRESSO/MT - 1989.

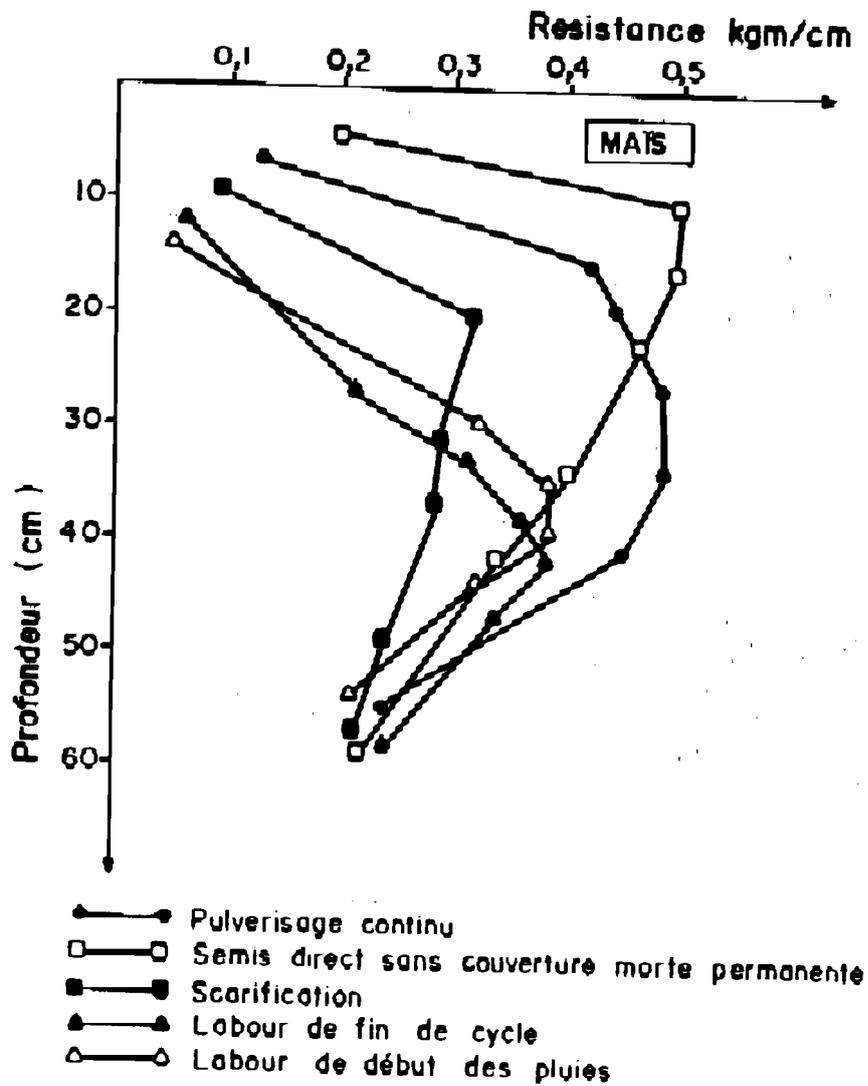
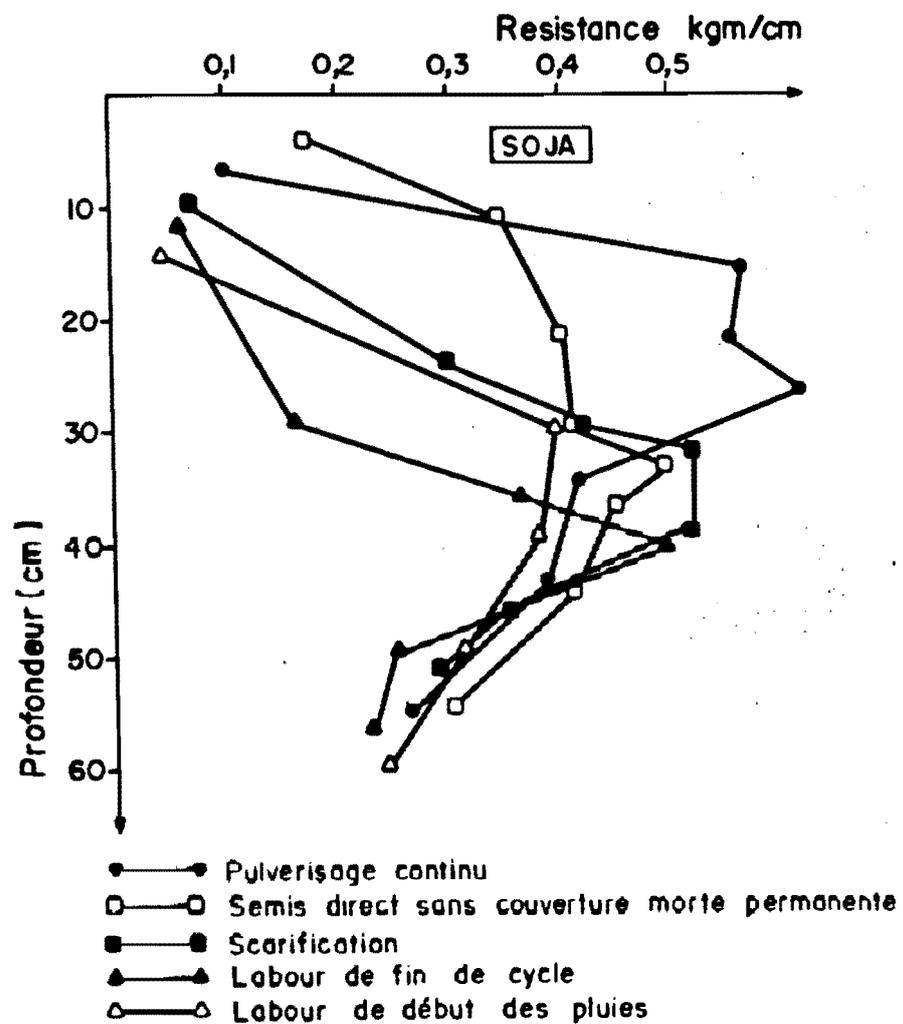


Fig. 55 - RESISTANCE MECANIQUE A LA PENETRATION (en kgm/cm) SOUS DIVERS MODES DE GESTION DU SOL. FAZ. PROGRESSO/MT - 1989.



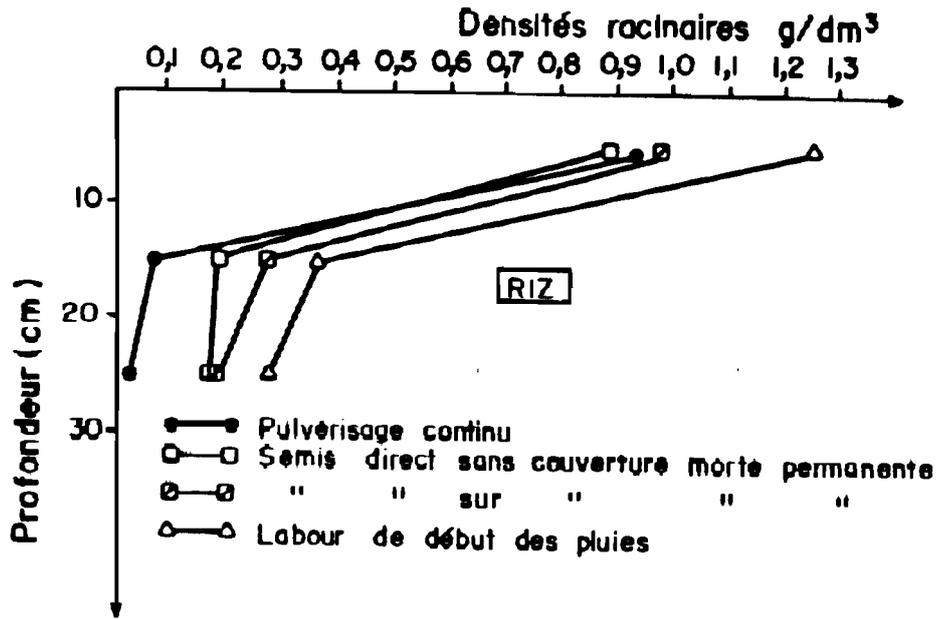


Fig. 56 - DENSITES RACINAIRES (en g/dm³) SOUS DIVERS MODES DE PREPARATION DU SOL. FAZ. PROGRESSO/MT - 1989.

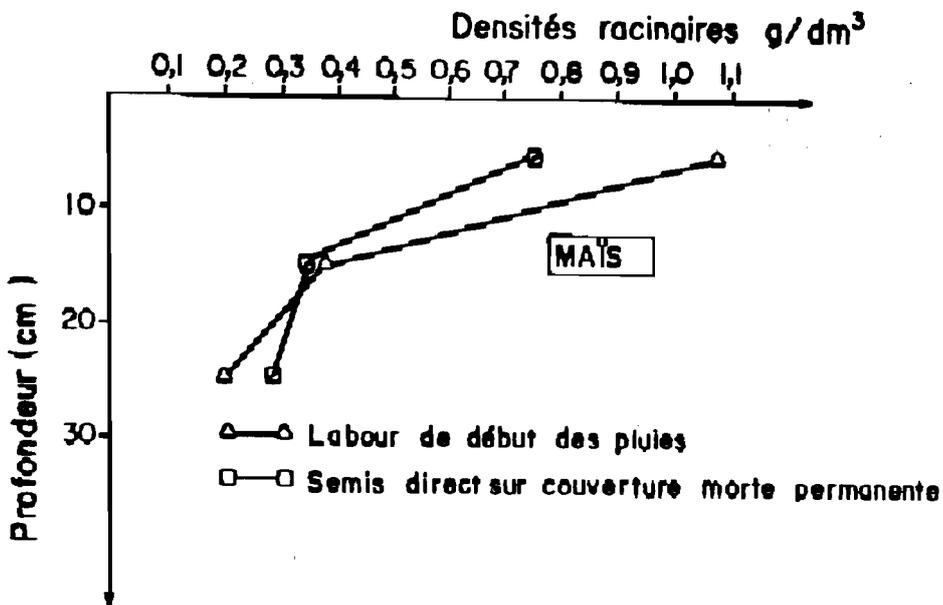


Fig. 57 - DENSITES RACINAIRES (en g/dm³) SOUS DIVERS MODES DE PREPARATION DU SOL. FAZ. PROGRESSO/MT - 1989.

Tableau 18 : Indice de couverture du sol et principales adventices relevées dans les cultures de maïs et sorgho des successions annuelles, quarante-cinq jours après la récolte de la première culture (soja IACB) — Fazenda Progresso — MT, 1989.

Succession de cultures (1988-1989)	Précédent (1987-1988)	Semis direct sans couverture morte permanente		Scarification profonde	
		Indice de couverture ⁽¹⁾	Adventices dominantes ⁽²⁾	Indice de couverture ⁽¹⁾	Adventices dominantes ⁽²⁾
soja + maïs	maïs	7	<i>Acanthospermum, Cenchrus, Ageratum</i>	4	<i>Digitaria</i>
	cajariús + riz	8-9	<i>Cenchrus, Digitaria</i>	8	<i>Digitaria, Eleusine, Cenchrus</i>
	soja + maïs	9-10	<i>Cenchrus, Digitaria</i>		<i>Acanthospermum, Cenchrus, Bidens</i>
soja + sorgho	sorgho	7	<i>Acanthospermum</i>	2	<i>Cenchrus, Acanthospermum</i>
	riz + <i>callopogonium</i>	9-10	<i>Cenchrus, Ageratum</i>	9	<i>Cenchrus, Ageratum, Euphorbia</i>
	soja + sorgho	8	<i>Cenchrus</i>	9	<i>Acanthospermum, Cenchrus, Digitaria</i>
riz + <i>callopogonium</i>	soja + sorgho	10	<i>Callopogonium</i>	10	<i>Callopogonium</i>
Cajariús + riz	soja + maïs	6	<i>Digitaria</i>	4-6	<i>Digitaria</i>
maïs + sorgho	soja + sorgho	1-2 ⁽³⁾	<i>Cenchrus</i>	1-2 ⁽³⁾	<i>Hyptis</i>
	soja + maïs	9	<i>Cenchrus, Ageratum</i>	1-2 ⁽³⁾	<i>Hyptis</i>

(1) Echelle visuelle de couverture du sol : 1 = 10%, 2 = 20%, 10 = 100 %
 (2) Noms de genre, classés par ordre décroissant d'importance.
 (3) Disséminé sur soja (Parquet).

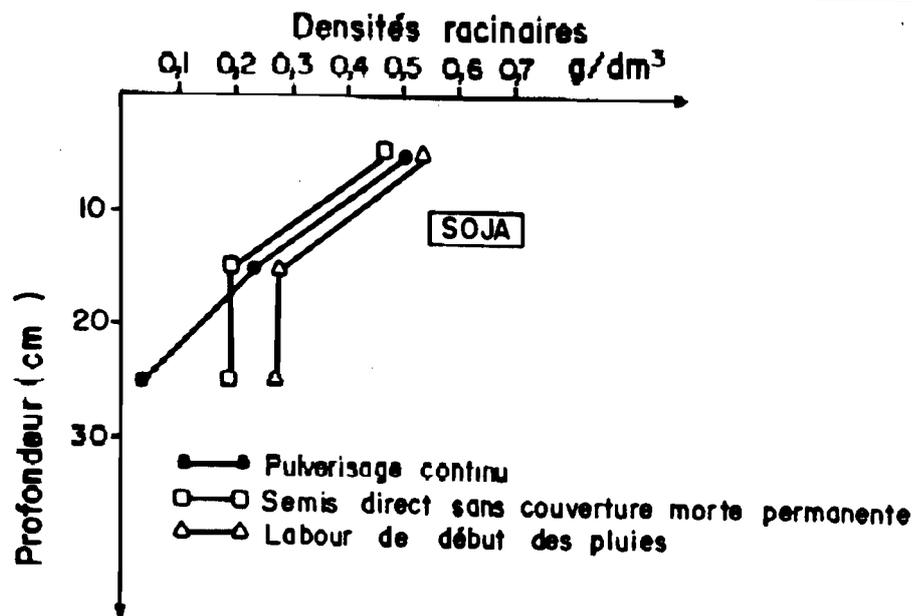


Fig. 58 - DENSITES RACINAIRES (en g/dm³) SOUS DIVERS MODES DE PREPARATION DU SOL. FAZ. PROGRESSO/MT - 1989.

On notera cependant que le développement racinaire des cultures sous semis direct dans les résidus de récolte est toujours plus abondant en profondeur que celui obtenu par les techniques de pulvérisage à l'offset qui constituent, sans aucun doute, le pire des traitements agronomiques pour le profil cultural.

3.2.1.2 - Deuxième écueil et solution :
comment assurer une couverture permanente,
sans pour ce faire immobiliser une surface productive,
et sans travail ni équipements additionnels ?

Au premier écueil, purement agronomique, s'ajoute maintenant une forte entrave de nature économique : en effet, dans le Cerrado central, on ne pratique qu'une seule culture par an en saison des pluies ; en saison sèche, sauf irrigation pas de possibilité de culture.

On pourrait donc imaginer, au vu des résultats de la première étape, trois voies de recherche possibles comme l'indique le tableau 18 :

- immobiliser une partie de l'assolement pour produire la couverture morte permanente, donc fixer son rythme de retour dans l'assolement en fonction des résidus de récolte de chaque culture et de leur vitesse de décomposition ;
- trouver des types d'associations de cultures qui permettront de cultiver et récolter toute la surface, tout en renforçant, et la couverture du sol et sa permanence ;
- développer des systèmes à deux cultures annuelles de cycle court, soit récoltées, soit comportant une culture d'engrais vert qui assurera la couverture après la récolte de la première culture.

Dans tous les cas, il était impératif de formuler nos propositions pour qu'elles soient très facilement **praticables** et **reproductibles** avec le minimum de travail additionnel possible, conditions indispensables à une adoption rapide des techniques proposées.

Le tableau 18 résume dans la partie deuxième étape, les critères retenus pour le choix des espèces à associer avec les cultures et les différentes modalités de leur utilisation pratique.

Depuis 1985, ces diverses voies ont été explorées, les principaux résultats praticables obtenus peuvent être résumés ainsi :

■ Le secret de la résistance à la décomposition des couvertures mortes réside dans sa structure à l'état sec et ses relations avec le sol : les structures foliées sont celles qui sont les plus durables, qui assurent la meilleure et la plus complète couverture sans nécessairement être très lignifiée ; c'est le cas des espèces :

— *Callopongium mucunoïdes* (légumineuse native du Mato Grosso que nous avons retiré de sa position d'adventice concurrente du soja pour la domestiquer au profit des associations avec céréales riz et maïs) ;

— *Stizolobium aterrimum* (mucuna noire) à structure semblable à l'état sec.

Ces légumineuses^(cf. 1) sont volubiles, de cycle long. Après un démarrage lent, elles prennent leur plein développement après la récolte de la céréale de cycle court associée.

Ce développement se fait, faute de tuteur, sous forme d'un empilement de lianes qui leur donne cette structure foliée à l'état sec sur plus de 15 cm d'épaisseur (photos 1 à 4, plantes de couverture).

Cette structure, en très nombreux feuillets empilés, ne laisse en contact avec le sol (donc avec la macro et mésofaunes responsables de leur dégradation rapide) qu'un seul feuillet isolant les autres de l'action de la faune du sol ; la décomposition se fait donc au fur et à mesure que les feuillets sont mis les uns après les autres en contact avec le sol, puis dégradés et minéralisés, ce qui explique la lenteur de la décomposition, comme le montrent les résultats du tableau 17.

Tableau 17 : Evolutions de la perte de poids de matière sèche du mélange *callopongium* + pailles et de l'indice de couverture du sol. Fazenda Progresso, Mato Grosso, 1986-1988, L. Séguy.

Dates	Evolution du poids de matière sèche ⁽¹⁾ (kg/ha)	Evolution de l'indice de couverture ⁽²⁾ (%)
Fin de saison sèche septembre 1986 ⁽³⁾	12 540	100
Fin de saison des pluies avril 1987	6 950	87
Fin de saison sèche septembre 1987 ⁽⁴⁾	17 200	100
Fin de saison des pluies avril 1988	6 400	82

(1) Moyenne de six répétitions (placettes de 2m²).

(2) Echelle : 0 = 0 % de couverture, 100 = 100 % de couverture.

(3) Mélange *callopongium* sec + pailles de riz.

(4) Mélange *callopongium* sec + pailles de maïs.

(1) D'autres espèces telles que : *Canavalia ensiformis*, *Pueraria phaseoloides*, *centrosema pubescens*, *Glycine wightii*, *Macroptilium atropurpureum*, *Labiab purpureus* sont de ce type et également intéressantes pour les associations avec céréale en mélange (à voir en fonction des conditions pédoclimatiques locales).

■ De toutes les espèces testées, nous avons retenu *Callopogonium mucronoides*, espèce qui réunit le mieux l'ensemble des critères d'association requis avec les céréales riz et maïs (Tableau 18) :

- native de la région, elle y est parfaitement adaptée ;
- possède une croissance initiale lente, un cycle très long (six à sept mois), donc peu ou pas de compétitivité pour la céréale (eau et éléments minéraux), de toute façon largement compensée par son effet couverture du sol (lutte contre les adventices et diminution de l'évaporation du sol) ;
- production maximum de matière verte à l'hectare :
 - plus de 42 t/ha au Mato Grosso à la floraison,
 - entre 32 et 40 t/ha à Goiânia,
 - soit plus de 8 t/ha de matière sèche ;
- complète couverture du sol et lente décomposition qui permet avec la paille de céréales en mélange de maintenir le sol couvert à plus de 80 % pendant plus de seize mois à partir de son plein développement ;
- se resème naturellement et devient annuelle ;
- très fort recyclage d'éléments minéraux par la surface comme l'attestent les analyses du tableau 19 ;
- forte fixation d'azote dans la rhizosphère comme l'indique le tableau 20 ;
- forte allélopathie sur les adventices parmi les plus compétitives des céréales : *Digitaria horizontalis* et *truncata*, *Eleusine indica*, *Echinochloa colonum* ; mais sélectivité uniquement sur deux espèces principales facilement contrôlées par les herbicides : *Cenchrus echinatus* et *Bidens pilosa* ;
- enfin, facilité de reproduction et de multiplication :
 - production annuelle de 500 à 900 kg/ha de semences récoltables à la main et à la moissonneuse-batteuse⁽¹⁾,
 - semis de 4 à 6 kg/ha de semences en mélange avec 40-50 kg/ha de riz pluvial ; la récolte d'un hectare de *callopogonium* (plus de 500 kg) permet donc de ressemer une surface d'au moins 100 hectare l'année suivante, sans travail additionnel, puisque le mélange de semences riz-*callopogonium* est semé avec un semoir commun à disques perforés utilisé pour le riz.

Ce semis en mélange avec le riz pluvial a permis d'atteindre notre objectif de couverture permanente depuis quatre ans ; l'examen de l'évolution des propriétés physiques (densités apparentes, résistance mécanique à la pénétration) dans ce profil sur semis direct continu, montre un comportement similaire à celui obtenu sous profil cultural de labour continu qui lui permet de recréer la macroporosité à chaque cycle. Ces résultats confirment :

- l'effet de protection de la couverture morte à l'égard à la fois des agents climatiques (fortes intensités pluviométriques) et du trafic des machines à la surface du sol
- l'existence d'un véritable travail biologique du sol continu grâce à la fois à différents systèmes racinaires associés et l'intense vie biologique qui se développe dans ce système de semis direct (macro, mésofaune et microflore bactérienne en particulier) [Tableau 22].

(1) Nécessité d'enlever les doigts escamotables de la vis horizontale de la barre de coupe et de récolter à vitesse très lente.

Tableau 19 : Analyses minérales du mélange pailles de riz + *calloponium* en fin de saison sèche et recyclage des minéraux par hectare. Fazenda Progresso, Mato Grosso, L. Ségué, S. Bouzinac.

Eléments minéraux	% de la matière sèche totale	Recyclage d'éléments minéraux (kg/ha) ⁽¹⁾
N	1,44	180
P	0,15	19
K	0,25	31
Ca	1,00	125
Mg	0,28	35
	(ppm)	(g/ha)
Zn	26	326
Cu	7	88
Mn	70	877

(1) Sans compter l'azote fixé par les racines et les restitutions des systèmes racinaires

Tableau 20 : Fixation d'azote atmosphérique par quelques légumineuses tropicales.

Légumineuse	N fixe (kg/ha/an)	Références bibliographiques
<i>Calloponium</i>	370-450	Agboala et Fayemi, 1972
<i>Crotalaria</i>	154	Mello, 1978
<i>Stizolobium aterrimum</i> (Mucana noire)	157	Mello, 1978
Soja pérenne	160-450	Nutman, 1971
Stylosanthes	30-196	Nutman, 1971
Centrosema	112	Nutman, 1971

Source : Engrais vert au Brésil, Fondation Cargill, 1984 (p. 201).

3.2.1.3 - Troisième écueil et solution (de natures purement technique et agronomique) : quelles machines de semis et quels herbicides ?

■ Quelles machines ?

Cette question était de taille : elle est maintenant résolue grâce à des investissements considérables aussi bien de la part des petits que des grands constructeurs, et surtout grâce à la créativité des propres producteurs.

Le Brésil dispose aujourd'hui de multiples moyens de semis sur couverture morte :

— **manuels** : ce sont les **cannes planteuses** qui permettent en outre, de localiser la fumure ; elles sont produites à des millions d'exemplaires annuels, et sont vendues localement à des prix défiant toute concurrence (\pm 15 dollars US) ;

— **semoir à traction animale** : moins répandu, il est généralement l'œuvre d'adaptation par de petits constructeurs dans les Etats où la traction animale est très développée (Etats de Santa Catarina et du Parana) ;

Tableau 22 : Nombre de bactéries par gramme de sol sous divers modes de gestion du sol et des cultures. Fazenda Progresso, Mato Grosso. P. Arraes, L. Seguy, S. Bouzinac.

Modes de gestion des sols et des cultures	Profondeur	Nombre de bactéries par gramme de sol	
		en fin de saison sèche ⁽¹⁾	après premier mois de pluies (240 mm) ⁽¹⁾
Labour de fin de saison des pluies	0-10 cm	$1,23 \times 10^6$	$10,7 \times 10^6$
	10-20 cm	$1,17 \times 10^6$	$5,1 \times 10^6$
Semis direct sous couverture morte de <i>calopogonium</i> + pailles de riz	0-10 cm	$4,83 \times 10^6$	500×10^6
	10-20 cm	$1,63 \times 10^6$	$6,4 \times 10^6$

(1) Echantillon de sol moyens (moyenne de dix échantillons élémentaires pris au hasard dans chaque parcelle).

— **semoir à traction motorisée** (Photos 2 et 5, semoirs), leur mise au point a commencé par le montage de kits spéciaux sur les semoirs conventionnels : disques ouvreurs de sillons situés à l'avant des disques semeurs d'engrais et de semences ; plus tard sont apparus les disques ouvreurs gaufrés suivi d'un double disque de semis composé de deux disques de diamètres différents qui tournent donc à vitesses différentielles et évitent tout bourrage ; enfin, ces équipements ont été complétés par une double roue tasseuse en « V » ouvert vers le haut comportant un réglage de profondeur de semis assistés de systèmes complémentaires à ressorts pour renforcer la pénétration des disques (obstacles de l'importance de la couverture et de l'état d'humidité du sol) [Photo 5].

Les kits de Bernard Van Arragon, à la coopérative Castrolanda dans le Parana, sont de ce type et s'adaptent sur les semoirs Semeato.

Aujourd'hui, la plupart des grandes marques sont équipées, aussi bien pour le semis conventionnel sur préparation mécanisée des terres que sur semis direct en couvertures mortes (Semeato, PS6, PS8, PAR 2800 ; SLC, Turbomax, etc.). Toutes ces machines sont capables de semer avec bonne précision dans n'importe quel type de couverture.

■ Quels herbicides ?

L'absence de travail du sol dans ce système de semis direct est évidemment un handicap sérieux pour le contrôle efficace des adventices, même si l'écran et les effets allélopathiques des couvertures permettent de résoudre en partie ce problème (Tableaux 21, 23, 24 et 25). Ce problème devient encore plus ardu lorsqu'il est nécessaire d'utiliser des herbicides sur des mélanges céréales + légumineuses tels que riz + callopogonium ou maïs + mucuna noire.

Avec le développement récent de la troisième génération de matières actives herbicides de post-émergence dont certains produits sont très efficaces sur les graminées en pleine croissance, et d'autres sur dicotylédones, le contrôle des mauvaises herbes est devenu plus facile, excepté la résolution de ses aspects économiques qui nécessitent de la part de l'agriculteur de solides connaissances de l'évolution de sa flore pour agir à moindre coût.

Les principales règles de l'utilisation des herbicides en semis direct peuvent être résumées de la manière suivante :

▲ Généralement deux types d'intervention herbicide sont réalisées :

- une avant la culture sur les adventices émergées après les premières pluies ;
- une intervention après semis, ou à l'aide d'herbicide de pré-émergence résiduel classique, ou en post-émergence avec de nouvelles matières actives qui permettent un contrôle très efficace d'adventices développées en pleine croissance.

L'herbicide de nettoyage, avant semis de la culture, est généralement un mélange de matières actives pour éliminer un large spectre de la flore adventice ; les mélanges les plus utilisés à cet effet sont :

- Glyphosate + 2-4 D (1,5 l [480 g/l] + 1,5 l [400 g/l]/ha) ;
- 2-4 D + paraquat (1,5 l [400 g/l] + 1,5 l [200 g/l]/ha) ;
- paraquat + diuron (1 à 2 l [200 g/l] + 1 à 2 l [200 g/l]/ha).

Le dosage et les combinaisons varient suivant la diversité des espèces, leur nature et leur mode de reproduction.

Ensuite, l'herbicide est appliqué à chaque culture soit sous forme de résiduel ou de post-émergent (Tableau 21).

Tableau 21 : Principales matières actives herbicides utilisées pour les techniques de semis direct, sans travail du sol. Fazenda Progresso, Mato Grosso, L. Ségué, S. Bouzinae.

Cultures	I	Herbicides de nettoyage avant semis
Toutes cultures		<ul style="list-style-type: none"> ● Mélange Glyphosate + 2-4D⁽¹⁾ ● Mélange Paraquat + 2-4D⁽¹⁾ ● Mélange Paraquat + chlorof⁽¹⁾ ● Sur graminées seules : <ul style="list-style-type: none"> — Fluazifop-butyl — Fenoxa-prop-étyl — Sethoxydim
		} Utilisés seuls ou en mélange et dosages variables en fonction de la nature et du développement des espèces
Soja	II	Herbicides résiduels ou post-émergents appliqués sur cultures pures Résiduel : Alachlore (2,88 kg m.a./ha) Post-émergent : <ul style="list-style-type: none"> — sur graminées développées : <ul style="list-style-type: none"> - Fluazifop-butyl (0,375 kg m.a./ha) - Sethoxydim (0,230 kg m.a./ha) - Fenoxa-prop-étyl (0,180 à 0,240 kg m.a./ha) — sur dicotylédones développées : <ul style="list-style-type: none"> - Fomesafen (0,250 kg m.a./ha)
Mais		Résiduel : essentiellement Atrazine + Métolachlor (3 kg m.a./ha)
Riz		Résiduel : Pendiméthaline (1,5 kg m.a./ha) Post-émergents : <ul style="list-style-type: none"> — sur graminées : <ul style="list-style-type: none"> - Fenoxa-prop-étyl (0,18 kg m.a./ha) — sur dicotylédones : <ul style="list-style-type: none"> - 2-4D amine (0,72 kg m.a./ha)
Riz + callopogonium	III	Herbicides résiduels et post-émergents appliqués sur cultures associées (soja + légumineuse couverte) Résiduel : Pendiméthaline (1,5 kg m.a./ha) Post-émergents : <ul style="list-style-type: none"> — sur graminées : <ul style="list-style-type: none"> - Fenoxa-prop-étyl (0,18 kg m.a./ha) — sur dicotylédones : <ul style="list-style-type: none"> - 2-4D amine (0,40 kg m.a./ha)

(1) Laisser un intervalle de cinq à sept jours entre application et semis

Tableau 23 : Quelques plantes indicatrices des conditions de fertilité des sols⁽¹⁾.

Espèces	Peuvent indiquer
<i>Euphorbia heterophylla</i>	— Déséquilibre N/oligo-éléments (Cu, Mo)
<i>Aristida</i> sp.	— Pauvreté du sol en P ₂ O ₅ , Ca, K
<i>Digitaria insularis</i>	— Forte humidité, faible productivité en général
<i>Echinochloa crusgalli</i>	— Présence d'horizon réduit en surface
<i>Rynchelistrum repens</i>	— Sols secs en perte de fertilité, +/- érodés
<i>Brachiaria plantaginea</i>	— Sol en décadence, sol travaillé (allélopathie pour lui-même)
<i>Andropogon bicornis</i>	— Sols dégradés, très pauvres en matière organique, très acides
<i>Tagetes minuta</i>	— Sols infestés de nématodes, mal structurés
<i>Taraxacum officinalis</i>	— Présence de bore
<i>Galinsoga parviflora</i>	— Excès d'azote, mais déficience en oligo-éléments
<i>Cynodon dactylon</i>	— Sols compactés, très piétinés
<i>Sida</i> sp.	— Sols compactés à faible profondeur, lavé par l'érosion en surface
<i>Ageratum conyzoides</i>	— Amélioration des propriétés physiques
<i>Raphanus raphanistrum</i>	— Sols souvent carencés en bore et manganèse
<i>Pteridium aquilinum</i>	— Hautes teneurs en Al et andosols
<i>Imperata</i> sp.	— pH très bas
<i>Cyperus rotundus</i>	— Sols engorgés, et sols volcaniques humides de très haute fertilité

(1) Observations de terrain personnelles (Cameroun, Brésil, Madagascar) L. Séguy.

Tableau 24 : Quelques exemples d'allélopathies caractérisées entre espèces.

Espèces ou genres	Réduisent la croissance de	Référence bibliographique
<i>Raphanus raphanistrum</i> <i>Echinochloa crusgalli</i> <i>Setaria fabrii</i> } →	Mais	Bowmix et Doll, 1982
<i>Chenopodium album</i> <i>Helianthus annuus</i> } →	Soja	Bowmix et Doll, 1982
<i>Tagetes patula</i> →	Sorgho, haricot	Bowmix et Doll, 1982
<i>Chenopodium album</i> <i>Amaranthus retroflexus</i> <i>Setaria fabrii</i> }	<i>Cyperus rotundus</i>	Simkins, 1983
Éliminent		
Pailles de canne à sucre <i>Canavalia ensiformis</i> <i>Stizolobium aterrimum</i> <i>Crotalaria juncea</i> }	{ <i>Cyperus rotundus</i> <i>Bidens pilosa</i>	Lorenzi, 1984
<i>Tagetes patula</i> →	{ <i>Euphorbia heterophylla</i> diverses <i>Ipomoea</i> diverses <i>Amaranthus</i> <i>Desmodium purpureum</i> <i>Momordica charantia</i>	Altieri et Doll, 1978
Extraits aqueux de	Inhibent fortement la germination et la croissance initiale de	
<i>Brassica napus</i> <i>Avena strigosa</i> <i>Raphanus sativa</i> <i>Secale cereale</i> <i>Lupinus</i> }	{ <i>Brachara plantaginea</i> <i>Cenchrus equinatus</i> <i>Bidens pilosa</i>	Almeida et al., 1987
Paille de sorgho en décomposition	Graminées et dicotylédones	L. Séguy et al., 1987

Tableau 25 : Quelques exemples de synergie entre espèces.

Espèces ou genres	Stimulent la croissance de
<i>Stizolobium aterrimum</i> <i>Trifolium</i> sp. }	<i>Gossypium hirsutum</i>
<i>Vicia</i> sp. <i>Pisum</i> <i>Festuca</i> }	<i>Solanum tuberosum</i>
<i>Theobroma</i>	Hevea
<i>Allium</i>	Rose (parfum amélioré)

▲ **Dans les cas de semis directs** réalisés dans les résidus de récolte sans culture en mélange : les deux types d'intervention herbicide précités s'appliquent sans problème particulier. Ce sont la nature de la flore présente et les coûts des produits qui déterminent la décision (Tableau 18).

▲ **Dans le cas des cultures en mélange**, type céréale + légumineuses (riz + *callopogonium*, maïs + mucuna, etc.) deux cas également possibles :

— herbicide de nettoyage avant semis, suivi du semis en mélange céréale + légumineuse, puis application d'herbicides, ou résiduels, ou postémurgents sélectifs des deux cultures. Nos résultats obtenus dans ce domaine sont résumés dans les tableaux 11 et 21) :

— herbicide de nettoyage avant semis, suivi du semis de la céréale seule, puis herbicide résiduel sélectif de la culture ; vingt-cinq à trente jours après le semis, soit une fois l'effet résiduel herbicide passé, on sème la légumineuse — si c'est une petite graine — à la volée sous couvert de la céréale : soit à la main, soit par épandeur rotatif d'engrais, soit par avion. Avec possibilité dans ces deux derniers cas de faire coïncider ce semis avec une application d'azote de couverture ; dans ce cas, il est indispensable que :

- les graines des légumineuses soient pelletisées (avec thermophosphate Yoorin BZ⁽¹⁾),
- les conditions climatiques soient suffisamment humides pour éviter que les engrais azotés ne brûlent les semences de légumineuses,
- l'application du mélange engrais azoté-légumineuse soit réalisé par temps couvert et immédiatement après avoir effectué le mélange.

3.2.2 - Les techniques de semis direct et l'évolution du profil cultural : une évolution favorable mais lente conditionnée par l'importance de la couverture du sol

3.2.2.1 - L'évolution des propriétés physico-chimiques et biologiques du sol

Elle a été caractérisée à travers le suivi des paramètres suivants : résistance mécanique à la pénétration, densités apparentes, la vitesse d'infiltration de l'eau, répartition des bases, de la matière organique et son activité, et les densités racinaires qui en résultent.

Les principaux résultats montrent :

- de toutes les techniques, le semis direct pratiqué sans couverture morte permanente présente la plus forte résistance mécanique à la pénétration dans les dix premiers centimètres du profil, les plus exposés à la pression des machines et aux intensités pluviométriques ; la technique d'offset continu induit des valeurs de résistance similaires et même supérieures entre 15 et 30 cm sous toutes les cultures en rotation ; les labours et la scarification offrent toujours les résistances les plus faibles dans les quarante premiers centimètres du profil (Figures 53, 54 et 55). Lorsque la couverture du sol est permanente, la résistance mécanique à la pénétration est faible même en surface, et se rapproche de celle mesurée sous labour (Figure 28) ;
- la vitesse d'infiltration de l'eau est lente sous semis direct sans couverture morte permanente, voisine de celle mesurée sous offset continu (Figure 27) ; par contre, elle égale celle des labours lorsque la couverture est permanente (Tableau 16a) ;
- la densité apparente sous semis direct sans couverture est souvent supérieure à celle mesurée sous les autres techniques dans les dix premiers centimètres ; par contre, entre 10

(1) Produit de la fusion d'un phosphate naturel avec du silicate de magnésium proche de nos scories thomas.

Tableau 16 : Vitesse d'infiltration de l'eau sous divers modes de gestion des sols, sous culture de riz pluvial. Fazenda Progresso, 1989.

Modes de gestion du sol	Vitesse d'infiltration en cm/h. à l'équilibre ⁽¹⁾
Offset continu	28,4
Semis direct sans couverture permanente	29,6
Scarification profonde	34,0
Labour de fin de cycle	54,3
Labour de début des pluies	45,0
Semis direct avec couverture morte permanente (callopogonium + pailles maïs)	48,2

(1) Moyenne de six répétitions par mode de gestion, méthode du double anneau.

Tableau 16 : Densités apparentes (g/dm³) sous divers modes de gestion des sols, sous cultures de soja et riz pluvial. Fazenda Progresso, 1989.

Profondeur en cm	Culture de soja ⁽¹⁾			Culture de riz pluvial ⁽¹⁾			
	Offset continu	Semis direct sans couverture permanente	Labour début des pluies	Offset continu	Semis direct sans couverture permanente	Labour début des pluies	Semis direct sous couverture permanente
0-10	0,980	1,236	1,056	1,169	1,297	1,104	1,035
10-20	1,240	1,042	1,077	1,261	1,103	1,069	1,037
20-30	1,258	0,993	1,090	1,258	1,116	1,080	0,981

(1) Moyenne de six répétitions — Prélèvements par cylindres horizontaux de 300 cc.

et 30 cm de profondeur, ses valeurs se rapprochent de celles des labours. Lorsque la couverture morte est permanente, la distribution de la densité apparente est très sensiblement la même que celle mesurée sous les labours de début de saison des pluies (Tableau 16b).

Les analyses chimiques et biologiques traduisent :

- une distribution des bases, de la matière organique sans couverture permanente (Figures 16 et 18) ; les labours offrent toujours une meilleure redistribution de ces paramètres en profondeur ;
- par contre, l'activité biologique traduite par des numérations bactériennes par gramme de sol sous semis direct nettement supérieures à celles enregistrées sous labour de fin de cycle (exposé à l'insolation durant la saison sèche) lorsque la couverture du sol est permanente (Tableau 22).

Les comportements différenciés des divers paramètres en fonction des techniques utilisées induisent des différences marquées d'enracinement pour les cultures les plus sensibles telles que le soja et le riz.

Dans le cas du soja, l'enracinement dans les quinze premiers centimètres est équivalent sous semis direct et sous offset est toujours nettement inférieur au labour d'entrée ; entre 15 et 25 cm, la densité racinaire sous semis direct est nettement supérieure à celle mesurée sous offset, traduisant un enracinement beaucoup plus puissant en profondeur (Figure 58).

Pour la culture du riz pluvial, offset et semis direct sans couverture morte permanente entraînent des densités racinaires voisines dans les dix premiers centimètres ; en dessous, vers 25-30 cm de profondeur, comme dans le cas du soja, l'enracinement devient cinq fois plus abondant sous semis direct. Lorsqu'il existe une couverture morte permanente, la densité d'enracinement est élevée dès la surface et se rapproche des meilleures conditions représentées par le labour d'entrée (Figure 56).

En résumé, si le semis direct est pratiqué sans couverture permanente, l'évolution des propriétés physico-chimiques du profil cultural sont proches de celles de l'offset continu dans les dix-quinze premiers centimètres avec toutefois deux différences fondamentales au profit du semis direct :

- contrôle très efficace de l'érosion de surface ;
- meilleur enracinement en profondeur, donc meilleures alimentations hydrique et minérale (résistance à la sécheresse, recyclage vers la surface des éléments minéraux lixiviés).

Si le semis direct est réalisé avec une couverture morte permanente, l'évolution du profil cultural après trois ans est voisine de celle des labours sur le plan des propriétés physiques, avec toutefois un gradient de distribution des bases et de la matière organique très important sur semis direct et pratiquement inexistant sous labour ; ce dernier permet en effet une redistribution homogène de ces paramètres sur 30 cm d'épaisseur. L'activité biologique, par contre, se montre nettement plus élevée sous semis direct et traduit bien l'activité accrue élevée de la mésofaune et de la microflore à travers laquelle se recrée la macroporosité. On note, enfin, que le phosphore localisé en surface reste très disponible et échappe ainsi probablement au phénomène de fixation, qui peut être très rapide sur ce type de sol lorsque la fumure phosphatée est intimement mélangée aux particules de sol (forte surface de contact sol-engrais).

3.2.2.2 - L'évolution comparée de la flore adventice sous semis direct et mode de préparation mécanisé

Si les labours sont, sans conteste, les techniques les plus nettoyantes, la scarification, l'offset et le semis direct sont assez proches l'un de l'autre pour les paramètres analysés : indice de couverture du sol quarante jours après la récolte et composition floristique similaires dans les systèmes à une seule culture annuelle (Tableau 26).

Dans les systèmes à deux cultures annuelles continues ou en rotation, la scarification offre toujours une surface moins sale que le semis direct ; les cultures de maïs et de sorgho laissent des parcelles toujours plus propres que les autres cultures.

3.2.3 - Productivité et stabilité de production comparées entre semis direct et modes de gestion mécanisés des sols

Les techniques de semis direct ont été évaluées et analysées en comparaison des techniques de préparation mécanisées des sols présentées au chapitre précédent : labours profonds, dressés et fermés de fin et d'entrée de saison des pluies, scarification profonde, pulvérisage aux offsets lourds et légers.

Le suivi évaluation comparé a été réalisé à la fois sur les plans agronomiques, techniques et économiques dont on recherche les meilleures conciliation et optimisation avec la même méthodologie que celle présentée aux chapitres précédents.

Tous les modes de préparation de sol comparés ont reçu les mêmes niveaux d'intrants, et la même date de semis pour chaque culture. Ils ont été soumis aux mêmes rotations et successions de cultures composées à partir des cultures de riz, maïs, sorgho et engrais vert et surtout de soja, qui constitue la culture quasi exclusive des systèmes actuels de la région.

3.2.3.1 - Systèmes à une seule culture annuelle : rotation riz-soja, soja-maïs et leurs inverses, monoculture de soja

Les techniques de semis direct utilisées dans ces systèmes à une seule culture ont obéi à deux règles strictes :

- elles ont été précédées d'un labour profond, dressé et fermé à structure grossière (technique L. Séguy *et al.*) ;
- elles ont été implantées dans les résidus de récolte de la culture antérieure et n'ont en conséquence jamais bénéficié d'une couverture morte permanente.

■ Sur culture de soja

Dans le pire système représenté par la monoculture de soja (huitième année consécutive en 1988-1989) qui conduit inexorablement à une baisse constante de la productivité, la technique traditionnelle de pulvérisage conduit aux pires rendements (de 1 500 kg/ha environ) ; le labour d'entrée de saison des pluies constitue toujours le meilleur traitement avec encore des rendements de plus de 2 000 kg/ha la huitième année de monoculture. La technique de semis direct permet d'obtenir des rendements intermédiaires entre ces deux extrêmes ; elle se révèle, en tous cas, une option nettement supérieure à la technique actuelle de pulvérisage continu en monoculture, puisqu'elle procure une augmentation moyenne de rendements sur trois ans de plus de 23 % (Figure 62, Tableau 27).

Lorsque le soja est pratiqué en rotation, avec les céréales riz ou maïs, la productivité augmente fortement pour tous les modes de gestion par rapport au système de monoculture y compris pour le semis direct : l'augmentation des rendements va de 61 % à 100 % (Figure

Tableau 26 : Indice de couverture du sol et principales adventices relevées quarante-cinq jours après les récoltes de riz, maïs et soja pratiqués dans divers systèmes à une seule culture annuelle. Fazenda Progresso, Mato Grosso, 1988-1989.

Culture (1988-1989)	Précédent (1987-1988)	Offset continu		Semis direct	
		Indice de couverture ⁽¹⁾	Adventices dominantes ⁽²⁾	Indice de couverture ⁽¹⁾	Adventices dominantes ⁽²⁾
	Monoculture soja	7-8	<i>Ageratum</i> <i>Cenchrus</i> <i>Hypomea</i>	10	<i>Acanthospermum</i>
Soja	Après riz	-	-	8-9	<i>Cenchrus</i> <i>Ageratum</i> <i>Acanthospermum</i>
	Après maïs	-	-	7	<i>Acanthospermum</i> <i>Ageratum</i>
Riz	Monoculture après riz	-	-	-	-
	Après soja	-	-	7-8	<i>Cenchrus</i> <i>Ageratum</i>
Maïs	Soja	-	-	9	<i>Cenchrus</i> <i>Ageratum</i>

(1) Echelle de couverture du sol visuelle : 1 = 10 %, 2 = 20 %... 10 = 100 %

(2) Nom de genres des adventices classées par ordre décroissant de dominance.

Tableau 26 : Indice de couverture du sol et principales adventices relevées quarante-cinq jours après les récoltes de riz, maïs et soja pratiquées dans divers systèmes à une seule culture annuelle. Fazenda Progresso, Mato Grosso, 1988-1989 (suite).

Culture (1988-1989)	Précédent (1987-1988)	Offset (86-88) après labour (85-86)		Scarification		Labours début et fin de cycle	
		Indice de couverture ⁽¹⁾	Adventices dominantes ⁽²⁾	Indice de couverture ⁽¹⁾	Adventices dominantes ⁽²⁾	Indice de couverture ⁽¹⁾	Adventices dominantes ⁽²⁾
Soja	Monoculture soja	9	<i>Acanthospermum</i> <i>Cenchrus</i>	7	<i>Acanthospermum</i> <i>Cenchrus</i>	5	<i>Acanthospermum</i> <i>Cenchrus</i>
	Après riz	7-8	<i>Cenchrus</i> <i>Ageratum</i>	8	<i>Cenchrus</i> <i>Ageratum</i>	1-2	<i>Hypomea</i> <i>Brachiaria</i>
	Après maïs	2-3	<i>Acanthospermum</i> <i>Hypomea</i>	2-3	<i>Acanthospermum</i> <i>Hypomea</i>	0-1	<i>Acanthospermum</i>
Riz	Monoculture après riz	-	-	-	-	7	<i>Ageratum</i> <i>Cenchrus</i> <i>Hypomea</i>
	Après soja	8-9	<i>Cenchrus</i> <i>Ageratum</i> <i>Acanthospermum</i>	6-7	<i>Cenchrus</i> <i>Ageratum</i>	3-4	<i>Cenchrus</i>
Maïs	Soja	3-4	<i>Cenchrus</i> <i>Acanthospermum</i>	3-4	<i>Cenchrus</i> <i>Acanthospermum</i>	2	<i>Boerhaavia</i> <i>Hypoxis</i>

(1) Echelle de couverture du sol visuelle : 1 = 10%, 2 = 20%... 10 = 100%

(2) Nom de genres des adventices classées par ordre décroissant de dominance.

Tableau 27 : Analyse des effets des modes de gestion des sols et des cultures sur la productivité du soja cycle moyen⁽¹⁾ dans les systèmes : effet du travail du sol (moyenne de trois ans et effet dernière année). Fazenda Progresso, Mato Grosso, 1986-1989.

	Monoculture de soja (t)				Soja après riz				Soja après maïs			
	Moyenne trois ans		Dernière année		Moyenne trois ans		Dernière année		Moyenne trois ans		Dernière année	
	(kg/ha)	(% t)	(kg/ha)	(% t)	(kg/ha)	(% t)	(kg/ha)	(% t)	(kg/ha)	(% t)	(kg/ha)	(% t)
GR : offset (Têncola)	1 777	(100) (t)	1 572	(100) (t)	2 789	(157)	3 132	(199)	2 968	(167)	2 922	(186)
ARF : labour fin de cycle	2 372	(133)	1 800	(114)	3 015	(170)	3 332	(212)	3 094	(174)	3 138	(200)
ARE : labour début des pluies	2 466	(139)	2 220	(141)	3 296	(185)	3 940	(251)	3 437	(193)	3 966	(252)
ESCAR : scarification	2 331	(131)	2 054	(131)	2 831	(159)	2 656	(169)	2 977	(167)	2 928	(186)
PD : semis direct	2 184	(123)	1 800	(114)	2 960	(166)	2 892	(168)	2 988	(184)	2 790	(177)

(1) Variétés utilisées : première année : Doko, deuxième et trois ans maïs : Cristalina.

61). La productivité maximale est toujours obtenue avec le labour d'entrée de saison des pluies qui atteint en 1989 presque 4 000 kg/ha. La technique de semis direct se classe en troisième position après successivement le labour d'entrée et le labour de fin de cycle, à égalité avec la scarification : ses rendements sont stables, autour de 3 000 kg/ha, ils représentent plus de 66 % d'augmentation moyenne sur trois ans par rapport au système actuellement pratiqué dans la région (Figures 59, 60, 61 et 62, Tableau 27).

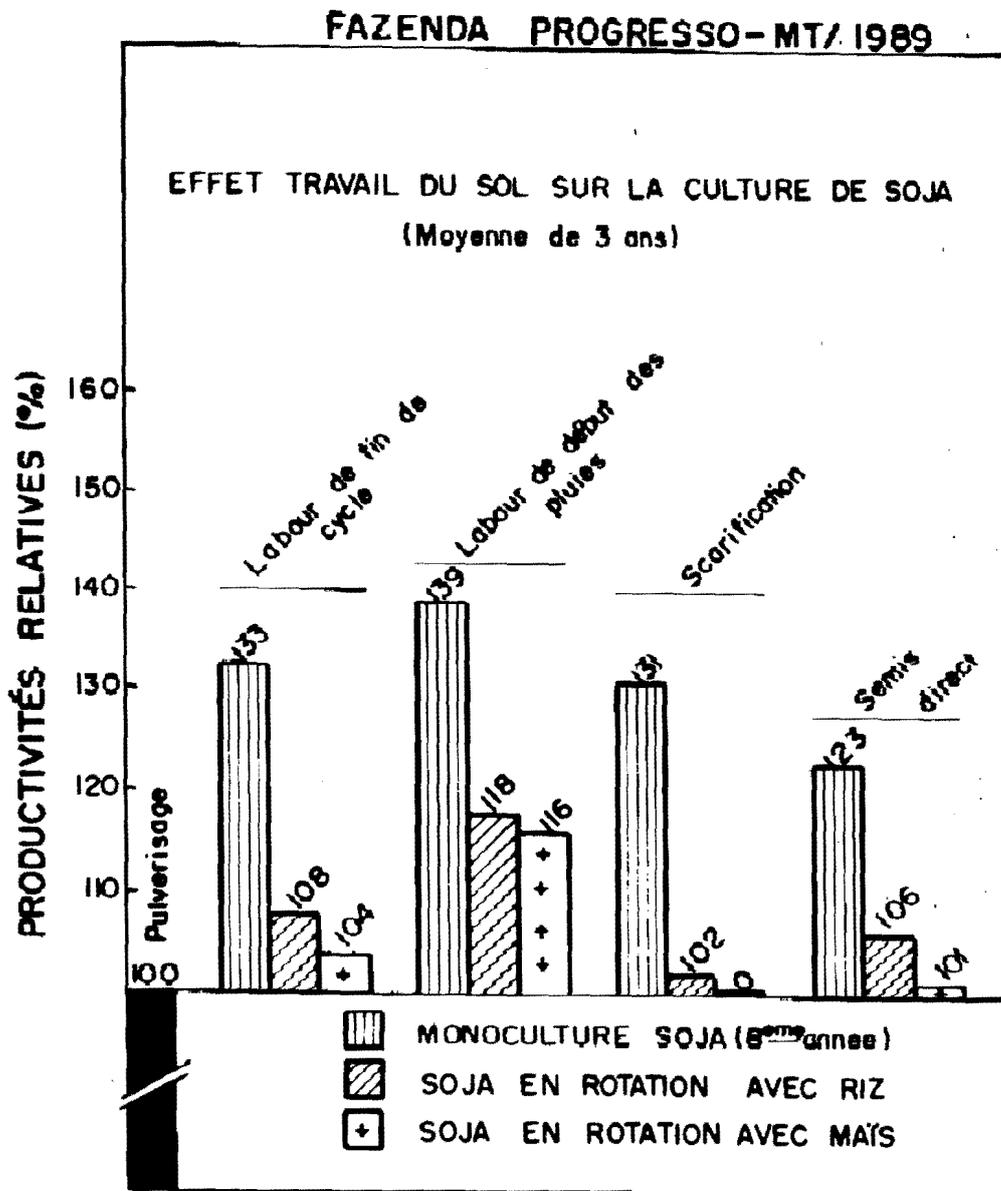


Figure 62

■ Sur culture de maïs, en rotation avec le soja, tous les modes mécanisés de travail du sol sont équivalents : la technique de semis direct entraîne des productivités légèrement inférieures (de 11 à 19 %) au meilleur traitement. Cette relative faiblesse est explicable par la conjonction de deux facteurs qui affectent négativement le rendement :

- plus grande sensibilité des plantes à la verse (*Diatrea saccharalis*) ;
- niveau nutritionnel en N inférieur aux autres traitements (lié à la non-incorporation des résidus de récolte) [Figure 63, Tableau 28].

■ Sur culture de riz pluvial, en rotation avec soja. Comme dans le cas du soja, la pratique

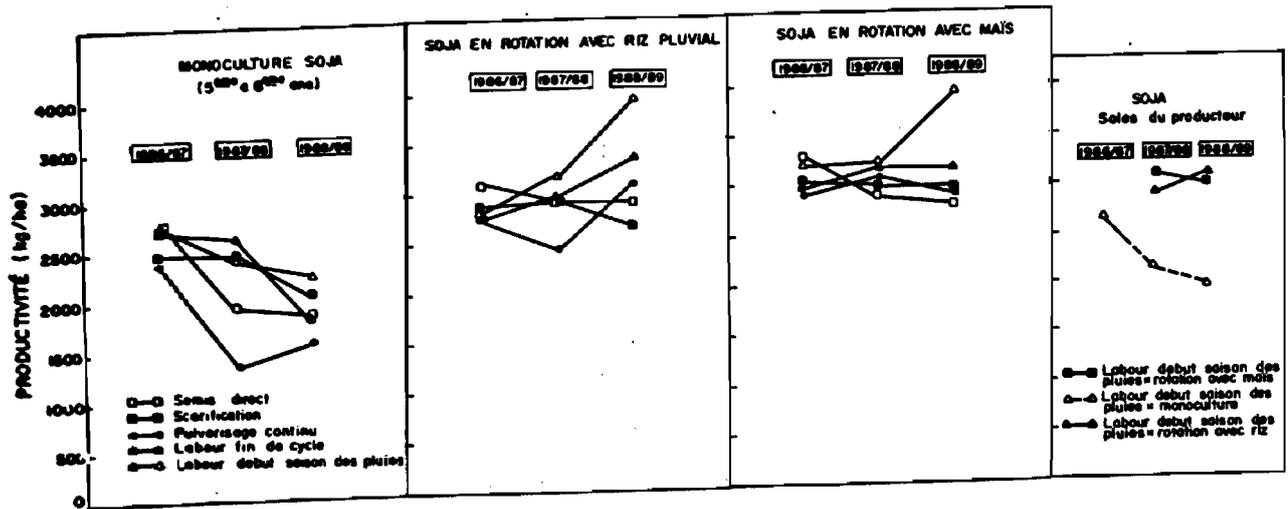


Fig. 59. EVOLUTION DE LA PRODUCTIVITE DU SOJA CYCLE MOYEN SOUS DIVERS MODES DE GESTION DU SOL ET DES CULTURES. FAZ. PROGRESSO/NT. - 1986/89.

Fig. 60. AUGMENTATION DE PRODUCTIVITE DU SOJA EN FONCTION DU TEMOIN SUR DIFFERENTS MODES DE GESTION DU SOL ET DES CULTURES (MOYENNE DE 3 ANS ET DERNIERE ANNEE). FAZ. PROGRESSO/MT - 1986/89.

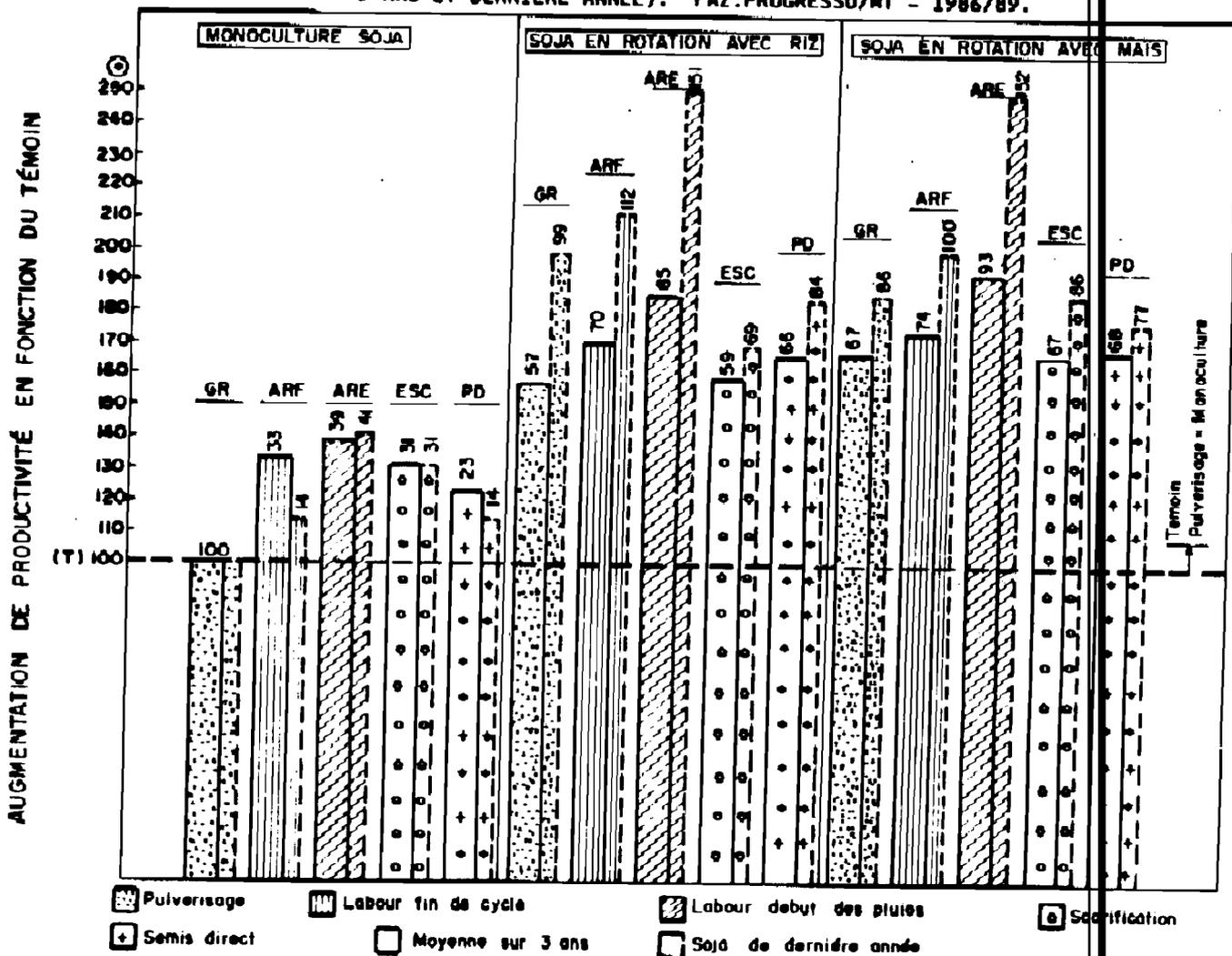


Fig. 61 EFFET DE LA ROTATION SUR LA PRODUCTIVITE DU SOJA CYCLE MOYEN (MOYENNE DE 3 ANS) - FAZ.PROGRESSO/MT - 1986/89.

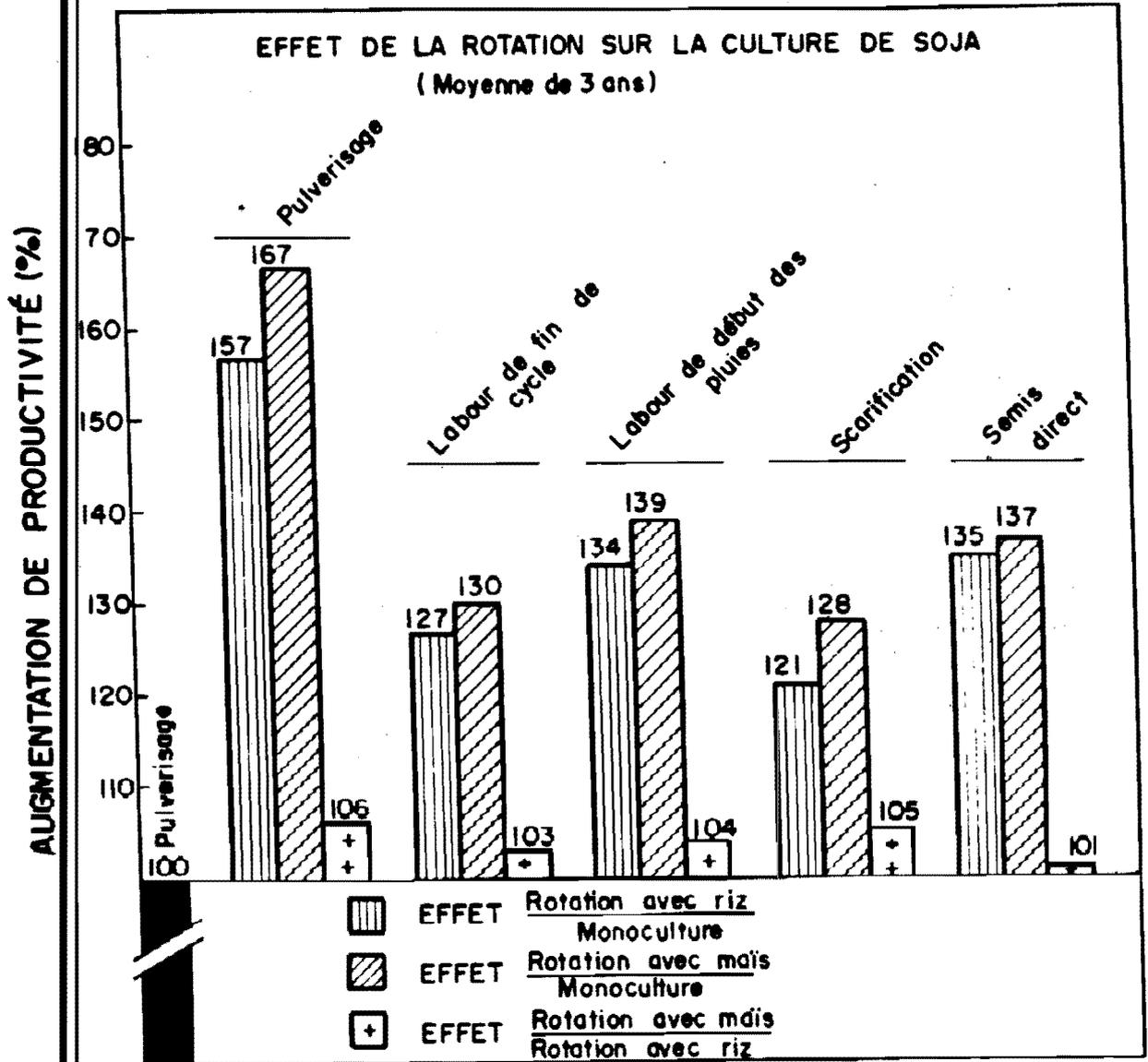


FIG 63. PRODUCTIVITE MOYENNE DU MAÏS EN FONCTION DES DIVERS MODES DE GESTION DES SOLS ET DES CULTURES. FAZ. PROGRESSO/MT - 1986/89.

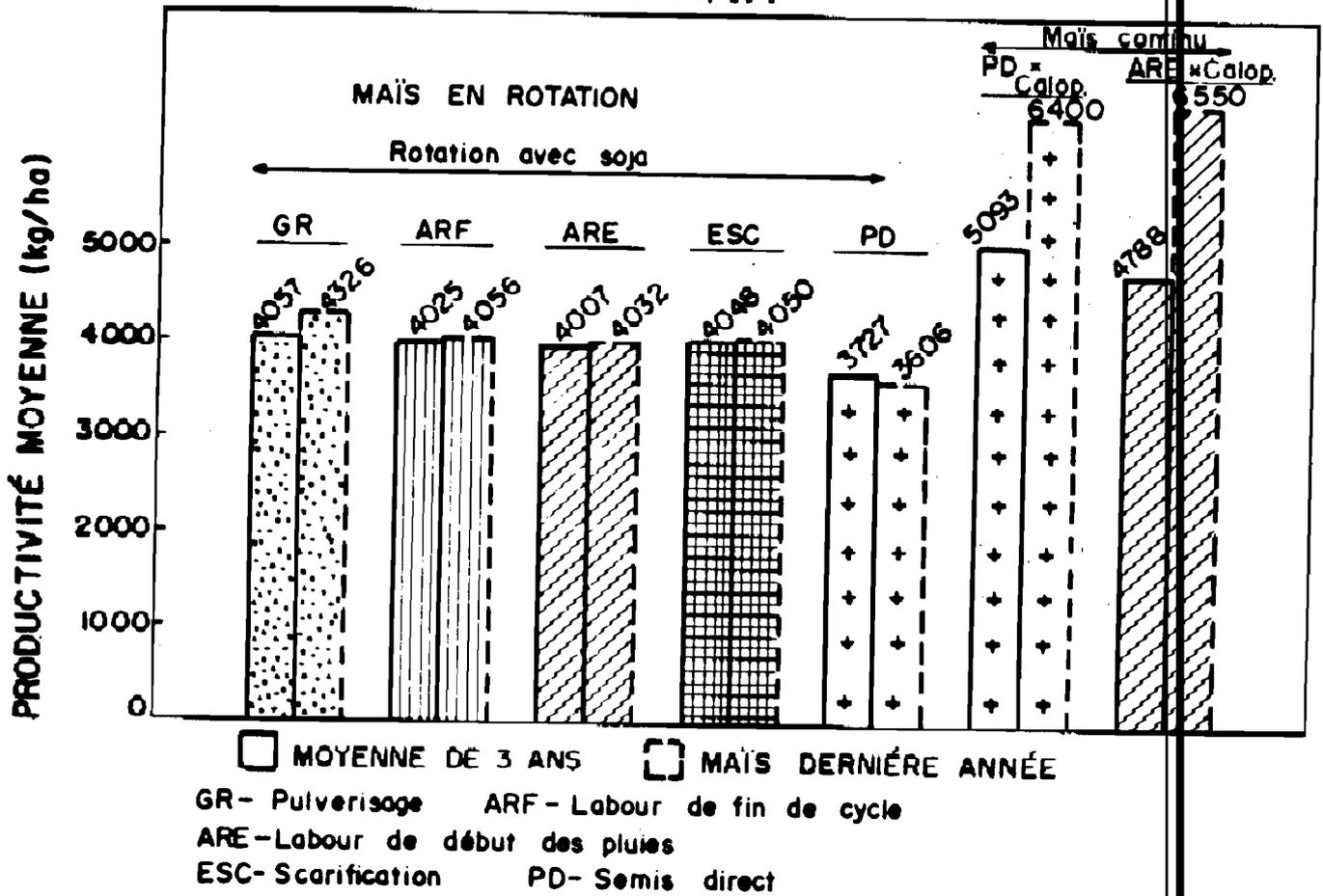


Tableau 28 : Installation d'un système pérenne à base de maïs + *Calliopogonium*. Fazenda Progresso, Mato Grosso, 1989.

1986-1987	1987-1988				1988-1989			
	Mode de gestion sol et culture			Productivité (kg/ha)	Mode de gestion sol et culture			Productivité (kg/ha)
	Préparation x fumure x		culture		Préparation x fumure x		culture	
Après labour profond semis riz + <i>Calliopogonium</i> en mélange Productivité mix = 3 225 kg/ha (variété Guacani) Couverture du sol en fin de saison sèche (paille riz + <i>Calliopogonium</i>) = 12,5 t/ha <i>Calliopogonium</i> non récolté et donc ressemé tout seul	Labour profond	NPK localisé ⁽¹⁾	Soja	1 215	Labour profond	NPK localisé ⁽¹⁾	Maïs	4 700
			Maïs + <i>Calliopogonium</i>	4 030			Thermophosphate Yoorin 1 500 kg/ha ⁽²⁾	Maïs
		Thermophosphate Yoorin (1 500 kg/ha) ⁽²⁾	Soja	1 440		Thermophosphate Yoorin 1 500 kg/ha ⁽²⁾		
			Maïs + <i>Calliopogonium</i>	4 226				
	Semis direct	NPK localisé ⁽¹⁾	Soja	2 040	Semis direct	NPK localisé ⁽¹⁾	Maïs	5 200
			Maïs	4 360			Thermophosphate Yoorin 1 500 kg/ha ⁽²⁾	Maïs
	Thermophosphate Yoorin 1 500 kg/ha ⁽²⁾	Soja	2 486		Thermophosphate Yoorin 1 500 kg/ha ⁽²⁾			
		Maïs	4 940					

(1) NPK localisé au semis : - 300 kg/ha de 8-25-15 sur soja
- 300 kg/ha de 5-30-15 sur maïs + 100 kg/ha urée en couverture
(2) 1 500 kg/ha de thermophosphate Yoorin B2 appliqué la première année amortissable sur trois ou quatre cultures.
Fumure de fond complétée par les mêmes niveaux de N et K que sur (1).

de la monoculture de riz entraîne une forte chute des rendements quel que soit le mode de travail du sol (Figures 64, 65 et 66, Tableau 29, 30 et 31).

De toutes les techniques, celle de semis direct est celle qui procure toujours les rendements les plus bas :

— en moyenne sur trois ans : 6 à 10 % inférieurs à ceux obtenus par la pratique de pulvérisage continu, et de 50 à 60 % inférieurs à ceux atteints sur la meilleure technique de labour d'entrée de la saison des pluies (Figure 65). Les résultats sur ce traitement s'expliquent à la fois :

- par une élévation de la résistance mécanique à la pénétration (Figure 53) à laquelle le riz est particulièrement sensible (Séguy *et al.*, 1988) ;
- par un enherbement plus difficile à contrôler ;
- par un niveau nutritionnel en N, inférieur aux autres traitements (en raison de la non-incorporation des restes culturaux).

Les labours se montrent toujours les meilleures techniques et permettent d'atteindre en moyenne sur trois ans 3 270 kg/ha avec un maximum en 1987-1988 de 4 330 kg/ha en présence de 2 000 kg/ha de thermophosphate Yoorin (amorti sur quatre cultures) (Figure 64, Tableau 14). La production moyenne a nettement décliné en 1988-1989 pour tous les traitements, en raison d'une forte attaque de cicadelles quinze jours après le semis (douze à quinze cicadelles par mètre linéaire) (Tableaux 29 et 33).

3.2.3.2 - Les systèmes à deux cultures annuelles en succession

La technique de semis direct est toujours comparée à la technique de scarification profonde. Ce sont, en effet, les deux seules qui permettent par leur flexibilité et leur rapidité d'exécution de concilier les impératifs du calendrier agricole de deux cultures successives annuelles.

Ces deux techniques sont comparées sur la première culture de l'année agricole, la seconde étant installée sous de fortes pluies, donc exclusivement par semis direct.

On notera que dans ces systèmes pour la plupart à deux cultures annuelles, la part des résidus de récolte augmente très fortement à la surface du sol, par rapport aux systèmes à une seule culture annuelle : le sol est ainsi toujours mieux protégé, et les conditions de culture se rapprochent des conditions souhaitables de couverture permanente.

Les tableaux 31 et 32 et les graphiques 67 et 68 qui résument l'essentiel des résultats obtenus sur trois ans attirent les conclusions suivantes :

▲ Les systèmes, qui alternent en rotation les successions annuelles de deux cultures avec une seule culture l'année suivante, sont celles qui induisent les meilleurs rendements de soja en troisième année, supérieurs à 3 200 kg/ha (variété IAC 8) ; les deux techniques de scarification et de semis direct sont dans ce cas équivalentes (Figure 68, Tableau 32).

▲ La séquence soja + maïs/*Cajanus* + riz/soja + maïs produit davantage de soja en troisième année que la séquence semblable soja + sorgho/riz + *Callopogonium*/soja + sorgho ; dans ce cas encore, les deux techniques sont équivalentes sur les cultures de soja, maïs et sorgho ; toutefois, sur la culture de riz, comme dans les systèmes à une seule culture annuelle, la scarification est supérieure au semis direct : 16 % d'augmentation des rendements moyens de trois ans (Tableau 31, Figure 67) qui passent de 2 530 kg/ha sur semis direct à 2 865 kg/ha sur scarification.

▲ Sur les séquences à cinq cultures en trois ans, à dominance de maïs et sorgho : maïs/soja + maïs/maïs + sorgho et maïs/soja + sorgho/maïs + sorgho, la première s'avère plus

FIG 64. PRODUCTIVITES MOYENNES DU RIZ (CYCLE MOYEN) SUR DIFFERENTS MODES DE GESTION DU SOL ET DES CULTURES. FAZ. PROGRESSO/MT - 1986/89.

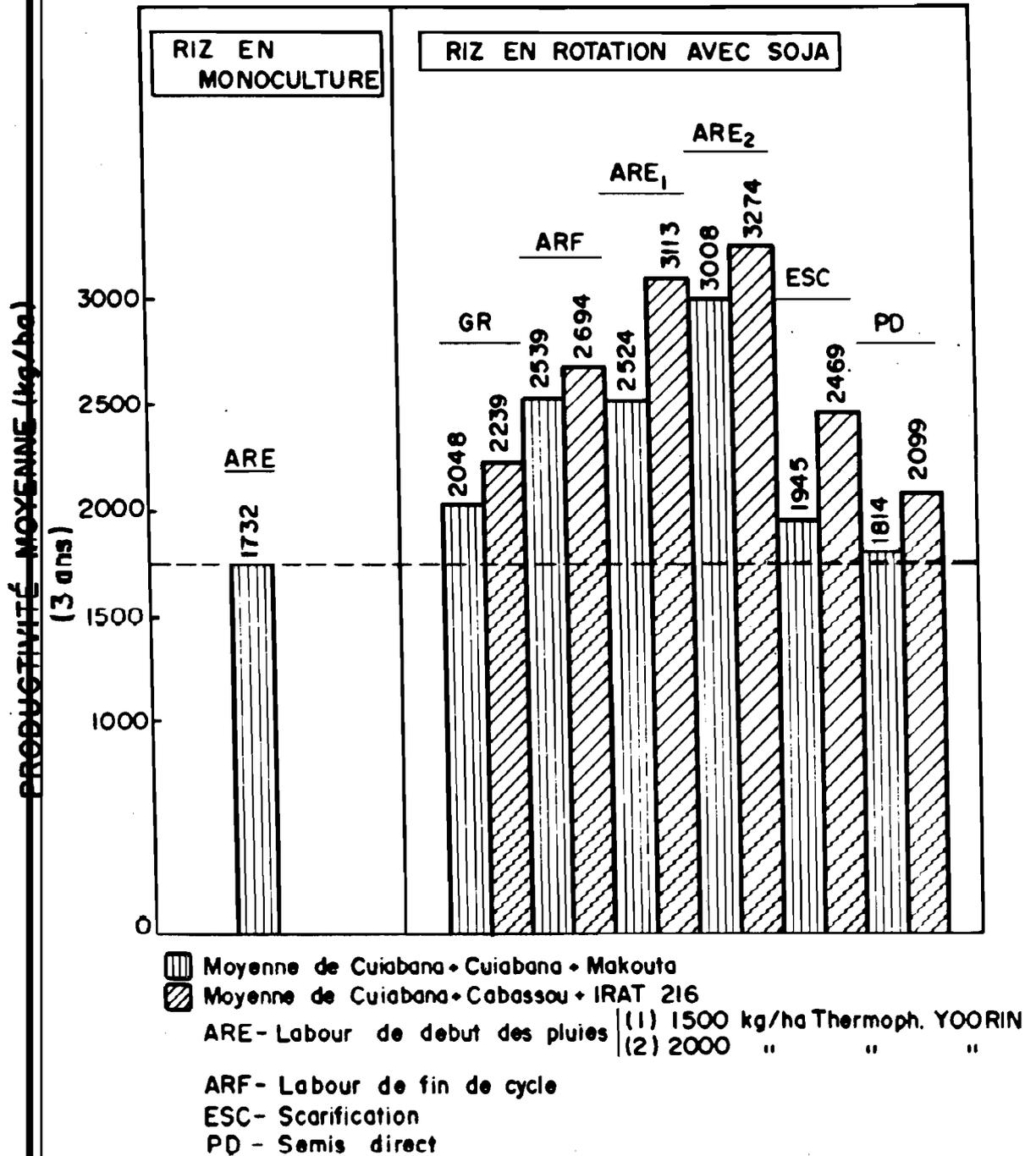


FIG.65 INFLUENCE DE DIVERS MODES DE PREPARATION DU SOL SUR LA PRODUCTIVITE DE RIZ DE CYCLE MOYEN (MOYENNE DE 3 ANS, TEMOIN = PULVERISAGE). FAZ. PROGRESSO/MT - 1986/89.

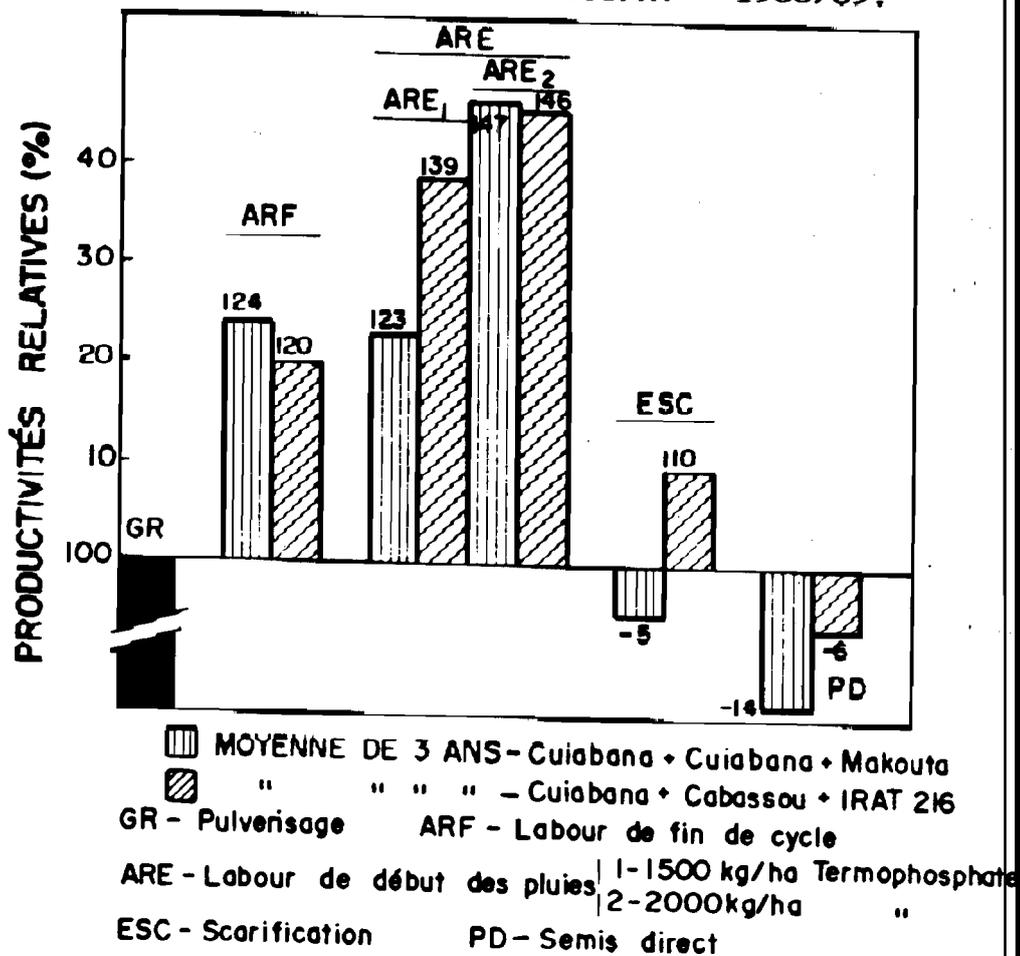


FIG. 66. INFLUENCE DE LA ROTATION SUR LA PRODUCTIVITE DE RIZ DE CYCLE MOYEN (MOYENNE DE 3 ANS) TE MOIN = MONOCULTURE). FAZ. PROGRESSO/MT - 1986/89.

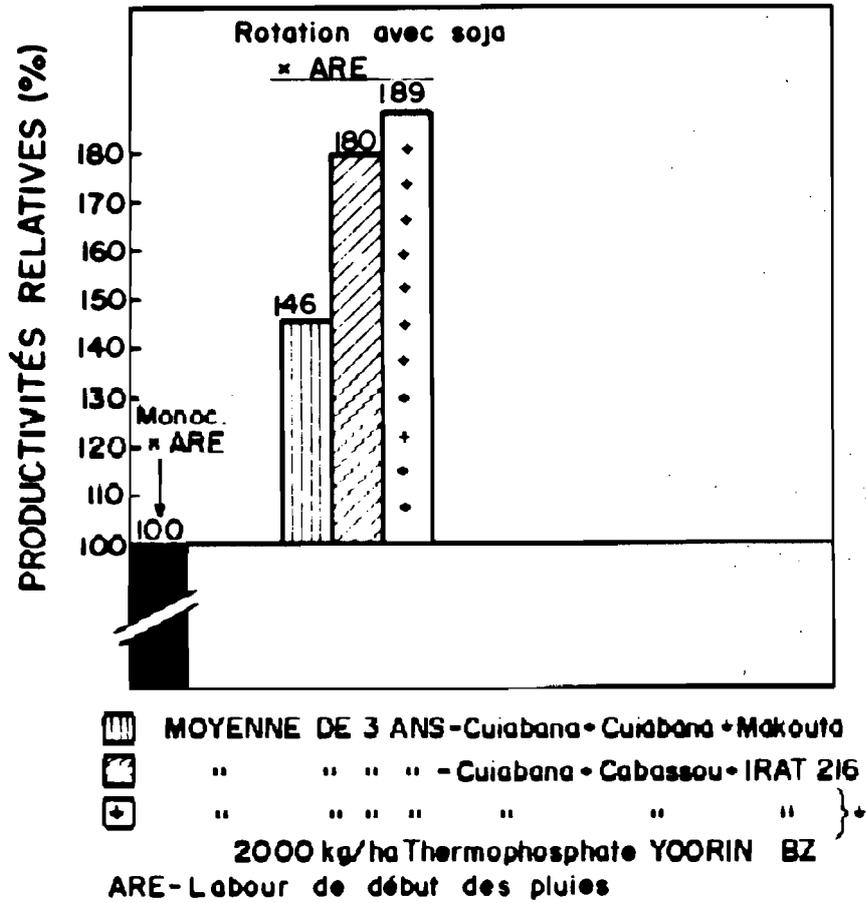


Tableau 29 : Influence des modes de gestion des sols et des cultures sur la productivité moyenne du riz pluvial dans les systèmes de cultures. Fazenda Progresso, Mato Grosso, 1986-1989.

	Monoculture riz pluvial		Riz pluvial en rotation avec soja(3)	
	I) Cuiabana/Cuiabana/Makouta (X en kg/ha)		I) Cuiabana/Cuiabana/Makouta (X en kg/ha)	II) Cuiabana/Cabaçu/IRAO 216 (X en kg/ha)
CR : Offset (1)	-		2 048 (100)	2 239 (100)
ARE : labour fin de cycle	-		2 539 (124)	2 694 (120)
ARE : labour début des pluies	1 732		(1) 2 524 (2) 3 008 (123) (147)	(1) 3 113 (2) 3 274 (139) (146)
ESCAR : scarification	-		1 945 (95)	2 469 (110)
PD : semis direct	-		1 814 (86)	2 099 (94)

(1) Avec 1 500 kg/ha de tétrapyrophate Yocris 80, comme tous les autres modes de préparation du sol.

(2) Avec 2 400 kg/ha de tétrapyrophate Yocris 80 (roctifiquement sur trois cultures).

(3) Violente attaque de cicadelles (*Dois flavipicta*) quinze jours après la semis qui a fortement limité la production en 1988-1989 (moyenne de 32 à 33 cicadelles par mètre linéaire), pertes estimées à 40 %.

Tableau 30 : Effet de la rotation riz/soja par rapport à la monoculture riz avec labour profond au début des pluies continu, en présence de deux séquences variétales, Fazenda Progresso, Mato Grosso, 1986-1989.

Mode de gestion x fumure ⁽¹⁾ x séquence variétale (I ou II)	Productivité moyenne sur trois ans (kg/ha)	Pourcentage d'augmentation par rapport à la monoculture (Témoin base 100)
Monoculture riz x labour x F ₁ I] Cuiabana/Cuiabana/Makouta (T)	1 732	100
Riz après soja x labour x F ₁ I] Cuiabana/Cuiabana/Makouta	2 524	146
Riz après soja x labour x F ₁ II] Cuiabana/Cabassou/IRAT 216	3 113	180
Riz après soja x labour x F ₂ II] Cuiabana/Cabassou/IRAT 216	3 274	189

(1) F₁ : fumure phosphatée de fond : 1 500 kg/ha thermophosphate Yoorin Bz (amortissement sur trois cultures).
F₂ : fumure phosphatée de fond : 2 000 kg/ha thermophosphate Yoorin Bz (amortissement sur trois cultures).

Tableau 31 : Productivités de riz de cycle court (kg/ha) dans diverses successions annuelles en rotation avec les techniques comparées de scarification profonde et de semis direct. Fazenda Progresso, Mato Grosso, 1986-1989.

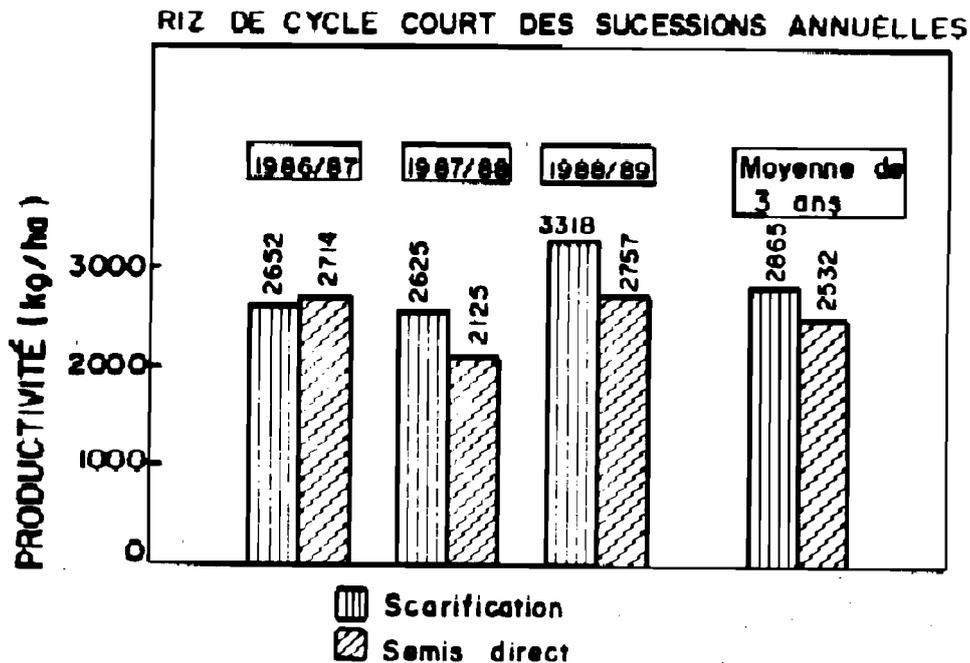
Année	Mode de préparation du sol	Cajanus + riz/soja + sorgho/riz et inverse		
		Productivité (kg/ha)	Variété	Effet mode de préparation (témoin base 100 : ESCAR)
86-87	Scarification (T)	2 652	Guarani	100
	Semis direct (= labour)	2 714	Guarani	102
	Labour	2 714	Guarani	102
87-88	Scarification (T)	2 625	Guarani	100
	Semis direct	2 125	Guarani	81
	Labour	3 455	Guarani	132
88-89	Scarification (T)	3 318	Guarani + Tangara	100
	Semis direct	2 757	Guarani + Tangara	83
	Labour	3 636	Guarani + Tangara	110
Moyenne 3 ans	Scarification (T)	2 865		100
	Semis direct	2 532		84
	Labour	3 268		114

Tableau 32 : Productivité du soja de cycle court IAC 8 sur diverses successions annuelles en rotation, avec les techniques comparées de scarification et de semis direct. Fazenda Progresso, Mato Grosso, 1986-1989.

Année	Préparation du sol	Succession et précédent					
		(Soja + maïs) après maïs	(Soja + sorgho) après maïs et sorgho	(Soja + maïs) après (riz + Cajanus)	(Soja + sorgho) après (maïs + Calliopogonium) ou (riz + Calliopogonium)	(Soja + maïs) après (soja + maïs)	(Soja + sorgho) après (soja + sorgho)
1986-1987	Scarification	2 301	2 441	2 213	2 098	1 954	1 949
	Labour	3 546	3 508	2 954	2 517	2 267	2 175
1987-1988	Scarification	2 682	2 706	2 976	2 922	2 322	2 454
	Semis direct	2 578	2 431	3 172	2 654	1 806	1 924
1988-1989	Scarification	3 372	2 952	3 138	2 750	2 706	1 788
	Semis direct	3 204	2 940	3 498	2 750	1 824	2 934
Moyenne 3 ans	Scarification	2 749	2 700	2 774	2 603	2 326	2 064
	Labour (1 ^{re} année)						
	Semis direct (2 ^e et 3 ^e année)	3 109	2 960	3 178	2 634	1 966	2 364

	T ₁ ^a 2 000 kg/ha Thermophosphate	T ₂ ^a 1 500 kg/ha Thermophosphate	T ₃ ^a 1 000 kg/ha Thermophosphate	T ₄ ^a 500 kg/ha Thermophosphate	T ₅ ^a NPK localisé
Cajanus + riz (Guarani)	3 456	2 796	2 406	2 412	2 340
Soja (IAC 8)	2 552	2 594	2 052	2 484	2 832
(+) Sorgho (BR 301)	(+) 2 900	(+) 2 177	(+) 1 842	(+) 1 731	(+) 2 292
Riz { (Culabana)	4 314	2 970	3 180	3 324	2 970
{ (Cabassou)	4 332	3 768	3 498	3 432	3 246
Soja (Cristalina)	3 522	3 396	3 330	2 742	3 048
Cajanus + mais (C-125)	2 988	3 006	3 378	3 390	3 264
Soja (IAC 8)	3 450	3 112	2 598	2 460	3 090
(+) Sorgho (BR 301)	(+) 2 022	(+) 1 878	(+) 1 746	(+) 1 662	(+) 1 957
Maïs (Cargill 115)	4 560	4 440	4 560	3 960	4 320
Soja (Cristalina)	3 640	3 072	3 186	3 144	3 414
Soja (Cristalina)	3 312	3 138	3 168	3 048	3 198
Riz { (IRAT 216)	2 706	2 724	2 010	2 178	1 818
{ (Makouta)	2 107	2 412	2 034	2 322	2 480
Soja (IAC 8)	3 012	3 060	3 312	2 946	2 784
(+) Maïs	(+) 1 254	(+) 1 464	(+) 1 170	(+) 960	(+) 942
{ (Tangara)	1 439	1 079	1 001	1 748	965
Cajanus + riz { (IRAT 216)	2 106	2 724	2 010	2 178	1 818
Soja (Cristalina)	2 832	2 952	2 424	2 382	2 760
Maïs (Cargill 111-5)	3 534	3 852	3 864	4 092	3 342
Soja (IAC 8)	3 198	3 078	3 168	3 252	3 282
(+) Sorgho (BR 301)	(+) 708	(+) 600	(+) 636	(+) 432	(+) 240
Cajanus + maïs (ag 404)					

* - T₁, T₂, T₃ : doses amorties sur trois cultures ; + K et N annuels correspondant NPR.
 - T₄ : 500 kg/ha de thermophosphate Toorin BZ appliqués annuellement (+ K et N).
 - NPK fumure localisée au semis ;
 - Soja 350 kg/ha (0-25-25)
 - Maïs et riz 350 et 300 kg/ha 5-30-15
 + 100 kg/ha urée en couverture.



**FIG.67 PRODUCTIVITES DU RIZ DE CYCLE COURT
DANS LES SUCCESSIONS ANNUELLES.
FAZ. PROGRESSO/MT - 1986/89.**

productive en soja la troisième année que la deuxième, et le semis direct se montre légèrement supérieur à la scarification avec un rendement de plus de 3 400 kg/ha pour IAC 8 (Figure 68).

▲ Les systèmes riz + *Calopogonium* en mélange sont ceux qui procurent la meilleure couverture du sol : la maîtrise du désherbage n'est cependant pas encore parfaite et affecte négativement la productivité, davantage sur semis direct que sur scarification (Tableau 31).

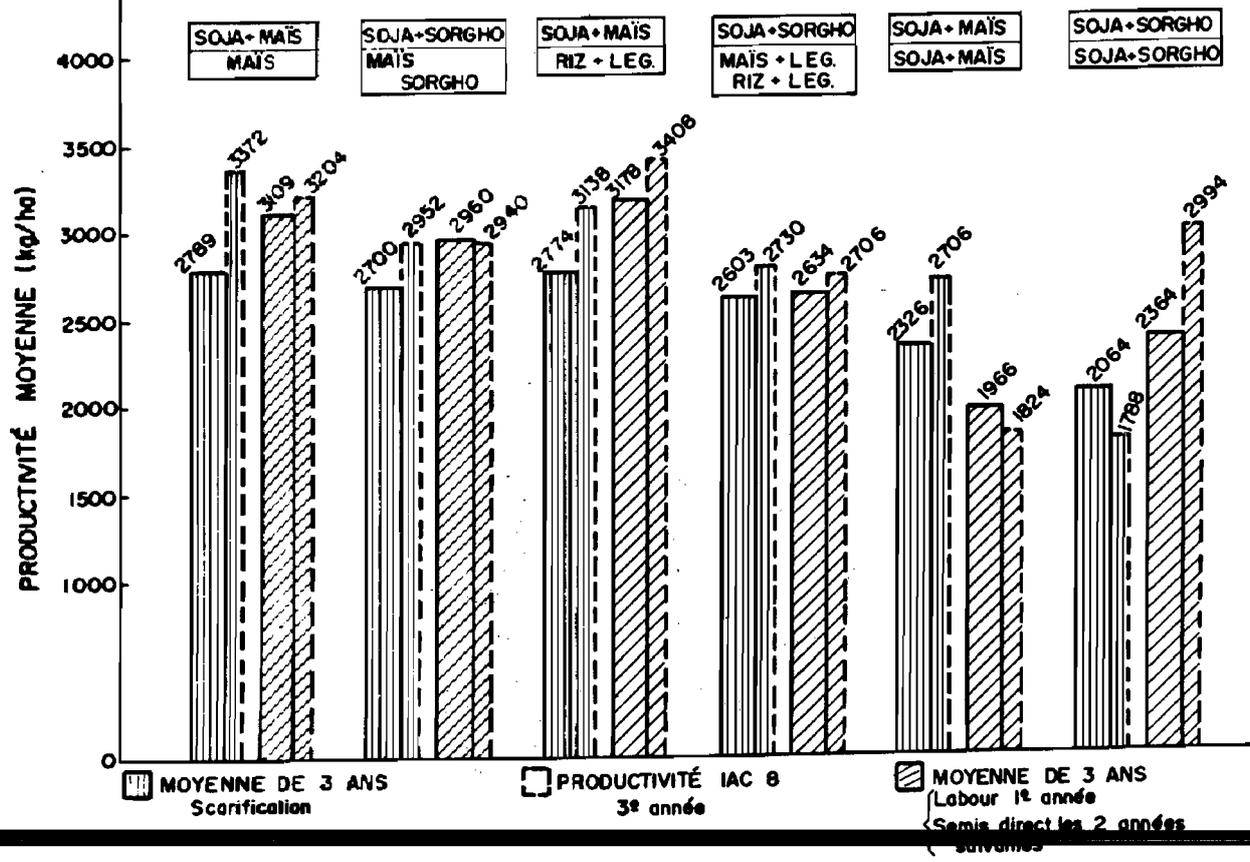
▲ Le système à deux cultures annuelles actuellement le plus performant, le plus sûr, le plus facilement praticable et qui assure la meilleure protection du sol est sans aucun doute la succession soja de semis direct (IAC 8) + sorgho semé à la volée par avion un mois avant la récolte du soja, lorsque les premières feuilles jaunissent, annonçant le processus de maturation.

La semence de sorgho, déposée sur le sol sous couvert du soja, est jusqu'à la récolte progressivement recouverte par les feuilles de soja en voie de maturation. Cet effet « papier buvard », allié à l'entrée progressive et croissante de la lumière assure une excellente levée du sorgho, sans que les mauvaises herbes aient le temps de se développer.

A la récolte du soja IAC 8, le sorgho fauché par la moissonneuse-batteuse qui récolte le soja très près du sol, repart par diverses tiges et recouvre rapidement le sol.

Cette technique élimine tous risques climatiques et tout risque d'érosion sur la seconde culture, risques qui étaient courants avec les préparations et semis mécanisés après la récolte du soja sous de très fortes pluies.

FIG. 68. PRODUCTIVITES COMPAREES DU SOJA DE CYCLE COURT IAC 8 PRATIQUE SUR SCARIFICATION ET SEMIS DIRECT DANS LES SUCCESSIONS ANNU ELLES EN ROTATION. FAZ. PROGRESSO/MT - 1986/89



La production d'une telle succession est de plus de 3 000 kg/ha de soja IAC 8, suite de 2 100 kg/ha de sorgho sans application ni d'engrais, ni d'herbicide sur la culture en succession.

Au-delà de la couverture parfaite et permanente du sol, le profil cultural bénéficie des apports agronomiques considérables du sorgho pour la gestion de la fertilité :

— **recyclage important de paille** indispensable aux hautes productivités de soja et à la production d'un humus stable ;

— **fort développement racinaire** qui s'ajoute à l'humus de la partie aérienne, recrée une structure grumelleuse, et recycle par la surface les éléments minéraux essentiels qui auraient échappé à la culture de soja (bases, K en particulier), préservant ainsi le profil cultural de l'appauvrissement en bases de lixiviation profonde ; l'enracinement à la floraison du sorgho dépasse deux mètres de profondeur⁽¹⁾, confirmant une capacité de recyclage de bases exceptionnelle qui sera déterminante à court terme sur le freinage de l'acidification du profil cultural.

▲ Enfin, les productions de grains cumulées sur trois ans dans les diverses successions annuelles, montrées dans le tableau 34, confirment par leur haut niveau de productivité tout l'intérêt agronomique de telles successions à la fois pour la production de grains de ces Cerrados humides et pour la préservation du capital sol, en assurant une meilleure couverture du sol, une bonne gestion des restitutions organiques et en minimisant les pertes de nutriments par recyclage par la surface.

Les techniques de semis direct s'avèrent donc grâce à leur flexibilité d'utilisation des techniques déterminantes pour la fixation d'une agriculture durable à moindre coût dans les Cerrados humides.

3.2.4 - Performances économiques comparées entre techniques de semis direct et modes de préparation mécanisés des terres

Les résultats économiques sont analysés par culture, puis par systèmes de cultures à une puis à deux cultures annuelles.

De manière générale, pour toutes les cultures, la tendance est à la hausse des coûts de production pour tous les modes de gestion ; on enregistre en monnaie constante de 1986 à 1989 une hausse moyenne des coûts variant de 50 à 66 % (Tableau 35).

Quelle que soit la culture, les coûts des techniques de préparation du sol diffèrent peu ; le semis direct qui substitue l'herbicide à l'usage de l'outil mécanisé est légèrement plus chère que les autres techniques sur riz et maïs, excepté en sol très humide sur soja où son coût est inférieur à celui des labours et du discage continu (Tableau 36).

Les écarts entre coûts de production annuels pour les diverses cultures est aussi généralement faible, inférieurs à 10 %, compte tenu des niveaux d'intrants utilisés et des prix pratiqués.

3.2.4.1 - Systèmes à une seule culture annuelle

■ Sur culture de soja

Sur le pire système représenté par la monoculture continue qui conduit à la baisse inexorable des rendements, la technique de semis direct, avec une marge moyenne sur trois ans de 36 dollars US à l'hectare se classe en quatrième position après la scarification et

(1) Mesures réalisées sous profils culturaux de sorgho à la floraison (20.05.1989, L. Séguy).

Tableau 34 : Productions cumulées dans les successions annuelles avec techniques comparées de scarification et de semis direct, Fazenda Progresso, Mato Grosso, 1986-1989.

Nombre de récoltes sur 3 ans	Nature des récoltes		Céréales			
	céréales	soja	Scarification		Semis direct	
	cycle court	IAC 8				
6 récoltes	3 maïs +	3 sojas	3 maïs	3 519	3 maïs	2 766
	3 sorghos +	3 sojas	3 sorghos	3 750	3 sorghos	3 501
5 récoltes	3 maïs +	2 sojas	3 sorghos	6 204	3 maïs	7 062
	3 sorghos +	2 sojas	3 sorghos	6 914	3 sorghos	7 392
	2 maïs + + 1 riz	2 sojas	2 maïs 1 riz	1 386 800	2 maïs 1 riz	2 232 925
	2 sorghos + + 1 riz	1 soja	2 sorghos 1 riz	3 932 2 625	2 sorghos 1 riz	3 372 2 125
	2 maïs + + 2 sorgho	1 soja	2 maïs 2 sorghos	7 712 2 214	2 maïs 2 sorghos	8 286 2 022
4 récoltes	3 maïs + + 1 sorgho	1 soja	3 maïs 1 sorgho	8 464 852	3 maïs 1 sorgho	7 585 936
	2 riz + + 1 sorgho	1 soja	2 riz 1 sorgho	3 349 1 710	2 riz 1 sorgho	3 148 2 502
	2 riz + + 1 maïs	1 soja	2 riz 1 maïs	4 232 1 296	2 riz 1 maïs	4 497 576
4 récoltes	1 maïs + + 1 riz + 1 sorgho	1 soja	1 maïs 1 riz 1 sorgho	2 978 3 432 1 710	1 maïs 1 riz 1 sorgho	2 590 2 820 2 772

Nombre de récoltes sur 3 ans	Nature des récoltes		Soja IAC 8			
	céréales	soja	Scarification		Semis direct	
	cycle court	IAC 8				
6 récoltes	3 maïs +	3 sojas	3 sojas	6 978	3 sojas	5 897
	3 sorghos +	3 sojas	3 sojas	6 191	3 sojas	7 093
5 récoltes	3 maïs +	2 sojas	2 sojas	5 673	2 sojas	6 750
	3 sorghos +	2 sojas	2 sojas	5 393	2 sojas	6 448
	2 maïs + + 1 riz	2 sojas	2 sojas	5 351	2 sojas	6 362
	2 sorghos + + 1 riz	2 sojas	2 sojas	4 888	2 sojas	5 247
	2 maïs + + 2 sorghos	1 soja	1 soja	2 706	1 soja	2 431
4 récoltes	3 maïs + + 1 sorgho	1 soja	1 soja	2 682	1 soja	2 578
	2 riz + + 1 sorgho	1 soja	1 soja	2 702	1 soja	2 047
	2 riz + + 1 maïs	1 soja	1 soja	2 922	1 soja	2 654
4 récoltes	1 maïs + + 1 riz + 1 sorgho	1 soja	1 soja	2 970	1 soja	3 172

Tableau 35 : Evolution des coûts des intrants et des produits. Fazenda Progresso, Mato Grosso, 1986-1989.

Intrant	Spécification	Unité	Prix 1986-1987	Prix 1987-1988	Variation AN2/AN1 (base 100)	Prix 1988-1989	Variation AN3/AN1 (base 100)
Amendements							
	Calcaire	tonne	13,70	-	-	-	-
	Thermophosphate	tonne	142,06	172,3	121	152,10	107
Engrais							
	Formule soja (0-25-25)	tonne	228,63	212,86	93	205,70	90
	Formule riz-maïs (5-30-15)	tonne	208,50	214,80	103	222,50	107
	Micro-éléments (FTE BR 12)	tonne	346,30	460,90	133	254,80	74
	Chlorure de potassium	tonne	192,20	173,50	90	185,00	96
	Sulfate d'ammoniac	tonne	-	137,70	-	136,10	99
	Urée	tonne	214,10	157,90	74	202,50	95
Insecticides							
	Carbofuran	litre	11,6	26,50	229	15,00	129
	Tecto	kilo	-	11,40	-	7,10	62
	Monocrotophos	litre	4,9	4,20	86	6,40	130
Herbicides							
	Alachlor	litre	7,0	4,25	61	6,60	94
	Pendiméthaline	litre	10,1	7,30	72	8,50	84
	2-4D amine	litre	4,2	4,90	117	3,94	94
	Atrazine + Métalochlor	litre	7,6	7,10	93	5,05	66
	Simazine	litre	-	4,70	-	4,90	104
	Paraquat	litre	-	6,53	-	5,12	78
	Glyphosate	litre	-	12,63	-	9,48	75
Semences							
	Riz	(sac) 60 kg	18,86	15,83	84	16,20	86
	Maïs	60 kg	48,12	34,29	71	49,80	103
	Soja	60 kg	18,86	19,16	102	33,00	175
	Sorgho	60 kg	-	-	-	-	-
	Calloponium	60 kg	68,60	91,50	133	91,50	133
	Cajanus	60 kg	37,14	34,43	143	34,43	143
Produits							
	Riz (Prix IRAT 216)	60 kg	-	-	-	(9,88)	(104)
	Riz (Prix minimum)	60 kg	6,88	7,60	110	7,61	110
	Soja*	60 kg	6,49*	9,78	143	12,00	185
	Maïs (Prix minimum)	60 kg	4,21	4,90	116	6,52	155
	Sorgho (Prix minimum)	60 kg	3,56	4,57	128	4,15	116

Tableau 36 : Coûts comparés du semis direct et des modes de préparation mécanisés des sols⁽¹⁾ sur différentes cultures en dollars par hectare, Fazenda Progresso, Mato Grosso, 1989.

Culture	GR offset	ARF labour (fin de cycle)	ARE labour (début des pluies)	ESCAR scarification	PD semis direct
Maïs	35,71	45,51	38,11	37,31	18,96
Riz	32,84	35,04	35,34	34,44	18,96
Soja	65,75	49,35	52,45	41,15	18,96

(1) Coût des opérations de préparation du sol + semis cumulés.

surtout les labours qui procurent les marges moyennes les plus élevées : 78 dollars US à l'hectare. La pratique de l'offset continu, le pire traitement, entraîne des pertes financières moyennes importantes de plus de 17 dollars US à l'hectare sur trois ans, qui s'accroissent fortement tous les ans : moins 44 dollars US à l'hectare en 1989 (Tableaux 37 et 38, Figures 69 et 70).

En rotation avec riz et maïs, les marges nettes à l'hectare et les taux de rentabilité augmentent fortement pour toutes les techniques de préparation des sols. Dans tous les cas, si les labours constituent les pratiques les plus lucratives, avec en moyenne sur trois ans plus de 210 dollars US à l'hectare de marge nette et des taux de rentabilité de plus de 56 %, la technique de semis direct s'avère une option attractive avec en moyenne sur trois ans une marge nette de plus de 140 dollars US à l'hectare et un taux de rentabilité de plus de 46 %. Ces performances, voisines de celles obtenues avec offset, sont cependant beaucoup plus sûres pour la protection du sol contre l'érosion. On notera, enfin, que la tendance d'évolution des marges nettes est en forte progression la dernière année grâce à des prix de soja plus favorables (Tableau 35).

■ Sur culture de riz pluvial en rotation avec le soja

Les seules pratiques qui garantissent sur trois ans des marges nettes et des taux de rentabilité positifs et attractifs sont celles qui recomposent la macroporosité à chaque cycle, à laquelle le riz pluvial répond très positivement : la scarification et les labours. Le meilleur mode de préparation (labour de début des pluies) allié à la meilleure séquence variétale au cours des trois ans autorise des marges nettes moyennes de plus de 100 dollars US à l'hectare et un taux de rentabilité de plus de 34 %.

Les techniques de semis direct et discage continu conduisent le plus souvent à des résultats négatifs (Tableaux 41 et 42, Figure 71).

■ Sur culture de maïs en rotation avec le soja

Grâce à un relèvement net des prix payés aux producteurs en 1988-1989, tous les modes de préparation mécanisés des sols conduisent à des marges nettes moyennes positives sur trois ans, exceptée la technique de semis direct pratiquée sans couverture morte permanente (Tableau 39). Lorsque la couverture morte est permanente (cas du maïs + *Callophogon*) la pratique du semis direct est la meilleure :

- marge nette moyenne sur trois ans de plus de 110 dollars US à l'hectare :
- taux de rentabilité moyen de plus de 32 %.

(Tableaux 39 et 40, Figure 71).

■ Sur les meilleurs systèmes de cultures, combinant les meilleurs assolements à base de riz, soja, maïs sur trois ans

▲ Le labour d'entrée constitue la technique qui assure les performances économiques les plus élevées et les plus stables :

- marges nettes moyennes sur trois ans variant de 61 à 83 dollars US à l'hectare pour les rotations à dominante céréales, respectivement maïs/soja/maïs et riz/soja/riz, et des taux de rentabilité moyens correspondants de plus de 19 à plus de 38 % ;

— ces marges nettes moyennes augmentent fortement pour les rotations à dominante soja : soja/maïs/soja et soja/riz/soja avec respectivement plus de 177 et plus de 207 dollars US à l'hectare et des taux de rentabilité moyens correspondants de plus de 53 et plus de 61 % (Tableau 43, Figure 72).

Tableau 37 : Performances économiques de la culture de soja dans les systèmes de cultures, Fazenda Progresso, Mato Grosso, 1986-1989.

Année		Monoculture de soja				
		GR	AR F*	ARE	ESCAR	PD*
Coûts de production (\$/ha)	1986-1987	230	244	244	235	244
	1987-1988	271	292	299	291	286
	1988-1989	358	348	364	331	348
	Moyenne	286	294	302	285	292
Marges nettes (\$/ha)	1986-1987	+ 56	+ 97	+ 97	+ 74	+ 97
	1987-1988	- 65	+ 86	+ 57	+ 65	0
	1988-1989	- 44	+ 11	+ 80	+ 78	+ 12
	Moyenne	- 18	+ 64	+ 78	+ 72	+ 35
Taux de rentabilité (%)	1986-1987	+ 24	+ 40	+ 40	+ 31	+ 40
	1987-1988	- 24	+ 29	+ 19	+ 22	0
	1988-1989	- 12	+ 03	+ 22	+ 24	+ 08
	Moyenne	- 06	+ 22	+ 26	+ 25	+ 12
Année		Soja après riz				
		GR	ARF*	ARE	ESCAR	PD*
Coûts de production (\$/ha)	1986-1987	239	247	247	243	247
	1987-1988	299	300	312	300	303
	1988-1989	401	390	411	364	378
	Moyenne	313	312	323	302	309
Marges nettes (\$/ha)	1986-1987	+ 105	+ 113	+ 113	+ 115	+ 113
	1987-1988	+ 129	+ 128	+ 149	+ 130	+ 116
	1988-1989	+ 225	+ 276	+ 377	+ 168	+ 200
	Moyenne	+ 153	+ 172	+ 213	+ 138	+ 143
Taux de rentabilité (%)	1986-1987	+ 44	+ 46	+ 46	+ 47	+ 46
	1987-1988	+ 43	+ 42	+ 48	+ 43	+ 38
	1988-1989	+ 56	+ 70	+ 91	+ 46	+ 53
	Moyenne	+ 49	+ 55	+ 66	+ 45	+ 46
Année		Soja après maïs				
		GR	ARF*	ARE	ESCAR	PD
Coûts de production (\$/ha)	1986-1987	242	252	252	246	252
	1987-1988	302	304	312	301	303
	1988-1989	395	386	412	371	375
	Moyenne	313	314	325	306	310
Marges nettes (\$/ha)	1986-1987	+ 118	+ 140	+ 140	+ 129	+ 140
	1987-1988	+ 151	+ 156	+ 147	+ 133	+ 117
	1988-1989	+ 189	+ 247	+ 381	+ 214	+ 188
	Moyenne	+ 152	+ 181	+ 222	+ 159	+ 145
Taux de rentabilité (%)	1986-1987	+ 49	+ 56	+ 56	+ 53	+ 56
	1987-1988	+ 50	+ 51	+ 47	+ 44	+ 39
	1988-1989	+ 47	+ 64	+ 92	+ 57	+ 49
	Moyenne	+ 49	+ 58	+ 68	+ 52	+ 47

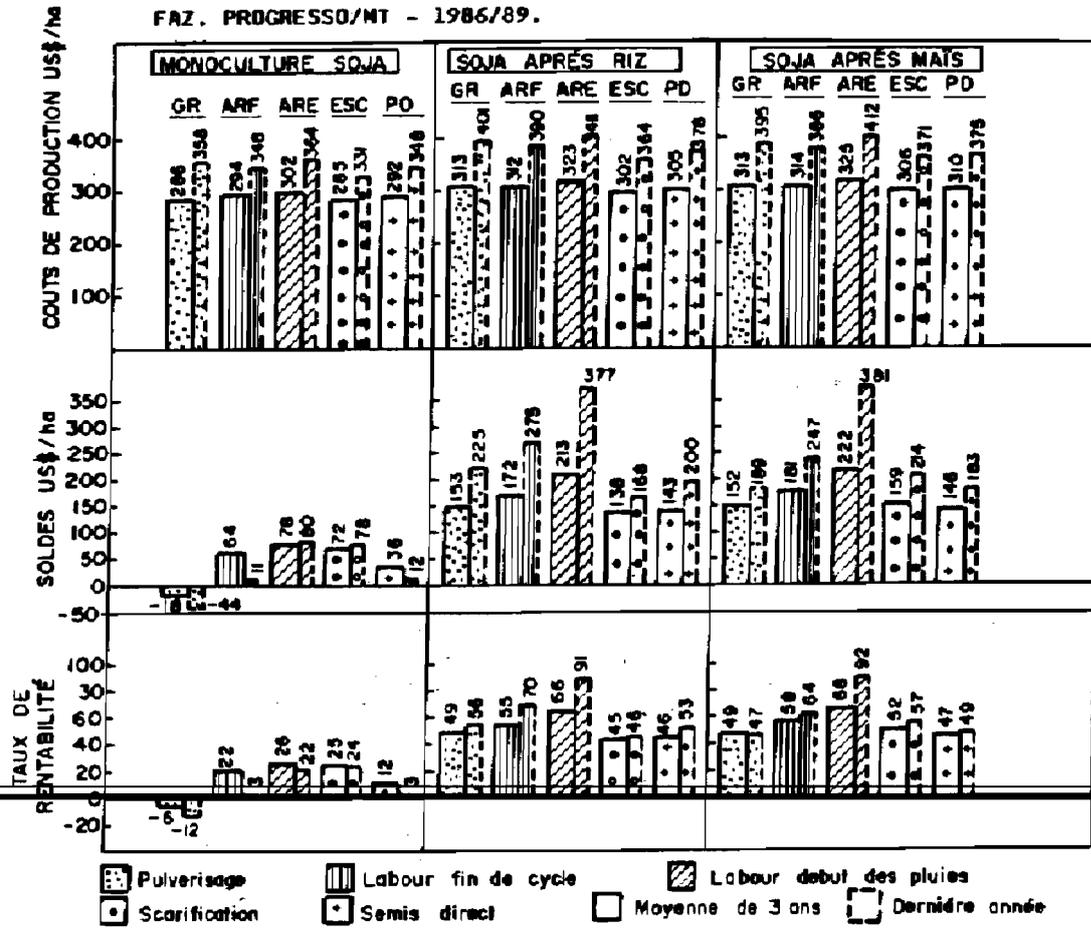
* Préparation du sol : GR : offset, ARF : labour fin de cycle, ARE : labour des pluies, ESCAR : scarification, PD : semis direct (no tillage).
La première année (1986-1987), PD, ARF, ARE, tous ont reçu un labour de début des pluies.

Tableau 38 : Performances économiques moyennes sur trois ans et en dernière année de la culture de soja dans les systèmes de cultures, Fazenda Progresso, Mato Grosso, 1986-1989.

		Monoculture de soja	
		Préparation du sol	
			Moyenne 3 ans Dernière année
Coûts de production (\$/ha)	GR		286 358
	ARF		294 348
	ARE		302 364
	ESCAR		285 331
	PD		292 348
Marges nettes (\$/ha)	GR		- 18 - 44
	ARF		+ 64 + 11
	ARE		+ 78 + 80
	ESCAR		+ 72 + 78
	PD		+ 36 + 12
Taux de rentabilité (%)	GR		- 06 - 12
	ARF		+ 22 + 03
	ARE		+ 26 + 22
	ESCAR		+ 25 + 24
	PD		+ 12 + 03
		Soja après riz	
		Préparation du sol	
			Moyenne 3 ans Dernière année
Coûts de production (\$/ha)	GR		313 401
	ARF		312 390
	ARE		323 411
	ESCAR		302 364
	PD		309 378
Marges nettes (\$/ha)	GR		+ 153 + 225
	ARF		+ 172 + 275
	ARE		+ 213 + 377
	ESCAR		+ 138 + 168
	PD		+ 143 + 200
Taux de rentabilité (%)	GR		+ 49 + 56
	ARF		+ 55 + 70
	ARE		+ 66 + 91
	ESCAR		+ 45 + 46
	PD		+ 46 + 53
		Soja après maïs	
		Préparation du sol	
			Moyenne 3 ans Dernière année
Coûts de production (\$/ha)	GR		313 395
	ARF		314 386
	ARE		325 412
	ESCAR		306 371
	PD		310 375
Marges nettes (\$/ha)	GR		+ 152 + 189
	ARF		+ 181 + 247
	ARE		+ 222 + 381
	ESCAR		+ 159 + 214
	PD		+ 146 + 183
Taux de rentabilité (%)	GR		+ 49 + 47
	ARF		+ 58 + 64
	ARE		+ 68 + 92
	ESCAR		+ 52 + 57
	PD		+ 47 + 49

GR : offset, ARF : labour de fin de cycle, ARE : labour début des pluies, ESCAR : scarification, PD : semis direct.

Fig. 69. RESULTATS ECONOMIQUES (MOYENNE DE 3 ANS ET DERNIERE ANNEE) DU SOJA DE CYCLE MOYEN SOUS DIVERS MODES DE GESTION DU SOL ET DES CULTURES. FAZ. PROGRESSO/MT - 1986/89.



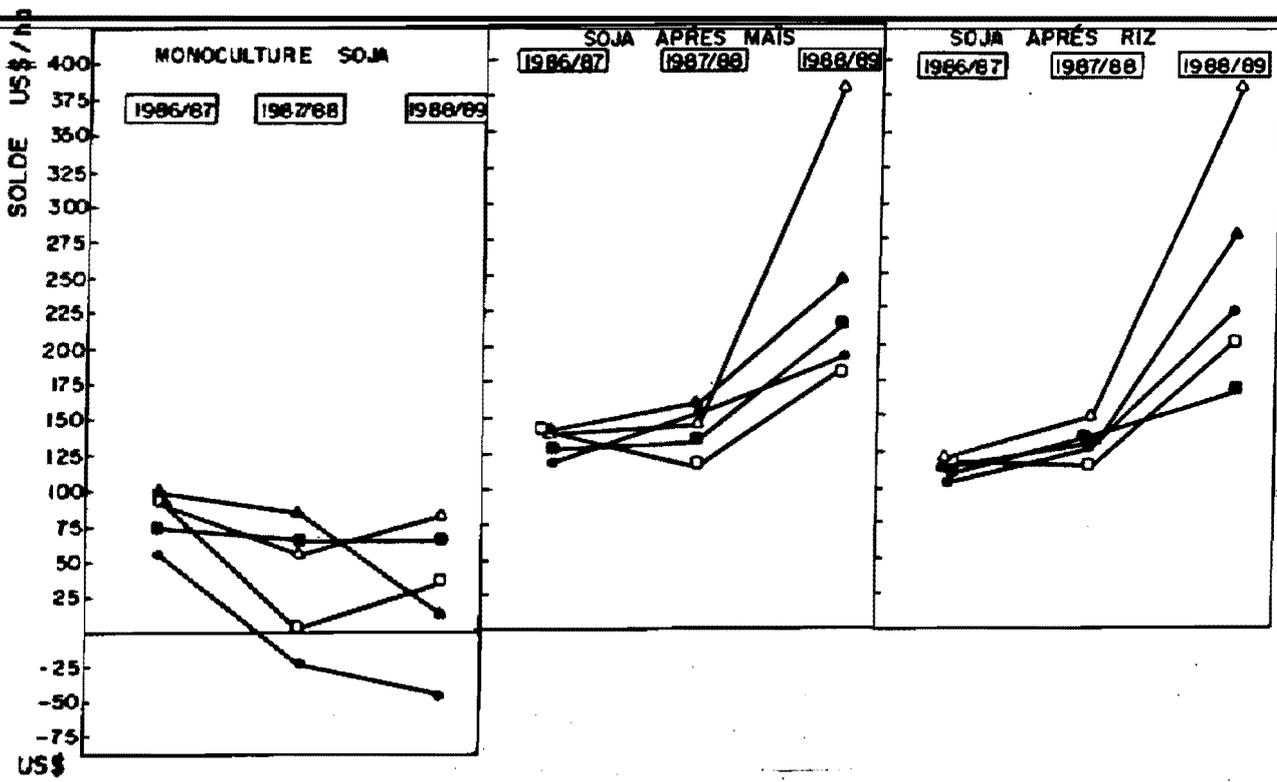


FIG 70. EVOLUTION DES SOLDES (EN \$/ha) DU SOJA DE CYCLE MOYEN SOUS DIVERS MODES DE GESTION DU SOL ET DES CULTURES. FAZ. PROGRESSO - 1986/89.

Tableau 39 : Performances économiques de la culture du maïs dans les systèmes de cultures, Fazenda Progresso, Mato Grosso, 1986-1989.

		Maïs après soja				
		GR	ARF*	ARE	ESC	PD*
Coût de production (\$/ha)	1986-1987	295	310	310	298	298
	1987-1988	347	347	348	351	351
	1988-1989	359	363	356	355	359
	Moyenne	333	340	338	334	333
Marges nettes (\$/ha)	1986-1987	- 60	- 46	- 46	- 54	- 46
	1987-1988	+ 19	+ 04	+ 11	+ 26	+ 37
	1988-1989	+ 111	+ 77	+ 82	+ 85	+ 33
	Moyenne	+ 23	+ 11	+ 16	+ 19	+ 16
Taux de rentabilité (%)	1986-1987	- 26	- 15	- 15	- 18	- 15
	1987-1988	+ 06	+ 01	+ 03	+ 08	+ 10
	1988-1989	+ 31	+ 21	+ 23	+ 24	+ 09
	Moyenne	+ 07	+ 03	+ 05	+ 06	+ 05
Après riz ou maïs + <i>Callopogonium</i>						
		Semis direct avec couverture morte permanente		Labour début des pluies		
Coûts de production (\$/ha)	1986-1987	310		310		
	1987-1988	311		309		
	1988-1989	410		405		
	Moyenne	344		341		
Marges nettes (\$/ha)	1986-1987	- 46		- 46		
	1987-1988	+ 93		+ 43		
	1988-1989	+ 285		+ 306		
	Moyenne	+ 110		+ 101		
Taux de rentabilité (%)	1986-1987	- 15		- 15		
	1987-1988	+ 30		+ 14		
	1988-1989	+ 69		+ 75		
	Moyenne	+ 32		+ 30		

* En première année, traitement ARE sur ARF et PD.

GR : offset, ARF : labour fin de cycle, ARE : labour début des pluies, ESC : scarification, PD : semis direct sans couverture.

Tableau 40 : Performances économiques de divers systèmes de cultures pratiqués avec labour et semis direct avec couverture morte de *Callopoponium*, Fazenda Progresso, Mato Grosso, 1986-1989.

Modes de gestion des sols et cultures					Coûts de production (\$/ha)			
1 ^{re} année	2 ^e et 3 ^e année préparation x fumure		Culture 2 ^e année	Culture 3 ^e année	86-87	87-88	88-89	Moyenne
Labour de début des pluies	Labour	NPK localisé(1)	Soja	Maïs	300	230	351	294
			Maïs + <i>Callopoponium</i>	Maïs	300	274	351	308
x fumure convent.		Thermophosphate 1 500 kg/ha(2)	Soja	Maïs	300	280	405	329
			Maïs + <i>Callopoponium</i>	Maïs	300	311	405	339
x Riz + <i>Callopoponium</i>	Semis direct	NPK localisé	Soja	Maïs	300	246	381	309
			Maïs + <i>Callopoponium</i>	Maïs	300	275	381	319
		Thermophosphate	Soja	Maïs	300	295	410	335
			Maïs + <i>Callopoponium</i>	Maïs	300	309	410	340
Modes de gestion des sols et cultures					Marges nettes (\$/ha)			
1 ^{re} année	2 ^e et 3 ^e année préparation x fumure		Culture 2 ^e année	Culture 3 ^e année	86-87	87-88	88-89	Moyenne
Labour de début des pluies	Labour	NPK localisé(1)	Soja	Maïs	+ 108	- 53	- 160	+ 71
			Maïs + <i>Callopoponium</i>	Maïs	+ 108	+ 71	+ 160	+ 113
x fumure convent.		Thermophosphate 1 500 kg/ha(2)	Soja	Maïs	+ 108	- 71	+ 307	+ 114
			Maïs + <i>Callopoponium</i>	Maïs	+ 108	+ 93	+ 307	+ 169
x Riz + <i>Callopoponium</i>	Semis direct	NPK localisé	Soja	Maïs	+ 108	+ 51	+ 184	+ 114
			Maïs + <i>Callopoponium</i>	Maïs	+ 108	+ 40	+ 184	+ 111
		Thermophosphate	Soja	Maïs	+ 108	+ 66	+ 285	+ 153
			Maïs + <i>Callopoponium</i>	Maïs	+ 108	+ 44	+ 285	+ 145
Modes de gestion des sols et cultures					Taux de rentabilité (%)			
1 ^{re} année	2 ^e et 3 ^e année préparation x fumure		Culture 2 ^e année	Culture 3 ^e année	86-87	87-88	88-89	Moyenne
Labour de début des pluies	Labour	NPK localisé(1)	Soja	Maïs	+ 36	- 23	+ 45	+ 24
			Maïs + <i>Callopoponium</i>	Maïs	+ 36	+ 26	+ 45	+ 37
x fumure convent.		Thermophosphate 1 500 kg/ha(2)	Soja	Maïs	+ 36	- 25	+ 75	+ 35
			Maïs + <i>Callopoponium</i>	Maïs	+ 36	+ 30	+ 75	+ 50
x Riz + <i>Callopoponium</i>	Semis direct	NPK localisé	Soja	Maïs	+ 36	+ 20	+ 48	+ 37
			Maïs + <i>Callopoponium</i>	Maïs	+ 36	+ 14	+ 48	+ 35
		Thermophosphate	Soja	Maïs	+ 36	+ 22	+ 69	+ 45
			Maïs + <i>Callopoponium</i>	Maïs	+ 36	+ 14	+ 69	+ 43

(1) Fumure ou semis soja : 350 kg/ha de 0-25-25, riz et maïs : 300 kg/ha de 5-30-15 + FTE BR 12 + couvertures M (100 kg/ha urée).

(2) Thermophosphate Yoorin B2 : 1 500 kg/ha améris sur trois cultures, N et K aux mêmes niveaux que fumure localisée.

Tableau 41 : Performances économiques du riz pluvial dans les systèmes de cultures, Fazenda Progresso, Mato Grosso, 1986-1989.

		Monoculture riz Cu/Cu/Ma ARE	Riz en rotation après soja				
			Séquence Cuiabana/Cuiabana/Makouta				
			GR	ARF*	ARE	ESCAR	PD*
Coûts de production (\$/ha)	1986-1987	239	234	246	246	236	246
	1987-1988	308	313	336	335	307	323
	1988-1989	319	317	344	345	318	344
	Moyenne	289	288	308	308	287	304
Marges nettes (\$/ha)	1986-1987	- 08	+ 08	+ 26	+ 26	+ 16	+ 26
	1987-1988	- 120	- 47	+ 27	+ 26	- 86	- 105
	1988-1989	- 103	- 70	- 15	+ 28	- 75	- 173
	Moyenne	- 77	- 36	+ 12	+ 27	- 48	- 84
Taux de rentabilité (%)	1986-1987	- 03	+ 03	+ 11	+ 11	+ 07	+ 11
	1987-1988	- 39	- 15	+ 08	+ 08	- 28	- 33
	1988-1989	- 32	- 22	- 04	+ 08	- 23	- 50
	Moyenne	- 27	- 12	+ 04	+ 09	- 16	- 27

		Monoculture riz Cu/Cu/Ma ARE	Riz en rotation après soja				
			Séquence Cuiabana/Cabassou/IRAT 216				
			GR	ARF	ARE	ESCAR	PD*
Coûts de production (\$/ha)	1986-1987	234	246	246	236	246	
	1987-1988	327	348	355	342	330	
	1988-1989	321	342	347	337	362	
	Moyenne	294	312	316	305	312	
Marges nettes (\$/ha)	1986-1987	+ 08	+ 26	+ 26	+ 16	+ 16	
	1987-1988	+ 27	+ 90	+ 131	+ 99	- 18	
	1988-1989	- 22	+ 64	+ 165	+ 63	- 16	
	Moyenne	+ 04	+ 60	+ 107	+ 59	- 12	
Taux de rentabilité (%)	1986-1987	+ 03	+ 11	+ 11	+ 07	+ 11	
	1987-1988	+ 08	+ 26	+ 37	+ 29	- 20	
	1988-1989	+ 07	+ 18	+ 47	+ 19	- 15	
	Moyenne	+ 01	+ 19	+ 34	+ 19	- 10	

* ARF et PD même traitement que ARE en première année.

GR : effect, ARF : labour fin de cycle, ARE : labour début des pluies, ESCAR : scarification, PD : semis direct.

Tableau 42 : Performances économiques de la culture de riz pluvial dans divers systèmes de cultures (moyenne de trois ans). Fazenda Progresso, Mato Grosso, 1986-1989.

		Monoculture de riz			Rotation riz après soja					
		Séquence Cuiabana/Cuiabana/Makouta			Séquence Cuiabana/Cuiabana/Makouta			Séquence Cuiabana/Cabassou/IRAT 216		
		Coûts de production (\$/ha)	Marges nettes (\$/ha)	Taux de rentabilité (%)	Coûts de production (\$/ha)	Marges nettes (\$/ha)	Taux de rentabilité (%)	Coûts de production (\$/ha)	Marges nettes (\$/ha)	Taux de rentabilité (%)
GR	offset				288	- 36	- 12	294	+ 04	+ 01
MEF	labour fin de cycle				308	+ 12	+ 04	312	+ 60	+ 19
ARE	labour début des pluies	289	- 17	- 27	308	+ 27	+ 09	316	+ 107	+ 34
ESCAR	scarification				287	- 48	- 16	305	+ 59	+ 19
FD	semis direct				304	- 84	- 27	312	- 32	- 10

Tableau 43 : Performances économiques des meilleurs systèmes de cultures céréales soja, comparées à celles de la monoculture de soja. Fazenda Progresso, Mato Grosso 1986-1989.

		Coûts de production (\$/ha)				
		86-87	87-88	88-89	Moyenne	
Monoculture de soja	GRA	286,2	271,3	358,5	305,3	
	PD	244,0	286,3	348,0	292,7	
	ESCAR	235,6	291,3	331,7	286,7	
	ARF	244,0	294,0	348,4	295,5	
	ARE	244,0	299,0	364,1	302,3	
Monoculture riz (CuCaia)	ARE	239,1	307,8	315,6	287,5	
	Soja/riz/soja	GRA	239,5	327,2	401,4	322,7
		PD	247,0	330,1	378,0	318,3
		ESCAR	243,2	342,5	363,7	313,3
		ARF	247,0	347,7	390,4	328,3
ARE		247,0	355,6	411,4	338,0	
Riz/soja/riz	GRA	234,3	299,0	321,0	284,8	
	PD	246,1	302,9	361,7	303,6	
	ESCAR	236,3	300,5	337,6	291,3	
	ARF	246,1	300,1	347,9	296,0	
	ARE	246,1	312,0	347,5	301,6	
Soja/maïs/soja	GRA	241,8	347,4	395,6	328,2	
	PD	251,9	361,3	375,2	329,3	
	ESCAR	245,9	350,7	377,1	322,6	
	ARF	251,9	347,0	386,0	328,3	
	ARE	251,9	348,6	412,1	337,5	
Maïs/soja/maïs	GRA	309,9	302,0	358,7	318,6	
	PD	309,9	303,1	358,7	324,0	
	ESCAR	298,2	301,0	355,3	318,0	
	ARF	309,9	304,0	365,6	322,6	
	ARE	309,9	312,0	353,7	325,7	
		Marges nettes (\$/ha)				
		86-87	87-88	88-89	Moyenne	
Monoculture de soja	GRA	+ 55,7	- 65,4	- 44,1	- 17,7	
	PD	+ 96,8	0,0	+ 12,0	+ 36,3	
	ESCAR	+ 74,2	+ 65,5	+ 78,7	+ 72,8	
	ARF	+ 96,8	+ 86,4	+ 11,6	+ 64,9	
	ARE	+ 96,8	+ 57,6	+ 79,9	+ 78,1	
Monoculture riz (CuCaia)	ARE	- 8,3	- 120,5	- 61,8	- 63,7	
	Soja/riz/soja	GRA	+ 105,5	+ 26,0	+ 225,0	+ 119,2
		PD	+ 112,9	- 68,9	+ 200,4	+ 81,4
		ESCAR	+ 115,5	+ 98,9	+ 167,9	+ 127,4
		ARF	+ 112,9	+ 89,7	+ 275,5	+ 159,0
ARE		+ 112,9	+ 131,4	+ 377,0	+ 207,4	
Riz/soja/riz	GRA	+ 7,9	+ 120,4	- 22,7	+ 38,5	
	PD	+ 26,4	+ 116,0	- 56,4	+ 66,0	
	ESCAR	+ 16,2	+ 129,7	+ 63,5	+ 69,8	
	ARF	+ 26,4	+ 128,0	+ 64,2	+ 72,9	
	ARE	+ 26,4	+ 148,7	+ 165,2	+ 113,1	
Soja/maïs/soja	GRA	+ 118,2	+ 19,5	+ 188,8	+ 108,8	
	PD	+ 140,4	- 37,0	+ 182,8	+ 95,4	
	ESCAR	+ 129,7	+ 26,6	+ 214,4	+ 123,6	
	ARF	+ 140,4	+ 0,4	+ 247,6	+ 130,8	
	ARE	+ 140,4	+ 11,3	+ 381,1	+ 177,8	
Maïs/soja/maïs	GRA	- 60,0	+ 150,8	+ 111,4	+ 67,4	
	PD	- 46,6	+ 117,5	+ 33,1	+ 34,4	
	ESCAR	- 54,2	- 134,5	+ 84,8	+ 54,2	
	ARF	- 46,6	+ 156,7	+ 77,1	+ 62,4	
	ARE	- 46,6	+ 147,2	+ 82,4	+ 61,0	
		Taux de rentabilité (%)				
		86-87	87-88	88-89	Moyenne	
Monoculture de soja	GRA	+ 19	- 24	- 12	- 06	
	PD	+ 40	0	+ 03	+ 12	
	ESCAR	+ 31	+ 22	+ 24	+ 25	
	ARF	+ 40	+ 29	+ 03	+ 25	
	ARE	+ 40	+ 19	+ 25	+ 26	
Monoculture riz (CuCaia)	ARE	- 03	- 39	- 20	- 22	
	Soja/riz/soja	GRA	+ 44	+ 08	+ 56	+ 40
		PD	+ 46	- 20	+ 53	+ 26
		ESCAR	+ 47	+ 29	+ 46	+ 41
		ARF	+ 46	+ 26	+ 70	+ 49
ARE		+ 46	+ 37	+ 91	+ 61	
Riz/soja/riz	GRA	+ 03	+ 43	- 07	+ 13	
	PD	+ 11	+ 38	- 15	+ 22	
	ESCAR	+ 07	+ 43	+ 19	+ 24	
	ARF	+ 11	+ 42	+ 18	+ 25	
	ARE	+ 11	+ 48	+ 47	+ 38	
Soja/maïs/soja	GRA	+ 44	+ 06	+ 47	+ 33	
	PD	+ 56	- 10	+ 49	+ 29	
	ESCAR	+ 53	+ 08	+ 57	+ 38	
	ARF	+ 56	+ 01	+ 64	+ 40	
	ARE	+ 56	+ 03	+ 92	+ 53	
Maïs/soja/maïs	GRA	- 26	+ 30	+ 31	+ 21	
	PD	- 15	+ 39	+ 09	+ 10	
	ESCAR	- 18	+ 44	+ 24	+ 17	
	ARF	- 15	+ 51	+ 21	+ 19	
	ARE	- 15	+ 47	+ 23	+ 19	

GRA : pulvérisage continu à l'offset, PD : semis direct, ESCAR : scarification profonde, ARF : labour de fin de cycle, ARE : labour de début des pluies.

FIG 71. RESULTATS ECONOMIQUES (MOYENNE DE 3 ANS ET DERNIERE ANNEE) DU RIZ ET DU MAIS DE CYCLE MOYEN SOUS DIVERS MODES DE GESTION DU SOL ET DES CULTURES. FAZ.PROGRESSO/MT - 1986/89.

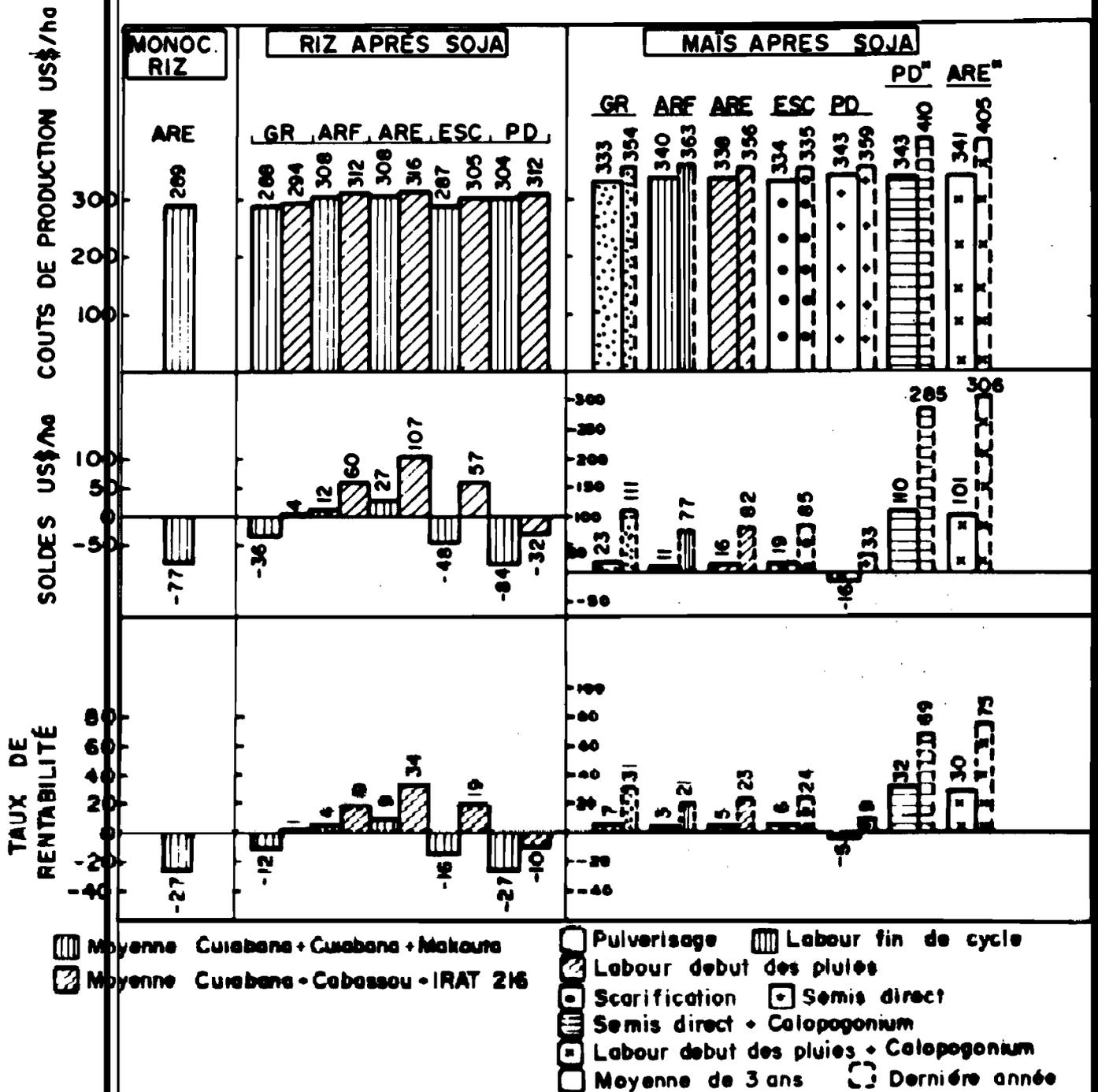
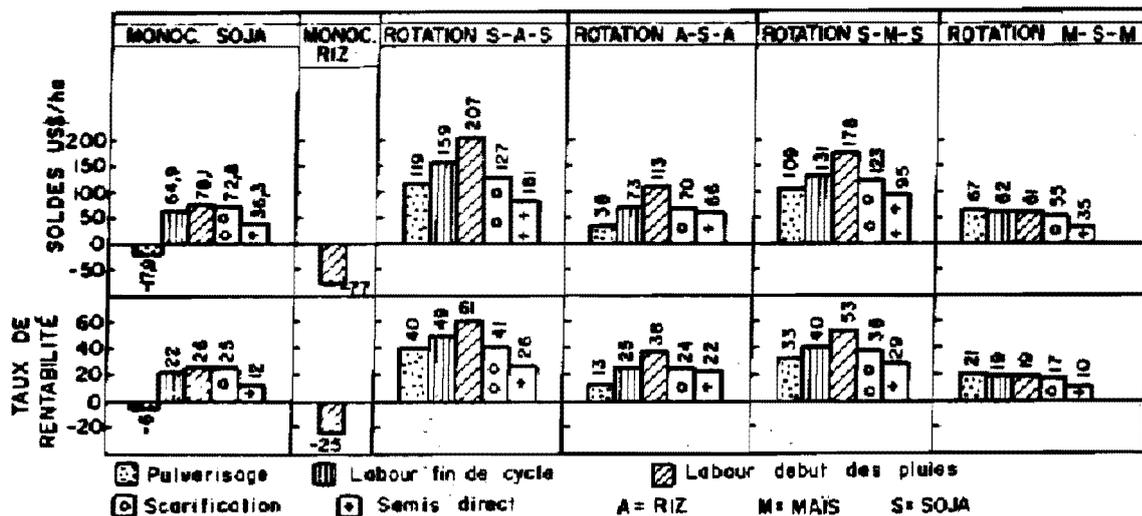


Fig. 72 - RESULTATS ECONOMIQUES DES DIVERSES ALTERNATIVES SYSTEMES (MOYENNE DE 3 ANS), COMPAREES AU TEMOIN (OFFSET x MONOCULTURE DE SOJA).
FAZ. PROGRESSO/MT - 1986/89.



▲ Dans ces mêmes rotations, la technique de semis direct procure des bénéfices moyens sur trois ans voisins de ceux obtenus avec la pratique continue de l'offset :

— marges nettes moyennes comprises entre plus de 34 et plus de 66 dollars à l'hectare dans les rotations à dominance céréales maïs et riz respectivement et des taux de rentabilité correspondants de plus de 10 à plus de 22 % ;

— ces marges atteignent plus de 81 et plus de 95 dollars US à l'hectare dans les rotations à dominante soja avec maïs et riz respectivement et des taux de rentabilité correspondants de plus de 29 et plus de 26 % (Tableaux 39 à 43, Figures 69 à 73).

3.2.4.2 - Dans les systèmes à deux cultures annuelles continues ou en rotation avec une culture unique

Les performances économiques des successions annuelles, plutôt négatives les première et deuxième années, ont beaucoup progressées en troisième année grâce, simultanément, à l'amélioration des techniques de semis (semis direct et semis par avion du sorgho) et à la réduction drastique des coûts de production consentis sur les cultures de maïs et de sorgho, les moins bien payées (Tableaux 46, 47, 48 et 48b).

En effet, les deux premières années, les marges nettes par hectare, bien que toujours positives sur la première culture de soja IAC 8 (Tableau 44), souvent supérieures à 120 dollars US à l'hectare, ont été entièrement consommées par les résultats négatifs obtenus sur la céréale en succession (sorgho et maïs). Ces résultats négatifs, obtenus sur la céréale en succession, étaient dus, à la fois, à une faible productivité imputable à une date de semis trop tardive, au coût élevé des intrants (semences + herbicides + engrais) et aux faibles prix payés au producteur pour ces produits.

L'ajustement des dates de semis grâce, d'une part, à la technique de semis direct, réalisé au fur et à mesure de la récolte du soja IAC 8, et à la technique de semis par avion du sorgho d'autre part, allié à l'application d'intrants minimum (semences uniquement), ont permis de rendre ces successions à la fois très lucratives et facilement praticables avec minimisation des risques climatique et économique (Tableaux 47, 48 et 48b).

Les meilleures successions annuelles sont toujours celles qui sont en rotation avec une seule culture l'année précédente : soja + maïs et soja + sorgho après maïs, sorgho ou riz (Tableaux 46, 47 et 48). Les marges nettes à l'hectare oscillent pour les meilleures entre 180 et 300 dollars US à l'hectare pour un coût additionnel de production par rapport au soja, dérisoire de 30 à 50 dollars US à l'hectare.

Dans cette marge attractive, la part du sorgho (culture la plus flexible), est de plus de 100 dollars US à l'hectare ; le taux de rentabilité moyen pour ces successions varie entre 35 et 50 % ; le taux de rentabilité du sorgho est très élevé et varie de 152 à 248 % (Tableaux 48 et 48b).

En conclusion, nous recommanderons la rotation de la meilleure succession annuelle soja IAC 8 + sorgho (BR 301) avec une seule culture l'année précédente : riz ou maïs. Ce système permet, outre la maximisation de la marge nette à l'hectare, de maximiser aussi l'utilisation et la capacité des équipements mécanisés.

3.2.5 - Performances techniques comparées entre pratique de semis direct et modes de préparation mécanisés des terres

Deux critères d'évaluation ont été retenus :

- flexibilité d'intervention traduite par la capacité de travail des équipements en fonction des états physiques et des conditions d'humidité du sol pour les opérations de semis ;
- coût d'utilisation à l'hectare.

Tableau 44 : Performances économiques du soja de cycle court (IAC 8) partiqué dans diverses successions annuelles et avec deux modes de préparation du sol. Fazenda Progresso, Mato Grosso, 1986-1989.

	Année	Succession et précédent			
		(soja + maïs)* après maïs		(soja + sorgho)* après maïs et sorgho	
		Préparation du sol			
		ESCAR ⁽¹⁾	PD ⁽¹⁾	ESCAR	PD
Coûts de production (\$/ha)	86-87	230	259	230	259
	87-88	285	302	285	301
	88-89*	505	507	493	499
	Moyenne	340	356	336	353
Marges nettes (\$/ha)	86-87	+ 26	+ 122	+ 26	+ 122
	87-88	+ 131	+ 85	+ 131	+ 75
	88-89	+ 214	+ 177	+ 137	+ 128
	Moyenne	+ 124	+ 128	+ 98	+ 108
Taux de rentabilité (%)	86-87	+ 11	+ 47	+ 11	+ 47
	87-88	+ 46	+ 28	+ 46	+ 25
	88-89	+ 42	+ 35	+ 28	+ 26
	Moyenne	+ 36	+ 36	+ 29	+ 31

	Année	Succession et précédent			
		(soja + maïs)* après (riz + Cajanus)		(soja + sorgho)* après (riz + Calloponium)	
		Préparation du sol			
		ESCAR ⁽¹⁾	PD ⁽¹⁾	ESCAR	PD
Coûts de production (\$/ha)	86-87	226	230	226	230
	87-88	284	305	285	294
	88-89*	498	513	488	493
	Moyenne	336	349	333	339
Marges nettes (\$/ha)	86-87	+ 06	+ 52	+ 06	+ 52
	87-88	+ 144	+ 110	+ 132	+ 22
	88-89	+ 171	+ 214	+ 107	+ 89
	Moyenne	+ 107	+ 125	+ 82	+ 54
Taux de rentabilité (%)	86-87	+ 03	+ 21	+ 03	+ 21
	87-88	+ 50	+ 38	+ 47	+ 08
	88-89	+ 34	+ 42	+ 22	+ 18
	Moyenne	+ 32	+ 36	+ 25	+ 16

	Année	Succession et précédent			
		(soja + maïs) après (soja + maïs)		(soja + sorgho) après (soja + sorgho)	
		Préparation du sol			
		ESCAR ⁽¹⁾	PD ⁽¹⁾	ESCAR	PD
Coûts de production (\$/ha)	86-87	221	232	221	232
	87-88	278	290	280	304
	88-89*	393	374	366	408
	Moyenne	297	298	289	314
Marges nettes (\$/ha)	86-87	- 10	- 07	- 10	- 07
	87-88	+ 80	+ 10	+ 99	+ 103
	88-89	+ 184	+ 15	+ 15	+ 231
	Moyenne	+ 84	+ 06	+ 34	+ 109
Taux de rentabilité (%)	86-87	- 04	- 03	- 04	- 03
	87-88	+ 29	+ 03	+ 35	+ 34
	88-89	+ 47	+ 04	+ 04	+ 57
	Moyenne	+ 28	+ 02	+ 12	+ 35

(1) ESCAR : scarification profonde, PD : semis direct (excepté année 1986-1987 : labour début des pluies).

* Dernière année, amortissement thermophosphate seulement sur soja IAC 8 (environ 186 \$/ha).

Tableau 11 - Productivités et performances économiques du riz de cycle court dans successions annuelles
Cajanus + riz pratiquées avec trois modes de préparation du sol. Fazenda Progresso, Mato Grosso, 1986-1989.

		Productivité (kg/ha)	Coûts de production (\$/ha)	Marge nette (\$/ha)	Taux de rentabilité (%)
Escar* Scarification	1986-1987	2 652	241,5	- 2,6	- 01
	1987-1988	2 625	329,7	- 2,7	+ 01
	1988-1989	3 318	338,3	+ 82,5	+ 24
	Moyenne	2 865	303,1	+ 27,5	+ 09
PD* Semis direct	1986-1987	2 714	294,4	+ 41,2	+ 14
	1987-1988	2 125	335,8	- 66,8	- 20
	1988-1989	2 757	344,1	+ 6,6	+ 02
	Moyenne	2 532	324,8	- 6,3	- 02
Are* labour début des pluies	1986-1987	2 714	294,4	+ 41,2	+ 14
	1987-1988	3 455	408,7	+ 29,0	+ 07
	1988-1989	3 636	358,0	+ 103,0	+ 29
	Moyenne	3 268	353,7	+ 57,7	+ 16

Tableau 46 : Performances économiques des successions annuelles en rotation, Fazenda Progresso, Mato Grosso, 1986-1989.

Rotation	Préparation du sol		Coûts de production (\$/ha)			
			86-87	87-88	88-89	Moyenne
Soja/soja/soja + + +	(P ₉)	PD	374,8	482,6	456,1	437,8
sorgho/sorgho/sorgho	(P ₁)	ESCAR	367,9	458,6	414,5	413,6
Maïs/soja/maïs + +	(P ₁₈)	PD	309,9	475,0	407,9	397,6
sorgho/sorgho	(P ₁₆)	ESCAR	298,2	461,4	405,0	386,2
Riz/soja/riz + + +	(P ₂₇)	PD	248,8	488,6	313,0	350,1
Gallo./sorgho/Callo.	(P ₂₅)	ESCAR	236,6	453,9	302,3	330,9
Guanou/soja/riz + + +	(P ₃₀)	PD	291,8	513,0	386,6	397,1
Maïs/sorgho/maïs	(P ₂₈)	ESCAR	277,7	472,6	375,6	375,3
Soja/soja/soja + + +	(P ₆)	PD	388,7	464,5	413,1	422,1
Maïs/maïs/maïs	(P ₇)	ESCAR	373,5	470,4	423,5	422,5
Maïs/soja/maïs + +	(P ₁₅)	PD	309,9	478,5	403,3	397,2
Maïs/sorgho	(P ₁₃)	ESCAR	298,1	473,9	401,1	391,0
Riz/soja/riz + + +	(P ₂₁)	PD	248,8	491,2	324,3	354,7
Guanou/maïs	(P ₂₂)	ESCAR	236,6	479,8	322,0	345,1
Guanou/soja/Guanou + + +	(P ₃₃)	PD	294,4	489,0	358,7	380,7
Riz/maïs/riz	(P ₃₁)	ESCAR	280,0	484,4	365,7	376,7
	(P ₃₂)	ARE	294,3	504,9	378,5	392,5
Soja/maïs/soja + +	(P ₃₇)	PD	413,0	361,8	552,2	442,3
Maïs maïs (A)	(P ₃₉)	ESCAR	383,6	341,0	542,2	422,2
Soja/sorgho/soja + + +	(P ₄₀)	PD	410,9	283,6	552,2	416,5
sorgho/soja/sorgho	(P ₄₂)	ESCAR	376,0	262,0	546,8	349,9
Soja/Guanou/soja + + +	(P ₄₆)	PD	390,3	343,1	547,9	427,1
maïs/riz/maïs (A)	(P ₄₈)	ESCAR	377,5	354,6	533,4	421,8
Soja/riz/soja + + +	(P ₄₃)	PD	377,2	335,8	547,7	420,2
Sorgho/callo./sorgho (A)	(P ₅₁)	ESCAR	376,4	329,6	540,9	415,6

PD : semis direct sur la culture de soja ; ESCAR : scarification profonde sur la culture de soja ; le semis direct est en règle sur la seconde culture en succession.

Tableau 46 : Performances économiques des successions annuelles en rotation, Fazenda Progresso, Mato Grosso, 1986-1989 (suite).

Rotation	Préparation du sol	Marges nettes (\$/ha)				
		86-87	87-88	88-89	Moyenne	
Soja/soja/soja + + + sorgho/sorgho/sorgho	(P ₉) (P ₄)	PD ESCAR	- 82,8 - 79,3	+ 31,5 + 28,1	+ 271,7 + 55,6	+ 73,4 + 04,4
Maïs/soja/maïs + + sorgho/sorgho	(P ₁₈) (P ₁₆)	PD ESCAR	- 46,6 - 54,2	- 8,4 + 54,2	+ 99,6 + 123,7	+ 14,9 + 41,2
Riz/soja/riz + + + Callo./sorgho/Callo.	(P ₂₇) (P ₂₅)	PD ESCAR	+ 18,4 - 2,6	+ 18,5 + 80,3	- 190,4 - 136,4	- 51,1 - 19,5
Guanou/soja/riz + + + Maïs/sorgho/maïs	(P ₃₀) (P ₂₈)	PD ESCAR	- 109,0 - 67,6	+ 188,7 + 117,0	+ 97,8 + 128,8	+ 59,1 + 59,4
Soja/soja/soja + + + Maïs/maïs/maïs	(P ₆) (P ₇)	PD ESCAR	- 37,1 - 72,6	- 185,1 - 21,1	+ 85,9 + 216,8	- 45,4 + 56,0
Maïs/soja/maïs + + Maïs/sorgho	(P ₁₅) (P ₁₃)	PD ESCAR	- 46,6 - 54,2	- 79,8 + 16,0	+ 75,8 + 102,2	- 16,9 + 21,3
Riz/soja/riz + + + Guanou/maïs	(P ₂₄) (P ₂₂)	PD ESCAR	+ 18,4 - 2,6	- 19,3 46,8	- 102,0 - 03,9	- 34,3 + 13,4
Guanou/soja/Guanou + + + Riz/maïs/riz	(P ₃₃) (P ₃₁) (P ₃₂)	PD ESCAR ARE	+ 41,2 + 48,0 + 41,2	- 31,0 + 74,4 + 77,4	- 146,8 + 44,5 + 77,6	- 45,5 + 55,6 + 65,4
Soja/maïs/soja + + Maïs maïs	(P ₃₇) (P ₃₉)	PD ESCAR	+ 66,7 - 33,7	- 35,0 - 14,2	302,5 + 267,3	+ 111,4 + 73,1
Soja/sorgho/soja + + + sorgho/soja/sorgho	(P ₄₀) (P ₄₂)	PD ESCAR	+ 70,6 - 48,5	- 21,6 + 20,0	+ 292,0 + 227,7	+ 113,6 + 66,4
Soja/Guanou/soja + + + maïs/riz/maïs	(P ₄₆) (P ₄₈)	PD ESCAR	+ 28,1 - 62,3	- 226,0 - 253,3	+ 209,4 + 158,3	+ 03,8 - 52,4
Soja/riz/soja + + + Sorgho/callos./sorgho	(P ₄₉) (P ₅₁)	PD ESCAR	- 18,2 - 51,7	- 66,8 + 2,7	+ 185,4 + 186,8	+ 33,5 + 45,9

PD : semis direct sur la culture de soja ; ESCAR : scarification profonde sur la culture de soja ; le semis direct est en règle sur la seconde culture en succession.

Tableau 46 : Performances économiques des successions annuelles en rotation, Fazenda Progresso, Mato Grosso, 1986-1989 (suite).

Rotation	Préparation du sol	Taux de rentabilité (%)			
		86-87	87-88	88-89	Moyenne
Soja/soja/soja + + + sorgho/sorgho/sorgho (P ₁)	(P ₃) PD ESCAR	- 22	+ 06	+ 59	+ 17
Maïs/soja/maïs + + sorgho/sorgho (P ₁₀)	(P ₁₀) PD ESCAR	- 15	- 02	+ 24	+ 04
Riz/soja/riz + + + Callo./sorgho/Callo. (P ₂₅)	(P ₂₅) PD ESCAR	+ 07	+ 04	- 60	- 15
Guanou/soja/riz + + + Maïs/sorgho/maïs (P ₂₈)	(P ₂₈) PD ESCAR	- 37	+ 37	+ 25	+ 15
Soja/soja/soja + + + Maïs/maïs/maïs (P ₇)	(P ₇) PD ESCAR	- 10	- 40	+ 21	- 1
Maïs/soja/maïs + + Maïs/sorgho (P ₁₃)	(P ₁₃) PD ESCAR	- 15	- 17	+ 19	- 4
Riz/soja/riz + + + Guanou/maïs (P ₂₂)	(P ₂₂) PD ESCAR	+ 07	- 04	- 31	- 10
Guanou/soja/Guanou + + + Riz/maïs/riz (P ₃₁)	(P ₃₁) PD ESCAR	+ 14	- 06	- 41	- 12
	(P ₃₂) ARE	+ 14	+ 15	+ 20	+ 17
Soja/maïs/soja + + Maïs maïs (A) (P ₃₉)	(P ₃₉) PD ESCAR	+ 16	- 09	+ 55	+ 25
Soja/sorgho/soja + + + sorgho/soja/sorgho (P ₄₂)	(P ₄₂) PD ESCAR	+ 17	- 08	+ 52	+ 27
Soja/Guanou/soja + + + maïs/riz/maïs (A) (P ₄₈)	(P ₄₈) PD ESCAR	+ 07	- 66	+ 38	+ 01
Soja/riz/soja + + + Sorgho/callos./sorgho (A) (P ₅₁)	(P ₅₁) PD ESCAR	- 05	- 20	+ 34	+ 08
	(A)	- 14	+ 01	+ 35	+ 11

PD : semis direct sur la culture de soja ; ESCAR : scarification profonde sur la culture de soja ; le semis direct est en règle sur la seconde culture en succession.

Tableau 47 : Performances économiques des successions annuelles à base de céréales, Fazenda Progresso, Mato Grosso, 1989.

Précédent 1987-1988	Succession 1988-1989	Préparation du sol	Coûts de production (\$/ha)		
			Première culture	Seconde culture	Total
Soja + sorgho	Maïs + sorgho	Semis direct (P ₁₈)	361,4	46,5	407,9
		Scarification (P ₁₆)	359,0	46,0	405,0
Soja + sorgho	Riz + maïs	Semis direct (P ₃₀)	345,8	40,8	386,6
		Scarification (P ₂₈)	340,6	35,0	375,6
Soja + maïs	Maïs + sorgho	Semis direct (P ₁₅)	357,2	46,1	403,3
		Scarification (P ₁₃)	355,6	45,5	401,1

Précédent 1987-1988	Succession 1988-1989	Préparation du sol	Marges nettes (\$/ha)		
			Première culture	Seconde culture	Total
Soja + sorgho	Maïs + sorgho	Semis direct (P ₁₈)	+ 74,8	+ 24,8	+ 99,6
		Scarification (P ₁₆)	+ 103,2	+ 20,5	+ 123,7
Soja + sorgho	Riz + maïs	Semis direct (P ₃₀)	+ 11,9	+ 85,9	+ 97,8
		Scarification (P ₂₈)	+ 94,6	+ 34,2	+ 128,8
Soja + maïs	Maïs + sorgho	Semis direct (P ₁₅)	+ 54,2	+ 21,6	+ 75,8
		Scarification (P ₁₃)	+ 86,0	+ 16,2	+ 102,2

Précédent 1987-1988	Succession 1988-1989	Préparation du sol	Taux de rentabilité (%)		
			Première culture	Seconde culture	Total
Soja + sorgho	Maïs + sorgho	Semis direct (P ₁₈)	+ 20	+ 53	+ 24
		Scarification (P ₁₆)	+ 29	+ 44	+ 30
Soja + sorgho	Riz + maïs	Semis direct (P ₃₀)	+ 03	+ 210	+ 25
		Scarification (P ₂₈)	+ 28	+ 99	+ 34
Soja + maïs	Maïs + sorgho	Semis direct (P ₁₅)	+ 15	+ 47	+ 19
		Scarification (P ₁₃)	+ 24	+ 36	+ 25

Tableau 48 : Performances économiques des successions annuelles à base de soja.
Fazenda Progresso, Mato Grosso, 1989.

			Coûts de production (\$/ha)		
Précédent (1987-1988)	Succession (1988-1989)	Préparation du sol	soja	maïs/sorgho	Total
Soja + maïs	Soja + maïs	Semis direct P ₆	374,0	39,1	413,1
		Scarification P ₇	392,7	39,8	432,5
Soja + sorgho	Soja + sorgho	Semis direct P ₉	407,8	48,3	456,1
		Scarification P ₄	366,3	48,2	414,5
Maïs	Soja + maïs (A)	Semis direct P ₃₇	507,0	45,2	552,2
		Scarification P ₃₉	505,1	37,1	542,2
Sorgho	Soja + sorgho (A)	Semis direct P ₄₀	499,4	55,8	555,2
		Scarification P ₄₂	493,0	53,8	546,8
Cajanus + riz	Soja + maïs (A)	Semis direct P ₄₆	512,8	35,1	547,9
		Scarification P ₄₈	498,3	35,1	533,4
Riz + Callopogonium	Soja + sorgho (A)	Semis direct P ₄₉	493,3	54,4	547,7
		Scarification P ₅₁	488,3	52,6	540,9
			Marge nette (\$/ha)		
Précédent (1987-1988)	Succession (1988-1989)	Préparation du sol	soja	maïs/sorgho	Total
Soja + maïs	Soja + maïs	Semis direct P ₆	+ 15,0	+ 70,9	+ 85,9
		Scarification P ₇	+ 184,5	+ 77,3	+ 261,8
Soja + sorgho	Soja + sorgho	Semis direct P ₉	+ 230,9	+ 40,8	+ 271,7
		Scarification P ₄	+ 15,2	+ 40,4	+ 55,6
Maïs	Soja + maïs (A)	Semis direct P ₃₇	+ 176,5	+ 126,0	+ 302,5
		Scarification P ₃₉	+ 214,2	+ 53,1	+ 267,3
Sorgho	Soja + sorgho (A)	Semis direct P ₄₀	+ 127,8	+ 164,2	+ 292,0
		Scarification P ₄₂	+ 136,7	+ 91,0	+ 227,7
Cajanus + riz	Soja + maïs (A)	Semis direct P ₄₆	+ 214,2	- 4,8	+ 209,4
		Scarification P ₄₈	+ 171,1	- 12,8	+ 158,3
Riz + Callopogonium	Soja + sorgho (A)	Semis direct P ₄₉	+ 89,1	+ 96,3	+ 185,4
		Scarification P ₅₁	+ 106,9	+ 79,9	+ 186,8
			Taux de rentabilité (%)		
Précédent (1987-1988)	Succession (1988-1989)	Préparation du sol	soja	maïs/sorgho	Total
Soja + maïs	Soja + maïs	Semis direct P ₆	+ 04	+ 181	+ 21
		Scarification P ₇	+ 47	+ 194	+ 60
Soja + sorgho	Soja + sorgho	Semis direct P ₉	+ 56	+ 84	+ 59
		Scarification P ₄	+ 04	+ 84	+ 13
Maïs	Soja + maïs (A)	Semis direct P ₃₇	+ 35	+ 279	+ 55
		Scarification P ₃₉	+ 42	+ 143	+ 49
Sorgho	Soja + sorgho (A)	Semis direct P ₄₀	+ 26	+ 248	+ 52
		Scarification P ₄₂	+ 28	+ 169	+ 42
Cajanus + riz	Soja + maïs (A)	Semis direct P ₄₆	+ 42	- 14	+ 38
		Scarification P ₄₈	+ 34	- 36	+ 30
Riz + Callopogonium	Soja + sorgho (A)	Semis direct P ₄₉	+ 18	+ 177	+ 34
		Scarification P ₅₁	+ 22	+ 152	+ 35

(A) : Amortissement sur soja (186,2 \$/ha).

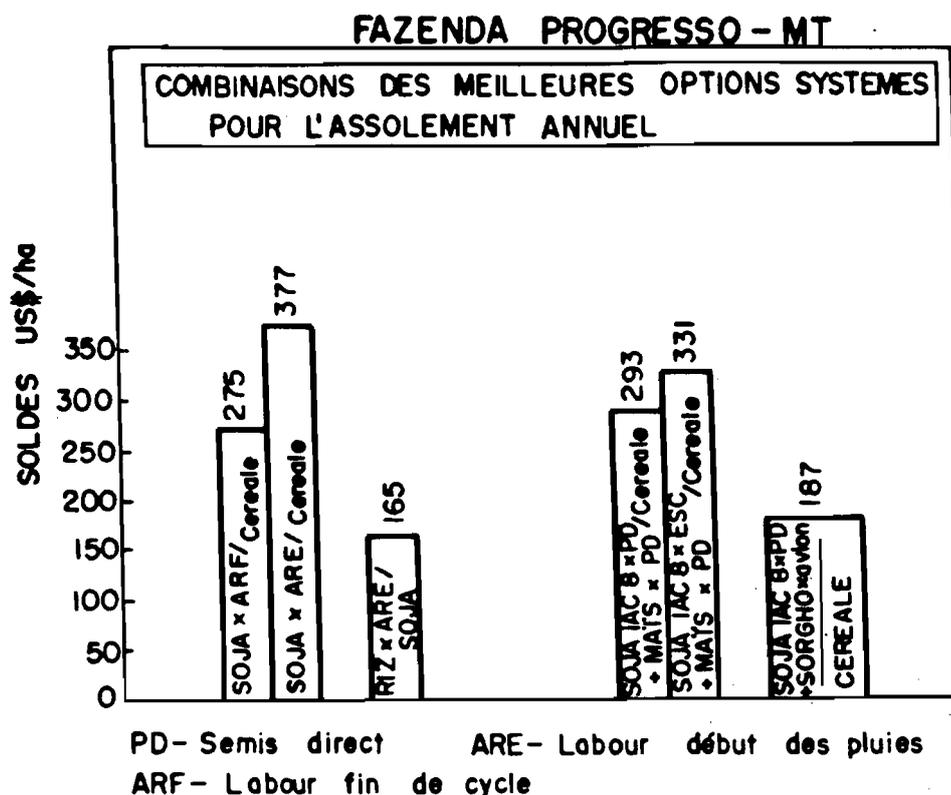


Fig. 73

Les résultats principaux sont résumés dans les tableaux 49 et 50 ; ils montrent que :

▲ la technique de semis direct est la plus flexible de toutes. Elle permet en effet d'économiser en moyenne 2,2 heures à l'hectare par rapport à la préparation mécanisée à l'offset, trois heures à l'hectare en relation aux labours et 1,5 heure à l'hectare par rapport à la scarification. Ces chiffres sont très significatifs dans une écologie très pluvieuse, où l'accessibilité au champ dépend totalement des conditions d'humidité du sol. L'utilisation du semis direct donne ainsi une capacité énorme aux opérations de semis, car outre l'économie de temps, elle permet d'entrer dans les parcelles six à huit heures après une pluie de 40 mm, alors que le semis sur les modes mécanisés ne peut s'effectuer que vingt-quatre heures après dans ces conditions. L'économie de combustible réalisée à l'hectare est aussi considérable de même que l'usure des tracteurs (minimisation de l'effort traction) ;

▲ son coût moyen (herbicide + semis) n'est que très peu supérieur à celui des modes de préparation mécanisés en conditions d'humidité voisines de la capacité au champ sur cultures de riz et de maïs précoce ; son coût devient même moins onéreux que celui des autres techniques (exceptée la scarification) lorsque les conditions d'humidité augmentent nettement au-dessus de la capacité au champ sur culture de soja semée fin novembre-début décembre (sol saturé) ;

▲ de manière générale, en moyenne, le coût des divers modes de préparation du sol et du semis direct ne représentent qu'environ 10 % des coûts totaux de production, valeur dérisoire en regard des effets déterminants que ces modes de gestion des sols et des cultures génèrent sur les productivités des cultures leur stabilité, la préservation et l'amélioration du capital sol.

Tableau 49 : Temps de travaux (h/ha) comparés pour les divers modes de travail du sol et semis. Fazenda Progresso, Mato Grosso, 1989.

Discage		Labour		Scarification		Semis direct	
Opération	Temps (h/ha)	Opération	Temps (h/ha)	Opération	Temps (h/ha)	Opération	Temps (h/ha)
2 offset lourds	1,8	1 offset lourd	0,9	1 offset lourd	0,9	Herbicideage	0,6
2 pulvérisages	1,2	labour	2,2	1 scarification	1,0		
		1 pulvérisage	0,6	1 pulvérisage	0,6		
Semis	0,6	Semis	0,6	Semis	0,6	Semis	0,8
Total	3,6	Total	4,3	Total	3,1	Total	1,4

Tableau 50 : Temps de travaux par hectare (h/ha) et coûts (\$/ha) des opérations de préparation des sols et semis. Fazenda Progresso, Mato Grosso, 1980.

• I) Préparation du sol en fonction des conditions d'humidité					
Outil	Conditions d'humidité				
	Proche de la capacité au champ		Sol très humide		
	Temps (h/ha)	Coût (\$/ha)	Temps (h/ha)	Coût (\$/ha)	
Rome Plow (offset lourd)	0,9	10,70	1,4	16,61	
Pulvériseur léger	0,6	7,42	0,9	11,13	
Charrue trisoc (labour)	2,2	17,27	2,6	20,43	
Chisel (scarification)	1,0	9,04	-	-	

• II) Semis des différentes cultures avec ou sans engrais incorporé à la ligne					
	Culture	Semoir sans engrais		Semoir avec engrais	
		Temps (h/ha)	Coût (\$/ha)	Temps (h/ha)	Coût (\$/ha)
Semis conventionnel	Soja (SLC)	0,6	10,25	1,0	17,08
	Mais (Turbomax)	0,6	10,21	1,0	17,02
	Riz (Pack)	0,6	7,34	1,0	12,25
Semis direct	Riz-soja-mais (Semeato PS6)	0,8	11,96	1,0	14,89

Chapitre IV

*Essai de synthèse des travaux :
les assolements optimisés,
outils d'aide à la prise de décision
prévisionnelle de l'agriculture*

Les schémas 5 et 6 rappellent, d'une part, le fonctionnement global de notre modèle d'optimisation des systèmes de cultures, et d'autre part, les différentes étapes de l'acquisition des références, leur organisation, leur traitement et leur synthèse à partir de nos unités expérimentales de longue durée conduites en milieu réel avec les producteurs. L'ensemble des données est en cours d'informatisation et fera l'objet d'une prochaine publication conjointe avec l'évaluation des conditions de l'adoption des technologies par les producteurs et leurs impacts économique, technique et structurel dans les Cerrados du centre-ouest.

On peut cependant, dès à présent, à partir des lois de la production établies, avec leurs respectives performances agro-techniques et économiques, rechercher les meilleures combinaisons d'assolements annuels qui permettent, à la fois, d'optimiser les productions et gains de l'agriculteur et de gérer au mieux la fertilité de son capital sol, et l'utilisation de ses équipements (capacité et flexibilité).

Nous choisissons l'exemple de la zone des frontières agricoles récentes du Mato Grosso (Fazenda Progresso), sur laquelle a été installée l'unité expérimentale la plus complète et qui représente les conditions d'exploitation les plus difficiles, compte tenu, à la fois, de la forte pluviométrie supérieure à 2 000 mm en sept mois, du très médiocre niveau initial de fertilité des sols ferrallitiques et de leur forte sensibilité à l'érosion avec la mise en culture.

Partant de la situation actuelle généralisée de monoculture de soja, pratiquée presque exclusivement à l'offset, correspondant au pire des modes de préparation du sol, il est capital de montrer comment on peut, en intégrant nos résultats, passer le plus rapidement possible de la situation présente à une situation très lucrative et préservatrice du capital sol et de l'espace rural.

Les modalités de passage de la situation actuelle à une situation plus performante sont résumées dans le tableau 51.

Le schéma 7 décrit un exemple d'assolements optimisés par rapport à la situation actuelle. Il montre comment on peut incorporer en deux ans l'ensemble des technologies les plus performantes et attractives.

Par rapport à la situation actuelle, cette proposition d'assolement offre les avantages suivants.

- ▲ La surface productive peut augmenter de plus de 30 % en intégrant les systèmes à deux cultures annuelles. L'agriculteur peut ainsi cultiver de 130 à 160 % de sa surface en adoptant simultanément sur la culture du sorgho en succession du soja, les techniques de semis à la volée par avion, et de semis direct. Ce gain considérable de production est obtenu sans risques climatique ou économique, avec investissement additionnel négligeable.
- ▲ La capacité des mêmes équipements mécanisés augmente fortement :
 - de 30 à 60 % de surface en plus cultivée et productive par an ;
 - meilleure flexibilité d'utilisation, minimisant le risque « excès pluviométrique » à la récolte qui s'étale sur plus de quatre mois au lieu de soixante-dix jours en moyenne, dont une grande partie en début de saison sèche, soit dans les conditions de capacité maximum sans nécessité de séchage de la récolte (minimisation des coûts de production) ;
 - parfaite adéquation des équipements et des interventions mécanisées en fonction des conditions climatiques et des états du sol : humidité, consistance, cohésion, sensibilité à l'érosion.
- ▲ La fertilité du profil cultural est dans un premier temps restaurée puis progressivement améliorée : l'incorporation progressive dans l'assolement des systèmes à deux cultures annuelles permet, outre une meilleure protection du sol, de freiner le processus d'acidifica-

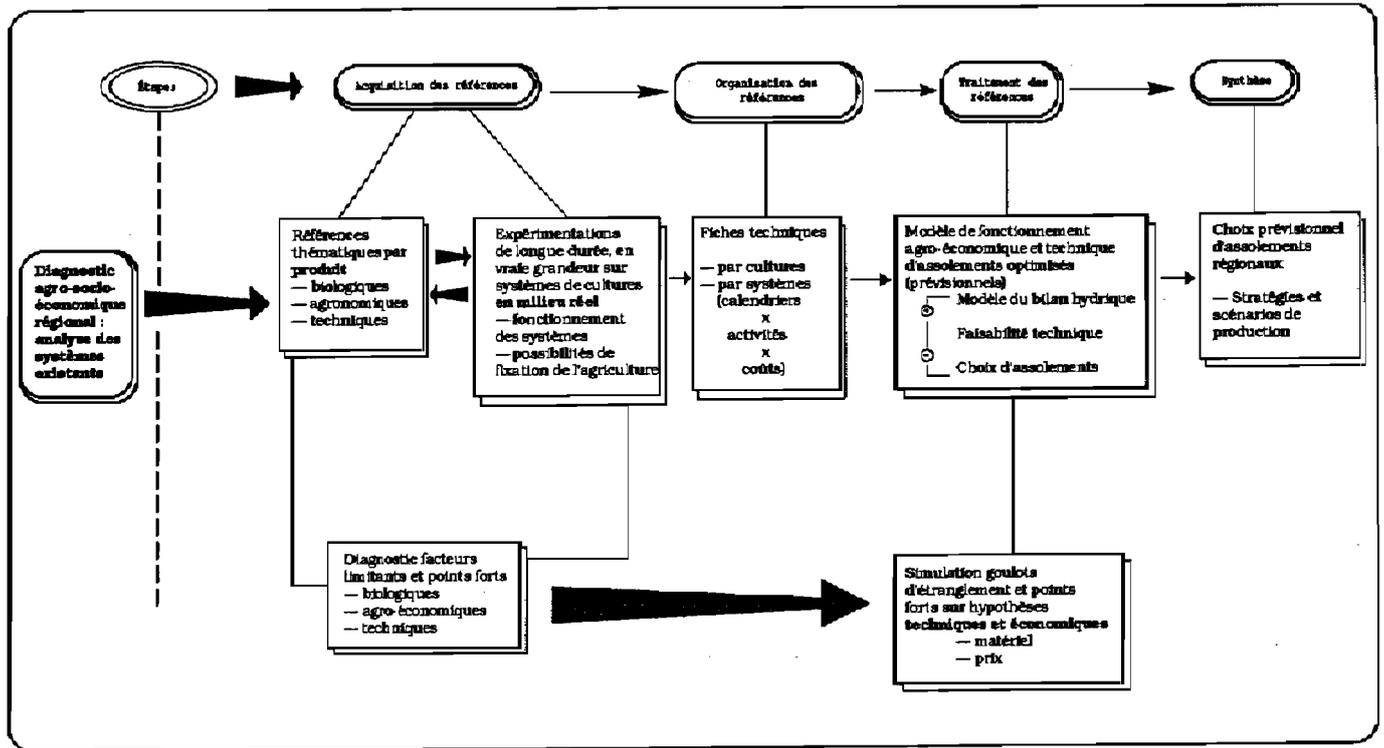


Schéma 5 : Fonctionnement global du modèle d'optimisation des systèmes de culture — CNPAF, 1989, L. Séguy, S. Bouzinac.

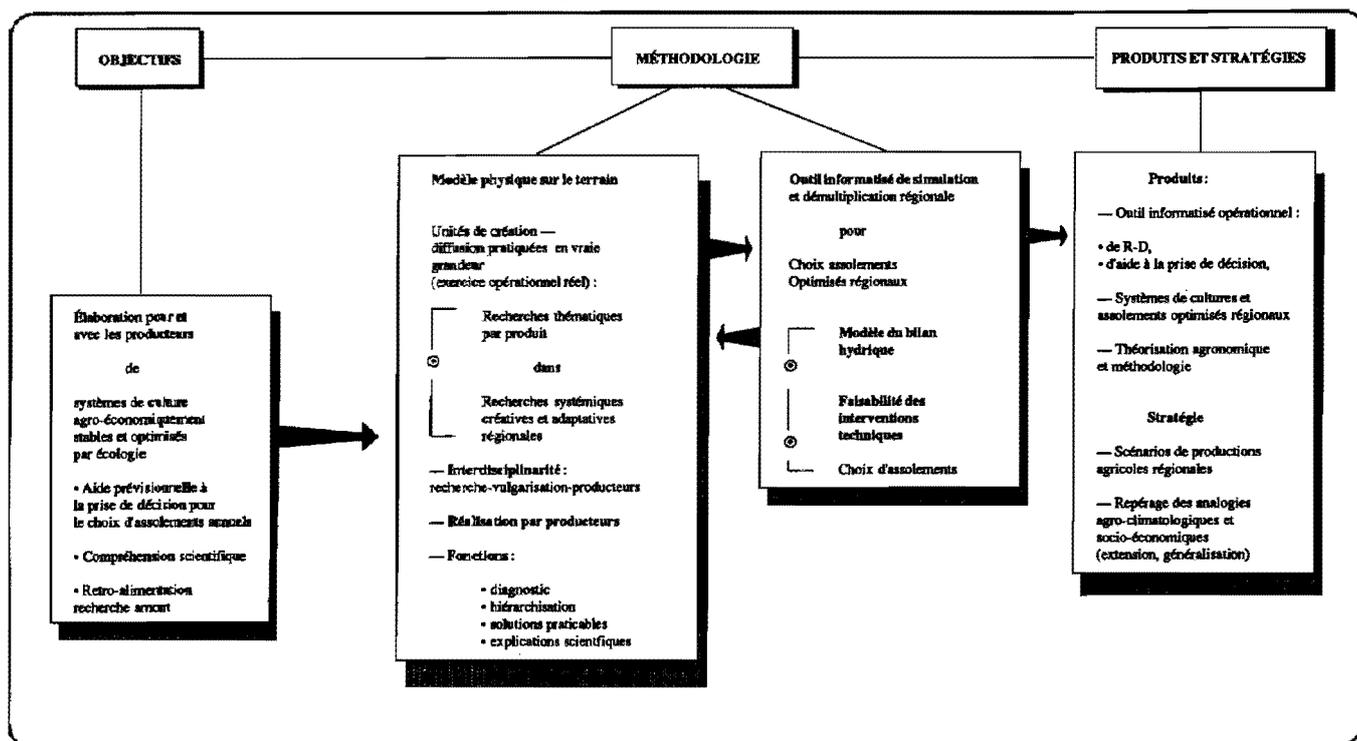


Tableau 51 : Modalités de passage de la situation actuelle à une situation plus performante.

Critères de choix sur options qui permettent à la fois	Options retenues
1- Productions les plus élevées et stables et les plus lucratives (marge nette et taux de rentabilité), diversifiées (parapluie contre les fluctuations économiques).	I - Systèmes à une seule culture annuelle : Soja cycle moyen (Crisaïma) → riz (IRAT 216)
2- Flexibilité du calendrier agricole.	□ Techniques de préparation des sols nouvelles
3- Meilleure gestion des équipements (accroissement de leur capacité)	Avant soja : — une partie en labour fin de cycle — une partie en scarification — une partie en labour de début de saison des pluies
4- Restauration puis amélioration continue de la fertilité du profil cultural	Avant riz : — une partie en labour fin de cycle — une partie en labour de début de saison des pluies
5- Préservation du capital sol contre l'érosion et les exsècs climatiques	II - Systèmes à deux cultures annuelles
	Soja (cycle court) (variété LAC 8) { + sorgho ou <i>Callopogon</i> } en semis à la volée par avion un mois avant la récolte de soja sans intrants (ou seulement N sur sorgho) + maïs composite → planté en semis direct sans intrants (ou seulement N)
	III - Systèmes à deux cultures annuelles optimisés
	Alternance de systèmes à deux cultures annuelles avec système à une seule culture par an

tion des sols par recyclage en surface des bases et autres nutriments qui sont normalement lixiviés et hors d'atteinte des systèmes racinaires des cultures telles que le soja quand il est pratiqué exclusivement en système de monoculture.

▲ Le capital sol est protégé contre l'érosion et les excès climatiques.

▲ La production de grains est considérablement améliorée :

— par sa diversification ; soja, riz pluvial, maïs, sorgho, soit un meilleur tampon contre les fluctuations économiques et une meilleure adéquation au marché intérieur ;

— par l'augmentation des productivités, qui sur le seul produit soja, permet de doubler la production annuelle, sans modifier le niveau des intrants (engrais, herbicides, insecticides) et d'assurer une excellente stabilité interannuelle ;

— par des bénéfices élevés et stables, très incitatifs, qui peuvent dépasser en moyenne 250 dollars US à l'hectare avec les assolements proposés alternant systèmes à une et deux cultures annuelles ;

— par un choix multiple, varié et **prévisionnel** d'assolements possibles qui constitue la meilleure **garantie d'adaptation économique** face aux entraves techniques et économiques actuelles en mutation rapide.

Chapitre V

Conclusions

L'intervention de la recherche, en milieu réel chez les producteurs, a permis, au cours de ces six années, d'obtenir des résultats décisifs et d'importance vitale pour le futur agricole des Cerrados du centre-ouest, en expliquant les principales lois de la production végétale, et en offrant prévisionnellement aux unités de production les assolements optimisés les mieux adaptés et les plus capables de fixer une agriculture qui soit, à la fois, durable, lucrative et préservatrice de l'espace rural.

La diffusion simultanée des résultats, au fur et à mesure de leur obtention, touche aujourd'hui des dizaines, voire des centaines de milliers d'hectares, et contribue donc de manière décisive au succès de la production de grains des Cerrados.

Les itinéraires techniques les plus performants offrent des perspectives de hautes productivités stables pour des conditions pédoclimatiques très différenciées : plus de 3 000 kg/ha de soja, de 4 000 à 7 500 kg/ha de maïs, de 2 500 à 4 500 kg/ha de riz pluvial. Ces performances sont dominées en grande échelle, et donc reproductibles.

Sur le plan de la méthodologie d'intervention, divers enseignements déterminants pour la reproductibilité d'une telle démarche peuvent être tirés.

- ▲ Le choix des facteurs d'études des futurs systèmes doit provenir d'un diagnostic préalable, rigoureux en milieu réel.
- ▲ L'étude et la mise au point des systèmes de cultures ne peut se faire rigoureusement qu'à partir d'unités expérimentales pérennes pour à la fois :
 - dégager les lois de la production végétale sur un laps de temps climatique suffisant et représentatif ;
 - fournir prévisionnellement à la prise de décision des agriculteurs, un large choix d'assolement optimisés pour mieux s'adapter aux fluctuations climatiques et économiques.
- ▲ L'élaboration de ces assolements doit se faire avec, pour et chez les producteurs pour inclure de manière continue, à la fois, les critères de choix des chercheurs et des utilisateurs.
- ▲ L'approche des possibilités de fixation de l'agriculture, par les systèmes de culture est apparue comme une condition nécessaire, mais aussi suffisante pour prétendre modifier positivement et très rapidement les systèmes de production régionaux.
- ▲ Il n'est pas nécessaire de connaître les antécédents d'une situation agricole pour la faire progresser, à condition de pouvoir, partant d'elle, la modifier et la précéder en fournissant prévisionnellement des assolements optimisés qui sont la garantie la plus sûre face aux fluctuations climatiques, techniques et économiques. Cette fonction de la recherche, de précéder le développement agricole est d'une importance fondamentale pour promouvoir un développement rationnel, à moindre coût. La fonction essentielle de la recherche aujourd'hui est en fait plus de faire des « autopsies des échecs du développement », donc d'intervenir après le développement, plutôt que de le devancer.
- ▲ Si le choix des facteurs d'étude décisifs et leurs combinaisons expérimentales appartiennent à la recherche, c'est la nature elle-même qui déterminera ensuite l'évolution des systèmes. La fonction créatrice de la recherche consiste donc à fournir à la nature, sous une forme systématisée et par conséquent interprétable et contrôlable scientifiquement, les éléments essentiels agro-techniques et économiques du changement.
- ▲ Cette fonction créatrice doit aussi s'exprimer dans sa capacité à reproduire sur le laps de temps le plus court possible, des conditions de profil cultural les plus différenciées, qui en offrant une large gamme correspondante de relations eau-sol-plantes, préfigureront des évolutions de comportement qui nécessitent des périodes beaucoup plus longues norma-

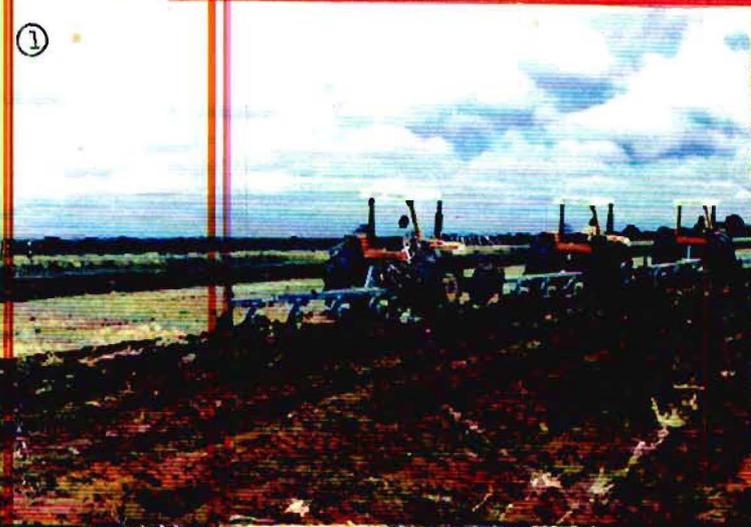
lement dans la nature. C'est donc aussi dans sa capacité à réduire l'espace temps, tout en y intégrant un maximum de variabilité contrôlée que l'apport prévisionnel de la recherche peut être déterminant pour ses applications.

La poursuite de ce type de recherche appliquée opérationnelle est aujourd'hui, plus que jamais, nécessaire dans les pays en voie de développement, car elle seule peut, par la pérennité de ses actions en prise directe avec le milieu et les acteurs du développement, offrir prévisionnellement à la prise de décision des agriculteurs, des options systèmes qui soient capables de s'adapter aux entraves techniques et économiques en constante mutation.

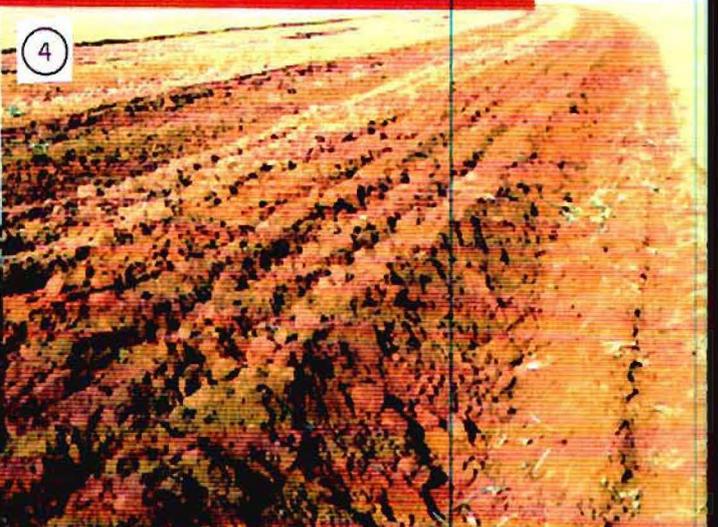
Enfin, le dossier ouvert dans ce document sur le concept des techniques de semis direct, leur adaptation aux régions chaudes très sensibles à l'érosion, et la qualité de ses résultats, à la fois agro-techniques, économiques, constitue sans aucun doute une voie de progrès considérable pour les pays en voie de développement pour les vingt prochaines années.

RESTAURATION DES PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DES SOLS COMPACTÉS - PHOTOS 2 ET 5.
TECHNIQUES DU LABOUR ET DE SCARIFICATION PROFONDE EN FIN ET DÉBUT DE CYCLE
DES PLUIES - PHOTOS 1,4 ET 3,6.

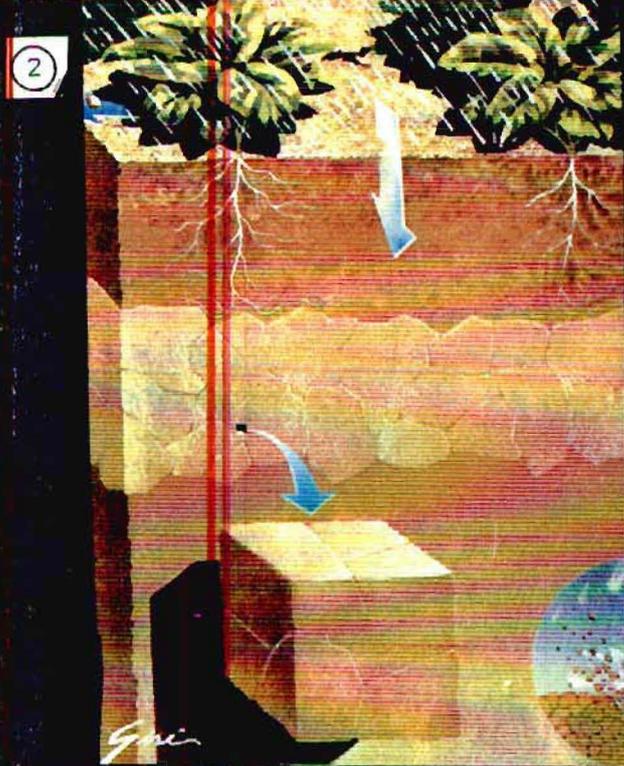
1



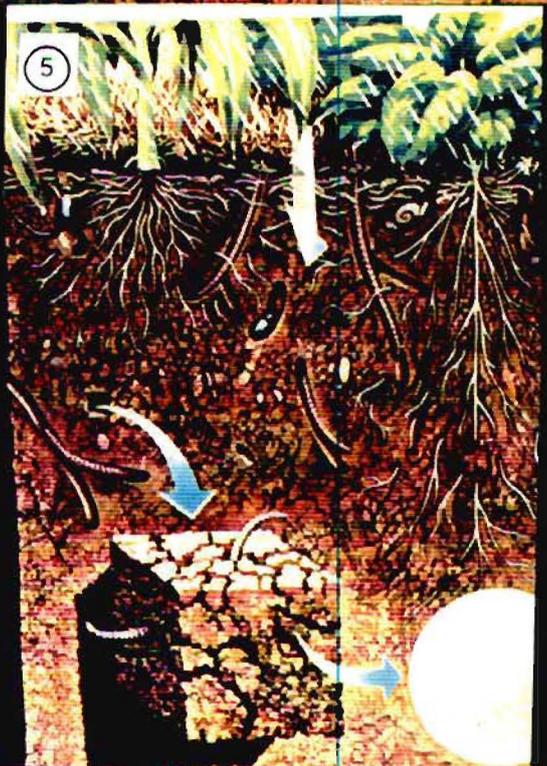
4



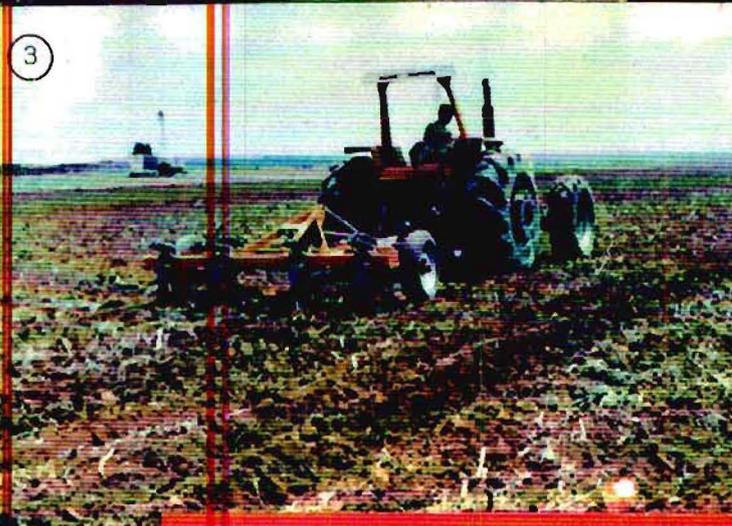
2



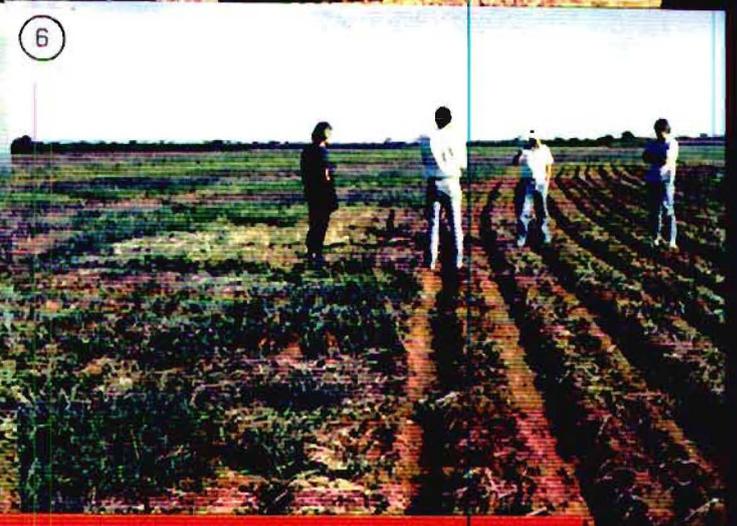
5



3



6

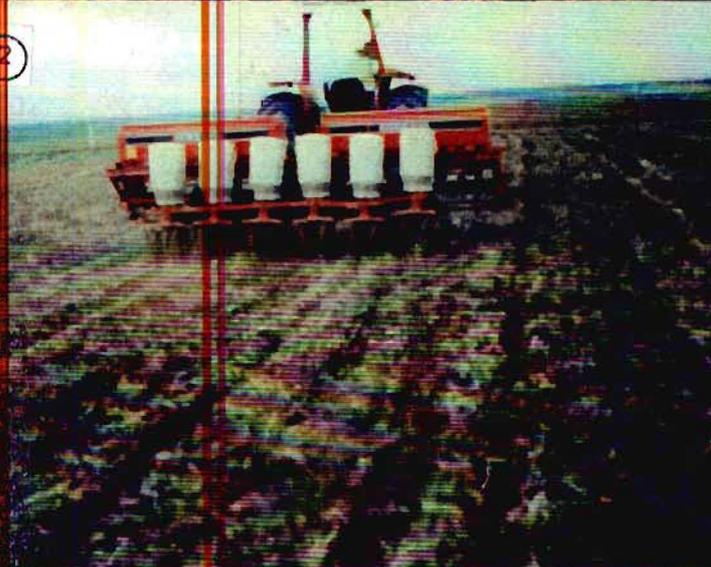


RESTAURAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DOS SOLOS COMPACTADOS - FOTOS 2 E 5
TÉCNICAS DE ARAÇÃO E ESCARIFICAÇÃO PROFUNDAS NO FINAL E NO INÍCIO DA ESTAÇÃO
CHUVOSA - FOTOS 1,4 E 3,6.

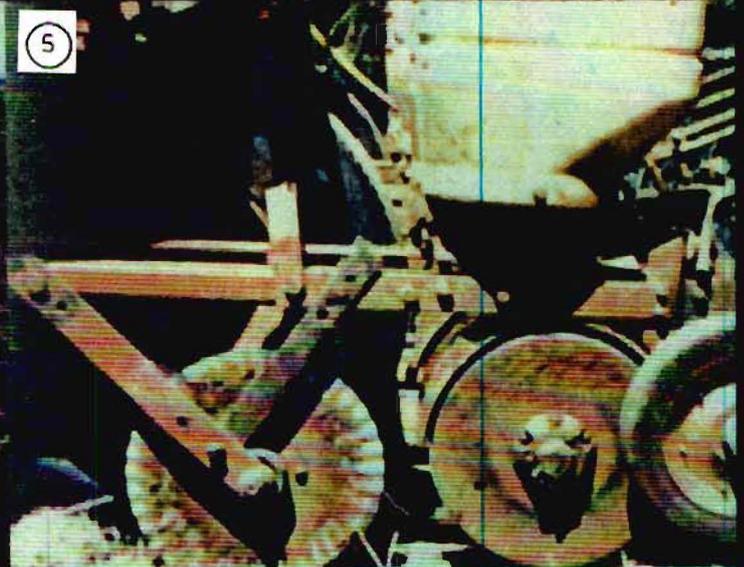
PROFILS RACINAIRES DU RIZ PLUVIAL SOUS LABOUR, PHOTOS 1 ET 4
SAUF QUART INFERIEUR DROIT PHOTO 1; PROFIL RACINAIRE SOUS SEMIS
DIRECT - SEMOIRS DE SEMIS DIRECT, PHOTOS 2 ET 5; SOJA ET RIZ
EM SEMIS DIRECT, PHOTOS 3 ET 6.



4



5

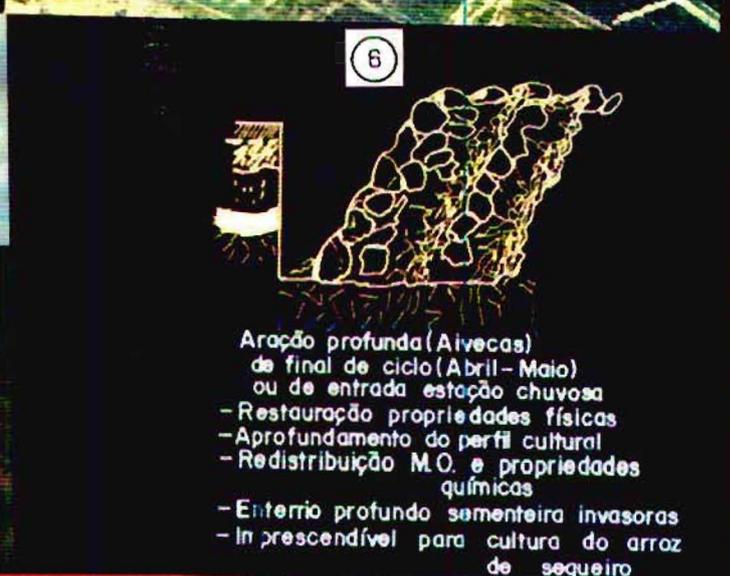
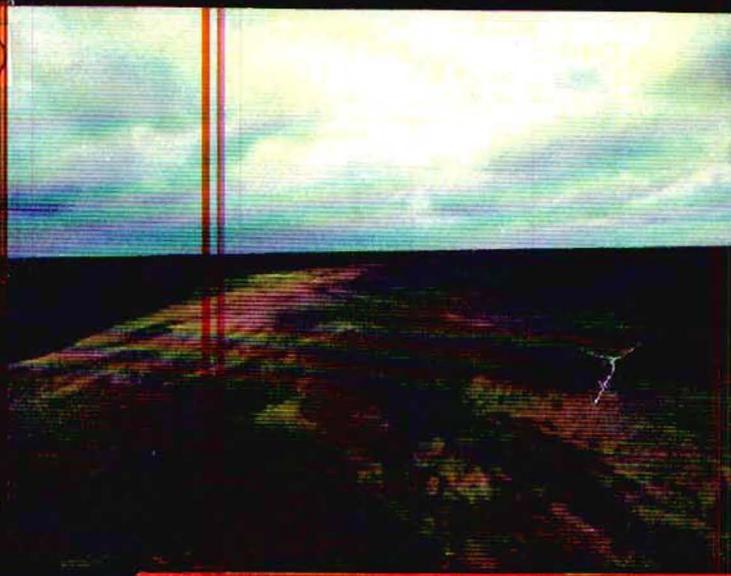
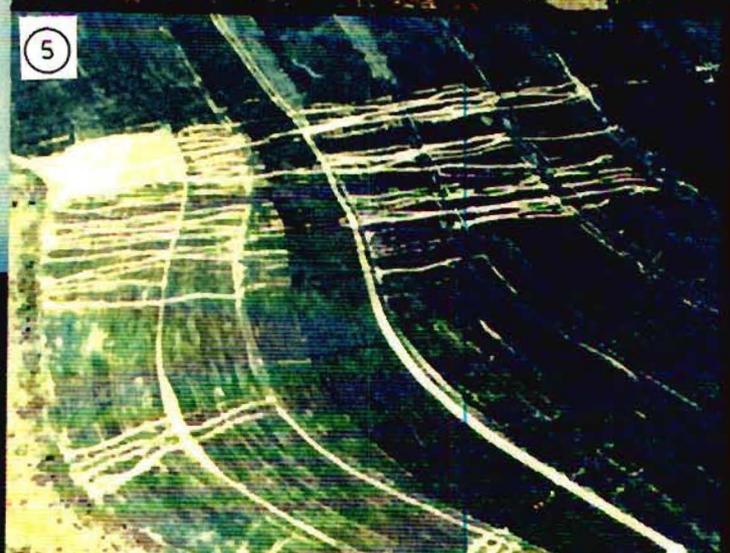
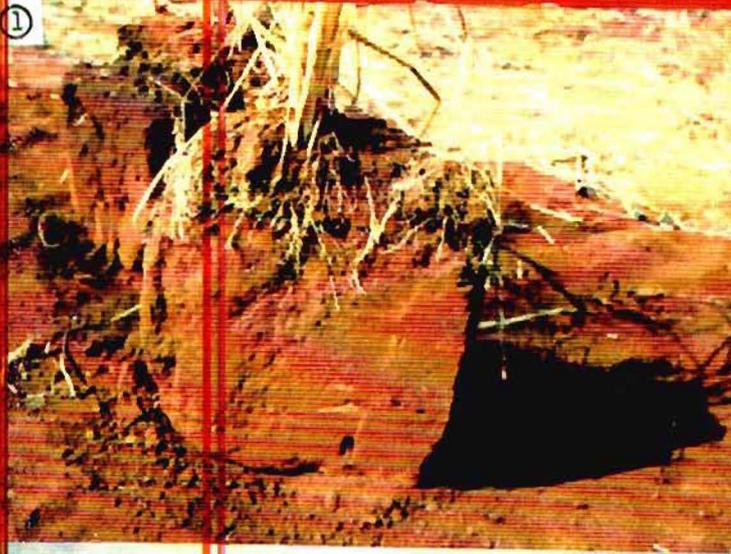


6



PERFIS DE RAIZES DO ARROZ DE SEQUEIRO SOB ARAÇÃO, FOTOS 1 E 4,
EXCETO QUARTO INFERIOR DIREITO DA FOTO 1; PERFIL DE RAIZES SOB
PLANTIO DIRETO - PLANTADEIRA DE PLANTIO DIRETO, FOTOS 2 E 5;
SOJA E ARROZ EM PLANTIO DIRETO, FOTOS 3 E 6.

SOLS COMPACTÉS ET CONSÉQUENCES, PHOTOS 1, 2, 3, 5. RESTAURATION DU PROFIL A LA CHARQUE, PHOTOS 6 ET 4.

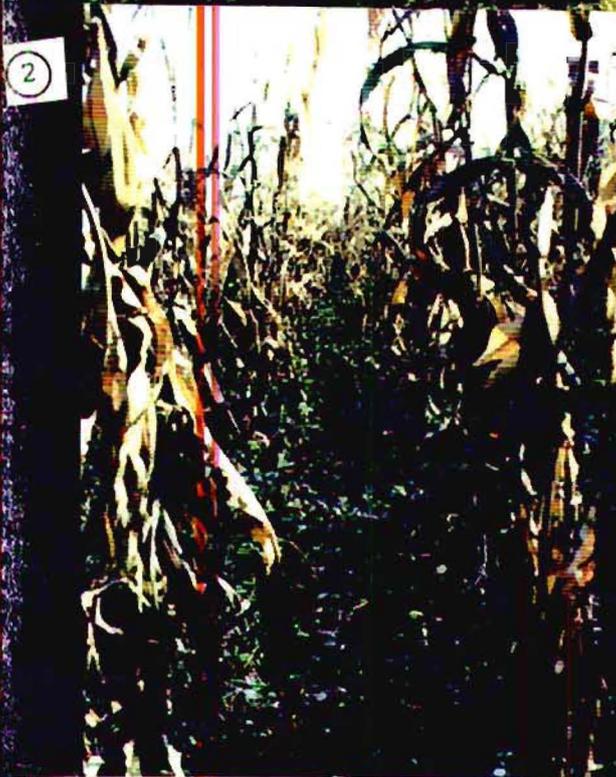


Aração profunda (Aivecas)
de final de ciclo (Abril-Maio)
ou de entrada estação chuvosa

- Restauração propriedades físicas
- Aprofundamento do perfil cultural
- Redistribuição M.O. e propriedades químicas
- Enterrio profundo sementeira invasoras
- Imprescindível para cultura do arroz de sequeiro

SOLOS COMPACTADOS E CONSEQUÊNCIAS, FOTOS 1, 2, 3, 5. RESTAURAÇÃO DO PERFIL COM ARADO DE AIVECAS, FOTOS 6 E 4.

PLANTES DE COUVERTURES ET TECHNIQUES DE SEMIS DIRECT. STIZOLOBIUM ATERRINUM
VERT ET SEC, FHOYOS 1,4; MAÏS ET RIZ + CALOPOGONIUM, PHOTOS 2, 3, 5;
SOJA DANS PAILLES DE RIZ, PHOTO 6.



PLANTAS DE COBERTURAS E TÉCNICAS DE PLANTIO DIRETO - STIZOLOBIUM ATERRINUM
VERDE E SECO, FOTOS 1,4; MILHO E ARROZ + CALOPOGONIUM, FOTOS 2, 3, 5;
SOJA NA PALHA DO ARROZ, FOTO 6.

Bibliographie

- Almeida, F.S., 1983 — Levantamento da evolução e incidência de plantas daninhas. In: Vieria M., Avaliação de sistemas de cultivos em rotações de culturas. Londrina, IAPAR.
- Almeida, F.S., Rodrigues B.N.E., Oliveira, V.F., 1983 — Resultados de pesquisa da área de herbologia do IAPAR da safra 1982-1983. Londrina, IAPAR.
- Castro Filho, C., Mondardo, A., Biscaia, R.M., 1980 — Perdas por erosão em trigo, soja, milho e algodão através de chuvas simuladas. In: Encontro nacional de pesquisa sobre conservação de solo, Recife 1980. Résumo Recife SBCS.
- Derpsch, R., Sídrias N., Heinzmann, F.X., 1984 — Influência da adubação verde de inverno sobre as culturas de verão em latossolo roseo distrófico. Efeito residual de coberturas verdes de inverno sobre a rendimento das culturas de verão. Pesquisa AGROPECUARIA, Brasileira.
- Farias, G.S., Rodrigues, A.P.M., 1983 — Comparação de dois métodos de infiltração de água no solo. Londrina, IAPAR.
- Figue, K., 1984 — Dinâmica da matéria orgânica e seus efeitos nas propriedades do solo. In: Adubação verde no Brasil. Campinas, Fundação, Cargill.
- Frause, R., Lorenz, F., 1979 — Bodenbearbeitung in den tropen und subtropen GTZ. Schriftenreihe 79.
- Iorenzi, H., 1984 — Considerações sobre plantas daninhas no plantio direto. In: Plantio direto no Brasil, Campinas fundação Cargill.
- Machado, J.A., Brum, A.C.R., 1978 — Efeitos de sistemas de cultivo em algumas propriedades físicas do solo. Revista Brasileira de ciências do solo, Campinas.
- Mondardo, A., Biscaia, R.M., 1981 — Controle da erosão. In: Plantio directo no estado do Paraná. Londrina, IAPAR.
- Muzilli, O., 1981 — Manejo da fertilidade do solo. In: Plantio direto no estado do Paraná. Londrina, IAPAR.
- Mazuchowki, J.Z., Derpsch, R., 1984 — Guia de preparo do solo para as culturas anuais mecanizadas. Curitiba, ACARPA.
- Seguy, L., Bouzinac, S. et al., 1989 — Os modos de gestão do solo e das culturas : a saída para o arroz de sequeiro em publicação. Goiânia, EMPA-EMBRAPA-CIRAD.
- Seguy, L., Bouzinac, S., Pacheco A. et al., 1988 — Perspectiva de fixação da agricultura na região Centro-Norte do Mato Grosso. EMPA-MT-EMBRAPA-IRAT/CIRAD.
- Seguy, L., Bouzinac, S., 1987 — La mise au point de systèmes de cultures à base de riz pluvial, stables et adaptés aux conditions agro-socio-économiques régionales. Document IRAT.
- Superintendência do desenvolvimento da região Centro-Oeste SUDECO, 1984 — Organização territorial e funções econômicas do Centro-Oeste. Vol. 2, Tomo 1A, Goiânia.

*Office d'Édition de la Recherche Scientifique
et Coopération Internationale*

O.E.R.S.C.I.



**REPROGRAPHIE INDUSTRIELLE
EDITIONS - DUPLICATIONS**

*Parc Modulopolis H 1 Zone Euromédecine
Montpellier 67.52.20.05*