

# UN ARTICLE DU SEMIS DIRECT

## SYSTÈMES DE CULTURE ET DYNAMIQUE DE LA MATIÈRE ORGANIQUE

L. Séguy  
S. Bouzinac  
A. C. Maronezzi



CIRAD-CA - AGRONORTE PESQUISAS - GROUPE MAEDA - ONG TAF/FOFIFA/ANAE

# SYSTÈMES DE CULTURE ET DYNAMIQUE DE LA MATIÈRE ORGANIQUE

L. Seguy<sup>1</sup>, S. Bouzinac<sup>2</sup>, A. C. Maronezzi<sup>3</sup>

Février 2001

## Résumé

Les auteurs analysent les performances comparées des systèmes de culture pratiqués avec travail du sol et en semis direct sur couverture végétale dans diverses grandes éco-régions du monde tropical. Ainsi :

- si la destruction de la matière organique (M.O.) en gestion conventionnelle avec travail du sol est très rapide, sa reconstruction, même en zone tropicale humide, peut aller aussi vite en semis direct.
- la séquestration du carbone dépend de la nature des systèmes de culture créés ; les plus performants sont ceux qui produisent un maximum de matière sèche, aussi bien à la surface du sol que dans le profil cultural, tout au long de la saison pluvieuse, mais aussi en saison sèche, au moment où les conditions de minéralisation de la M.O. sont ralenties. Le choix des plantes de couverture est de ce fait déterminant.
- dans les meilleurs systèmes en semis direct, les niveaux de M.O. peuvent rapidement rejoindre, ceux des écosystèmes naturels, même en partant de conditions très dégradées au départ.
- les meilleurs systèmes en semis direct produisent entre 26 et 32 t de résidus de matière sèche par hectare et par an ; l'évolution des performances agronomiques et technico-économiques des systèmes de culture suit strictement celle de la matière organique ; les systèmes en semis direct les plus faciles à pratiquer ont conquis plus de 6 millions d'hectares en moins de 10 ans dans les cerrados du Centre-Ouest Brésilien.

**MOTS CLÉS** : méthodologie Recherche-Action, concepts semis direct, dynamique de la matière organique, systèmes de culture, multifonctionnalité des biomasses de couverture, productivité et fonctionnement des systèmes de culture.

<sup>1</sup> Agronome du CIRAD-CA, en poste au Brésil, animateur du Réseau Semis Direct du programme GEC.  
e-mail = lseguy@zaz.com.br

<sup>2</sup> Agronome du CIRAD-CA, travaille en équipe avec L. Séguy au Brésil et sur le Réseau Semis Direct du programme GEC e-mail = lseguy@zaz.com.br

<sup>3</sup> Agronome et directeur de l'entreprise de recherche privée AGRONORTE, Partenaire du CIRAD au Brésil  
e-mail = agronort@terra.com.br

# I - INTRODUCTION

À l'entrée de ce nouveau millénaire, l'agriculture mondiale va devoir effectuer une véritable révolution pour s'adapter à la fois à la mondialisation des marchés et des connaissances, à la pression croissante des consommateurs qui exigent des produits sains et de qualité, et à celle des scientifiques et de la société civile en général pour la sauvegarde de la planète.

Les stratégies et modèles de développement vont avoir à prendre en compte la nécessité de produire plus par unité de ressources naturelles, et ce faisant, qu'il est impératif de réduire, voire supprimer les effets négatifs provoqués par l'activité agricole sur la nature. Actuellement, des estimations issues de travaux de recherche récents (*Lal R. et al., 1995 ; IPCC., 1995*) montrent que le volume de CO<sub>2</sub> émis vers l'atmosphère contribue pour 50% de l'effet de serre, et que l'activité agricole représente plus de 23% du total émis.

Si cette révolution reste encore à faire à l'échelle de la planète, la dernière décennie du siècle dernier a vu surgir, sous la pression des catastrophes écologiques mondiales à répétitions, une conscience collective en faveur de la protection de l'environnement. L'agriculture de conservation a déjà réalisé à cet égard une véritable révolution dans les pratiques et les esprits, en particulier sur le continent américain, et surtout au Brésil qui constitue l'exemple le plus significatif grâce au développement exponentiel de la gestion des sols et des unités de paysage, en Semis Direct.

Sur le continent américain, siège actuel de cette révolution agricole (*U.S.A. et surtout Brésil et pays du Cône Sud*), de nombreux travaux de recherche conduits dans des écosystèmes et agrosystèmes très contrastés sur des modes différenciés de gestion des sols de longue durée montrent que, aussi bien sous climat tempéré que tropical et subtropical, les systèmes de culture pratiqués en semis direct<sup>4</sup> sans jamais travailler le sol, comparés aux mêmes systèmes de culture qui utilisent les techniques conventionnelles diverses de travail du sol, permettent d'augmenter très significativement la teneur en matière organique des sols (*Cambardella C.A et Elliot E.T., 1994; Dick W.A. et al., 1998; Bayer C. et al., 2000; Sá J.C.M. et al., 2000*).

Ces résultats, confirmés déjà sur de longues périodes, même s'ils sont très porteurs d'espoir et rassurants sur l'avenir de la planète dans sa capacité à produire plus, durablement, au moindre coût et en polluant moins (*Elliot E.T., 1986; Reicosky D.C. et al., 1995*), sont encore insuffisants pour bien expliciter scientifiquement et bien maîtriser dans la pratique, la dynamique du carbone en fonction de la nature des systèmes de culture pratiqués et surtout pour construire les systèmes conservateurs de demain, qui devront être encore plus performants à cet égard, tout en satisfaisant au cahier des charges de l'agriculture durable et aux objectifs de agriculteurs.

Depuis plus de 20 ans au Brésil, 15 ans à l'île de la Réunion et plus de 10 ans à Madagascar, et plus récemment en Asie (*Laos, Vietnam*), le CIRAD bâti, avec ses partenaires du Sud de la recherche et du développement, des systèmes de culture en Semis Direct<sup>4</sup> qui doivent répondre à ces exigences

<sup>4</sup> **Definition: le semis direct (SD) est un système conservatoire de gestion des sols et des cultures, dans lequel la semence est placée directement dans le sol qui n'est jamais travaillé. Seul, un petit trou ou un sillon est ouvert, de profondeur et largeur suffisantes avec des outils spécialement conçus à cet effet pour garantir une bonne couverture et un bon contact de la semence avec le sol. Aucune autre préparation du sol n'est effectuée. L'élimination des mauvaises herbes, avant et après le semis pendant la culture, est faite avec des herbicides, les moins polluants possibles pour le sol qui doit toujours rester couvert.**

. Le présent article réunit de manière très synthétique<sup>5</sup> les principaux résultats de cette construction de la Recherche-Action menée par le CIRAD ; il aborde successivement :

- la présentation de notre méthodologie générale d'intervention sur les systèmes de culture qui agit en prise directe dans le milieu et avec la participation effective des acteurs du développement,
- l'analyse des tendances d'évolution de la matière organique en fonction de la nature des systèmes de culture existants et des systèmes novateurs, préservateurs de l'environnement ; les résultats sont discutés et comparés avec ceux obtenus dans d'autres grandes éco-régions du monde, principalement aux U.S.A. en climat tempéré et au Brésil subtropical.
- enfin, l'évaluation des performances agronomiques, techniques et économiques des systèmes de culture, leur évolution au cours du temps ; les résultats des meilleurs systèmes appropriables sont mis en regard avec leur capacité à séquestrer le carbone et à conserver la capacité de production du patrimoine sol à moyen terme et au moindre coût.

. Compte tenu du très grand nombre de résultats déjà accumulés en matière de performances des systèmes de culture sur le Réseau Semis Direct du CIRAD, nous ne retiendrons dans cet article que quelques exemples très contrastés aux plans écologique et socio-économique qui ont fait leurs preuves démonstratives sur la durée et qui alimentent très activement et significativement la diffusion et l'appropriation par les agriculteurs des systèmes de culture préservateurs de l'environnement.

## II - MATÉRIEL ET MÉTHODES

La méthode de Recherche-Action utilisée, dite de "Création-Diffusion" fait partie des modèles de recherche fondée sur l'expérimentation en milieu paysan (Séguy L. et al., 1994, 1996 ; Triomphe B., 1989) [ Voir Fig. 1]

- ◆ L'essentiel du travail de Recherche-Action consiste, en partant de diverses situations pédoclimatiques et socio-économiques régionales (*diagnostic initial, typologie des exploitations qui conduisent à l'analyse des contraintes majeures pour la fixation d'agricultures durables*), à adapter, construire, pour et avec les agriculteurs, dans leurs milieux, des systèmes de culture durables bâtis sur des techniques de gestion conservatoire des sols facilement appropriables par les agriculteurs. Ces systèmes doivent d'abord améliorer, restaurer puis maintenir la capacité de production du sol à long terme avec l'utilisation d'un minimum d'intrants, voire sans intrants, dans un environnement totalement protégé (*échelles des unités de paysage, des terroirs*).
- ◆ Les objectifs sont, simultanément , et dans une démarche à la fois holistique et heuristique :
  - de bâtir avec les agriculteurs des solutions pratiques et appropriables pour surmonter les obstacles à la fixation des agricultures tropicales (*critères des agriculteurs, développeurs et chercheurs*),
  - d'expliquer et de modéliser le fonctionnement des agro-systèmes cultivés, durables, pour pouvoir les adapter rapidement à d'autres écosystèmes et agrosystèmes tropicaux,
  - d'analyser et d'évaluer préventivement leurs impacts : sur l'évolution de la fertilité des sols à l'échelle d'unités de paysage représentatives des terroirs et

<sup>5</sup> Pour plus de renseignements, le lecteur pourra consulter l'ouvrage "Systèmes de culture et dynamique de la matière organique" de Séguy L., Bouzinac S., Maronezzi A.C. Document interne CIRAD, 203 p.- 34398 – Montpellier Cedex 5 – France – 2001 c

des bassins versants, sur le comportement et la mentalité des agriculteurs et des sociétés rurales.

## 2.1. LA CRÉATION DE L'OFFRE TECHNOLOGIQUE "Système de culture" AVEC LES AGRICULTEURS

La recherche-action crée dans chaque grande éco-région avec ses partenaires du développement (*agriculteurs, vulgarisateurs*) un double dispositif opérationnel à vocations complémentaires :

- **Des unités expérimentales "systèmes de culture", gérées en milieu contrôlé** par la recherche et les agriculteurs = ce sont des vitrines de l'offre technologique,
- **Des fazendas de référence, en milieu réel** où sont appliqués à très grande échelle, un ou plusieurs systèmes de culture issus des unités, choisis par les producteurs qui les appliquent en l'état ou les réadaptent à leurs propres objectifs. Cet ensemble constitue un dispositif d'intervention multilocal de longue durée qui recouvre la variabilité pédoclimatique et socio-économique régionale (Fig. 2).

Les systèmes de culture (*traditionnels + novateurs*) sont organisés en "matrices des systèmes", sur toposéquences représentatives du milieu physique et du paysage agricole. Partant des systèmes traditionnels, les nouveaux systèmes sont élaborés par l'incorporation progressive, systématique et contrôlée de facteurs de production plus performants (*modes de gestion des sols et des cultures, produits thématiques tels que variétés, niveaux de fumure*, Fig. 3).

La construction des matrices "systèmes de culture" obéit à des règles précises (cf. *Séguy L., 1994 ; Séguy L. et al., 1996*) qui permettent l'interprétation des effets directs et cumulés des composantes des systèmes au cours du temps, aussi bien sur leurs performances de production que sur leurs impacts sur la fertilité des sols, la biologie des adventices ou des insectes ravageurs, etc....

**Les matrices "systèmes de culture" et le réseau multilocal de fazendas de référence**, constituent les supports opérationnels de l'étude; ces dispositifs expérimentaux, qui sont de longue durée, représentent à la fois :

- **Un lieu d'action, de création de l'innovation et de formation des acteurs**, dans lequel le montage matriciel des systèmes permet d'évaluer leurs performances comparées agronomiques, techniques et économiques dans les mêmes conditions de sol et climat, et de les classer au cours du temps (*réponses de leur stabilité ou fluctuations par rapport aux risques climatique et économique*), d'extraire des lois de fonctionnement des systèmes (*conditions de reproductibilité => modélisation*) ;
- **Un laboratoire de veille, précieux pour les scientifiques**, en permettant d'évaluer, de manière anticipée par rapport à l'adoption des systèmes par les agriculteurs, leurs impacts sur l'environnement (*érosion, qualité biologique des sols, externalités, xénobiotiques*) [cf. concepts de R. Chaussod 1996]. C'est donc un lieu privilégié pour mettre en regard = performances de production des systèmes, modes de fonctionnement et impacts environnementaux, dans une démarche préventive qui offre des solutions réelles aux agriculteurs et décideurs pour concilier les exigences de la société civile (*impacts environnementaux*) et les objectifs des agriculteurs (*Productivités des systèmes, du travail, des marges, etc...*).
- **Le maintien de la mémoire vive** = les systèmes traditionnels et leurs évolutions y sont maintenus pour mesurer les progrès accomplis (*performances agronomiques et technico-économiques, impacts sur l'environnement*) au cours du temps. De même, les systèmes le plus destructifs de la ressource sol doivent

être représentés tout au long de l'étude; Ils sont les témoins vivants de ce qu'il ne faut pas faire, et indispensables à la formation (*chronoséquences d'évolution des systèmes contrôlés*).

- **Un vivier de systèmes de culture qui réunit l'agriculture d'hier** (*avec travail du sol*), **l'agriculture d'aujourd'hui** (*les cultures des agriculteurs conduites en système de Semis Direct*) et **l'agriculture de demain** (*systèmes en Semis Direct, construits sur une plus grande diversité de cultures, sur l'intégration de l'agriculture, de l'élevage et de l'arbre dans l'espace cultivé*).
- ◆ Tous les systèmes de culture sont conduits avec 3 niveaux de fumure (*Fig. 3*) :
  - La fumure traditionnelle ou recommandée par la recherche, les organismes de développement ou celle qui est utilisée par la majorité des agriculteurs de la région
  - Un niveau de fumure faible, qui couvre, en gros, seulement les exportations par grains des cultures
  - Une fumure non limitante (*expression du potentiel agronomique dans l'offre pédoclimatique locale*).

Ces 3 niveaux de fumure combinés aux modes différenciés de gestion des sols et des cultures ont pour but de mettre en évidence au cours du temps :

- L'importance des possibilités de restauration de la fertilité au sens large **par la voie organo-biologique** (*Vitesse de restauration, importance → productivité de matière sèche totale en fonction des niveaux de fumure minérale, expression du potentiel de production du sol au cours du temps*) et la preuve de la fermeture du système "sol-cultures" (*. Séguy L, et al., 1996*) sans pertes de nutriments, grâce aux systèmes de culture en Semis Direct conduits avec la fumure faible qui couvre seulement les exportations par grains.
- L'importance capitale et prépondérante de la gestion prioritaire des propriétés physiques et biologiques (*étroitement liées*) dans l'expression des performances agronomiques des systèmes de culture au cours du temps, par rapport à celle des propriétés chimiques, dans les sols tropicaux (*ferrallitiques et ferrugineux dominants, plus ou moins dégradés*).

## **CONTENU DES MATRICES "SYSTÈMES DE CULTURE", pérennisées :**

Elles réunissent sur la même unité expérimentale et dans les mêmes conditions pédoclimatiques =

- le ou les systèmes traditionnels représentatifs de la région,
- des systèmes novateurs, préservateurs de l'environnement en constante évolution, qui font appel à de nouvelles techniques de Semis Direct, inspirées directement du fonctionnement de l'écosystème forestier = le Semis direct sur couvertures permanente du sol (Séguy L. et al., 1996).

Trois grands types de systèmes de culture ont été construits par le CIRAD-CA à l'image de l'écosystème forestier :

- + ceux sur couvertures mortes,
- + ceux sur couvertures vivantes,
- + ceux sur couvertures à vocation mixte.

**Dans les systèmes avec couverture morte permanente**, la couverture du sol est assurée, en plus des résidus de récolte des cultures commerciales, par une culture de biomasse végétale (*espèce à vocation de production de grains ou fourragère, ou les deux associées*), extrêmement puissante, qui est implantée avant ou après la culture commerciale, en conditions pluviométriques le plus souvent aléatoires (*cf. Fig. 4*). Cette forte biomasse est desséchée aux herbicides totaux immédiatement avant le semis direct de la culture commerciale qui s'effectue dans la couverture grâce à des semoirs spécialement conçus à cet effet.

**Dans les systèmes avec couverture vivante permanente**, cette dernière est toujours une espèce fourragère pérenne grâce à ses organes de multiplication végétative (*Stolons, rhizomes*) ; la culture commerciale est implantée sur la couverture dont on a seulement desséché la partie aérienne (*en préservant totalement les organes de reproduction végétative par des herbicides appropriés peu coûteux et peu polluants*). La couverture est maintenue à l'état de vie ralentie, non compétitive pour la culture commerciale (*à l'aide d'herbicides sélectifs, utilisés à très faible dose*), jusqu'à ce que la culture commerciale gérée à cet effet, assure un ombrage total au-dessus d'elle ; dès que la culture commerciale mûrit, elle laisse pénétrer la lumière et la couverture vivante recouvre rapidement le sol à nouveau et peut être pâturée par les animaux après la récolte (*successions annuelles = production de grains + production de viande ou de lait, cf. Fig. 5*).

**Les systèmes mixtes** (*cf. Fig. 6*) sont intermédiaires entre les deux modèles précédents et sont bâtis sur des successions annuelles qui comprennent : 1 culture commerciale + 1 culture biomasse pour production de grains, associée à une culture fourragère ; on récolte donc les 2 cultures successives pendant la saison des pluies, suivies d'une production de viande ou lait pendant la saison sèche qui est assurée par la culture fourragère (*cf. Fig. 6*).

Ce sont la longueur de la saison des pluies et l'importance de la pluviométrie qui déterminent les possibilités d'application de l'un ou l'autre type de système en Semis Direct sur couverture permanente des sols.

## 2.2. SUIVI - ÉVALUATION ET ANALYSE D'IMPACTS

### 2.2.1. SUIVI -ÉVALUATION

Il est fonction des échelles d'intervention :

+ **À l'échelle de la parcelle**, sont évaluées les performances comparées de systèmes de culture au cours du temps, en termes :

- a) **agronomiques** = productivité de matière sèche des cultures commerciales ou alimentaires (*biomasses aériennes = grains + pailles, et biomasses racinaires*), et leurs teneurs en nutriments ; Productivité des cultures "biomasses de couverture" ou "pompes biologiques" qui exercent leur multifonctionnalité sur les sols et qui constituent le lit sur lequel s'effectue le semis direct des cultures commerciales ; sont enregistrés :
- Les rendements en matière sèche des parties aériennes et racinaires et leur dynamique de croissance,
  - leur contenu en nutriments = C, N, P, Ca, Mg, K, S et oligo-éléments.

Ces mesures sont effectuées systématiquement :

- Avant le semis direct des cultures commerciales,
- Après leur récolte en grains et après celle des biomasses de couverture installées en succession.

L'enregistrement de ces paramètres renseigne sur la dynamique du carbone et des nutriments issus de la minéralisation des résidus de récolte de cultures commerciales et des biomasses de couverture provenant aussi bien des parties aériennes que racinaires (*Fonctions: alimentaire des couvertures, recycleuse et restructurante, de recharge en carbone*).

Sont également suivis, dans chaque système de culture, le parasitisme des sols et des cultures, l'évolution de la flore adventice.

- b) **techniques** = faisabilité technique des systèmes de culture, capacité de travail des équipements mécanisés et de la main d'œuvre, leur flexibilité d'utilisation, leur pénibilité.

- c) **économiques** = coûts de production, marges brutes et nettes, rapports coûts/Bénéfice; dans le cas des agricultures manuelles, également le nombre de jours de travail et la valorisation de la journée de travail.

Le recueil de ces données minimums permet, dans tous les cas :

- de classer les systèmes de culture à partir de leurs performances annuelles et inter-annuelles, aux plans agronomique, technique et économique.
- de comparer et comprendre leurs modes de fonctionnement agronomiques principaux au cours du temps (*Relations Sol-Cultures*), de les évaluer, de les classer face aux risques climatiques et économiques majeurs ;



#### + À l'échelle de la toposéquence)

- Dynamique de l'érosion et du ruissellement (*qualitatif*),
- Evaluation des externalités = charge solide, teneurs en nitrates, bases, P, molécules xénobiotiques, recueillis dans la partie aval des toposéquences (*Fig. 2*).

#### + À l'échelle des fazendas de référence et des terroirs (*milieu réel*)

- Performances comparées des systèmes de culture et de production à partir des critères précédents, agronomiques, techniques et économiques.
- Diffusion spontanée des systèmes de culture en Semis Direct (*importance, points forts et faibles*)
- Identification des agriculteurs leaders formateurs d'opinion (*diffuseurs - consultants*), comme levier d'amplification de la diffusion.
- Modification des systèmes de culture et de production, de l'occupation de l'espace, place de l'arbre dans l'espace cultivé, de la jachère.

#### + À l'Echelle régionale

- À partir du réseau expérimental (*matrices + fazendas de référence*), création de références agronomiques et technico-économiques régionales (*banque de données*) sur les systèmes de culture en Semis Direct sur couvertures végétales.
- Modélisation du fonctionnement comparé des systèmes de culture (*lois de fonctionnement des agrosystèmes et possibilités d'extrapolation pour d'autres écologies*).

## 2.2. ANALYSES D'IMPACTS

### SUR LE SOL

**Analyses de routine : Propriétés chimiques** dont pH, S, CEC, P total et échangeable (*Résine*), oligo-éléments ; **Propriétés physiques** = M.O., N organique, propriétés hydrodynamiques = eau utilisable, sa vitesse d'infiltration sous cultures, la typologie des agrégats et de l'espace poral ; la caractérisation et suivi permanent du profil cultural et en particulier de la dynamique de colonisation racinaire (*vitesse, caractéristiques d'exploration du profil*).

**Analyses plus fines, nécessaires pour quantifier la dynamique du carbone et des ions : la dynamique des nitrates, de Ca et K** (*Type de fonctionnement du système "Sol-cultures" : ouvert ou fermé [concept Séguy L., 1996]*) . **Les Propriétés biologiques** = caractérisation de la faune (*macro et méso*), biomasse microbienne, biomasse microbienne/C, C et N organique, dynamique du C (*Cerri C. et al, 1985*) ( $C^{13}/C^{12}$ ), méthode du fractionnement granulométrique des matières organiques (*Feller C., 1995*), indice d'activité biologique globale (*Bourguignon C. , 1995/2000 communications personnelles*).

### SUR LES EXTERNALITÉS

À l'échelle de toposéquences représentatives ou portions de bassins versants =

- Entretien des infrastructures telles que routes, pistes, aménagements hydrauliques (*opérations, coûts*),
- Rivières, puits, nappes phréatiques = pollution au sens large (nitrates, pesticides).

#### **SUR LA MENTALITÉ DES AGRICULTEURS**

- Relations avec l'environnement (*culture de l'arbre, embocagement, respect de la faune*).
- Prise en compte de la qualité de la production.
- Organisation de la profession agricole (*clubs et associations de semis direct, autres types d'organisation de la production, du crédit, des intrants*).
- Nature de leurs décisions, vision de leur avenir.

#### **SUR L'ECONOMIE RÉGIONALE**

- Filières commerciales, marchés, transformation de la production
- Circuits d'approvisionnements en facteurs de production, en crédits.
- Place de l'agriculture dans l'économie régionale.

### **2.3. CHOIX DES ECO-REGIONS**

Dans le cadre de cette étude, 3 grandes écologies ont été retenues à titre d'exemples démonstratifs ; elles sont très contrastées aux plans géomorphologique, pédologique, climatique et socio-économique, et, toutes, sont soumises à une érosion intense lorsque les sols sont travaillés.

- **La zone Tropicale Humide (ZTH)**, représentée par la région des Fronts Pionniers du Sud du Bassin amazonien au Brésil (*11 à 12° de latitude Sud*) et la région de Boumango, au Gabon, en Afrique de l'Ouest (*2° latitude N*). C'est le domaine des sols ferrallitiques sur roche acide, fortement désaturés sous un climat chaud à très forte pluviométrie annuelle de type modal ou bimodal, comprise entre 2.000 et plus de 3.000 mm, répartie sur 7 à 8 mois. Les unités géomorphologiques les plus représentées sont des collines en demi-orange dont la pente varie de 2 à plus de 6%. Deux grands écosystèmes y sont juxtaposés = celui des FORÊTS et celui des CERRADOS (*Savanes*).

- **La zone des Forêts Tropicales du Centre-Ouest Brésilien** (*17° de latitude Sud*), représentative des sols ferrallitiques rouges-foncés à fortes potentialités sur roche basaltique (*Les trapps basaltiques occupent 750.000 km<sup>2</sup> au Brésil*); le climat est plus frais en saison sèche et la pluviométrie variable d'une année sur l'autre est comprise entre 900 et 1.600 mm, sur 6 mois. Les unités géomorphologiques sont constituées de doigts basaltiques à fortes pentes (6 à 20%).

(\*) Ces 2 grandes zones ouvertes à l'agriculture dans la fin des années 70 sont le siège d'une agriculture mécanisée pratiquée sur de grandes fazendas dominantes et centrée sur des productions de cultures industrielles telles que le soja et le coton ou alimentaires comme le riz, le maïs ou encore l'élevage extensif.

- **La région des Hauts Plateaux de l'île de Madagascar** qui bénéficie de conditions climatiques subtropicales, fraîches et humides (*19° de latitude Sud*), avec une altitude comprise entre 1.200 et 2.000 m, et soumise à un régime cyclonique de pluies ; La pluviométrie varie de 1.200 à 1.800 mm et les pluies peuvent être exceptionnellement agressives sous les cyclones. Les sols sont ferrallitiques sur socle cristallin (*Site d'Ibity*) ou sur alluvions lacustres anciennes

(site de Sambaina), ils sont généralement riches en matière organique de très faible activité. Si l'agriculture concentre ses activités sur la riziculture irriguée des vallées d'altitude, pratiquée manuellement et en traction animale, sous la densité croissante d'occupation des sols, elle colonise de plus en plus les collines exondées à très fortes pentes (*Tanety*), couvertes de sols ferrallitiques humifères très fortement désaturés ; l'agriculture pratiquée manuellement est de très faible productivité sans intrants chimiques, les sols sont labourés à la pelle traditionnelle (*angady*).

### III - RÉSULTATS

#### 3.1. DYNAMIQUE DE LA MATIÈRE ORGANIQUE EN FONCTION DE LA NATURE DES SYSTÈMES DE CULTURE ET DES ÉCOLOGIES

Plusieurs règles de portée générale peuvent être énoncées concernant la dynamique du carbone en fonction des systèmes de culture, dans les diverses grandes éco-régions tropicales et subtropicales retenues dans le cadre de cette étude ( Cf. Fig. 7,8 et 9) :

❶ Dans tous les cas étudiés, les techniques de travail du sol (*discage, labours*) combinées à des systèmes de monoculture à 1 seule culture par an qui n'utilise qu'une faible partie du potentiel hydrique disponible, conduisent toujours à des pertes de matière organique dont l'importance varie en fonction des conditions de climat, sol, pente, techniques de travail du sol et état de dégradation du profil cultural =

- En ZTH, en zone de forêt sur modelé plat, les pertes sur sols travaillés aux engins à disques portent surtout sur l'horizon 0-10 cm et varient entre -0,7 et -1,2 MgC.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup> mais peuvent également affecter l'horizon 10-20 cm, comme dans le cas des cerrados ou le modelé est plus pentu et l'érosion plus active.
- En zone subtropicale d'altitude à relief montagneux, les sols ferrallitiques sur socle cristallin, soumis à un régime cyclonique des pluies, peuvent perdre entre -1,0 et -1,4 Mg.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup> lorsqu'ils sont travaillés à la pelle traditionnelle (*labour profond à l'angady*).
- En zone de forêts tropicales sur coulées basaltiques à fortes pentes du Centre-Ouest brésilien (*Sud du Goiás*), les sols ferrallitiques plus argileux et à fortes potentialités se montrent moins sensibles à ces modes de gestion (*discages x monoculture coton*) et ne perdent que -0,2 à -0,45 Mg.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup>.

❷ Tous les systèmes de culture en Semis Direct sur couverture végétale permanente, permettent, dans toutes les situations pédoclimatiques, de recharger le profil cultural en M.O., et de contrôler totalement l'érosion, quelle que soit la pente, la pluviométrie et le type de sol .

❸ Si l'importance de la séquestration de C dépend des conditions de sol et de climat (*le climat subtropical d'altitude frais et humide est celui qui favorise le plus l'accumulation de C*), elle est surtout conditionnée dans chaque grande éco-région par la nature des systèmes de culture pratiqués en Semis Direct et par l'état de dégradation physico-biologique du profil cultural au départ ; en ZTH<sup>6</sup>, où les

<sup>6</sup> La partie relative aux 15 ans de la chronoséquence 3 en zone forestière (Fig.16) et la chronoséquence des Cerrados (Fig. 17) comportent en réalité, 2 à 3 ans de riz immédiatement après défrichement. Cette culture fait partie intégrante de l'opération de défrichement-ouverture des terres; elle restitue entre 7 et 11 t/ha/an de résidus à C/N élevé, qui permettent de maintenir le taux de M.O. du profil cultural au départ (Séguy L. et al, 1996)

conditions climatiques sont idéales pour le fonctionnement maximum du "réacteur minéralisation de la M.O.", le taux de séquestration annuel de C peut ainsi varier du simple au double en fonction de la nature des systèmes pratiqués, en partant des profils culturaux déjà très dégradés, appauvris en M.O. (+/- 1% dans l'horizon 0-20 cm) :

- + 0,83 MgC.ha<sup>-1</sup> pour la succession annuelle soja + mil (*hor. 0-10 cm*),
- + 1,16 MgC.ha<sup>-1</sup> pour la succession annuelle soja + sorgho (*même horizon*),
- + 1,33 MgC.ha<sup>-1</sup> dans l'horizon 0-10 cm et +1,40 Mg.ha<sup>-1</sup> dans le niveau 10-20 cm pour la succession annuelle soja + sorgho ou mil associés à *Brachiaria ruziziensis*, dans laquelle ce dernier continue à produire de la biomasse verte après la récolte du sorgho et sur toute la durée de la saison sèche (*par biomasses aériennes et racinaires*);
- + 1,66 MgC.ha<sup>-1</sup> dans l'horizon 0-10 cm et + 1,8 Mg.ha<sup>-1</sup> dans l'horizon 10-20 cm avec le système Riz + *Eleusine coracana* en première année, suivi de soja + *Eleusine cor.* en 2<sup>o</sup> année et de riz + *Eleusine cor.* en 3<sup>o</sup> année, soit 5 graminées sur 3 ans, dont 3 cycles d'*Eleusine coracana*, graminée annuelle qui possède le système racinaire le plus puissant de toutes les espèces que nous avons testées à ce jour (*biomasse sèche racinaire supérieure à 5 t/ha dans le seul horizon 0-50 cm, en 80 jours*).

Les systèmes de Semis Direct du soja et maïs (*coton et riz possibles*) sur couvertures vivantes pérennes, respectivement de *Cynodon d. tifton* et *Arachis p.*, permettent également de séquestrer très efficacement le carbone; sur 3 ans la quantité de C annuelle est de :

- + 1,5 MgC.ha<sup>-1</sup> dans l'horizon 0-10 cm et de + 0,8 Mg.ha<sup>-1</sup> dans le niveau 10-20 cm pour le système le plus performant : soja sur Tifton,
- + 1,0 MgC.ha<sup>-1</sup>, mais seulement dans l'horizon 0-10 cm, pour le système maïs sur *Arachis pintoï*.

Après une période de 6 ans de pratique continue du système soja +mil ou sorgho en Semis Direct et partant donc d'un profil cultural en partie restauré en M.O. par le système de Semis Direct, si l'on implante, toujours en Semis Direct, des espèces fourragères qui seront pâturées pendant 5 ans d'affilée sans apport d'intrants (*1,8 UGB/ha*), le taux de M.O. du sol augmente plus rapidement et la quantité de carbone séquestré annuellement est plus élevée sous l'espèce *Brachiaria brizantha* (*cv. Brizantão*) que sous l'espèce *Panicum maximum* (*cv. Tanzânia*) :

- + 0,7 MgC.ha<sup>-1</sup> pour cette dernière dans l'horizon 0-10 cm, contre
- + 0,9 MgC.ha<sup>-1</sup> sous le brizantão dans le même horizon ;

Dans l'horizon 10-20 cm, le taux de séquestration annuel de C est très élevé sous *Brachiaria b.* avec + 1,68 MgC.ha<sup>-1</sup> contre + 1,08 MgC.ha<sup>-1</sup> sous *Panicum m.*;

Ces espèces rechargent donc fortement le profil cultural en dessous de 10 cm de profondeur .

Des résultats similaires de séquestration de C sous Semis Direct ont été obtenus dans les savanes gabonaises, sous des conditions pédoclimatiques proches et à partir de systèmes de culture à base de grains semblables, que nous avons transférés depuis le Brésil (*Boulakia, S. et al, 1999*). Comme dans le cas des fronts pionniers de la ZTH du Brésil, le travail profond du sol pratiqué tous les ans à l'entrée d'une succession annuelle maïs + soja, conduit à la perte progressive de M.O. ; les pertes annuelles de C, sont sur 3 ans de -1,0 MgC.ha<sup>-1</sup> dans l'horizon 0-10 cm, et -0,7 MgC.ha<sup>-1</sup> dans l'horizon 10-20 cm, en présence d'une forte fumure

minérale annuelle ; Lorsqu'un niveau moyen à faible de fumure minérale est utilisé, la perte annuelle de C est plus faible.

Comme dans les cerrados brésiliens, la pratique, en semis direct continu, de systèmes à 2 cultures annuelles en succession dominés par les graminées, voisins de ceux utilisés au Brésil, conduit à des niveaux de séquestration annuelle de C identiques à ceux observés au Brésil : + 1,0 MgC.ha<sup>-1</sup> dans l'horizon 0-10 cm et + 0,8 MgC.ha<sup>-1</sup> dans l'horizon 10-20 cm (cf. *chronoséquence Gabon, Fig. 7*).

- ④ Quel que soit le type de sol et les conditions climatiques, plus le profil cultural de départ est déstructuré et appauvri en M.O. et plus la recharge en carbone est rapide ensuite, en semis direct, avec des successions annuelles où les graminées jouent un rôle dominant (*mil, mais surtout sorgho, Eleusine cor., avoine, espèces fourragères*)
- ⑤ Sous moindre pluviométrie (900 à 1 600 mm), avec des sols argileux naturellement bien structurés et riches en M.O. comme les sols rouges-foncés sur basalte du Sud de Goiás, sols travaillés aux disques et en monoculture de coton sur fortes pentes, les pertes en M.O. sont nettement inférieures à celles de la ZTH et sont surtout localisées sur des griffes d'érosion (*érosion linéaire dominante*)
- ⑥ Le climat frais et humide d'altitude sur les hautes terres malgaches est celui qui permet de séquestrer le plus de carbone annuellement, lorsque des graminées pérennes très puissantes servent de support dominant aux systèmes de Semis Direct (*Pennisetum clandestinum*) : De +1,8 à +2,4 Mg.ha<sup>-1</sup> dans l'horizon 0-20 cm.
- ⑦ Le taux de séquestration de C dans les systèmes de Semis Direct les plus performants peut être aussi rapide et aussi important que le sont les pertes sous gestion inadéquate avec travail du sol ; les systèmes en Semis Direct les plus efficaces à cet égard sont ceux qui utilisent des successions annuelles à base de "biomasses de couverture" ou "pompes biologiques", très fortes pourvoyeuses de biomasse (*matière sèche aérienne et racinaire*) telles que mils, sorghos associées à *Brachiaria ruz.*, *Eleusine coracana*, *Cynodon dactylon*, en ZTH, les espèces fourragères pérennes des genres *Pennisetum (clandestinum)* et *Desmodium (intortum)* en zone subtropicale d'altitude ; ils conduisent, même sur de courtes périodes de 3 à 5 ans, à recouvrer les taux de M.O. des écosystèmes originels, voire de les dépasser.
- ⑧ La recharge en Carbone et à court terme du profil cultural sous les meilleurs systèmes de Semis Direct, porte de manière plus marquée sur l'horizon 0-10 cm, mais aussi sur l'horizon 10-20 cm, lorsque des espèces fourragères sont utilisées dans la rotation telles que les genres *Brachiaria*, *Eleusine*, *Cynodon*, *Pennisetum*.  
La comparaison des résultats obtenus avec ceux d'autres auteurs des régions tropicales et subtropicales, met en évidence :
  - Une bonne concordance avec les résultats produits par Corraza et al. 1999 dans l'éco-région des cerrados du Centre-Ouest brésilien, qui montrent un taux de séquestration annuel de C de +2,18 MgC.ha<sup>-1</sup>.
  - Dans la région Sud du Brésil, en conditions subtropicales, les résultats récents obtenus par Amado T.J. et al. (2000), Bayer C. et al. (2000) et Sá J.C.M. et al. (2000) avec des taux annuels de séquestration de C de + 1,6, de 1,33 et de 0,99 Mg.ha<sup>-1</sup> respectivement, sont assez comparables à ceux que nous avons obtenus sur les hauts plateaux malgaches en climat subtropical frais et humide, avec des taux variant entre 1,3 et 2,4 MgC.ha<sup>-1</sup>.
  - Comme dans la présente étude, des exemples au Kentucky (USA) en climat tempéré et à Ponta Grossa dans le Brésil subtropical cités par Sá J.C.M.

et al (2000) montrent que le stock de carbone accumulé pendant de longues périodes (15 à 20 ans) sous Semis Direct peut être supérieur à celui des écosystèmes sous végétation naturelle et qu'il concerne préférentiellement l'horizon 0-10 cm (Lal R., 1997 ; Dick W.A. et al, 1998 ; Kern J.S. & Johnson M.G., 1993).

- Autre conclusion concordante de cette étude avec ceux des auteurs déjà cités : Bien que le taux de décomposition de la M.O. en régions tropicales et subtropicales soit de 5 à 10 fois plus élevé que dans les régions tempérées (Lal R. et Logan T.J., 1995), les gains de M.O. dus à la pratique continue du Semis Direct peuvent y être équivalents voire supérieurs : c'est la nature des systèmes pratiqués en Semis Direct qui permet d'expliquer ce paradoxe.

### **3.2. DYNAMIQUES DU CARBONE DE LA CEC ET DU TAUX DE SATURATION (V%)**

Sur toutes les chronoséquences étudiées de sols ferrallitiques vides chimiquement au départ et à CEC effective basse (Scheid Lopes A. , 1984), les tendances d'évolution de la CEC, suivent strictement celles de la M.O. = Sous les systèmes de culture qui perdent de la M.O. (avec travail du sol x monoculture), la CEC des horizons de surface baisse ; à l'inverse, elle s'accroît et dans les mêmes proportions que la M.O., lorsque le taux de cette dernière augmente dans les systèmes en Semis Direct. Avec les techniques de Semis Direct, on crée un pouvoir de rétention des engrais minéraux proportionnel au niveau de séquestration du C, et on peut ainsi limiter leurs pertes par lixiviation (Séguy et al., 2001).

Le Semis Direct influence également de manière significative le taux de saturation des horizons supérieurs du profil cultural et principalement l'horizon 10-20 cm où les variations se montrent les plus sensibles (Séguy et al., 2001). Pour un même niveau de fumure minérale appliqué, le taux de saturation suit les variations de la M.O. et de la CEC. Le cas le plus démonstratif à cet égard est celui de la chronoséquence cerrados de la ZTH, dans laquelle les espèces fourragères implantées en Semis Direct pendant 5 ans, jouent le rôle de "pompes à cations" et remontent fortement le taux de saturation des horizons de surface, comme si de très fortes doses d'amendements calco-magnésiens avaient été appliquées, alors qu'aucune fumure minérale ni amendement n'ont été utilisés au cours de ces 5 ans (Fig. 10).

Des profils culturaux effectués tous les ans, dans toutes les chronoséquences, sous les cultures "biomasses de couverture", "pompes biologiques" de succession, montrent que les enracinements de ces cultures sont très profonds en sols ferrallitiques et dépassent le plus souvent 2 m à 2,5 m de profondeur à la floraison ; elles ont, de ce fait, la capacité de remonter, recycler tous les ans, les bases et les nitrates qui ont échappé aux cultures commerciales . C'est le cas des espèces des genres : *sorgho*, *Brachiaria*, *Panicum*, *Eleusine*, *Crotalaires*, *Pennisetum*, *Cynodon*, fermant le système « Sol-Culture »  
( Concept Séguy L. et al. 1996) .

### **3.3. LES PERFORMANCES AGRONOMIQUES, TECHNIQUES ET ECONOMIQUES DES SYSTEMES DE CULTURE ET LEUR MISE EN REGARD AVEC LA DYNAMIQUE DE LA M.O.**

#### **3.3.1. ÉCO RÉGION DE LA ZONE TROPICALE HUMIDE (ZTH).**

**L'évolution des performances agronomiques des systèmes de culture** à base de riz pluvial et soja, créés par la Recherche a été reconstituée pour la période 1986-2000 ; les figures 11 et 12 qui retracent cette évolution sur 14 ans, mettent en évidence les résultats reproductibles suivants =

- La production de matière sèche aérienne totale par hectare est passée de 4 à 8 t/ha en 1986 pour les systèmes de départ à une seule culture annuelle, à 25-28 tonnes/ha en l'an 2000 pour la moyenne des meilleurs systèmes en Semis Direct à 3 cultures par an .
- La variation des teneurs en M.O. des horizons de surface, a suivi strictement celle de la production de matière sèche totale aérienne : les systèmes les plus productifs en Semis Direct ont accumulé, en moyenne, entre 1992 et 2000 entre 1,7 et 2,1% de M.O. sur 8 ans.
- La productivité du soja, principale culture de la région, est passée ainsi de 1.700 kg/ha en 1986 à plus de 4.600 kg/ha en l'an 2000 ; celle du riz pluvial sur la même période de 1.800 - 2.000 kg/ha à plus de 8.000 kg/ha, (Séguy L., et al., 1998 d).

**Sur les 5 dernières années**, qui ont bénéficié de tous les progrès acquis dans la construction pendant 15 ans de systèmes de culture en Semis direct toujours plus performants et également d'un niveau de maîtrise technique encore affiné, l'analyse des performances agronomiques comparées des systèmes de culture dans les chronoséquences 1, 2 et 3 de l'écologie de forêt, conduit aux conclusions suivantes :

+ **La productivité du soja**, aussi bien de cycle court (*cv. Conquista*) que de cycle moyen (*cv. FT 114*) est toujours nettement supérieure sur les systèmes de semis direct que sur le témoin travaillé. L'écart de rendements s'accroît d'année en année à l'avantage du Semis Direct ; il est proportionnel à l'importance de la biomasse sèche sur laquelle est implanté le soja en semis direct = en présence d'un très faible niveau de fumure minérale ( $40 P_2O_5 + 40 K_2O$ ), cet écart de rendement en faveur du semis direct va de 13 à 17% en première année, à 30 à 42% en troisième année pour les meilleurs systèmes, quel que soit le cycle de la variété . Lorsque la fumure apportée double ( $ON + 80 P_2O_5 + 80 K_2O$ ), les écarts en faveur des meilleurs systèmes en semis direct vont de 15 à 25% en première année pour les 2 cycles variétaux à 18-24% pour le cycle court et 31 à 47% pour le cycle moyen en troisième année (*Fig. 13*).

+ **La productivité du Riz pluvial** est, comme celle du soja, toujours plus élevée en semis direct que sur sol travaillé (*Fig. 14*). La productivité moyenne des 3 meilleures variétés est en 1997/98 de 5.420 kg/ha en semis direct sur couverture morte d'*Eleusine coracana*, contre 4.260 kg/ha sur labour dans la même rotation, soit un gain de productivité de 23% en faveur du semis direct. En 1998/99, dans la même rotation le rendement moyen du semis direct pour ces mêmes cultivars est de 5.025 kg/ha contre 2.885 kg/ha sur labour, soit un gain de rendement de 43% pour le semis direct. L'état sanitaire du matériel génétique est, en outre, toujours nettement meilleur sur semis direct que sur labour pour ce qui concerne les principales maladies fongiques de l'appareil végétatif et reproducteur (Séguy L. et al, 1998)].

. Si la productivité du soja en semis direct est étroitement corrélée à la production de biomasse sèche des graminées, le riz pluvial suit la même réponse dès lors que la nutrition azotée n'est pas limitante (Séguy L. et al, 2001).

. Les systèmes de semis direct sur couvertures mortes et vivantes les plus productifs en biomasse sèche par an, sont aussi ceux qui produisent le plus de grains et qui séquestrent le plus de carbone .

. Sur la même année agricole, il est ainsi possible de produire (*et de reproduire*) 6 à 7 t/ha de riz pluvial (*qualité supérieure de grain*) ou 4 à 5 t/ha de soja, puis en succession 3 à 5 t/ha de céréales "pompes biologiques", elles-mêmes suivies d'un pâturage durant la saison sèche qui peut supporter 1,5 à 2 têtes de bétail à l'hectare sur 3 mois (*production de 50 à 90 kg /ha de viande*); les productions de ces 3 cultures annuelles successives qui couvrent les 12 mois de l'année, et qui sont obtenues en semis direct, consomment très peu de

fumure minérale : au total, de 50N à 115N.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup>, suivant que la culture en tête de succession est respectivement du soja ou du riz, 100 à 110 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup>, 100 à 130 K<sub>2</sub>O.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup>.

. La productivité des cultures principales a donc pratiquement triplé en 15 ans, et la production s'est fortement diversifiée ; les progrès spectaculaires réalisés sont imputables plus aux avancées décisives qui ont été progressivement construites et conquises en matière de système de culture en Semis Direct qu'à celles de l'amélioration variétale (Séguy L. et al, 1992/2000, 1996).

**Les conséquences technico-économiques** de l'utilisation des systèmes de culture en SD ou en sol travaillé sont à la mesure de leurs performances agronomiques.

La région de fronts pionniers du Centre-Nord Mato Grosso a connu depuis le tout début de son ouverture, au début des années 1980, une situation économique très chaotique, qui a subi de plein fouet les restructurations économiques du pays. Loin des grands centres de transformation, des ports d'exportation (*plus de 1.500 km*), la région ne dispose que d'une seule route, le plus souvent en état précaire, qui grève les coûts de transport. Cet isolement se traduit par une pénalisation économique qui va de 25 à 40% de surcoûts de production par rapport à ceux des grands états producteurs du Sud du pays (Séguy L. et al., 1996 ; cf. Fig. 15).

. Dans cette conjoncture, les coûts de production du soja, culture industrielle la plus stable, peuvent varier de 280 à plus de 430 U.S.\$/ha en fonction du niveau de technologie ; sur le riz pluvial, les coûts ont varié plus que du simple au double sur la période 1987/2000

Les meilleures performances technico-économiques sont toujours obtenues en Semis Direct ; elles permettent, malgré la situation économique très instable, de construire des assolements plus stables et de moindre risque économique (Cf. Fig. 16)

En fonction du niveau de risque choisi par l'agriculteur, les coûts de production peuvent varier de 300 à 600 U.S.\$/ha avec des systèmes en SD à base de riz, soja, maïs + cultures de succession suivies d'embouche en saison sèche ou pratiquées sur couvertures vivantes (Fig. 16) et jusqu'à 1.300 U.S.\$/ha avec la culture cotonnière de haute technologie (SD + fort niveau d'intrants). Les marges nettes vont de 100,00 à plus de 500,00 U.S.\$/ha, en fonction des prix payés au producteur.

Les charges de mécanisation ont pu être réduites de manière draconienne avec l'adoption du Semis Direct : le parc de tracteurs et de semoirs peut être divisé par 2, de même que la consommation de carburant (Fig. 17) .

. Pression et pénalisation économiques qui ont conduit à l'adoption massive du SD depuis 1995 permettent aujourd'hui à cette région d'être championne de productivité du Brésil pour le soja et pour le riz pluvial de haute technologie. Si la moyenne de productivité de soja dépasse maintenant largement 3.000 kg/ha dans la région sur plus de 1,3 millions d'hectares, des productivités comprises entre 4.000 et 5.500 kg/ha pour le riz pluvial sont aujourd'hui monnaie courante chez les agriculteurs (Fig. 18). Petit à petit, dans la difficulté, est né, puis s'est consolidé un profil d'agriculteurs très performants, aptes à affronter la mondialisation, sans subventions.

### **3.3.2. ÉCO RÉGION DES FORÊTS TROPICALES SUR BASALTE DU CENTRE OUEST BRÉSILIEN (Sud de l'état du Goiás, Nord de l'état de São Paulo).**



. Les performances agro-économiques comparées des modes de gestion des sols et des cultures relatifs à la chronoséquence de 4 ans du Sud de l'état de Goiás sont réunies dans la figure --, et mettent en évidence :

en présence d'un niveau de fumure minérale moyen de 85N + 50 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + 100 K<sub>2</sub>O + oligos, les systèmes de Semis Direct (SD) sont toujours plus productifs que les systèmes du cotonnier sur sol travaillé : l'écart de productivité en faveur du SD varie de 15 à 18% les années climatiques favorables, quel que soit l'état de dégradation du sol au départ, à plus de 30% sur sol peu dégradé et jusqu'à 65% sur sol très érodé durant les années climatiques très défavorables au cotonnier telles que 1997/98 et 1998/99 (Fig. 19).

. Lorsque le sol a été très fortement pollué et de manière durable par des herbicides de longue rémanence appliqués à trop forte dose, comme le sulfentrazone, certaines biomasses de couverture comme le sorgho montrent un pouvoir dépolluant, désintoxiquant très rapide pour que la productivité du coton retrouve son meilleur niveau (Séguy L., et al., 1997).

. Cette même couverture de sorgho (*type Guinea*) à décomposition lente et à effet allélopathique marqué sur la flore adventice, permet de contrôler naturellement et très efficacement la peste végétale *Cyperus rotundus* qui constitue un obstacle majeur à la mise en culture des sols sur roche volcanique (Séguy L., et al., 1999).

**AU PLAN ÉCONOMIQUE**, les coûts de production du SD, de mieux en mieux maîtrisés, s'avèrent en moyenne inférieurs de 5 à 10% à ceux des systèmes avec travail du sol (Fig. 20 et 21) ; comme sur les fronts pionniers, le parc des machines peut être réduit de 50% de même que la consommation de carburant (Séguy L., et al., 1998).

. Les marges nettes/ha sont très variables d'une année sur l'autre en fonction des prix payés pour la fibre, eux-mêmes très fluctuants. Elles sont, toujours, comme la productivité, plus stables et nettement plus élevées sur SD que sur sol travaillé = de 30 à 50% en fonction des années (Fig. 19, 20 et 21).

### 3.3.3. ÉCO-RÉGION DES HAUTS PLATEAUX MALGACHES

Chez les agriculteurs des Hauts Plateaux, les performances agro-économiques et techniques des systèmes de cultures pratiqués sur Tanety (*collines*) des sols acides, en culture manuelle et traction animale, sont dérisoires : pour la culture de maïs par exemple, qui est très importante dans cette région, la productivité sur sols acides varie entre 700 et 1000 kg/ha avec 5 t/ha de fumier et un calendrier cultural extrêmement chargé de plus de 200 jours/ha en culture manuelle (De Rham. et al., 1995 ; Feyt et al., 1999). Ces nombres traduisent bien, à la fois, un calendrier cultural très contraignant et des conditions de très basse fertilité des sols lorsque seule une fumure organique est utilisée (*la productivité du maïs tombe à moins de 400 kg/ha sans aucune fumure*).

. Les systèmes de culture en Semis Direct qui portent sur les cultures de maïs, soja et haricot produisent plus tous les ans, quel que soit le niveau de fumure ; avec labour, la productivité stagne ou se montre très fluctuante en présence des mêmes niveaux d'intrants (Fig. 22)

. Par rapport au labour, les systèmes de Semis Direct produisent en 4<sup>e</sup> année :  
- 3 fois plus de maïs, quel que soit le niveau de fumure ;

- 4 fois plus de soja avec fumier seul, 2,5 à 3 fois plus avec fumier + fumure minérale moyenne ou forte ;
- 4 fois plus de haricot avec fumier seul, 1,5 à 2,5 fois plus avec fumier + fumure minérale moyenne et forte, respectivement (*Fig. 22*)

. Sur les sols acides, improductifs avec les techniques de labour traditionnelles, le Semis Direct permet d'obtenir en 4<sup>e</sup> année 3 000 à 6 000 kg/ha de maïs, en fonction du niveau de fumure utilisé, 1 400 à 2 400 kg/ha de haricot, 1 800 à 3 000 kg/ha de soja, dans les mêmes conditions ;

. Avec 5t/ha de fumier seul, les techniques de Semis Direct permettent de tirer parti de ces sols, considérés comme incultes en culture traditionnelle.

. La figure 23, relative **aux temps de travaux** exprimés en jours/hectare, établis sur une période de 5 ans sur le réseau régional de sites, en fonction des différents systèmes de culture, met en évidence :

- les systèmes en semis direct, consomment beaucoup moins de main d'œuvre que les systèmes avec labour : les itinéraires techniques relatifs aux cultures de blé, maïs, riz pluvial, haricot et soja nécessitent, respectivement, en moyenne, 74 , 84 , 96 et 90 jours/ha quel que soit le type de sol, contre 190 à plus de 220 jours/ha pour les itinéraires des mêmes cultures, avec labour ;
- le semis direct offre donc une très forte économie de main d'oeuvre par rapport au labour, justement sur les opérations les plus pénibles du calendrier cultural : le travail du sol et les sarclages. Le labour utilise en moyenne 50 jours/ha, contre seulement 4 jours/ha pour traiter la biomasse de la parcelle de culture ou avec herbicide total de pré-semis ou pour rapporter de la biomasse sèche extérieure à la parcelle de culture et ainsi renforcer la couverture du sol

L'entretien des parcelles de cultures nécessite 60 à 70 jours/ha de sarclages sur labour, contre seulement 6 à 12 jours/ha dans les systèmes de semis direct (*utilisation d'herbicide sélectif ou sarclage manuel minimum, ou les 2 combinés*).

Au total, les temps de travaux, sur l'ensemble des itinéraires techniques en semis direct, sont réduits de 58 à 65% par rapport à ceux conduits avec labour et sarclages traditionnels.

+ **Les coûts de production** sont systématiquement plus faibles avec semis direct qu'avec labour, quel que soit le niveau de fumure et le type de sol, grâce à la très forte réduction de main d'œuvre en semis direct : 12 à 30% d'économie en fonction de la culture et du niveau de fumure (*Fig. 24*).

+ **Les marges nettes** sont toujours beaucoup plus importantes en semis direct qu'avec labour, pour toutes les cultures et quel que soit le niveau de fumure. Les plus intéressants sur sols acides sont, en semis direct :

- pour la culture de maïs, avec fumier seul : +323 US\$/ha contre +58 US\$/ha sur labour,
- pour la culture de soja, avec fumier + fumure minérale moyenne : +469 US\$/ha, contre +122 US\$/ha sur labour,
- pour la culture de haricot, avec fumier seul : +139 US\$/ha contre une marge négative sur labour de -104 US\$/ha (*Fig. 24*).

**Par rapport au SMIG journalier** de 0,87 US\$, payé dans la région en 1997/98, les systèmes de semis direct pratiqués avec fumier seul qui valorisent le mieux la journée de travail (Fig. 29), offrent **des rémunérations journalières comprises entre 2,13 et 4,65 US\$** sur sols acides de basse fertilité, en fonction des cultures, soit de 3 à 5 fois le SMIG journalier.

Le maïs se montre la production la plus rémunératrice sur sols acides en semis direct avec fumier seul, suivi du soja et du haricot. Le soja est la culture qui valorise le mieux la fumure minérale et offre la meilleure valorisation de la journée de travail : 5,80 US\$ sur fumure minérale moyenne + fumier et 6,00 US\$ sur fumure minérale forte + fumier.

Les systèmes de culture pratiqués avec labour sur sols acides offrent des valorisations de la journée de travail proches du SMIG journalier seulement pour les cultures de maïs et soja (voir Fig. 24).

## IV - DISCUSSION ET CONCLUSIONS

Le semis direct sur couverture permanente du sol est probablement le paradigme le plus complet qui ait été construit à ce jour pour le développement planétaire d'une agriculture durable, préservatrice de l'environnement, gérée au plus près du "biologique".

Plus que porteur d'espoir, il montre ses capacités à restaurer le statut organique des sols, aussi rapidement qu'il se dégrade avec le travail du sol destructeur, dans de grandes éco-régions subtropicales et tropicales ; l'exemple de la zone tropicale humide (ZTH) est éloquent à ce sujet, là où les processus qui commandent la dégradation de la ressource sol (*érosion*), la minéralisation de la M.O., vont plus vite que partout ailleurs sur la planète. Le statut organique des sols peut, avec l'utilisation des systèmes de culture en SD les plus performants, rejoindre rapidement et même dépasser celui des écosystèmes naturels (*forêts, cerrados*), même dans ces éco-régions à climat excessif où température et pluviométrie sont très élevées et où les sols sont vides "chimiquement" et présentent un pouvoir de rétention dérisoire vis à vis des engrais minéraux.

Si le Semis Direct sur couverture végétale permet, toujours, dans toutes les grandes éco-régions étudiées, de séquestrer du carbone, l'importance de cette séquestration dépend de la nature, de la typologie des systèmes de culture pratiqués : les plus performants pour cette fonction sont ceux qui produisent le plus de biomasse aérienne à C/N et teneur en lignine élevés, et qui possèdent des systèmes racinaires très développés en surface et en profondeur pour pouvoir utiliser efficacement l'eau profonde du sol, en dessous de la zone d'activité racinaire des cultures commerciales. Les systèmes racinaires les plus résistants à la minéralisation sont ceux qui sont entourés de manchons importants de microagrégats qui protègent la M.O. (*polysaccharides, endomycorhizes vésiculo - arbusculaire, polyphénols*), tels qu'en possèdent l'espèce *Eleusine coracana*, cultivée pure ou en association avec des légumineuses pivotantes, ou le genre *Brachiaria* associé aux pompes biologiques recycleuses telles que mil et sorgho.

Dans ces systèmes, la production de matière sèche est continue toute l'année, par l'utilisation progressive d'un réservoir hydrique énorme sur une grande épaisseur de sol, et les concentrations en M.O. augmentent à la surface du sol (Fig. 25). La recharge en carbone intéresse surtout l'horizon 0-10 cm, mais aussi celui de 10-20 cm, lorsque les graminées les plus puissantes au niveau racinaire sont utilisées (*genre Eleusine, Brachiaria associé à sorgho, mil, utilisé comme pâturage sur 4 à 5 ans ; espèces pérennes employées comme couvertures vivantes telles que Cynodon dactylon, Pennisetum clandestinum*). L'augmentation de la M.O. en surface accroît la résistance des microagrégats et la protection des M.O. ; ces M.O. augmentent la

stabilité des agrégats où elles se trouvent, et les agrégats plus stables, à leur tour, protègent les M.O. qui y sont incorporées, établissant ainsi des relations réciproques entre dynamique de la M.O. et stabilité de l'agrégation (*autorégulation*, *autoprotection*).

L'évolution des performances agronomiques et technico-économiques des systèmes de culture accompagne, dans toutes les grandes éco-régions, l'évolution du statut organique des sols :

- en ZTH, entre 1986 et 2000, en agriculture moderne mécanisée, les rendements des cultures principales soja et riz ont plus que doublés et la production de matière sèche totale par hectare a été multipliée par 4 à 5, permettant de produire 2 cultures annuelles de grains en succession plus de la viande ou du lait en saison sèche, tout en protégeant totalement le sol ;
- Dans l'écologie des forêts tropicales du Centre-Ouest du Brésil, sur des sols ferrallitiques issus de basaltes, à très fortes pentes, le Semis Direct en culture moderne mécanisée, permet d'arrêter définitivement l'érosion, de produire 10 à 30% de coton en plus, de diversifier la production, tout en contrôlant la peste végétale *Cyperus rotundus*.
- Dans l'éco-région subtropicale d'altitude des hauts plateaux de Madagascar, siège d'une érosion catastrophique, où se pratique une petite agriculture familiale, manuelle et en traction animale avec minimum d'intrants, la productivité des systèmes en SD est de 2 à 5 fois supérieure à celle des systèmes avec travail du sol pour les cultures principales de maïs, haricot et soja.

Dans toutes les grandes éco-régions, quel que soit le type d'agriculture, les systèmes en SD contrôlent totalement l'érosion et sont toujours nettement plus lucratifs que les systèmes avec travail du sol ; les économies de main d'œuvre ou de machines agricoles et de combustible sont spectaculaires en faveur du Semis Direct (SD).

Ces résultats obtenus dans des éco-régions très différenciées, montrent que le Semis Direct sur couverture végétale permanente du sol permet de produire plus de manière plus stable et plus proprement, en donnant une part croissante à la fertilité d'origine organo-biologique dans la capacité du sol à produire. Ce type d'agriculture qui fait appel à la notion de "biomasse annuelle, pompe biologique" comme "renfort" des cultures commerciales, peut agir comme stockeur net de CO<sub>2</sub> et non plus comme producteur net.

Les effets bénéfiques pour la qualité biologique des sols, de l'eau, peuvent être très rapides et positionner cette activité comme dépolluante et en ce sens, lui permettre de recueillir des aides de la société civile pour sa participation à la limitation de l'effet de serre, à la préservation des paysages, des infrastructures rurales et de la faune = des "crédits carbone" pourraient constituer un moyen stimulant pour soutenir le développement agricole dans ce sens. Ces crédits pourraient être modulés en fonction de la capacité des itinéraires techniques et des systèmes de culture à séquestrer le carbone et pourraient être de ce fait des arguments de choix décisifs pour les agriculteurs.

Mais, ces scénarios ne sont réalistes et possibles que si les divers acteurs du développement sont capables, œuvrant de concert et *in situ*, de créer ces systèmes de culture du futur, plus performants à la fois pour séquestrer le carbone, recycler les nitrates et les bases, dégrader les xénobiotiques (*critères des scientifiques et de la société civile*), et qui satisfassent aux critères de choix de l'agriculture durable et à ceux des agriculteurs (*agronomiques et technico-économiques*).

La méthodologie de Recherche-Action présentée dans ce document permet de répondre aux exigences de tous et de les concilier. La modélisation des systèmes de culture conduit, partant des systèmes en vigueur, à construire pour et avec les producteurs, dans leur milieu, une typologie très diversifiée de systèmes de culture possibles et appropriables. Cette expérience montre comment notre démarche expérimentale peut permettre de replacer *in situ*, dans le cadre de systèmes novateurs construits avec les agriculteurs, des études aussi fondamentales que celles relatives à la dynamique du carbone, au recyclage annuel efficace des nitrates et des bases, à la dégradation des xénobiotiques, à la biorémédiation en général.

Au cours de la démarche expérimentale pratiquée *in situ*, ces thématiques fondamentales sont traitées et mises en regard des performances agronomiques et technico-économiques des systèmes de culture qui pourront être appropriés demain par les producteurs ; l'impact économique de la dynamique du carbone, des nitrates, des bases et des xénobiotiques peut donc être évalué préventivement ; en conséquence, c'est une manière d'incorporer et de traiter les exigences de la société civile et de la science au sein de la typologie des systèmes de culture, dans la pratique même des agricultures régionales.

Cette expérience révèle aussi l'importance de la ZTH, comme "simulateur exceptionnel" pour l'étude scientifique de la dynamique du carbone : dans un climat à très forte pluviométrie sur 7,5 à 8 mois et à température moyenne très élevée, les vitesses de réaction des processus fondamentaux qui commandent la dynamique du carbone, mais aussi la lixiviation des nitrates et des bases, y sont bien plus élevées que partout ailleurs, et permettent d'appréhender la dynamique, même à très court terme, de ces processus fondamentaux de fonctionnement. C'est une façon académique et rigoureuse d'élucider ces phénomènes, en raccourcissant l'espace - temps, donc un auxiliaire précieux de modélisation pour la recherche qui permettra de préfigurer ces dynamiques pour toutes les autres grandes éco-régions de la planète où la vitesse des réactions est beaucoup plus lente.

Les unités opérationnelles de création-diffusion des scénarios de l'agriculture durable de demain sont organisées en réseau tropical et subtropical au sein du CIRAD. Cet ensemble très diversifié aux plans des environnements physiques et socio-économiques rassemble une maille d'unités opérationnelles de terrain pilotées par la recherche avec l'appui des agricultures locales, qui sont des laboratoires de veille et d'exception pour l'analyse anticipée des impacts des systèmes en SD sur le milieu et les hommes qui le cultivent, et pour la modélisation scientifique du fonctionnement de ces systèmes qui sont en prise directe avec les réalités agricoles régionales. Ces unités qui préfigurent les scénarios de l'agriculture "propre" de demain, sont très en avance sur les scénarios actuels de développement et constituent donc, par là même, des outils précieux de pilotage de l'agriculture du futur pour concilier les exigences de la société civile (*lutte contre l'effet de serre, produits alimentaires sains*) et celles des agriculteurs (*agriculture durable et lucrative, au moindre coût, dans un environnement protégé et propre*). Le Réseau Semis Direct sur couverture végétale du CIRAD-CA qui s'étoffe à grands pas grâce à l'appui de la coopération française (AFD, MAE, FFEM), couvre l'Amérique Latine avec le Brésil et le Mexique, l'Océan Indien avec Madagascar (*Travaux de H. Charpentier, R. Michellon du CIRAD-CA, ONG Tafa, ANAE, FOFIFA et ONG associées*) et l'Île de la Réunion (*Travaux de R. Michellon et al., A. Chabanne, J. Boyer, F. Normand, APR, DDA*), l'Asie avec le Laos (*Travaux de P. Julien, F. Tivet et recherche laotienne*) et le Vietnam (*Travaux de O. Husson, P. Lienard, S. Boulakia et recherche vietnamienne*), et va s'étendre à l'Afrique dans le début des années 2000 (*Tunisie déjà en cours, Cameroun, Mali, Ethiopie à venir*).

Ce Réseau pluri-écologies d'unités opérationnelles "systèmes de culture en Semis Direct" du CIRAD-CA est aussi un support de formation pour tous les acteurs du développement et peut devenir une référence mondiale (*diversité des écologies, des systèmes de culture, du niveau de maîtrise*) où la recherche anticipe, crée les systèmes de demain, modélise leur fonctionnement, évalue et explique à la société civile leurs impacts sur les milieux physique et humain, avant qu'ils ne soient adoptés à très grande échelle. Cette démarche rejoint le principe salubre de précaution et la nécessité qu'il est toujours préférable de prévenir plutôt que de guérir (*rôle du laboratoire de veille, d'avertissement*).

## V - RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AMADO, T.J.; PONTELLI, C.B.; JÚNIOR, G.G.; BRUM, A.C.R.; ELTZ, F.L.F. & PEDRUZZI, C.** Sequestro de carbono em sistemas conservacionistas na Depressão Central de Rio Grande do Sul. In: V Reunión bienal de la red latinoamericana de agricultura conservacionista. p.42-43, Florianópolis, 57p, 1999.
- BATJES, N.H.** Total carbon and nitrogen in the soils of the world. Eur. J. Soil Sci. 47:151-163, 1996.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; AMADO, T.J.C.; MARTIN-NETO, L. & FERNANDES, S.V.** Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. Soil & Till. Res. 54:101-109, 2000.
- BOULAKIA, S.; MADJOU C.; SÉGUY, L.** Impacts de quelques itinéraires techniques de Semis Direct, comparés au travail du sol, sur des indicateurs fondamentaux de gestion de la fertilité sous climat équatorial. Doc. Interne CIRAD, -11p. 34398 Montpellier Cedex 5 France - 1999.
- BORGES, G.** EDITORIAL - Especial 10 anos, retrospectiva dos principais fatos que foram notícia - Revisão Plantio Direto, edição nº 59 48p - Setembro/outubro de 2000 -.
- CAMBARDELLA, C.A. & ELLIOT, E.T.** Carbon and nitrogen dynamics of soil organic matter fractions from cultivated grassland soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 58:123-130, 1994.
- CERRI, C.; FELLER, C.; BALESSENT, J.; VICTORIA, R., et PLENECASSAGNE, A.** Application du traçage isotopique naturel en <sup>13</sup>C à l'étude de la dynamique de la matière organique dans les sols - Comptes - Rendus de l'académie des sciences, Paris, 300 : 423-428. 1985.
- CHAUSSOD, R.** La qualité biologique des sols = évaluation et implications. p.261-278 - volume 3, numéro 4 - AFES, 1996.
- CORAZZA, E.J.; SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S. & GOMES, A.C.** Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de cerrado. R. Bras. Ci. Solo. 23:425-432, 1999.

- DE RHAM et al.** Enjeu des tanety pour le développement paysan en imerina. 20p. FAFIALA ONG - ANTANANARIVO - MADAGASCAR.
- DICK, W.A.; BLEVINS, R.L.; FRYE, W.W.; PETERS, S.E.; CHRISTENSEN, D.R.; PIERCE, F.J. & VITOSH, M.L.** Impacts of agricultural management practices on C sequestration in forest-derived soils of the eastern Corn Belt. *Soil & Till. Res.* 47:235-344, **1998**.
- DOSS, D.D. ; BAGYARAJ, D.J. and SYAMASUNDAR, J.** Morphological and histochemical changes in the roots of finger millet *Eleusine coracana* colonized by VA mycorrhiza. *Proc. India Natl. Sci. Acad.* 54 :pg 291-293 . **1989**
- ELLIOT, E.T.** Aggregate structure and carbon, nitrogen and phosphorus in native and cultivated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50:627-633, **1986**.
- ESWARAN, H.; VAN DER BERG, E. & REICH, P..** Organic carbon in soils of the world. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57:192-194 - **1993**.
- FEBRAPDP** - Federação brasileira de plantio direto na palha 2000. Evolução da área de plantio direto no Brasil - dados estatísticos. <http://www.agri.com.br/febrapdp/pd>.
- FELLER, C.** La matière organique dans les sols tropicaux à argile 1:1. Recherche de compartiments organiques fonctionnels. Une approche granulométrique. Thèse de doctorat d'Etat, Orstom, Université Louis Pasteur, Strasbourg, France, 393 pages + annexes.- **1995**
- FEYT, H., MENDEZ DEL VILLAR, P.; RAVOHITRARIVO, C.P.; RABENJANA HARY E.; ENQUÊTES** - Études de la variabilité de la filière semences de FIFAMANOR dans le cadre du désengagement de l'état – DOC. FOFIFA - CIRAD - ANTANANARIVO – MADAGASCAR **1999**.
- IPCC, 1995.** Climate change 1995. Working group 1. IPCC, Cambridge: Cambridge University Press, **1996**.
- KERN, J.S. & JOHNSON, M.G.** Conservation tillage impacts on national soil and atmospheric carbon levels. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57:200-210, **1993**.
- LAL, R. & LOGAN, T.J.** Agricultural activities and greenhouse gas emissions from soils of the tropics. p.293-307. In: Lal, R. Kimble, J.M., Levine, E. and Stewart, B.A. (ed.). *Soil management greenhouse effect*. CRC Press, Boca Raton, Fl., **1995**.
- LAL, R.; KIMBLE, J.; LEVINE, E. & WHITMAN, C.** World soils and greenhouse effect: An overview. p.1-7. In: R. Lal, J. Kimble, E. Levine and B.A. Stewart (ed.). *Soils and global change*. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida, MI., **1995**.
- LAL, R.** Long-term tillage and maize monoculture effects on a tropical Alfisol in Western Nigeria. II. Soil Chemical properties. *Soil & Till. Res.* 42:161-174, **1997**.
- LAL, R.** Soil management and restoration for C sequestration to mitigate the accelerated greenhouse effect. *Progress in Env. Sc.* 4:307-326, **1999**.
- MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A.; FRANCHINI, J.C.** Neutralização da acidez do perfil de solo por resíduos vegetais - Informações agronômicas da POTAFOS - nº 92 - Dezembro/2000. CP 400 - CEP 13400-970. Piracicaba-SP. Brasil; **2000**.

- NEUFELDT, H.; AYARZA, M.A.; RESK, D.V.S. & ZECH, W.** Distribution of water-stable aggregates and aggregating agents in Cerrado Oxisols. *Geoderma* 93:85-99, 1999.
- REICOSKY, D.C.; KEMPER, W.D.; LANGDALE, G.W.; DOUGLAS Jr., C.L. & RASMUSSEN, P.E.** Soil organic matter changes resulting from tillage and biomass production. *J. Soil Water Cons.* 50:253-261, 1995.
- SÁ, J.C.M.; CERRI, C.C.; LAL, R.; DICK, W.A.; VENZKE FILHO, S.P.; PICCOLO, M. & FEIGL, B.** Organic matter dynamics and sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.* "em revisão final", 2000.
- SÁ, J.C.M.; CERRI, C.C.; DICK, W.A.; LAL, R.** Plantio Direto = Recupera a matéria orgânica do solo e reduz a emissão de CO<sub>2</sub> para a atmosfera - In = Revista Plantio Direto - edição nº 59, setembro/outubro de 2000. P41-45 - Aldeia Norte editora Ltda, Rua Moron 1324, 8º andar, sala 802.; 99010-032 - Passo Fundo - RS, 2000.
- SÉGUY L.** Contribution à l'étude et à la mise au point des systèmes de culture en milieu réel : - petit guide d'initiation à la méthode de création-diffusion de technologies en milieu réel, - résumés de quelques exemples significatifs d'application. Doc. CIRAD-CA, 191p. - 34398 Montpellier cedex 5 - France Octobre 1994.
- SÉGUY L.; BOUZINAC S.,-** Rapports annuels de recherches sur les fronts pionniers du Mato Grosso - ZTH - 1992/2000. Documents Internes CIRAD-CA, 34398 Montpellier cedex 5 - France 1992/2000.
- SÉGUY L.; BOUZINAC S.; TRENTINI A.; CORTEZ N.A.** - L'agriculture brésilienne des fronts pionniers. *Agriculture et développement* nº12, décembre 1996. pp;2-61. - 34398 Montpellier cedex 5 - France. 1996.
- SÉGUY L.; BOUZINAC S.; MAEDA E.; MAEDA N.** . Brésil : semis direct du cotonnier en grande culture motorisée. *Agriculture et développement* nº17, Mars 1998. pp.3-23. - 34398 Montpellier cedex 5 - France 1998 a.,
- SÉGUY L.; BOUZINAC S.; MAEDA E.; MAEDA N.** . Large scale mechanized direct drilling of cotton in Brazil. *The ICAC Recorder. Technical Information Section*, vol. XVI, nº1, march 1998, pp.11-17. 1998 b.
- SÉGUY L.; BOUZINAC S.; MARONEZZI A.C.** Semis direct et résistance des cultures aux maladies. Doc. CIRAD-CA, 1998, 4p. -34398 Montpellier cedex 5 - France 1998 c.
- SÉGUY L.; BOUZINAC S.; MARONEZZI A.C.** -. Les plus récents progrès technologiques réalisés sur la culture du riz pluvial de haute productivité et à qualité de grain supérieure, en systèmes de semis direct. *Ecologies des forêts et cerrados du Centre Nord de l'Etat du Mato Grosso. Agronorte - Sinop-MT*, 4 p. Doc. CIRAD-CA- 34398 Montpellier cedex 5 - France. 1998 d.
- SÉGUY L.; BOUZINAC S.** - Cultiver durablement et proprement les sols de la planète, en Semis direct. Doc. interne CIRAD-CA, 1998, 45p. - 34398 Montpellier cedex 5 - France 1998 e.



- SÉGUY L.; BOUZINAC S.; MAEDA E.; IDE M.A.; TRENTINI A.** La maîtrise de *Cyperus rotundus* par le semis direct en culture cotonnière au Brésil. Agriculture et développement n° 21, mars 1999. p.87-97 - 34398 Montpellier cedex 5 - France-1999.
- SÉGUY L.; BOUZINAC S.; TAFFAREL W.; TAFFAREL J.** - Méthode de défrichement préservant la fertilité du sol. In: Bois et forêts des tropiques - n° 263 - 1<sup>o</sup> trimestre 2000 - p.75-79. CIRAD - 34398 Montpellier cedex 5 - France **2000**.
- SÉGUY L.** . Les techniques de semis direct sur couvertures végétales dans la région des Hauts Plateaux de Madagascar. Doc. CIRAD-CA provisoire, 100 p., Partie d'un document collectif sur Madagascar à paraître pendant l'année 2001 - 34398 Montpellier cedex 5 - France. **2001 a**
- SÉGUY L.** . Quelques éléments simples et utiles: - à la compréhension de la démarche du CIRAD-CA en matière d'agroécologie - à la rédaction d'un projet scientifique SCV. Document CIRAD-CA , 23 p. - 34398 Montpellier cedex 5 - France -**2001 b**.
- SÉGUY L.; BOUZINAC S. ; MARONEZZI A.C.** Systèmes de culture et dynamique de la matière organique - Doc. CIRAD , 200 p. - 34398 Montpellier cedex 5 - France -**2001 c**
- SHEID LOPES A.** Solos sob "Cerrado", características, propriedades e manejo. 162p. POTAFOS - Piracicaba, SP, - Brasil ,**1984** .
- TRIOMPHE B.** Méthodes d'expérimentation agronomique en milieu paysan. Approche bibliographique. Collection Mémoires et travaux de l'IRAT 19. CIRAD-CA, 223 p. - 34398 Montpellier cedex 5 - France - **1989**
- VAN RAIJ B.,** Fertilidade do solo e adubação - 343p. POTAFOS - Piracicaba, SP - Brasil **1991**.

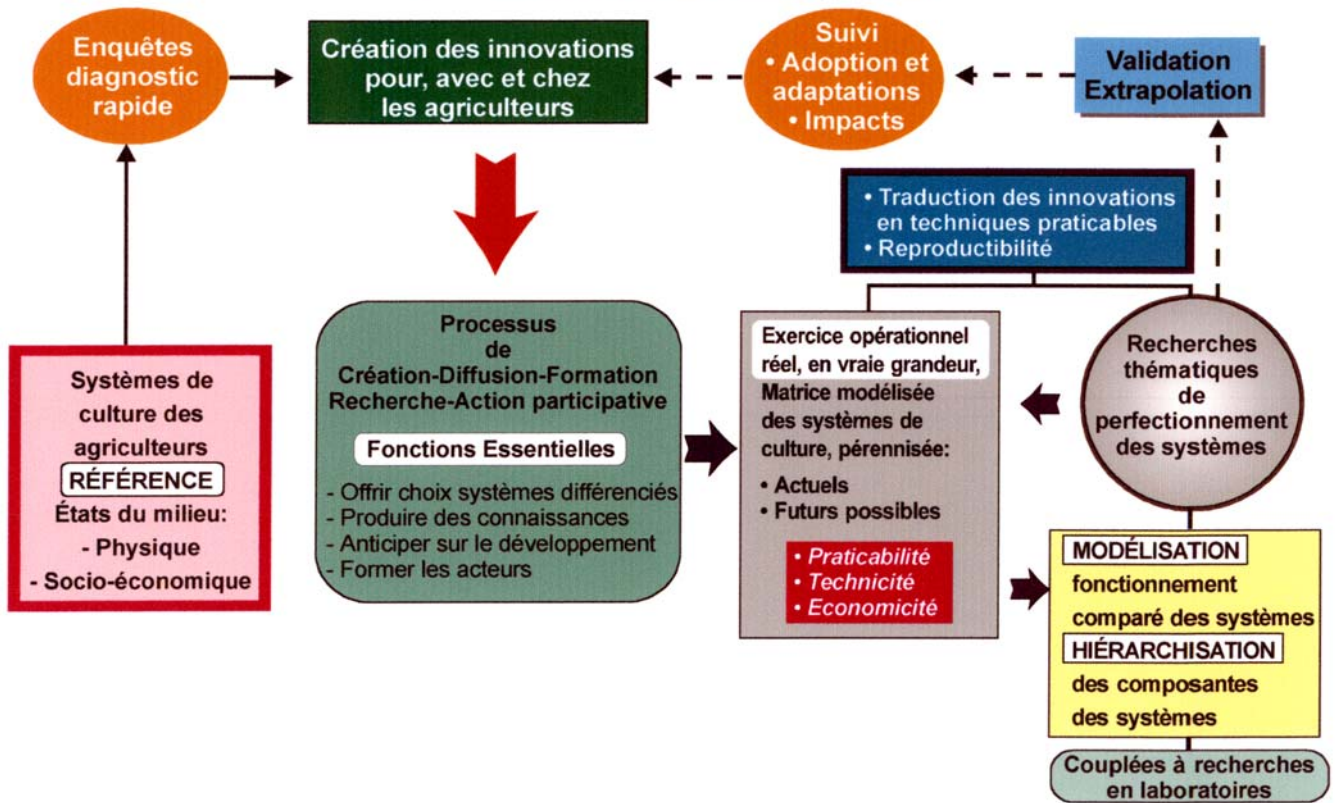
## **V – ANNEXE**

### **LE CONCEPT DE MULTIFONCTIONNALITÉ DES BIOMASSES DE COUVERTURE EN SEMIS DIRECT**

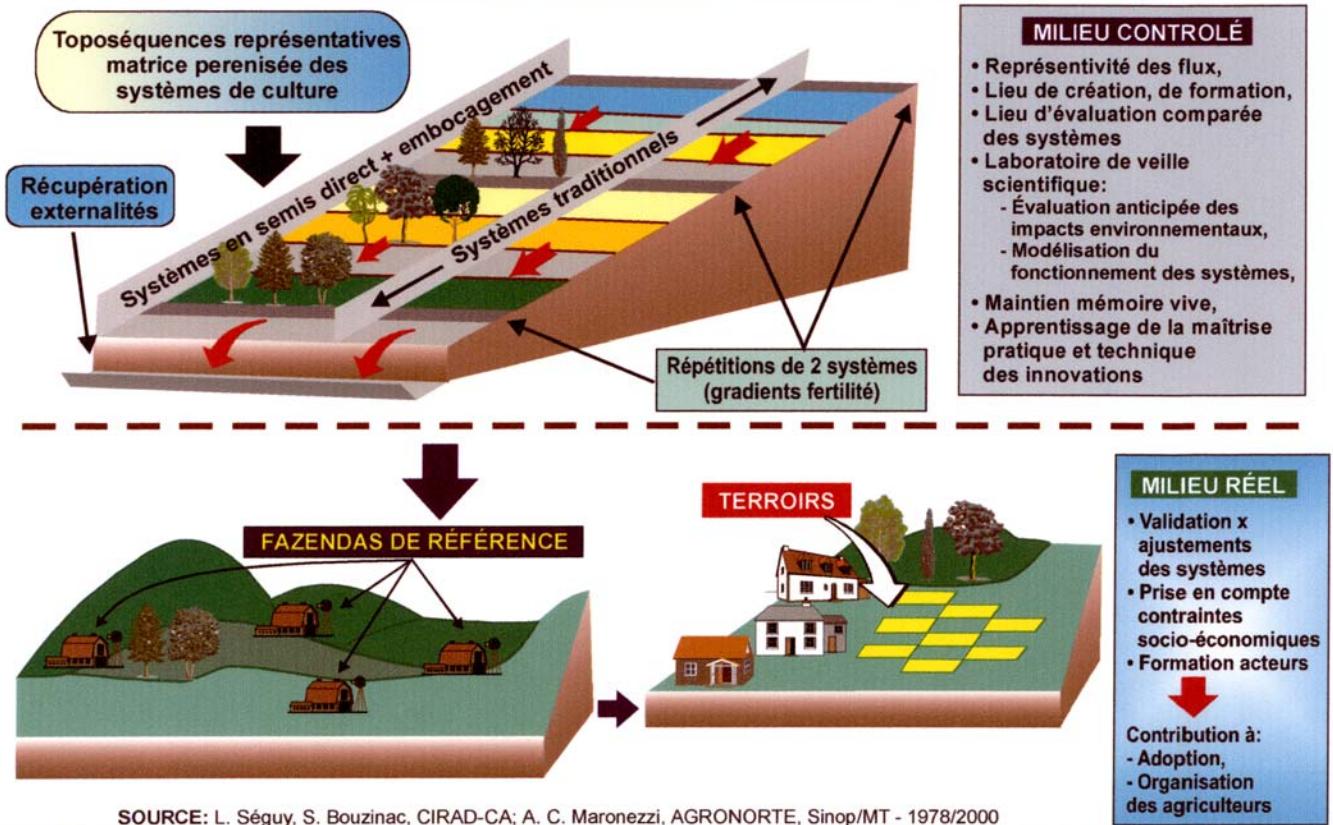
(Fig. 26 à 30)

# FIG. 1 RECHERCHE-ACTION, POUR AVEC ET CHEZ LES AGRICULTEURS

SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA -GEC, 1997



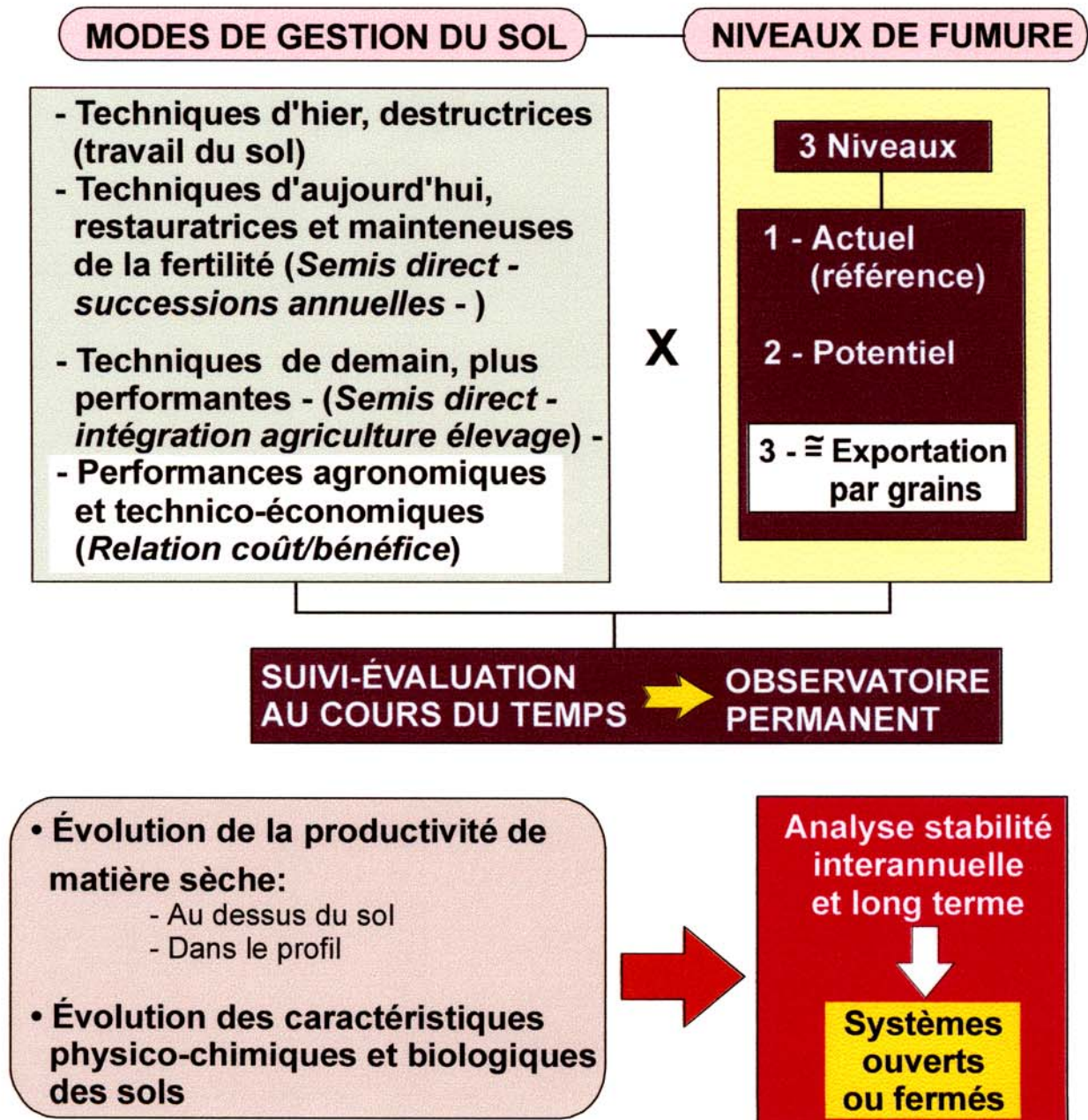
**FIG. 2 DÉMARCHE DE LA RECHERCHE-ACTION, POUR, AVEC ET CHEZ AGRICULTEURS - NIVEAUX D'ÉCHELLES ET FONCTIONS -**



SOURCE: L. Séguéy, S. Bouzinac, CIRAD-CA; A. C. Maronezzi, AGRONORTE, Sinop/MT - 1978/2000

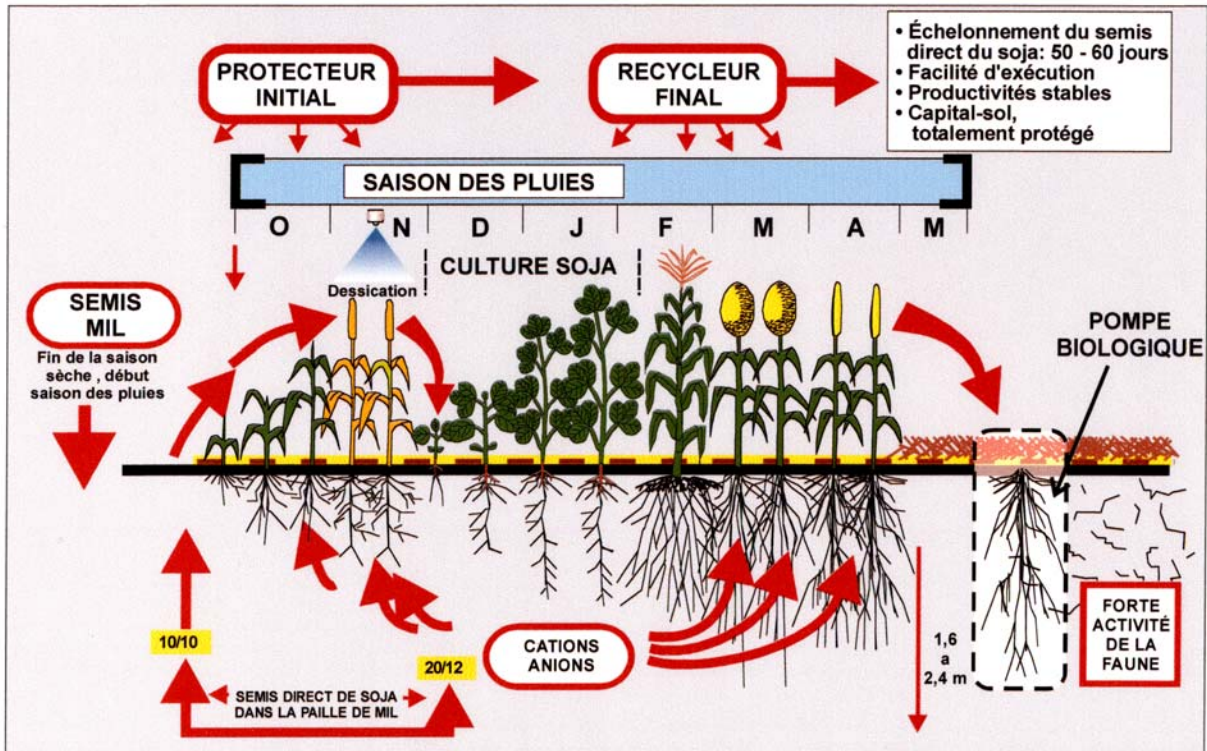
# FIG. 3 MÉTHODOLOGIE D'ÉTUDE DU FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES DE CULTURE

MODÉLISATION DES SYSTÈMES DE CULTURE → MATRICE  
PÉRENNISÉE DES SYSTÈMES, EN MILIEUX ÉCOLOGIQUES  
DIVERSIFIÉS, CONTRÔLÉS ET RÉELS - (Unités de paysage  
représentatives)



SOURCE: L. Ségué, S. Bouzinac CIRAD CA - GEC; Goiânia, GO - 1998

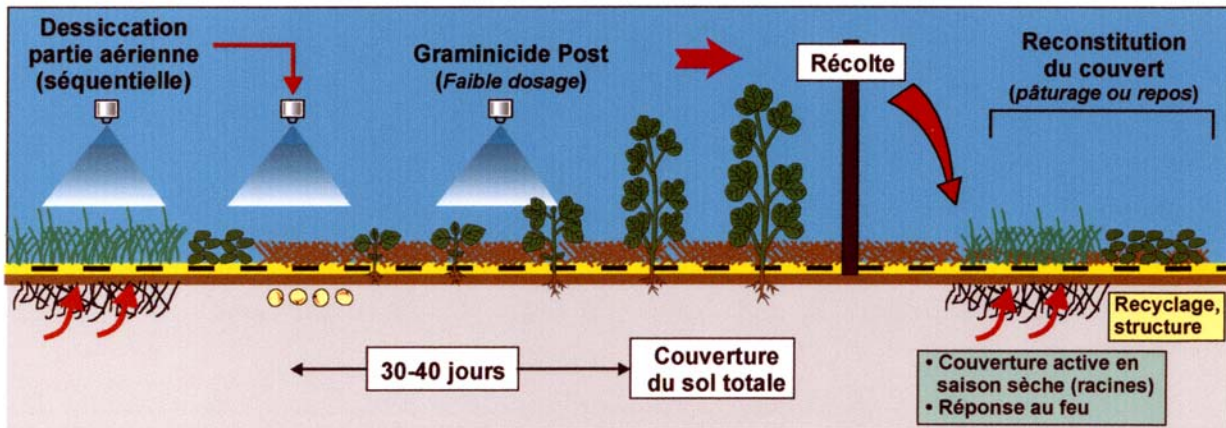
**FIG. 4 "SYSTÈME MAINTENEUR DE FERTILITÉ" POUR LA CULTURE DE SOJA  
LE DÉPART DU SEMIS DIRECT - 1987**



L. Séguy, S. Bouzinac - MT/1993

**FIG. 5 LES SYSTÈMES DE CULTURE EN SEMIS DIRECT SUR COUVERTURES VIVANTES <sup>(1)</sup> - PRINCIPES DE BASE**

**1. COUVERTURES À STOLONS ET RHIZOMES**

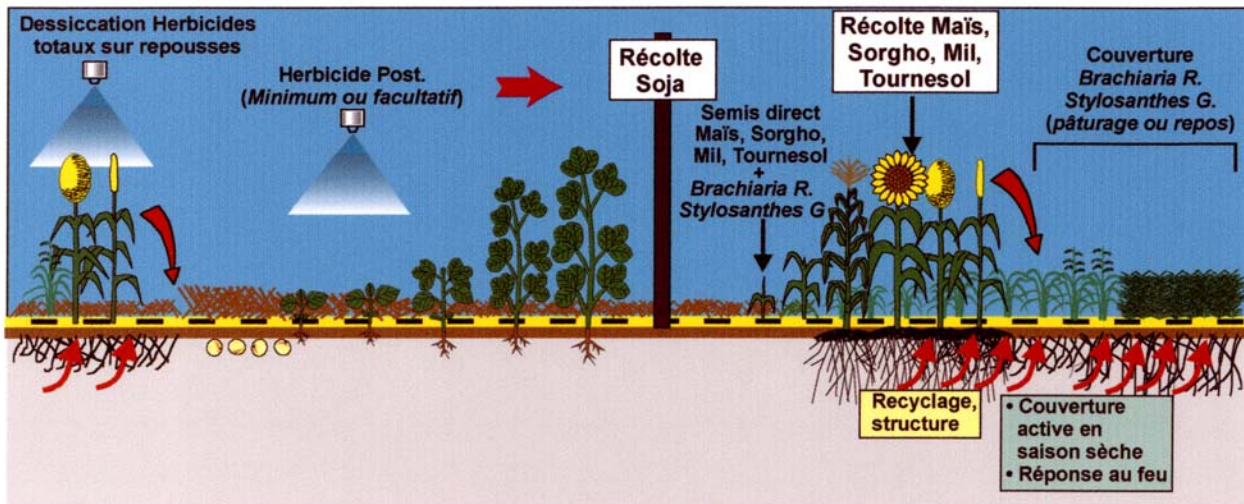


- (1) • Genres *Cynodon* (Tifton), *Arachis*, *Pennisetum* C., *Paspalum*, *stentaphrum*, *Axonopus*  
 • Systèmes: Successions annuelles  
 Soja, Riz, Coton, Maïs + Pâturage

SOURCE: L. Ségué, S. Bouzinac - CIRAD CA - GEC, 1993/98

## FIG. 6 LES SYSTÈMES DE CULTURE EN SEMIS DIRECT SUR COUVERTURES VIVANTES - PRINCIPES DE BASE

### 2. COUVERTURES ASSOCIANT POMPES BIOLOGIQUES<sup>(1)</sup> + BRACHIARIA R.



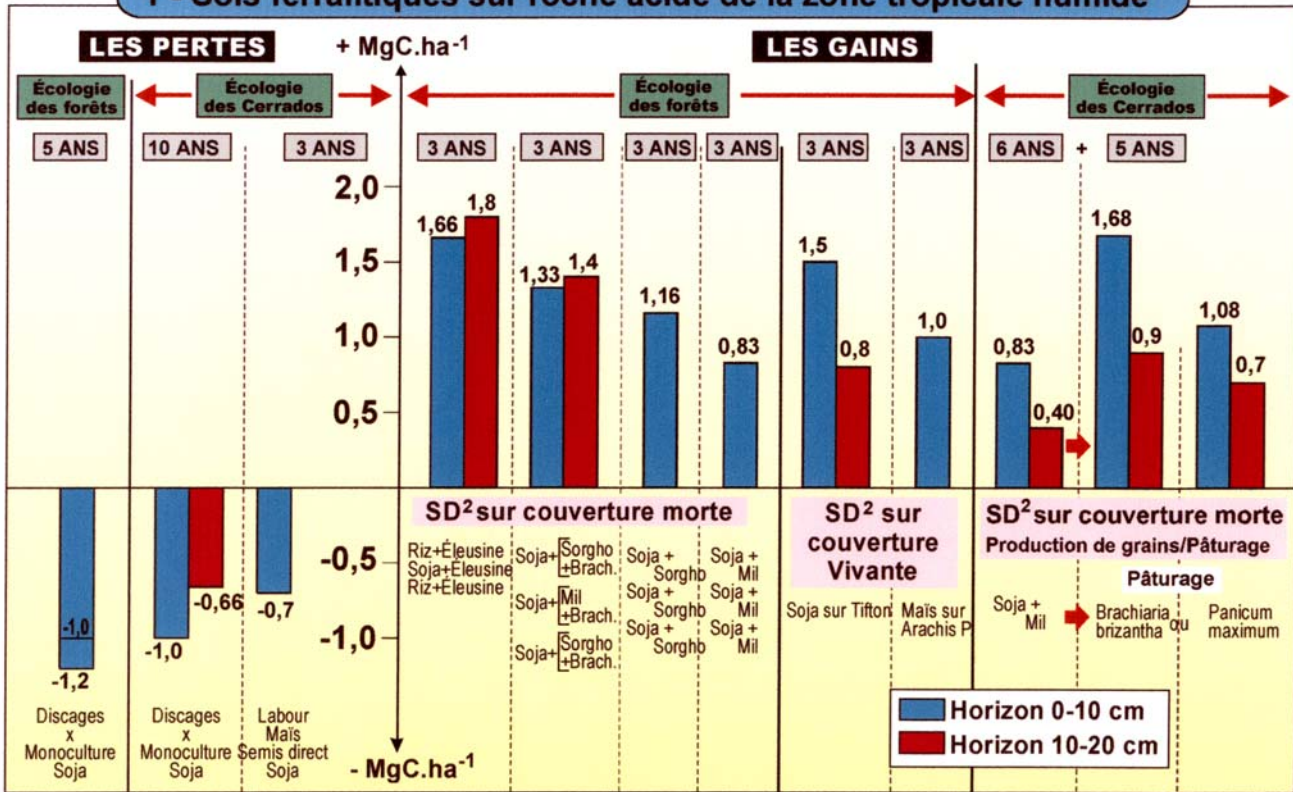
- (1) • Pompes biologiques:  
 Maïs, Tournesol, Sorghos, Mils, + *Brachiaria R.*  
*Stylosanthes G.*  
 • Systèmes possibles avec:  
 Soja, Riz haute technologie, Coton -

SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac - CIRAD CA - GEC, 1993/98



**FIG. 7 RESUMÉ DES TENDANCES D'ÉVOLUTION DES TENEURS MOYENNES ANNUELLES DE CARBONE DU SOL (en Mg C.ha<sup>-1</sup>), EN FONCTION DE LA NATURE DES SYSTÈMES DE CULTURE PRATIQUÉS -**

**1 - Sols ferralitiques sur roche acide de la zone tropicale humide<sup>1</sup>**

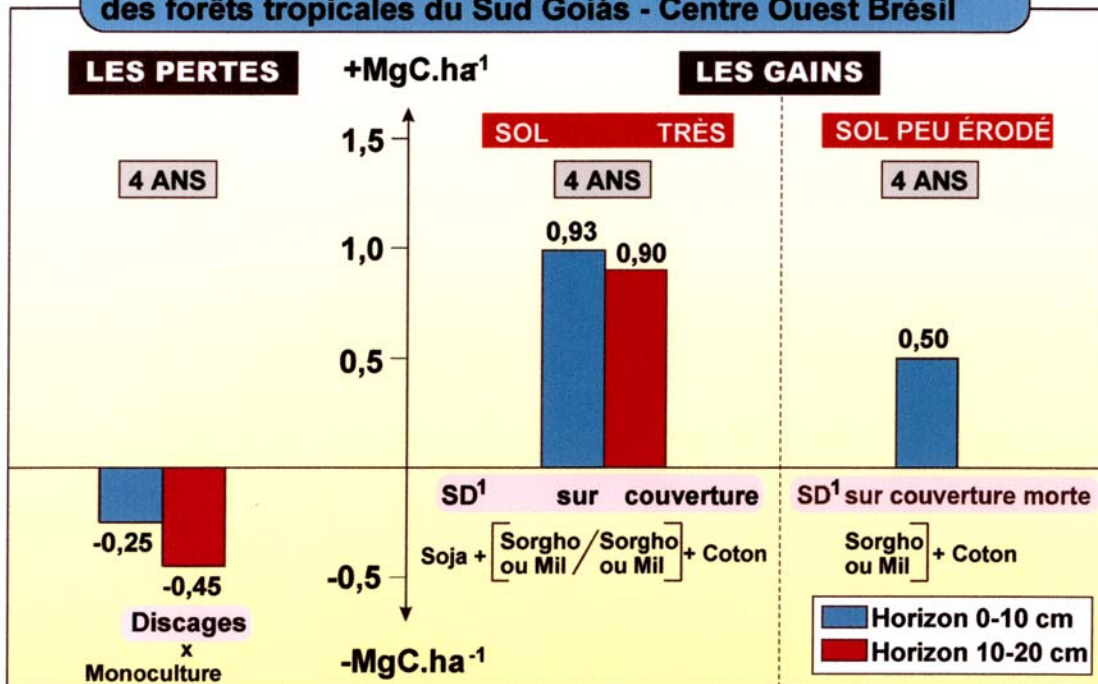


1- Brésil et Gabon; 2 - SD = Semis direct

SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA/GEC; M. Matsubara, Faz. Progresso; A. C. Maronezzi, Agronorte; S. Boulakia et al., CIRAD - 1994/99 - Sinop/MT

**FIG. 8 RESUMÉ DES TENDANCES D'ÉVOLUTION DES TENEURS MOYENNES ANNUELLES DE CARBONE DU SOL (en Mg C.ha<sup>-1</sup>), EN FONCTION DE LA NATURE DES SYSTÈMES DE CULTURE PRATIQUÉS -**

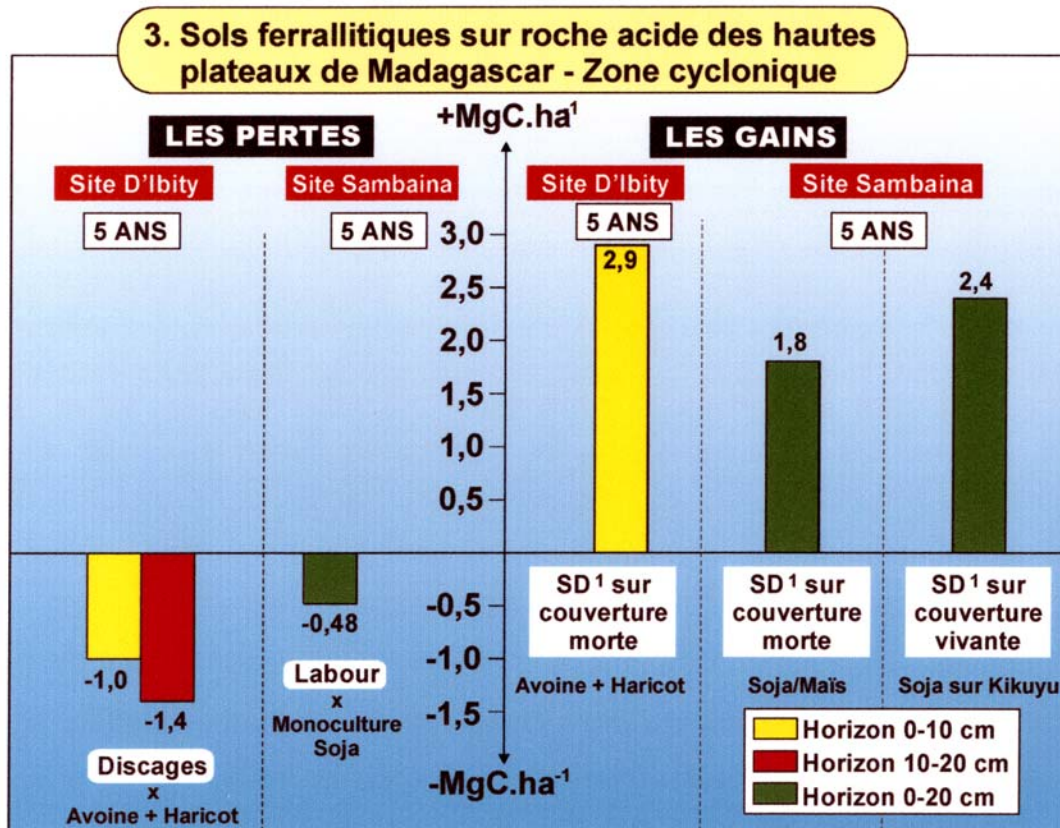
**2. Sols ferrallitiques rouge-foncés sur basalte de l'écologie des forêts tropicales du Sud Goiás - Centre Ouest Brésil**



1- SD = Semis

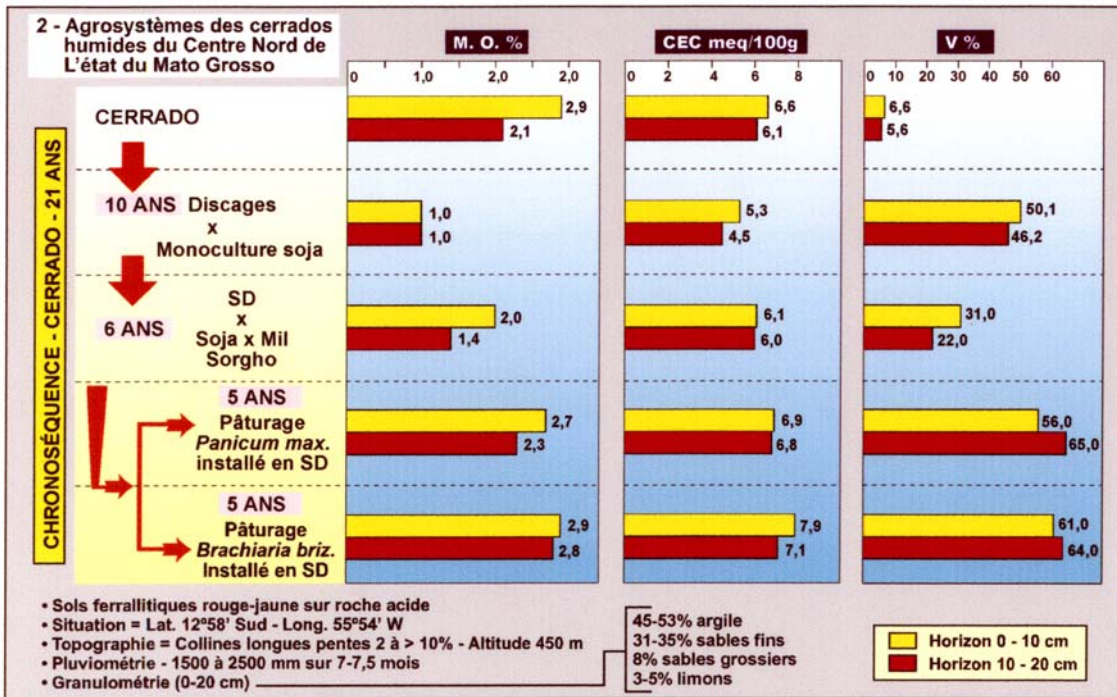
SOURCE: E. Maeda, M. Esaki, Groupe Maeda; L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA/GEC; Porteirão/GO, 1995/1999

**FIG. 9 RESUMÉ DES TENDANCES D'ÉVOLUTION DES TENEURS MOYENNES ANNUELLES DE CARBONE DU SOL (en Mg C.ha<sup>-1</sup>), EN FONCTION DE LA NATURE DES SYSTÈMES DE CULTURE PRATIQUÉS -**



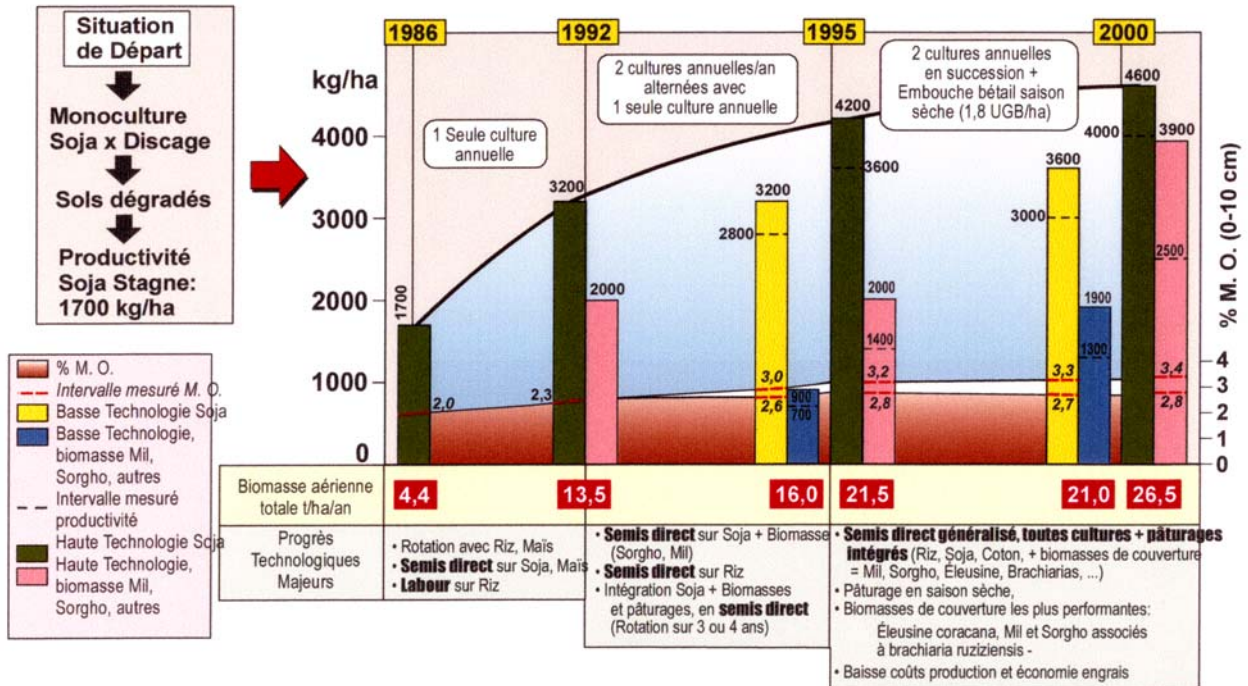
SOURCE: ONG TAFA; R. Michellon, P. Julien, CIRAD-CA/GEC - Antsirabé, 1999 - MADAGASCAR

FIG. 10 TENDANCES D'ÉVOLUTION DU TAUX DE MATIÈRE ORGANIQUE (M. O. en %), DE LA CEC (en meq/100g) ET DU TAUX DE SATURATION (V en %), EN FONCTION DE LA NATURE DES SYSTÈMES DE CULTURE PRATIQUÉS DANS DIVERS AGROSYSTÈMES CONTRASTÉS, TROPICAUX ET SUBTROPICAUX -



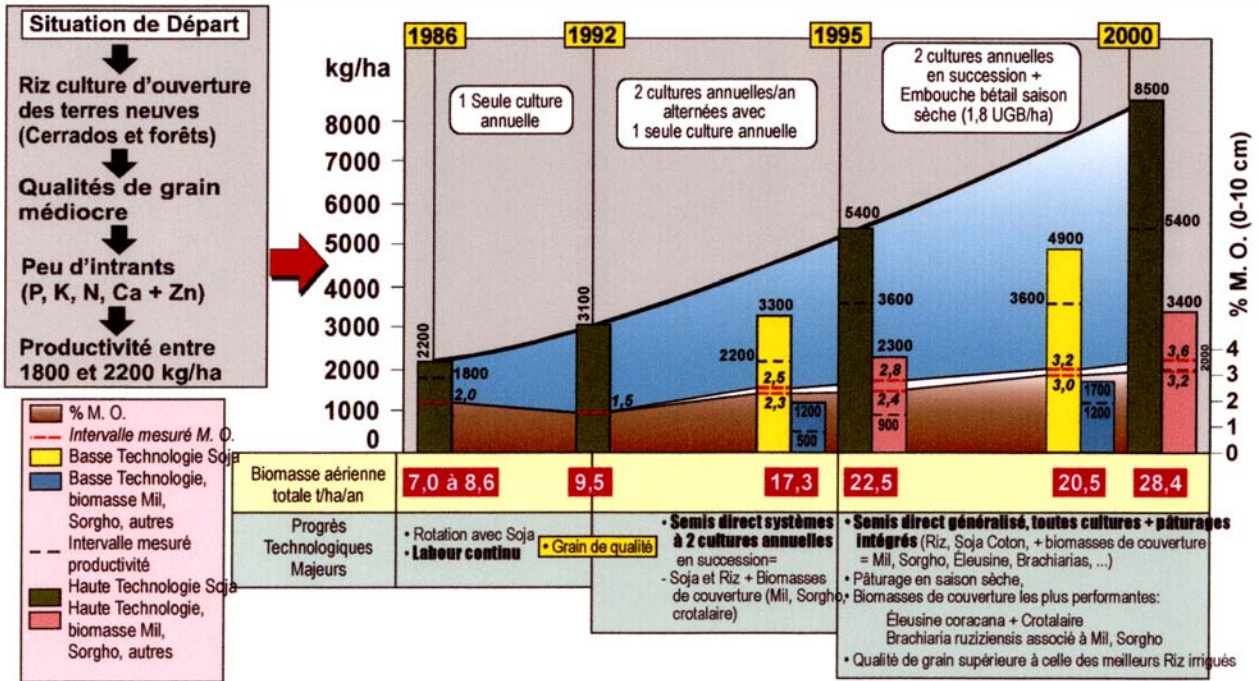
SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA/SCV; Munefumi Matsubara, Fazenda Progresso - Lucas do Rio e Verde/MT - 1978/1998

FIG. 11 TENDANCES D'ÉVOLUTION DES PERFORMANCES DE LA CULTURE DE SOJA DANS LES SYSTÈMES DE CULTURE DURABLES, CRÉÉS PAR LA RECHERCHE ET CONSÉQUENCES SUR LA PRODUCTION DE BIOMASSE AÉRIENNE ET LE TAUX DE MATIÈRE ORGANIQUE DU SOL -  
Sols ferrallitiques oxydés et hydratés sur roche acide des fronts pionniers du Centre Nord du Mato Grosso -  
- Écologies des cerrados et forêts humides -



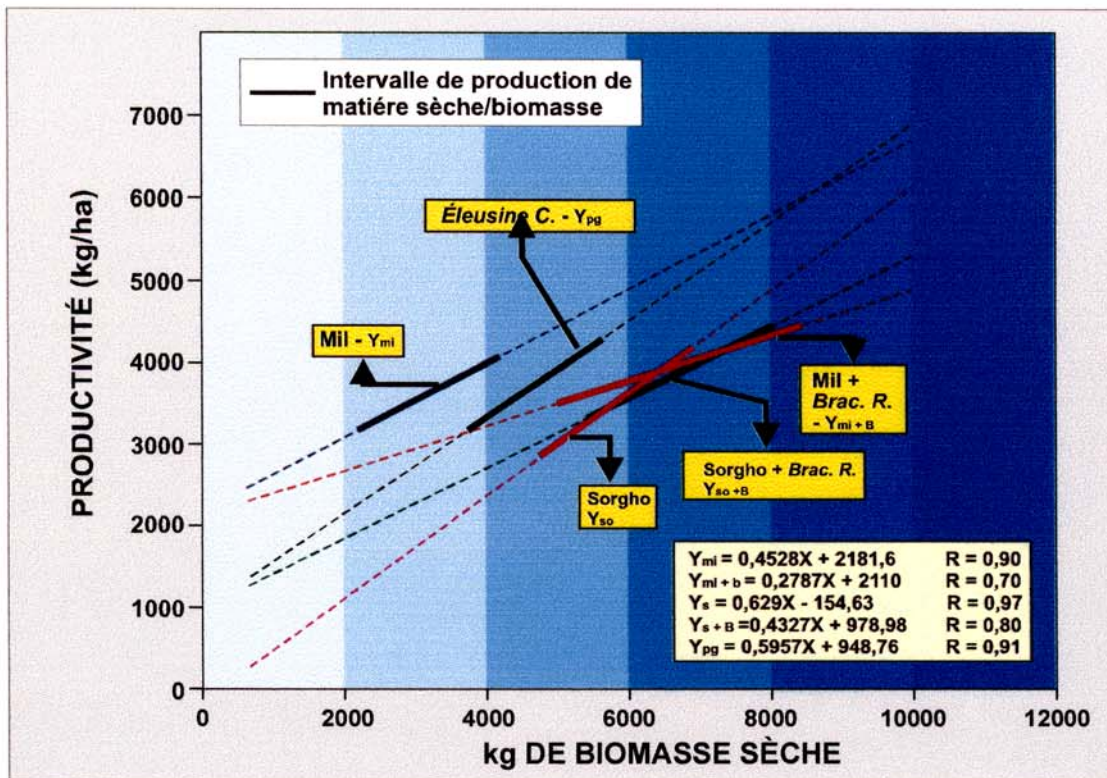
SOURCE: L. Ségué, S. Bouzinac, CIRAD-CA; M. Matsubara, Faz. Progresso; A. Trentini, Cooperlucas; A. C. Maronezzi, Agronorte - MT, 1986/2000

FIG. 12 TENDANCES D'ÉVOLUTION DES PERFORMANCES DE LA CULTURE DE RIZ PLUVIAL DANS LES SYSTÈMES DE CULTURE DURABLES CRÉÉS PAR LA RECHERCHE ET CONSÉQUENCES SUR LA PRODUCTION DE BIOMASSE AÉRIENNE ET LE TAUX DE MATIÈRE ORGANIQUE DU SOL - Sols ferrallitiques oxydés et hydratés sur roche acide des fronts pionniers du Centre Nord du Mato Grosso - Ecologies des cerrados et forêts humides -



SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA; M. Matsubara, Faz. Progresso; A. Trentini, Cooperlucas; A. C. Maronezzi, Agronorte - MT, 1986/2000

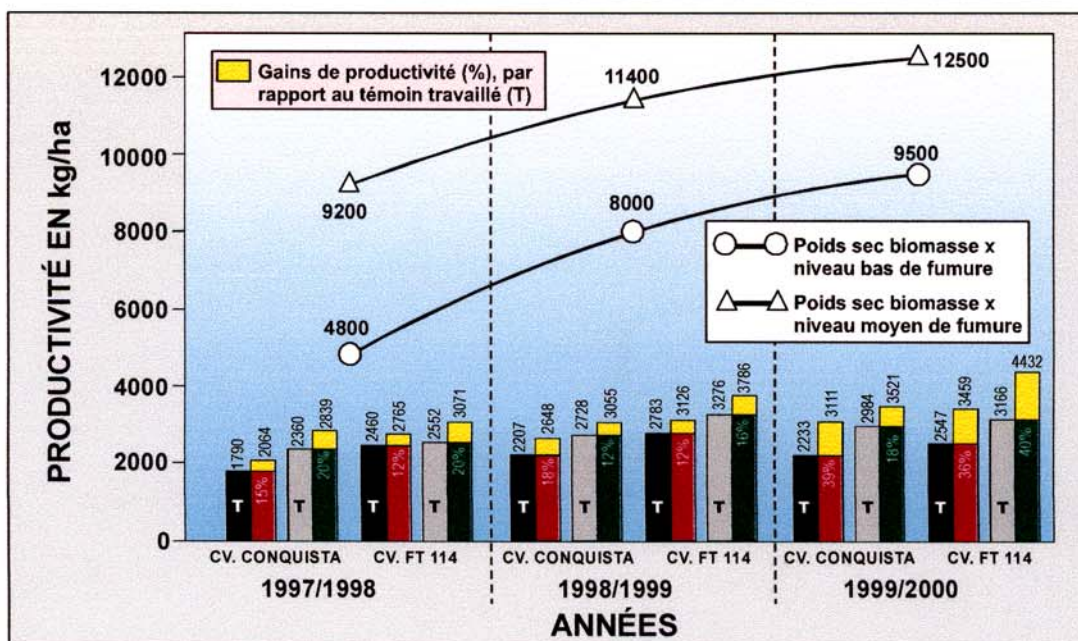
**FIG. 13 REGRESSIONS<sup>1</sup> ENTRE LA QUANTITÉ ET LA NATURE DE LA BIOMASSE SÈCHE ET LA PRODUCTIVITÉ DU SOJA DE CYCLE MOYEN (FT 114) SUR 3 ANS DE SEMIS DIRECT - (1997/2000) - AGRONORTE - SINOP/MT, 2000**



(1) 6 Répétitions/niveau de fumure/an

SOURCE: Séguy L., Bouzinac S., CIRAD-CA; Maronezzi A., Lucas G. L., Bianchi M., AGRONORTE - Sinop/2000

**ÉVOLUTION SUR 3 ANS DE LA PRODUCTION DU SOJA EN SEMIS DIRECT (SD) (Variétés Conquista et FT 114) ET DES MEILLEURES BIOMASSES DE COUVERTURE (moyenne des poids secs au semis de Éleusine coracana; Sorgho, Mil + Brachiaria ruz.) - Ecologie des forêts humides du Centre Nord Mato Grosso - Sinop/MT - 1997/2000**



(T) Discages x Monoculture x 0N + 40P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + 40 K<sub>2</sub>O + oligos  
 (T) Discages x Monoculture x 0N + 80P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + 80 K<sub>2</sub>O + oligos  
 Semis direct x 0N + 40P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + 40 K<sub>2</sub>O + oligos  
 Semis direct x 0N + 80P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + 80 K<sub>2</sub>O + oligos

SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA; A. C. Maronezzi, Agronorte - Sinop/MT, 1997/2000

**FIG. 14 PERFORMANCES MOYENNES RÉGIONALES, DE 1997 À 2000, DES MEILLEURES VARIÉTÉS AGRONORTE DE RIZ PLUVIAL À QUALITÉ SUPÉRIEURE DE GRAIN, DANS L'ÉTAT DU MATO GROSSO, EN SYSTÈMES DE SEMIS DIRECT -**

**AGRONORTE - SINOP/MT - 2000**

	Variétés de cycle court à intermédiaire 95 à 110 jours					Variétés de cycle moyen 115 à 130 jours				
	<b>8FA 281-2</b>	<b>YM 94</b>	<b>Cedro</b>	<b>8FA 337-1</b>	<b>Sucupira</b>	<b>YM 200</b>	<b>YM 198</b>	<b>YM 114</b>	<b>YM 65</b>	<b>Best 2000</b>
	<b>Productivité moyenne - kg/ha</b>									
• Haute technologie	6066	5403	4925	4851	4486	6044	5862	5751	5412	5328
• Basse technologie	4921	4872	3940	4011	3545	5150	5059	5031	4817	5127
Intervalle	115	110	107	114	81	107	109	102	94	90
% des témoins <sup>1</sup>	a 179	a 167	a 148	a 131	a 142	a 145	a 139	a 124	a 126	a 121
Nb. Essais	11	11	10	11	10	11	10	7	11	7
Productivité maximum <sup>2</sup> et site expérimental	<b>6698</b> S.	<b>5620</b> C. V.	<b>5525</b> S.	<b>5513</b> S.	<b>4822</b> C. N. P.	<b>6375</b> C. P.	<b>6299</b> C. N. P.	<b>7023</b> S.	<b>5768</b> C. N. P.	<b>6273</b> S.
Sites expérimentaux	S. = Sinop; C. V. = Campo Verde; C. N. P. = Campo Novo dos Parecis									

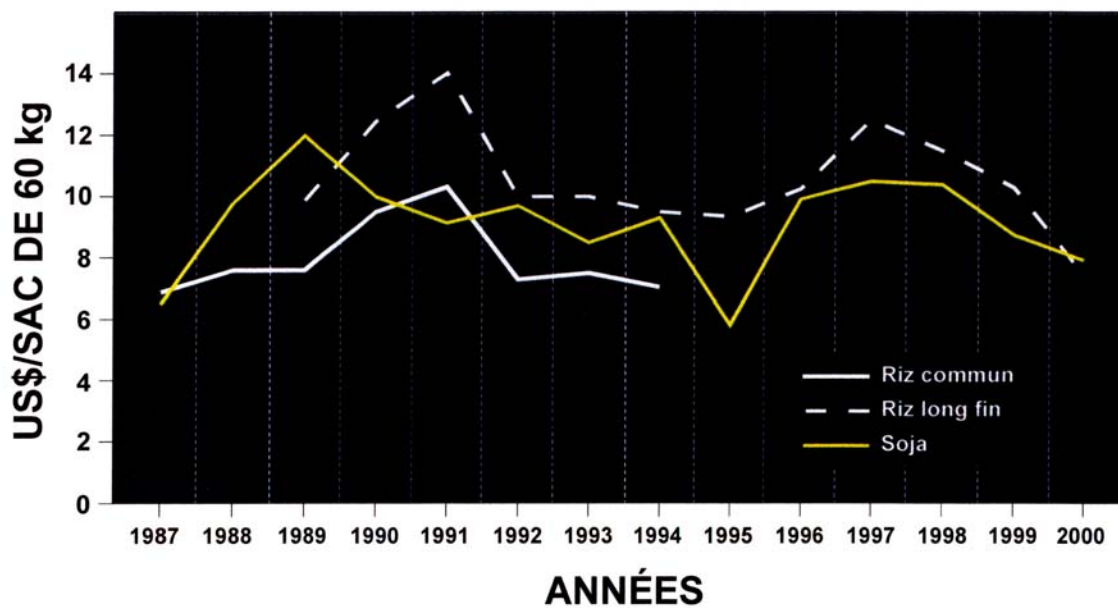
1. Témoins: 1997/98 ➔ CIRAD 141  
1998/99 ➔ Cycles courts = Best 3; ➔ Cycles moyens = CIRAD 141  
1999/2000 ➔ Cycles courts = Primavera; ➔ Cycles moyens = Maravilha

2. Productivité maximum enregistrée en grande culture ➔ Best 2000 en 1998/99= 8500 kg/ha, à Campo Novo dos Parecis

SOURCE: Séguy L., Bouzinac S., CIRAD-CA; Maronezzi A., Lucas G. L., Bianchi M., Rodrigues F. G., AGRONORTE - Sinop/2000



**FIG. 15 ÉVOLUTION DES PRIX PAYÉS AUX PRODUCTEURS<sup>1</sup> POUR LES PRODUCTIONS PRINCIPALES DE RIZ ET SOJA SUR LES FRONTIÈRES AGRICOLES DU CENTRE NORD DE L'ÉTAT DU MATO GROSSO - Sinop/MT - 1987/2000**



1 - Période février - Mars, chaque année

SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA/SCV - A. C. Maronezzi, Agronorte; Cooperlucas; Coosol; Comicel; Préfecture de Sinop - Sinop/MT - 1987/2000

**FIG. 16 INTÉGRATION DE TOUTES LES CULTURES EN SEMIS DIRECT DANS DES SYSTÈMES DIVERSIFIÉS DE PRODUCTION EXCLUSIVE DE GRAINS OU INTÉGRÉS AVEC L'ÉLEVAGE**

**+**  
**• CRÉATION DE MATÉRIEL GÉNÉTIQUE DE HAUTE VALEUR AJOUTÉE**  
 Écologie des forêts et cerrados humides du Mato Grosso - MT/2000

**(\*) Systèmes reproductibles, appropriables**

Performances des cultures dans les systèmes, en semis direct	Coût (C) US\$/ha	Bénéfice(B) US\$/ha	C/B
SOJA + SAFRINH <sup>1</sup> A + EMBOUCHE SAISON SÈCHE • 4000 à 4600 kg/ha soja + • 1500 à 3500 kg/ha safrinha (Sorgho, Mil, Éleusine) + • 1 à 1,5 UGB/ha sur 90 jours saison sèche	450 à 520	150 à 350	1,3 à 3,4
SOJA SUR COUVERTURE VIVANTE DE TIFTON • 3200 à 4600 kg de Soja + • 1 à 1,5 UGB/ha sur 90 jours saison sèche	300 à 380	200 à 400	0,75 à 1,9
RIZ PLUVIAL HAUTE TECHNOLOGIE • 4200 à > 7000 kg/ha	420 à 630	100 à 500	0,84 à 6,3
RIZ PLUVIAL HAUTE TECHNOLOGIE comme réforme des pâturages • 3000 à 4000 kg/ha	450 à 550	100 à 150	3,0 à 5,5
COTON COMME CULTURE PRINCIPALE • 3000 à > 5000 kg/ha	900 à 1300	100 à 400	2,25 à 13
COTON COMME SAFRINH <sup>1</sup> A Sur forte biomasse ou en succession de Soja ou Riz, de cycle court • 2400 à >3000 kg/ha	500 à 650	200 à 600	0,8 à 3,2

**1 - Safrinha** = Culture de succession, avec minimum d'intrants ou sans intrants -

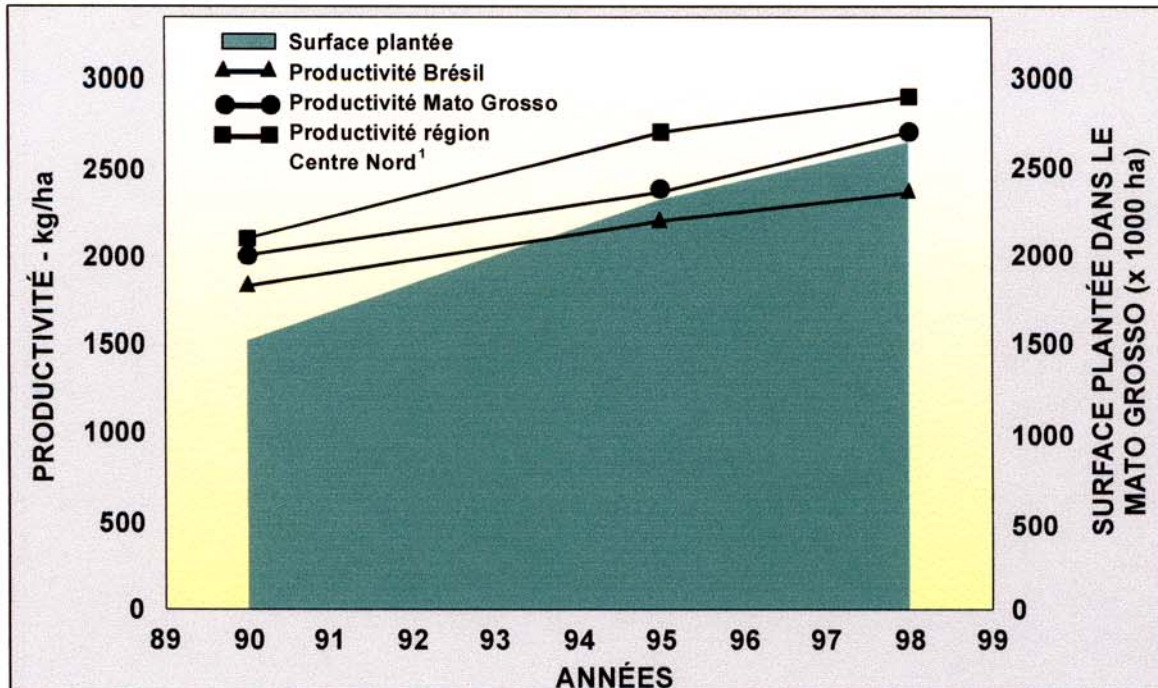
**SOURCE:** L. Séguy, S. Bouzinac - CIRAD-CA/ GEC; N. Maeda, M. A. Ide, A. Trentini, Groupe Maeda; A. C. Maronezzi, AGRONORTE, Sinop/MT, 2000

**FIG. 17 Rendements des équipements et indices technico-économiques comparés entre système conventionnel et semis direct sur 38 000 hectares dans l'état du Mato Grosso [Rondonópolis, 1995 (1)]**

Critères d'évaluation	Travail mécanisé conventionnel (T.C.)	Semis direct (S.D.)	Différence % TC
Surface (ha) travaillée par tracteur de 90 HP	163,6	276,9	+ 70
Índice HP/ha	0,556	0,325	- 41,5
Surface (ha) semée par semoir de 9 lignes	426,6	612,0	+ 43,4
Indice ha/ligne	47,7	68,0	+ 43,4
Investissement en tracteurs (US\$/ha)	271,0	158,6	- 41,4
Investissement en semoir (US\$/ha)	32,8	29,4	- 10,3

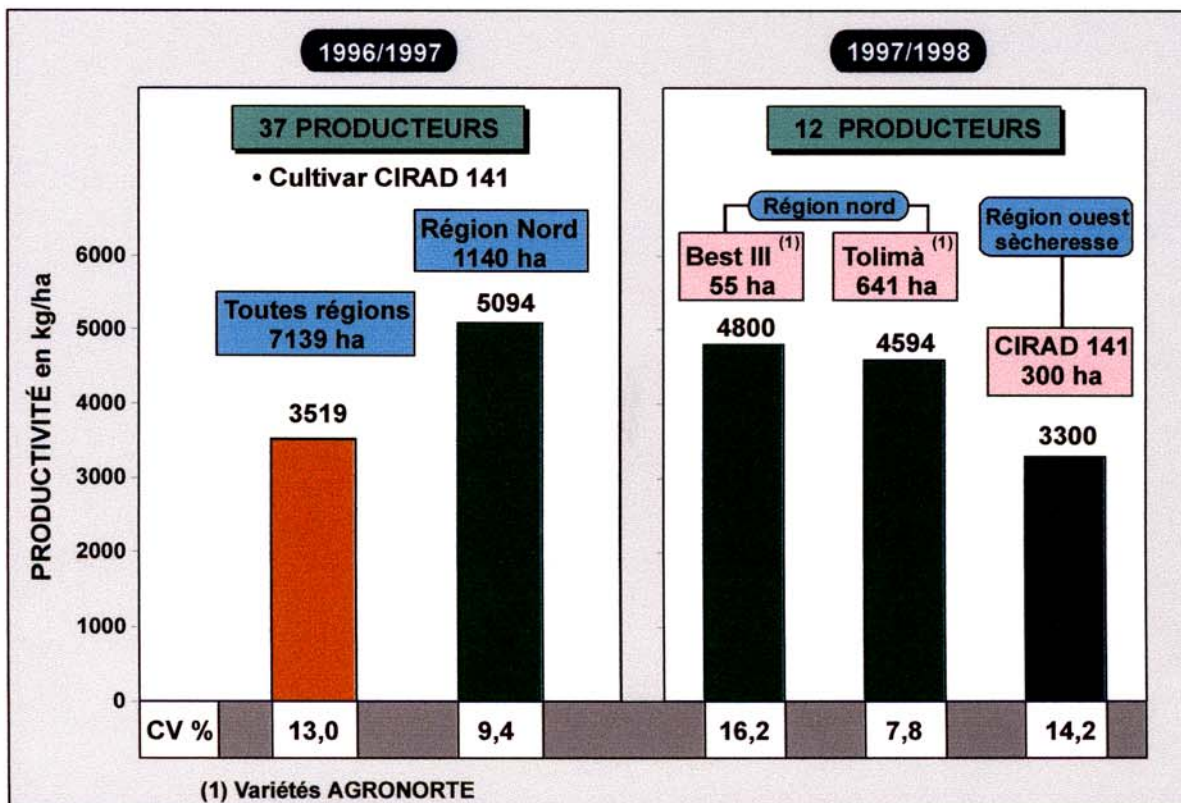
(1) Source: Professeur Luiz Vicente Gentil, Monsanto, Semeato, Fondation MT - Rondonópolis - MT - 1995

**FIG. 18 ÉVOLUTION DE LA SURFACE PLANTÉE EN SOJA DANS L'ÉTAT DU MATO GROSSO, ET DE SA PRODUCTIVITÉ MOYENNE DANS TOUT L'ÉTAT, DANS LA RÉGION CENTRE NORD ET DANS LE BRÉSIL - 1998**



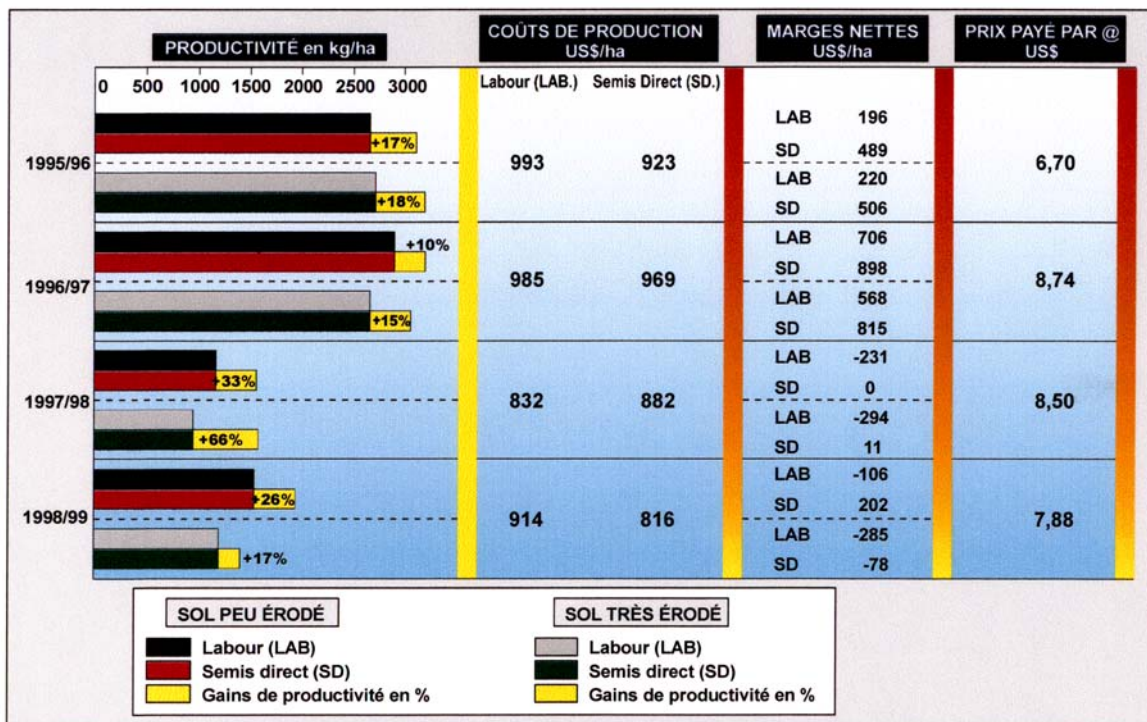
SOURCE [ IBGE/LSPA = Données sur le Brésil et l'état du Mato Grosso  
 (1) Estimations = Emater, Secrétariats d'agriculture des principaux municipes producteurs du Centre Nord de l'état, Coopératives -

**PRODUCTIVITÉ DU RIZ PLUVIAL DE HAUTE TECHNOLOGIE DANS DIVERSES ÉCOLOGIES DE L'ÉTAT DU MATO GROSSO-MT - (ZTH) - 1996/98**



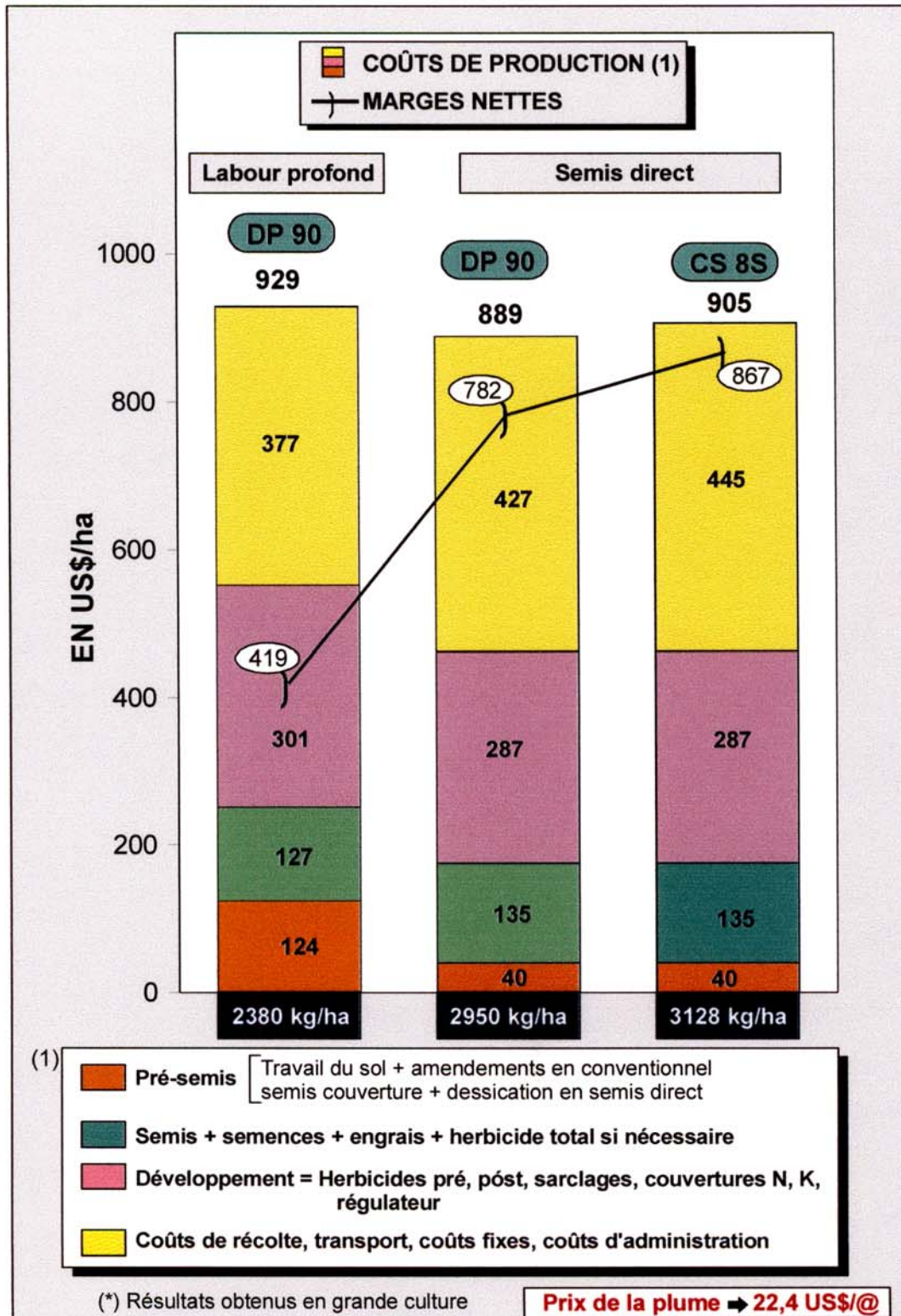
SOURCE: AGRONORTE; CIRAD CA - GEC; Sorriso/MT, 1998

**FIG. 19 ÉVOLUTION DES PERFORMANCES MOYENNES AGRO-ÉCONOMIQUES DU COTONNIER SUR 4 ANS EN FONCTION DES SYSTÈMES DE CULTURE PRATIQUÉS - Écologie des forêts tropicales et sols ferrallitiques sur basalte du Sud de l'état de Goiás - Centre Ouest - Brésil**



SOURCE: E. Maeda, M. Esaki, GROUPE MAEDA; L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA/GEC; Porteirão/GO, 1995/1999

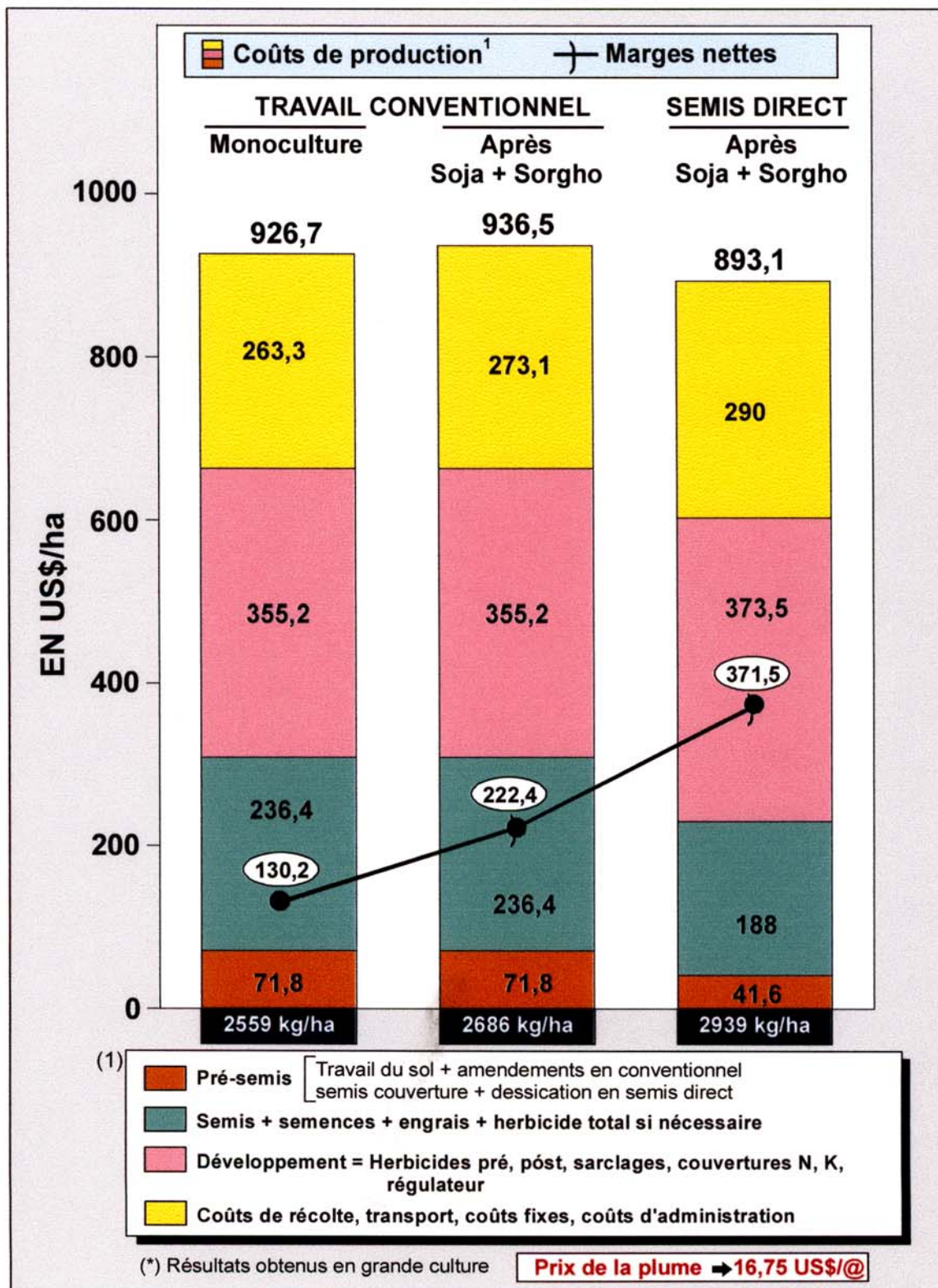
**FIG. 20 COÛTS DE PRODUCTION DÉTAILLÉS ET MARGES NETTES EN US\$/ha DE DEUX VARIÉTÉS DE COTON EN FONCTION DE 2 SYSTÈMES DE GESTION DU SOL - SOL FERRALLITIQUE SUR BASALTE, DÉGRADÉ, DE BAS DE PENTE - FAZENDA SANTA JACINTA - ITUVERAVA, SP - 1998**



SOURCE: Séguy L., Bouzinac S., CIRAD-CA; Ide M. A., Trentini A., GROUPE MAEDA - Ituverava, SP

**FIG. 21 COÛTS DE PRODUCTION ET MARGES NETTES (en US\$/ha), DU COTONNIER (CV. DELTA OPAL), SOUS 3 MODES DE GESTION DU SOL - Sol ferrallitique rouge-foncé sur basalte -**

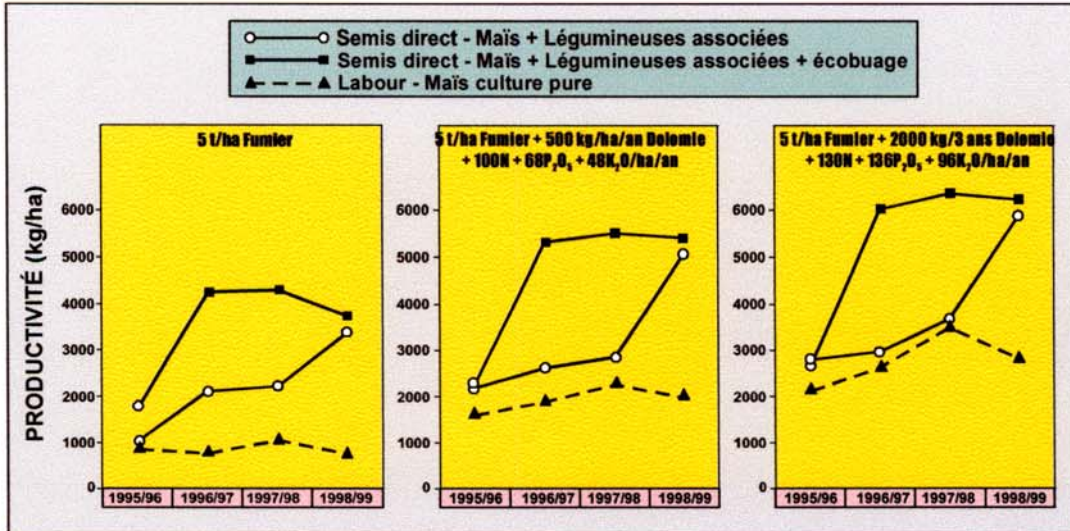
Fazenda Santa Bárbara - Groupe Maeda - Ituverava/SP, 1999/2000



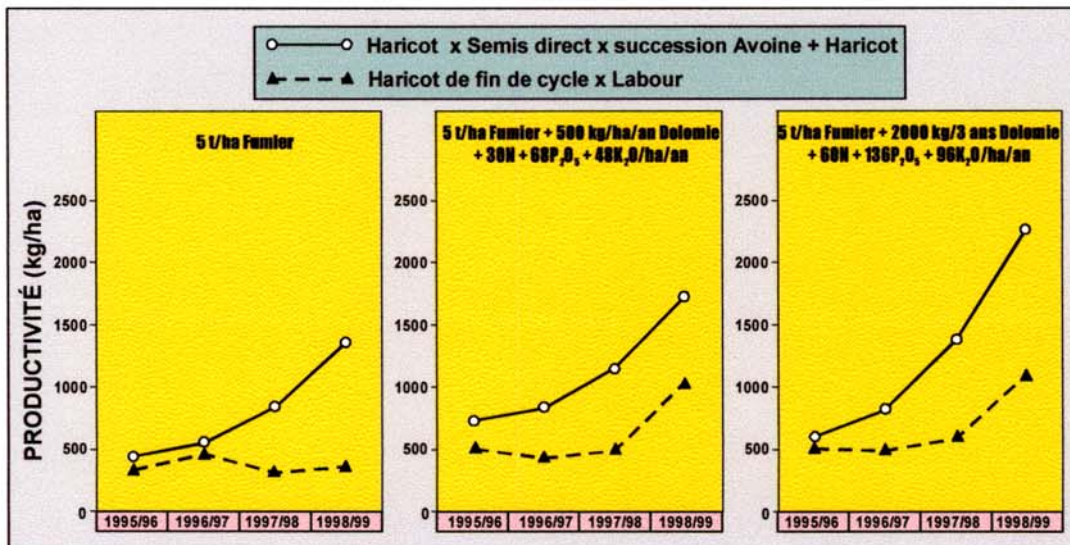
SOURCE: Séguy L., Bouzinac S., CIRAD-CA; Maeda N., Ide M. A., Trentini A., GROUPE MAEDA - Ituverava, SP

**FIG. 22 ÉVOLUTION DES RENDEMENTS MOYENS DE MAÏS, HARICOT ET SOJA EN FONCTION DU MODE DE GESTION DU SOL ET DES CULTURES, EN CULTURE MANUELLE**  
Sols ferrallitiques et volcaniques des hauts plateaux malgaches - Antsirabé, 1995/99

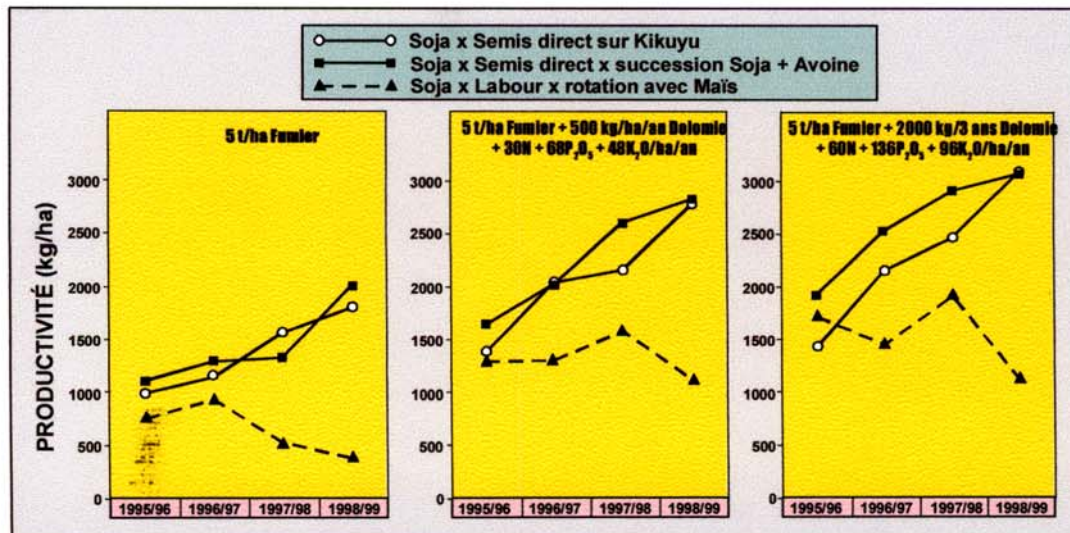
**• MOYENNE DE 4 SITES SUR SOLS ACIDES DE BASSE FERTILITÉ**



SOURCE: L. Séguy, CIRAD/GEC - ONG TAFE, Antsirabé, 1999



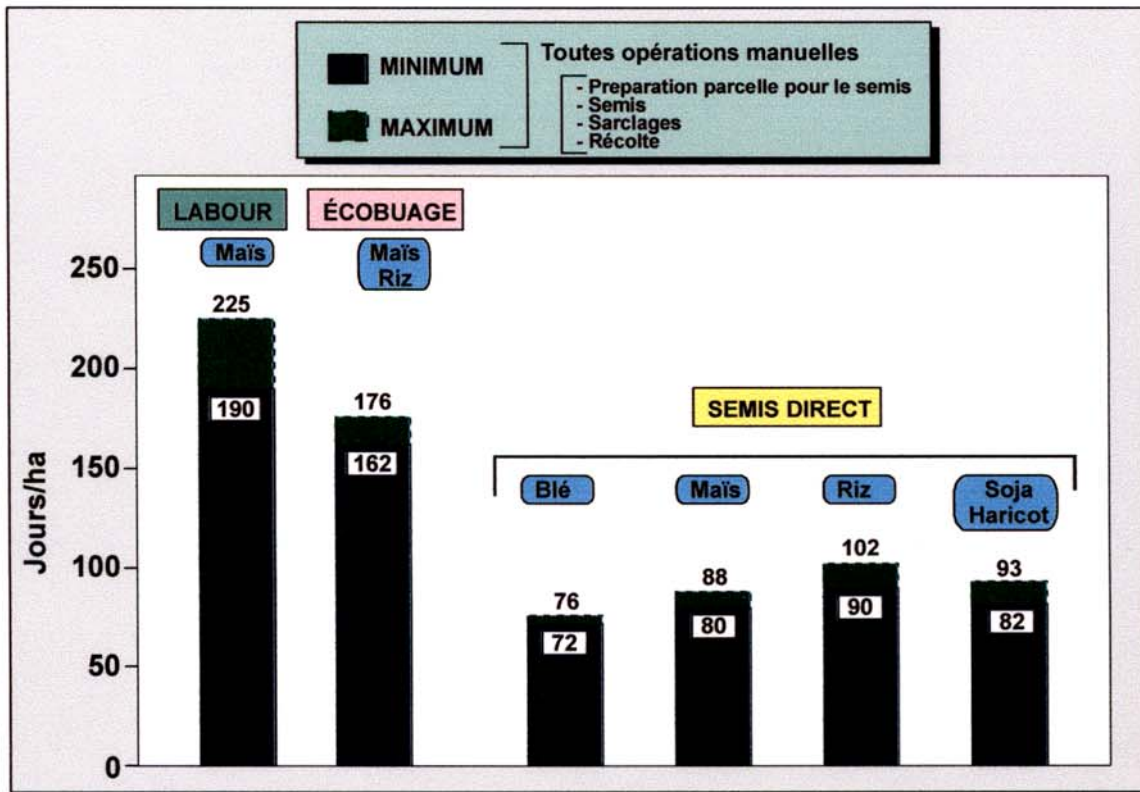
SOURCE: L. Séguy, CIRAD/GEC - ONG TAFE, Antsirabé, 1999



SOURCE: L. Séguy, CIRAD/GEC - ONG TAFE, Antsirabé, 1999

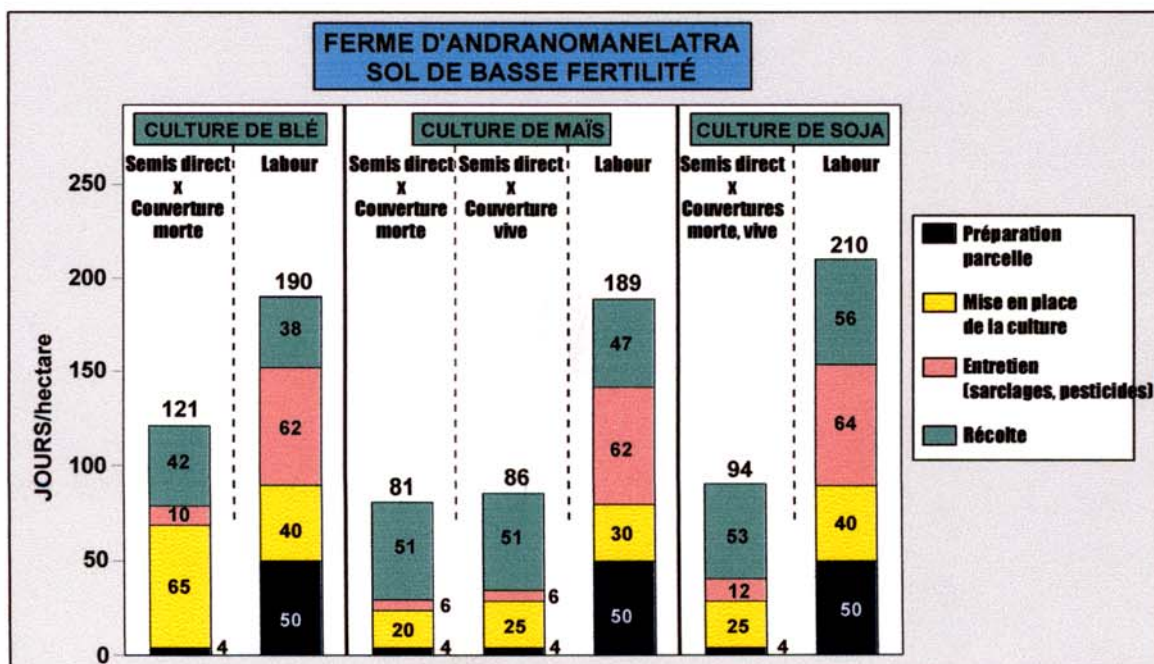


**FIG. 23 TEMPS DE TRAVAUX MANUELS PAR ITINÉRAIRE TECHNIQUE EN JOURS/ha, EN FONCTION DES MODES DE GESTION DES SOLS ET DES CULTURES**  
 - Sols ferrallitiques et volcaniques des hauts plateaux malgaches - Antsirabé, 1994/99



SOURCE: L. Séguy, CIRAD/GEC - ONG TAFE, Antsirabé, 1999

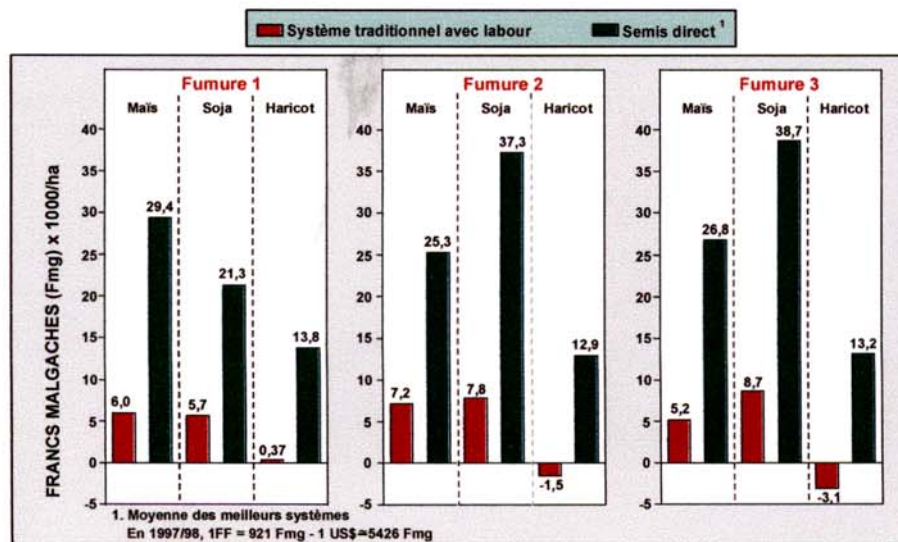
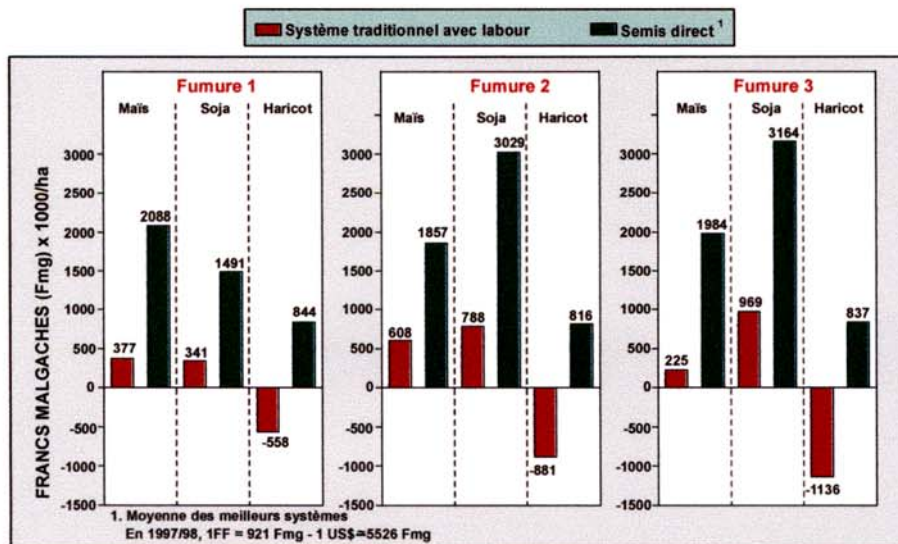
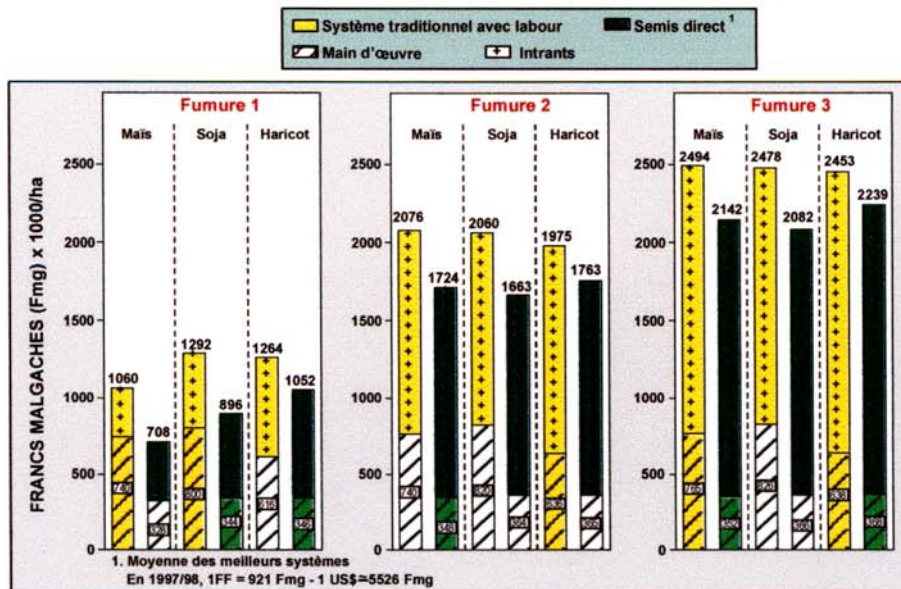
**COMPARAISON DES TEMPS MOYENS DE TRAVAUX, EN FONCTION DES MODES DE GESTION DES SOLS ET DES CULTURES SUR SOJA, MAÏS ET BLÉ**  
 - Sols ferrallitiques et volcaniques des hauts plateaux malgaches - Antsirabé, 1994/99



SOURCE: L. Séguy, CIRAD/GEC - ONG TAFE, Antsirabé, 1999

**FIG. 24 COÛTS DE PRODUCTION, MARGES NETTES, VALORISATION DE LA JOURNÉE DE TRAVAIL, DES CULTURES DE MAÏS, SOJA ET HARICOT EN FONCTION DES MODES DE GESTION DES SOLS ET DES CULTURES, EN AGRICULTURE MANUELLE - Soils ferrallitiques et volcaniques des hauts plateaux malgaches - Antsirabé, 1997/98**

• MOYENNE DE 4 SITES: Soils acides de basse fertilité naturelle



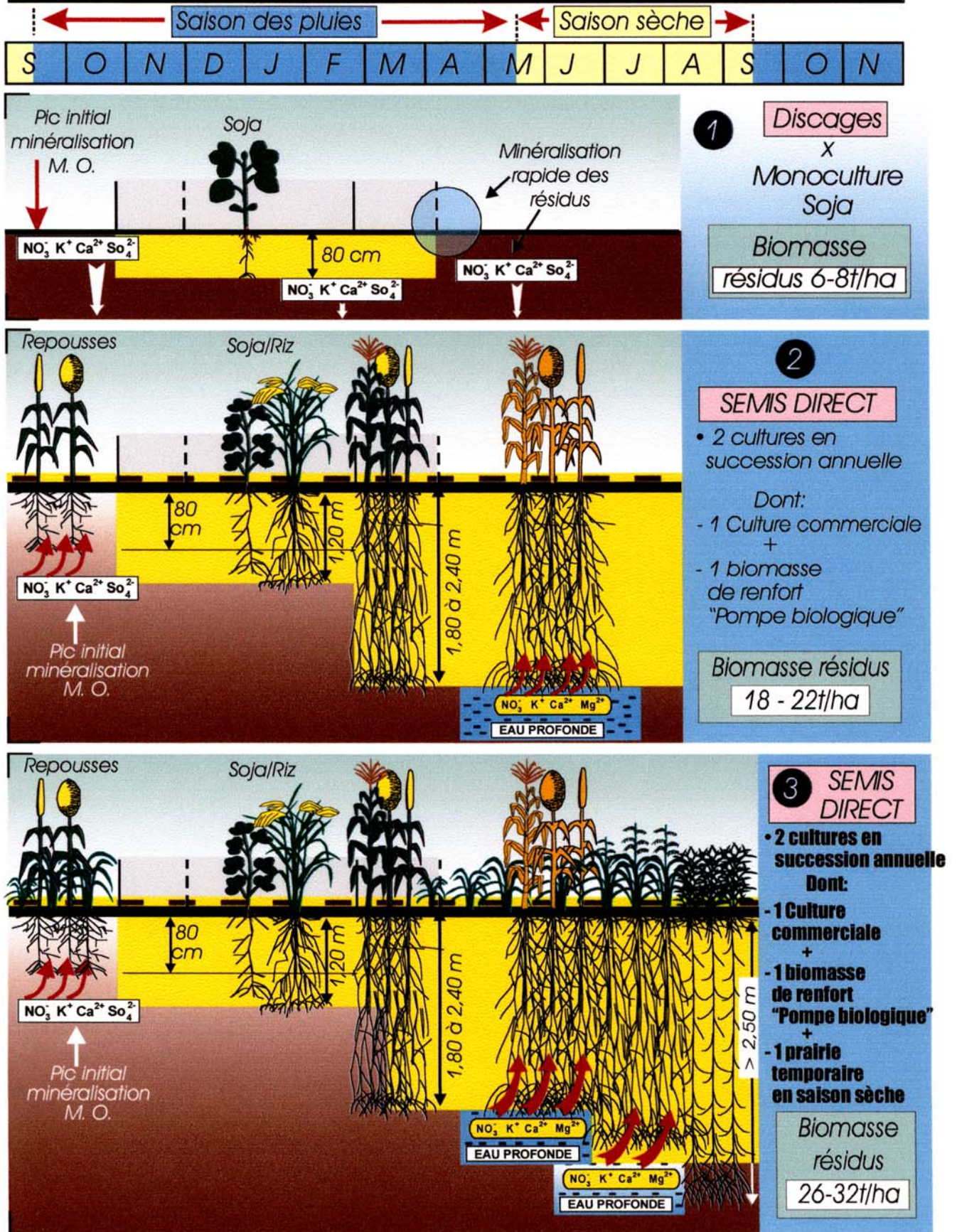
SOURCE: L. Séguy, CIRAD/GEC - ONG TAFE, Antsirabé, 1999

Fumure 1 = 5 t/ha fumier

Fumure 2 = 5 t/ha fumier + 500 kg/ha/an Calc. Dolom. + 100N + 68P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + 48K<sub>2</sub>O/ha/an - Maïs + 30N + 68P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + 48K<sub>2</sub>O/ha/an - Leg.

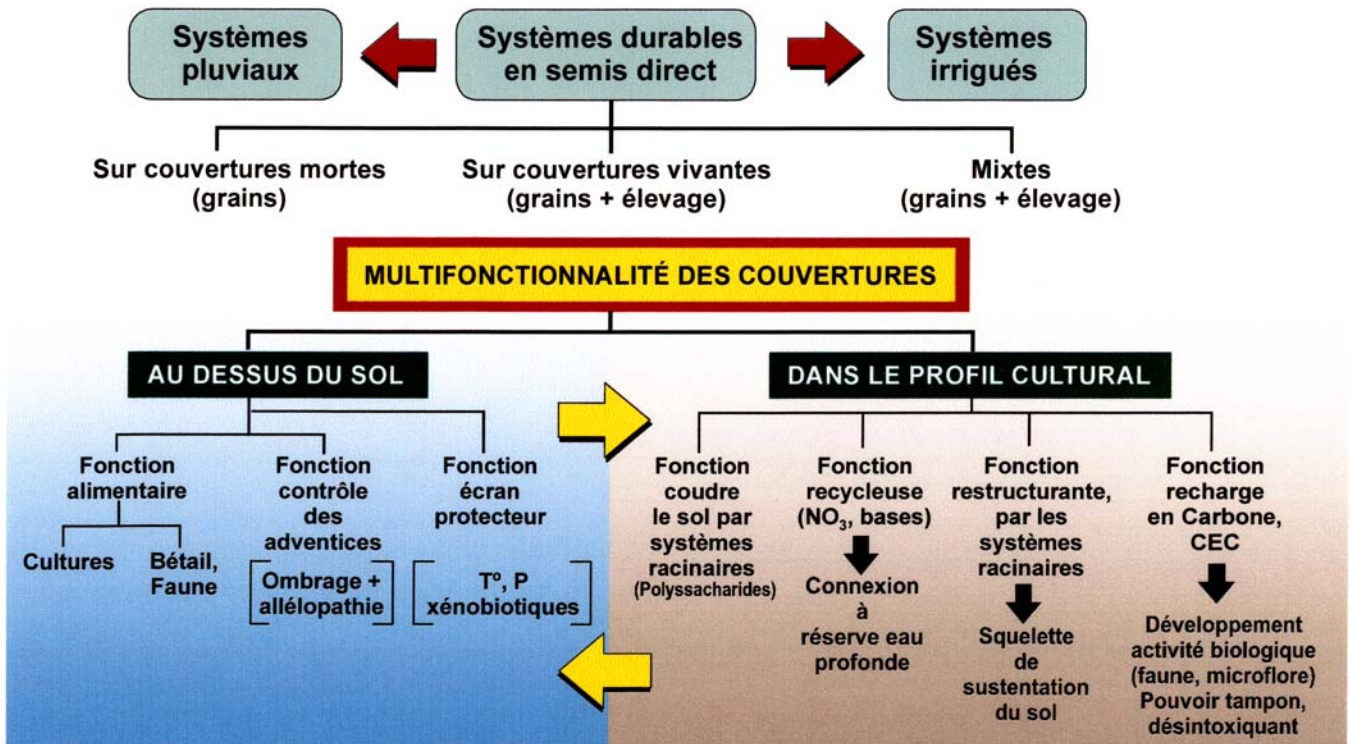
Fumure 3 = 5 t/ha fumier + 2000 kg/ha/an Calc. Dolom. + 130N + 136P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + 96K<sub>2</sub>O/ha/an - Maïs + 60N + 136P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + 96K<sub>2</sub>O/ha/an - Leg.

**FIG. 25 ÉVOLUTION DES SYSTÈMES DE CULTURE, DE LA BIOMASSE DE RÉSIDUS ET DE L'UTILISATION DES RESSOURCES HYDRIQUES**  
 Écologie des cerrados et forêts humides du Centre Nord Mato Grosso - 1986/2000



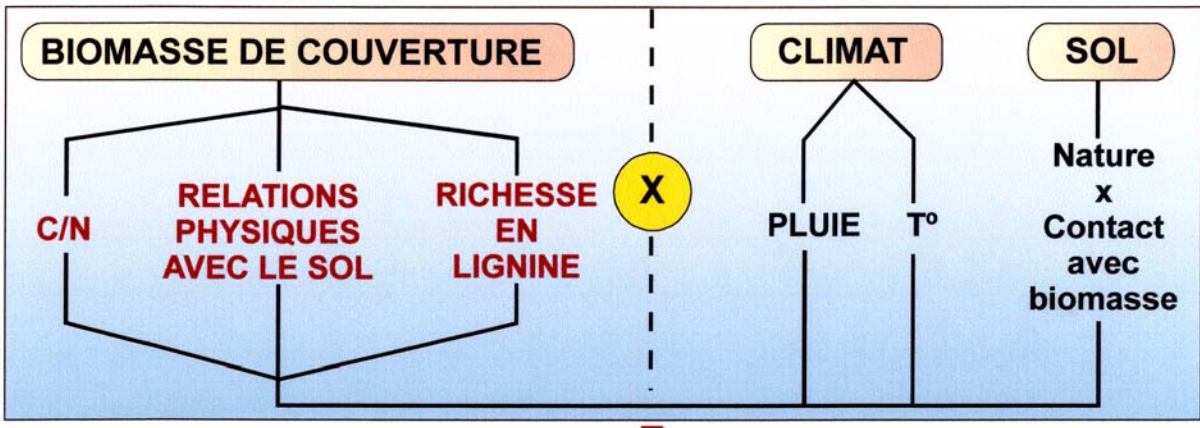
SOURCE: L. Ségué, S. Bouzinac, CIRAD-CA; A. Maronezzi, Agronorte - Sinop/MT - 2001

**FIG. 26 LE CONCEPT DE MULTIFONCTIONNALITÉ  
DES BIOMASSES DE COUVERTURE, EN SEMIS DIRECT**

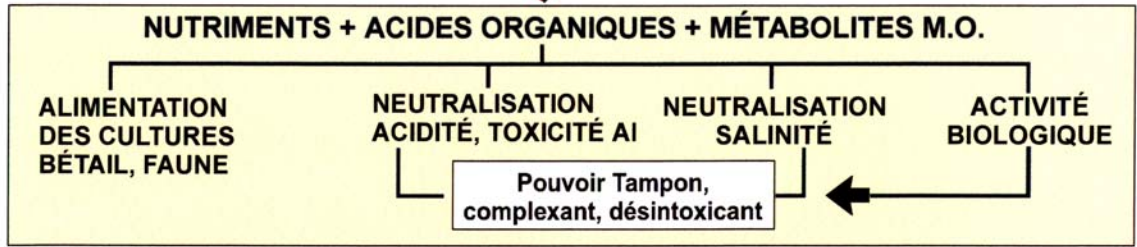


SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA; A. C. Maronezzi, AGRONORTE, Sinop/MT - 1978/2000

**FIG. 27 FONCTION ALIMENTAIRE**



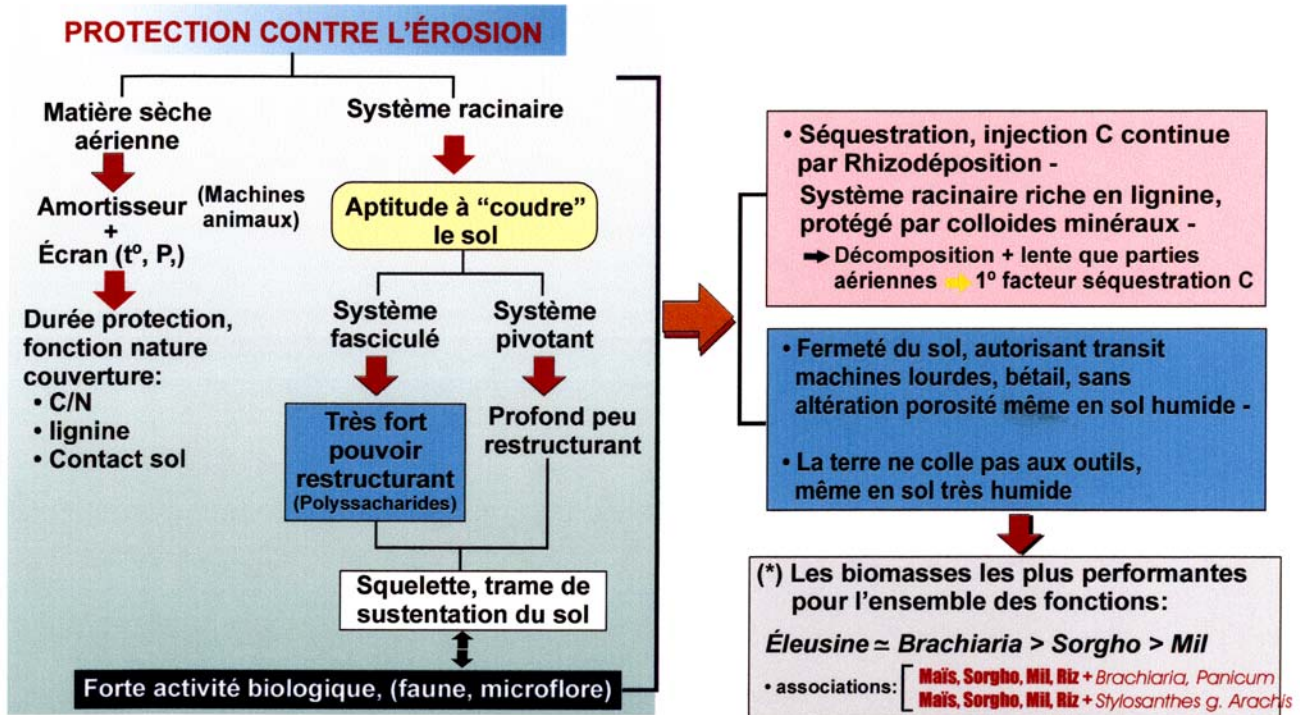
  
**VITESSE MINÉRALISATION**  

SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA; A. C. Maronezzi, AGRONORTE, Sinop/MT - 1978/2000

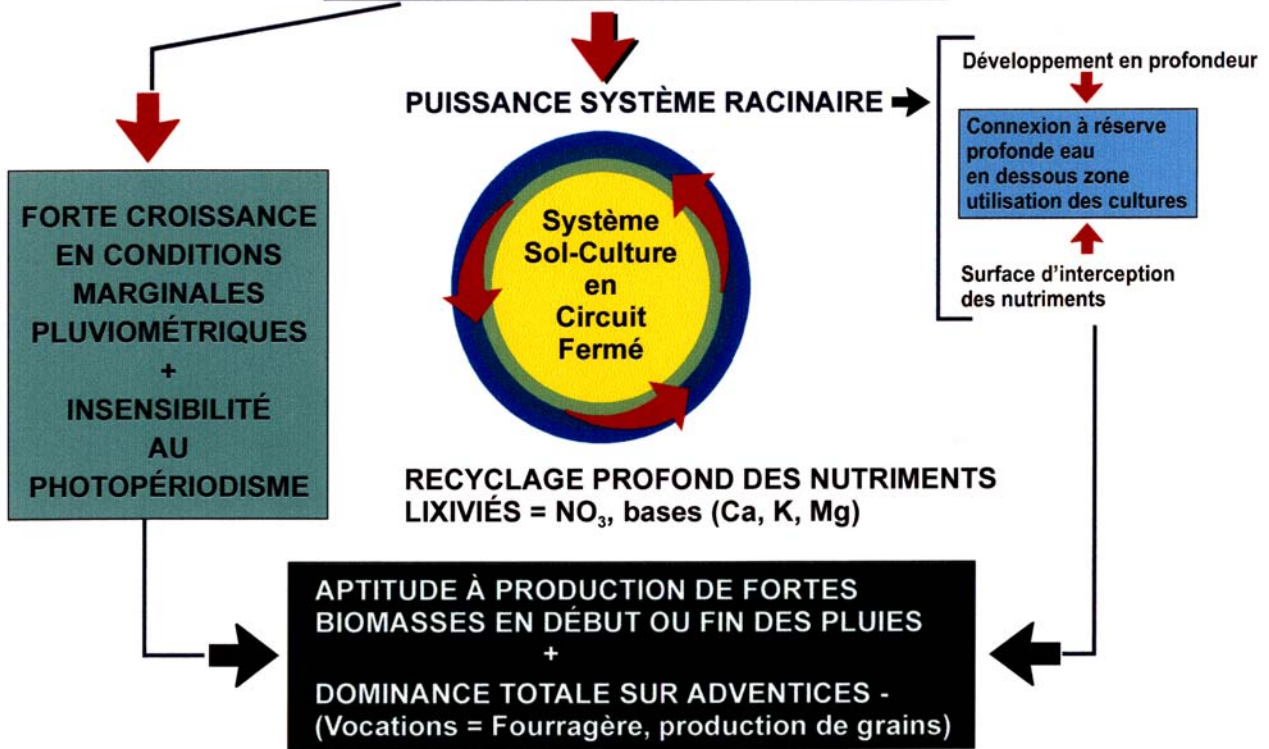
**FIG. 28**  
**FONCTIONS:**

- PROTECTION CONTRE L'ÉROSION
- POUVOIR RESTRUCTURANT
- RECHARGE EN CARBONE



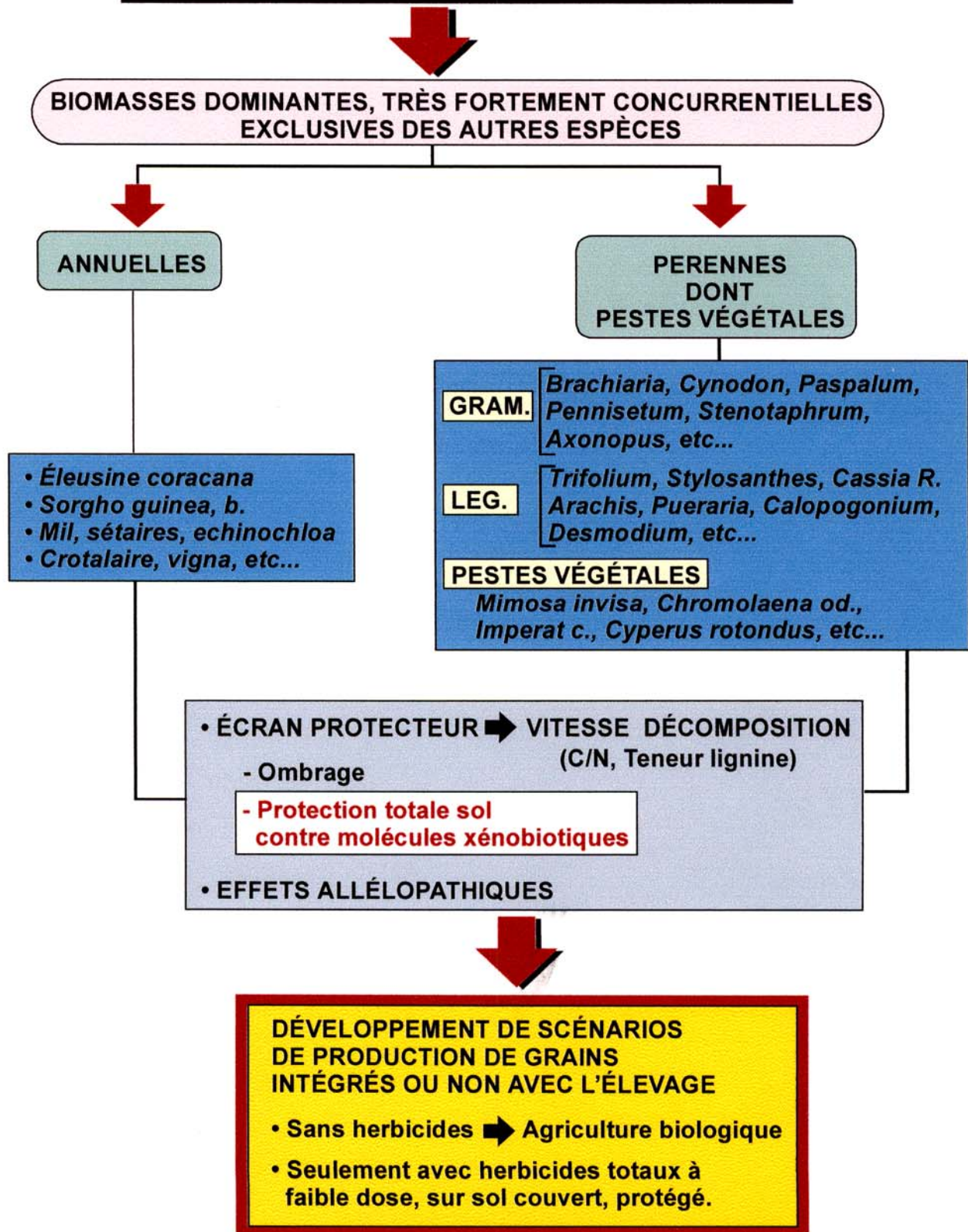
SOURCE: L. Séguéy, S. Bouzinac, CIRAD-CA; A. C. Maronezzi, AGRONORTE, Sinop/MT - 1978/2000

**FIG. 29 FONCTION RECYCLEUSE**



SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA; A. C. Maronezzi, AGRONORTE, Sinop/MT - 1978/2000

# FIG. 30 FONCTION: CONTRÔLE DES ADVENTICES



SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA; A. C. Maronezzi, AGRONORTE, Sinop/MT - 1978/2000