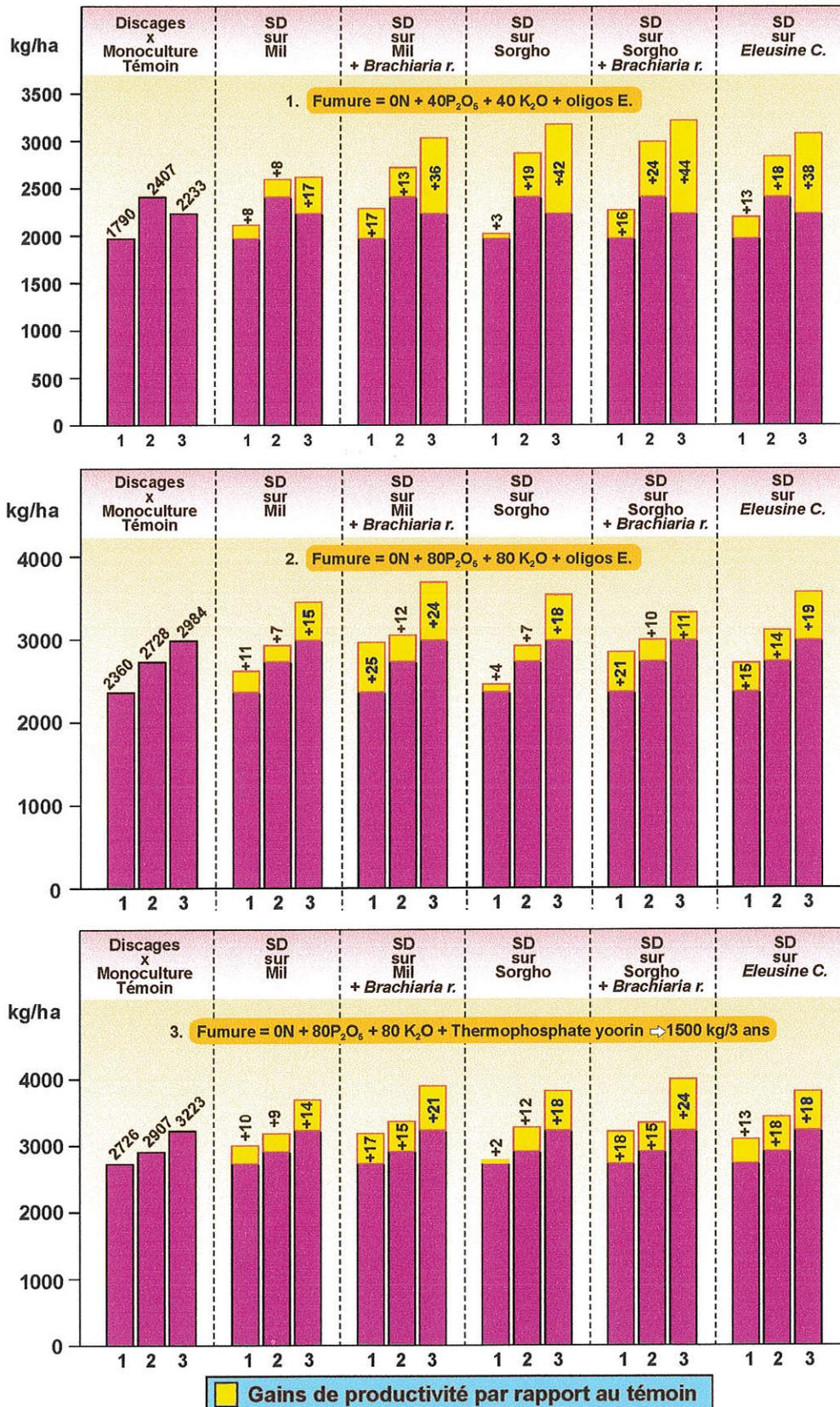


FIG. 38 ÉVOLUTION DE LA PRODUCTIVITÉ MOYENNE DU SOJA DE CYCLE COURT OU INTERMÉDIAIRE (UFV 17, CONQUISTA) SUR 3 ANS (1997/2000), EN FONCTION DE LA NATURE ET DE LA QUANTITÉ DE BIOMASSE QUI PRÉCÈDE LE SEMIS DIRECT (SD) DU SOJA - AGRONORTE - SINOP/MT, 1999/2000



(*) Expérimentations conduites en conditions d'exploitation réelles, mécanisées
 SOURCE: Séguy L., Bouzinac S., CIRAD-CA; Maronezzi A., Lucas G. L., Bianchi M., AGRONORTE - Sinop/2000

FIG. 39 PRODUCTIVITÉ DU SOJA DANS LES MEILLEURS SYSTÈMES DE SEMIS DIRECT COMPARÉE À CELLE OBTENUE EN MONOCULTURE AVEC DISCAGE -

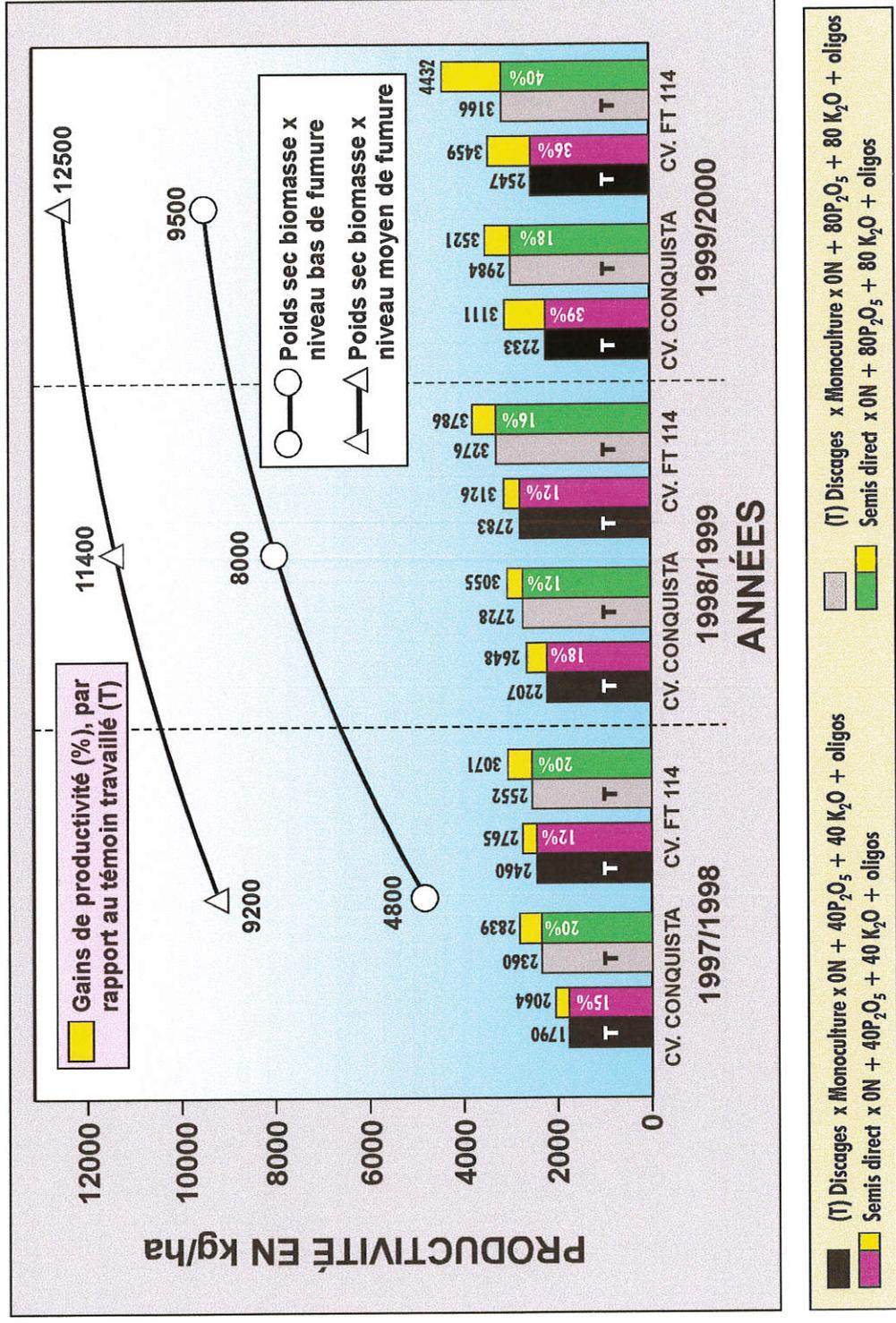
AGRONORTE - SINOP/ MT, 2000

	Fumure faible 0N + 40P ₂ O ₅ + 40K ₂ O		Fumure moyenne 0N + 80P ₂ O ₅ + 80K ₂ O		Fumure forte 0N + 80P ₂ O ₅ + 80K ₂ O + thermophosphate → 1500 kg/3 ans	
	Monoculture x Discage	Meilleurs systèmes semis direct	Monoculture x Discage	Meilleurs systèmes semis direct	Monoculture x Discage	Meilleurs systèmes semis direct
Productivité moyenne sur 3 ans	Cycle court 2143	2607	Cycle court 2691	3075	Cycle court 2952	3399
	Cycle moyen 2597	3040	Cycle moyen 2998	3620	Cycle moyen 3291	3730
Gains (%) de productivité en semis direct		+ 22		+ 14		+ 15
		+ 17		+ 21		+ 13
Productivité 1999/2000	Cycle court 2233	2957	Cycle court 2984	3503	Cycle court 3223	3742
	Cycle moyen 2547	3575	Cycle moyen 3166	4580	Cycle moyen 3468	3991
Gains (%) de productivité en semis direct		+ 32		+ 17		+ 16
		+ 40		+ 45		+ 15

(*) Expérimentations conduites en conditions d'exploitation réelles, mécanisées

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

FIG. 40 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 *Eleusine coracana*; *Sorgho*, *Mil* + *Brachiaria ruz.*) - Écologie des forêts humides du Centre Nord Mato Grosso - Sinop/MT - 1997/2000



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

FIG. 41 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					
	8FA 281-2	YM 94	Cedro	8FA 337-1	Sucupira	YM 200	YM 198	YM 114	YM 65	Best 2000
• 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 % des témoins ¹	115 a 179	110 a 167	107 a 148	114 a 131	81 a 142	107 a 145	109 a 139	102 a 124	94 a 126	90 a 121
Nb. Essais	11	11	10	11	10	11	10	7	11	7
Productivité maximum ² et site expérimental	6698 S.	5620 C. V.	5525 S.	5513 S.	4822 C.N.P.	6375 C. P.	6299 C.N.P.	7023 S.	5768 C.N.P.	6273 S.
Sites expérimentaux	S. = Sinop; C. V. = Campo Verde; C. N. P. = Campo Novo dos Parecis									

1997/98 ➔ CIRAD 141

1. Témoins:

1998/99 ➔ Cycles courts = Best 3;

➔ Cycles moyens = CIRAD 141

1999/2000 ➔ Cycles courts = Primavera;

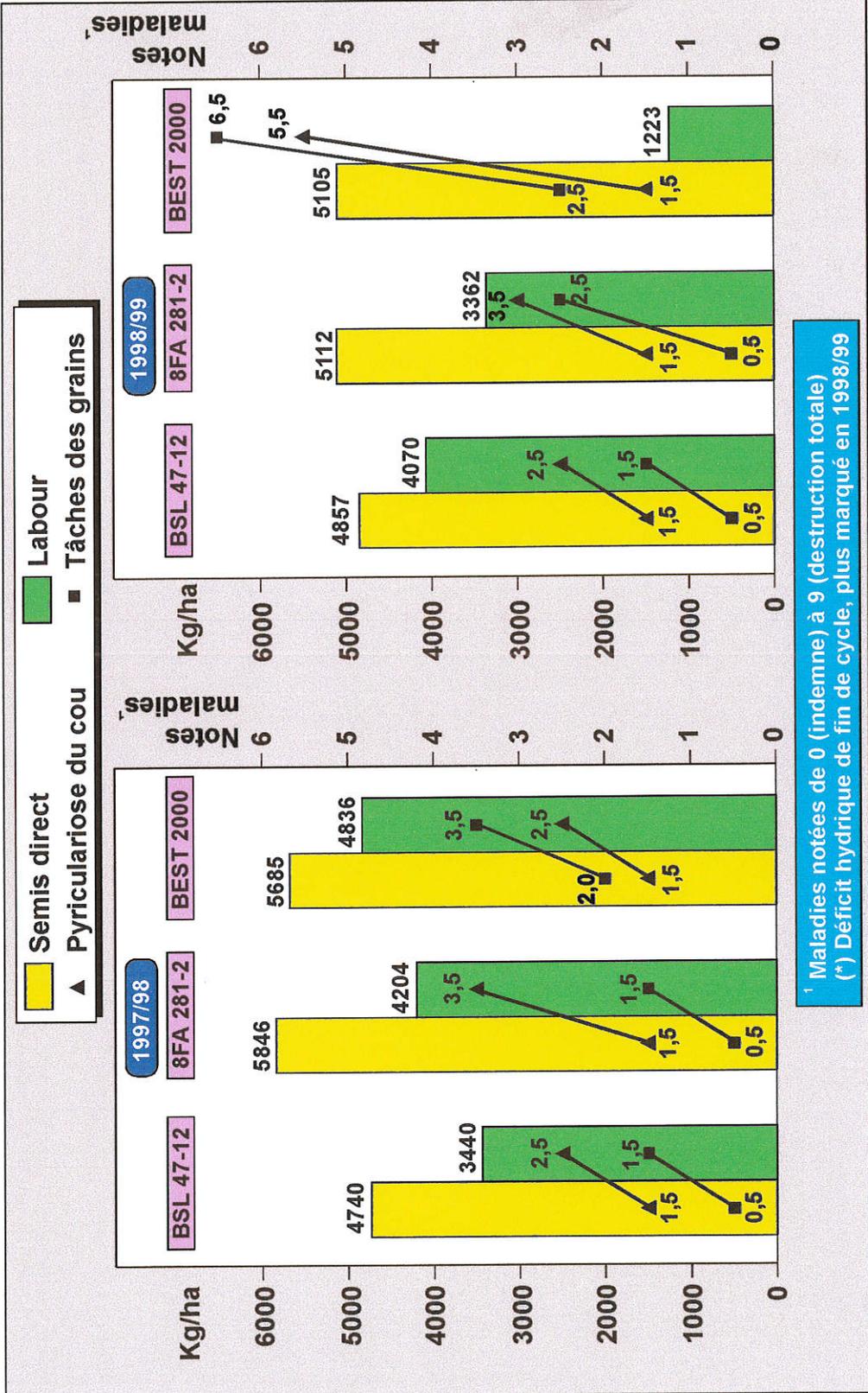
➔ Cycles moyens = Maravilha

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. 42 INTERACTIONS "GÉNOTYPES RIZ PLUVIAL x MODES DE GESTION DU SOL"

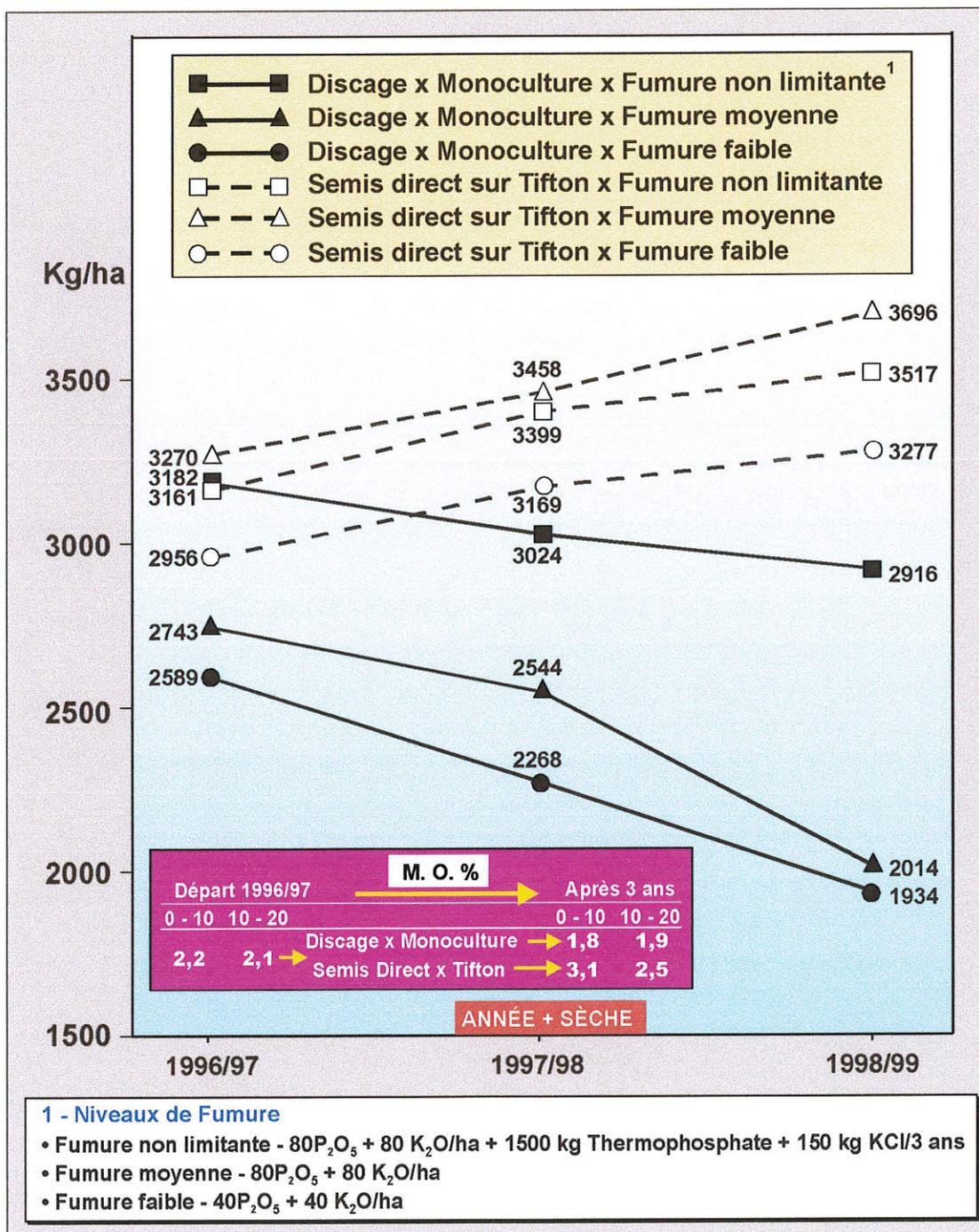
AGRONORTE - SINOP/MT - 1999



SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD CA-GEC; A. C. Maronezzi, E. Trevisan, M. Bianchi, AGRONORTE - SINOP/MT - 1999

FIG. 43 ÉVOLUTION DE LA PRODUCTIVITÉ DU SOJA (*Cultivar Emgopa 313*), EN FONCTION DE DIVERS MODES DE GESTION DU SOL ET DES CULTURES
 - Écologie des forêts humides du sud de l'Amazonie -
 - Sols ferrallitiques jaunes sur roche acide -

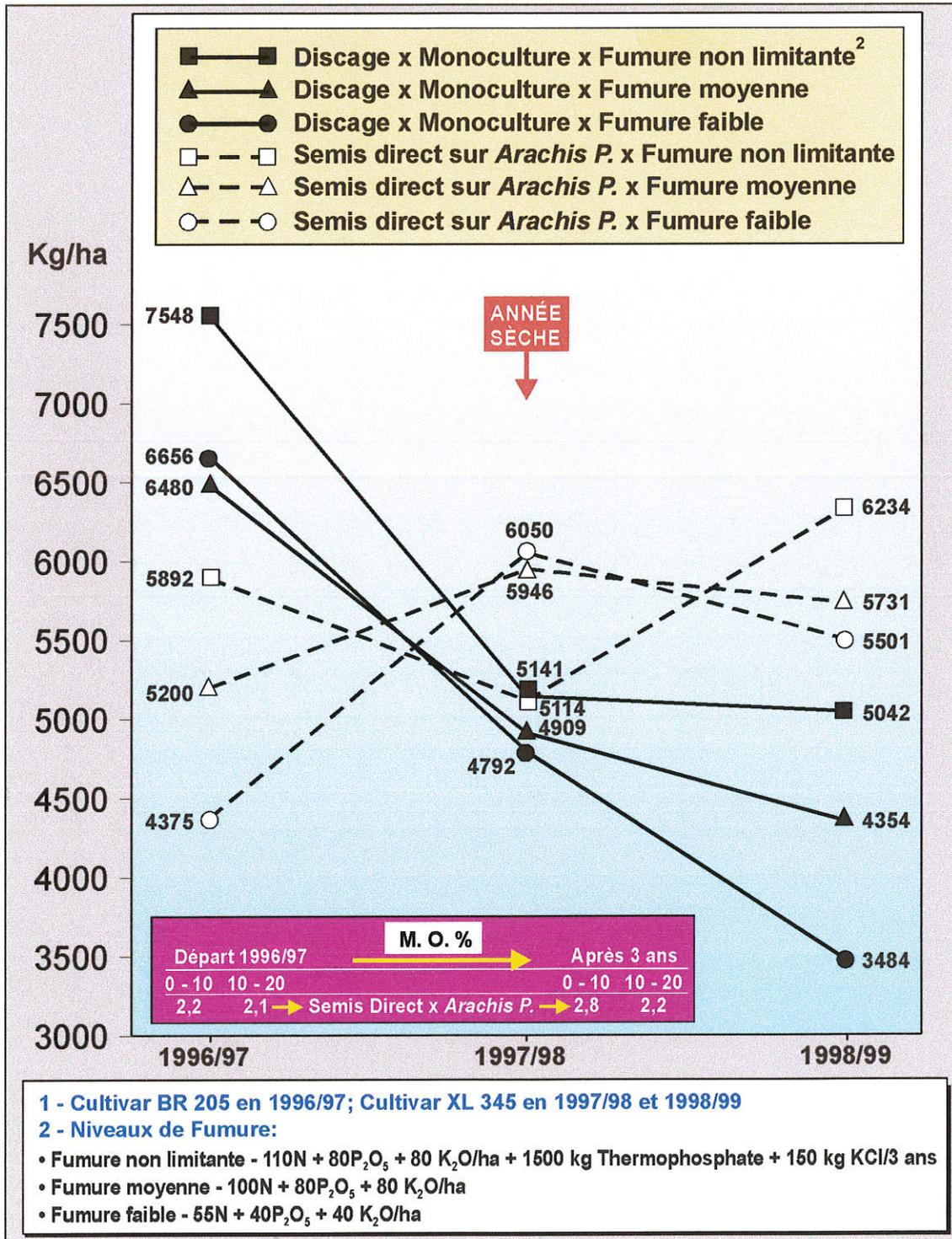
AGRONORTE/CIRAD - SINOP/MT - 1995/98



SOURCE: L. Ségué, S. Bouzinac, CIRAD-CA; A. Maronezzi, Agronorte - Sinop/MT - 1995/98

FIG. 44 ÉVOLUTION DE LA PRODUCTIVITÉ DU MAÏS¹, EN FONCTION DE DIVERS MODES DE GESTION DU SOL ET DES CULTURES
 - Écologie des forêts humides du sud de l'Amazonie -
 - Sols ferrallitiques jaunes sur roche acide -

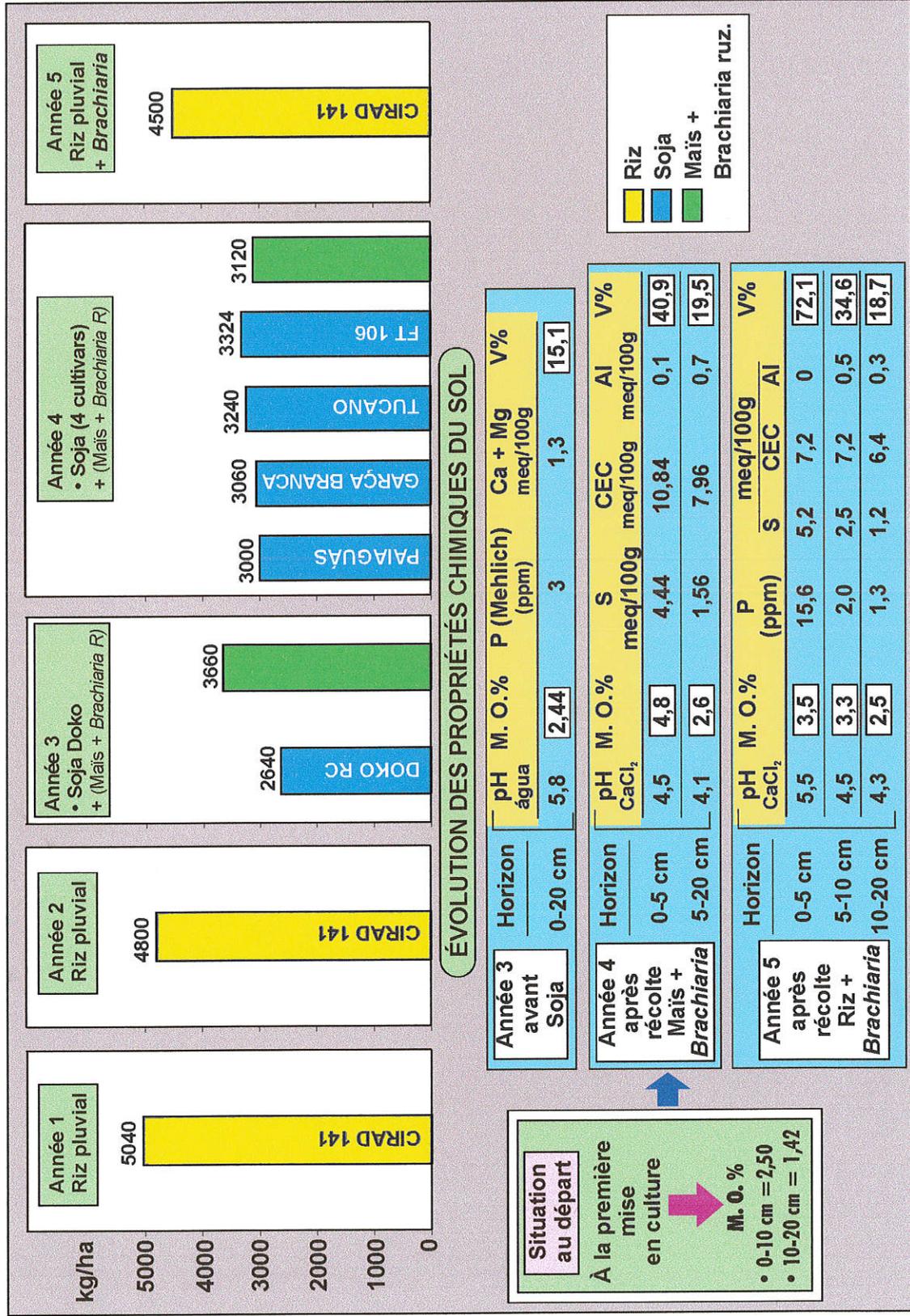
AGRONORTE/CIRAD - SINOP/MT - 1995/98



SOURCE: L. Ségué, S. Bouzinac, CIRAD-CA; A. Maronezzi, Agronorte - Sinop/MT - 1995/98

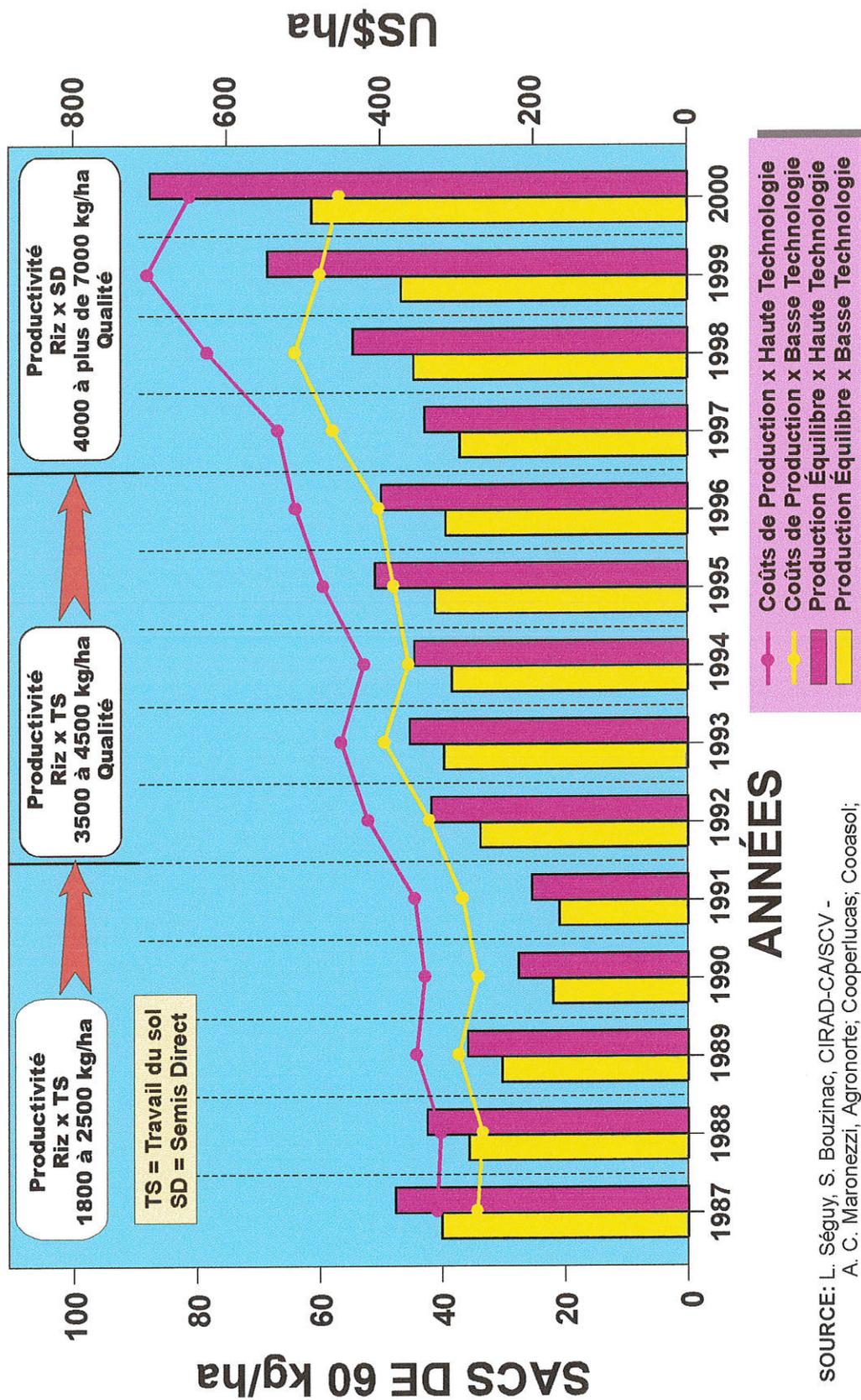
FIG. 45 PRODUCTIVITÉ DES CULTURES APRÈS UN DÉFRICHEMENT MOINS DESTRUCTEUR, SANS APPLICATION D'AMENDEMENT (Ca, Mg)

Soils ferrallitiques hydratés - Fazenda Taffarel - Sinop/MT, 1998



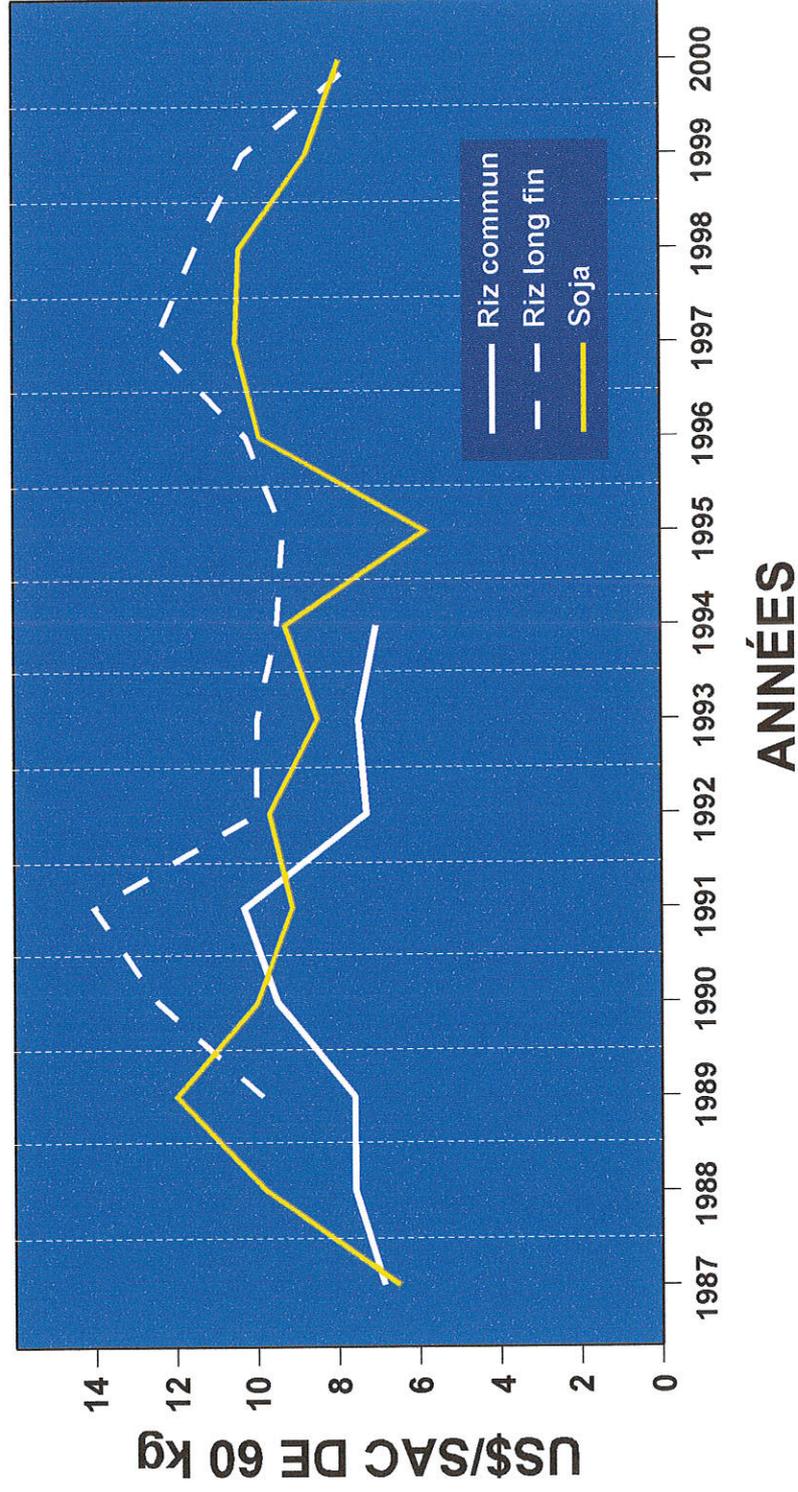
SOURCE: W. et J. Taffarel - L. Séguy, S. Bouzinac - CIRAD CA - GEC; Sinop/MT, 1998

FIG. 46 COÛTS DE PRODUCTION DE LA CULTURE DE RIZ PLUVIAL (en US\$/ha) ET PRODUCTION D'ÉQUILIBRE POUR COUVRIR LES COÛTS (en sacs de 60 kg/ha), SUR LES FRONTIÈRES AGRICOLES DU CENTRE NORD DE L'ÉTAT DU MATO GROSSO - Sinop/MT - 1987/2000



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

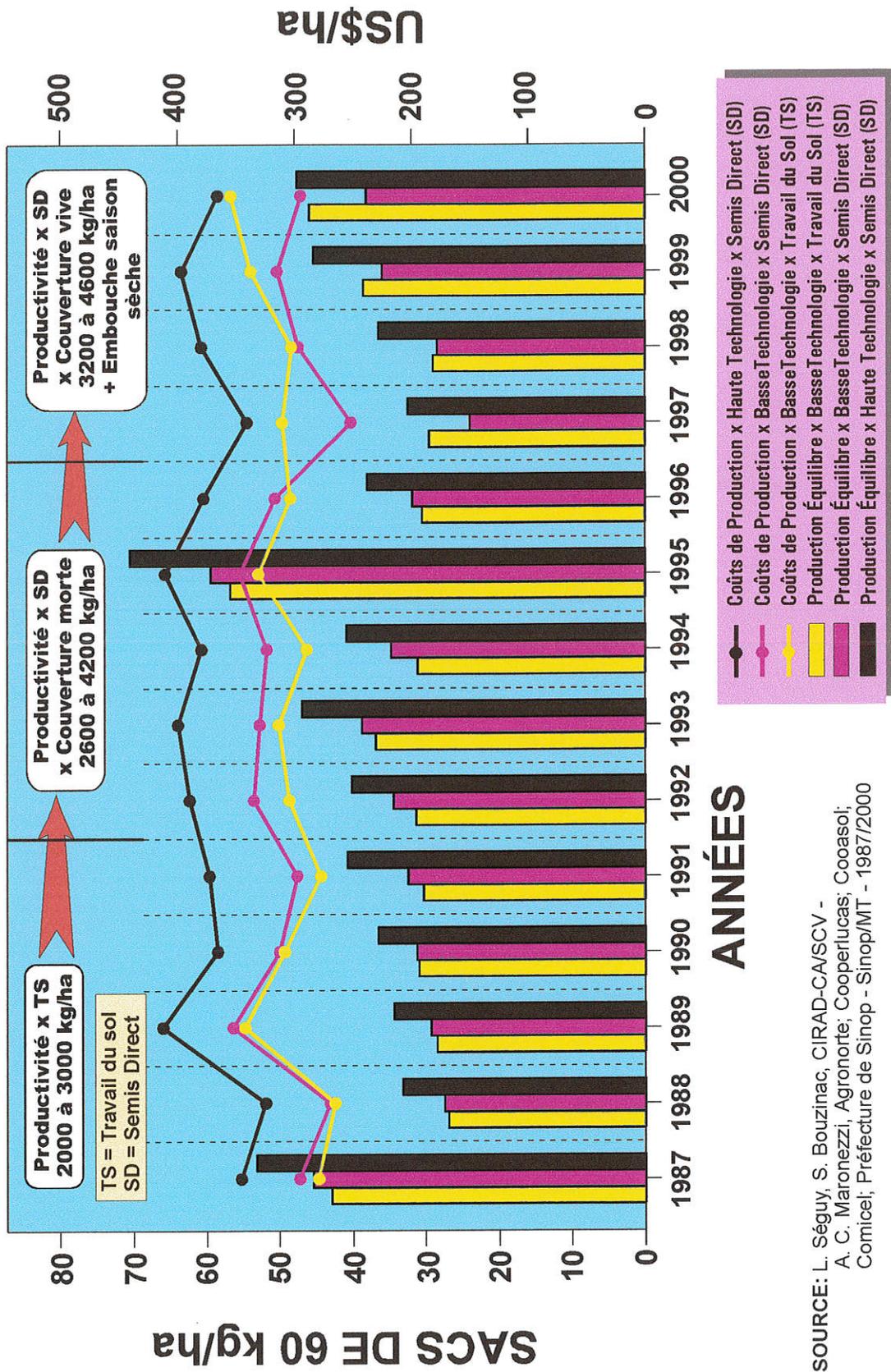
FIG. 47 ÉVOLUTION DES PRIX PAYÉS AUX PRODUCTEURS¹ POUR LES PRODUCTIONS PRINCIPALES DE RIZ ET SOJA SUR LES FRONTIÈRES AGRICOLES DU CENTRE NORD DE L'ÉTAT DU MATO GROSSO - Sinop/MT - 1987/2000



1 - Période février - Mars, chaque année

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

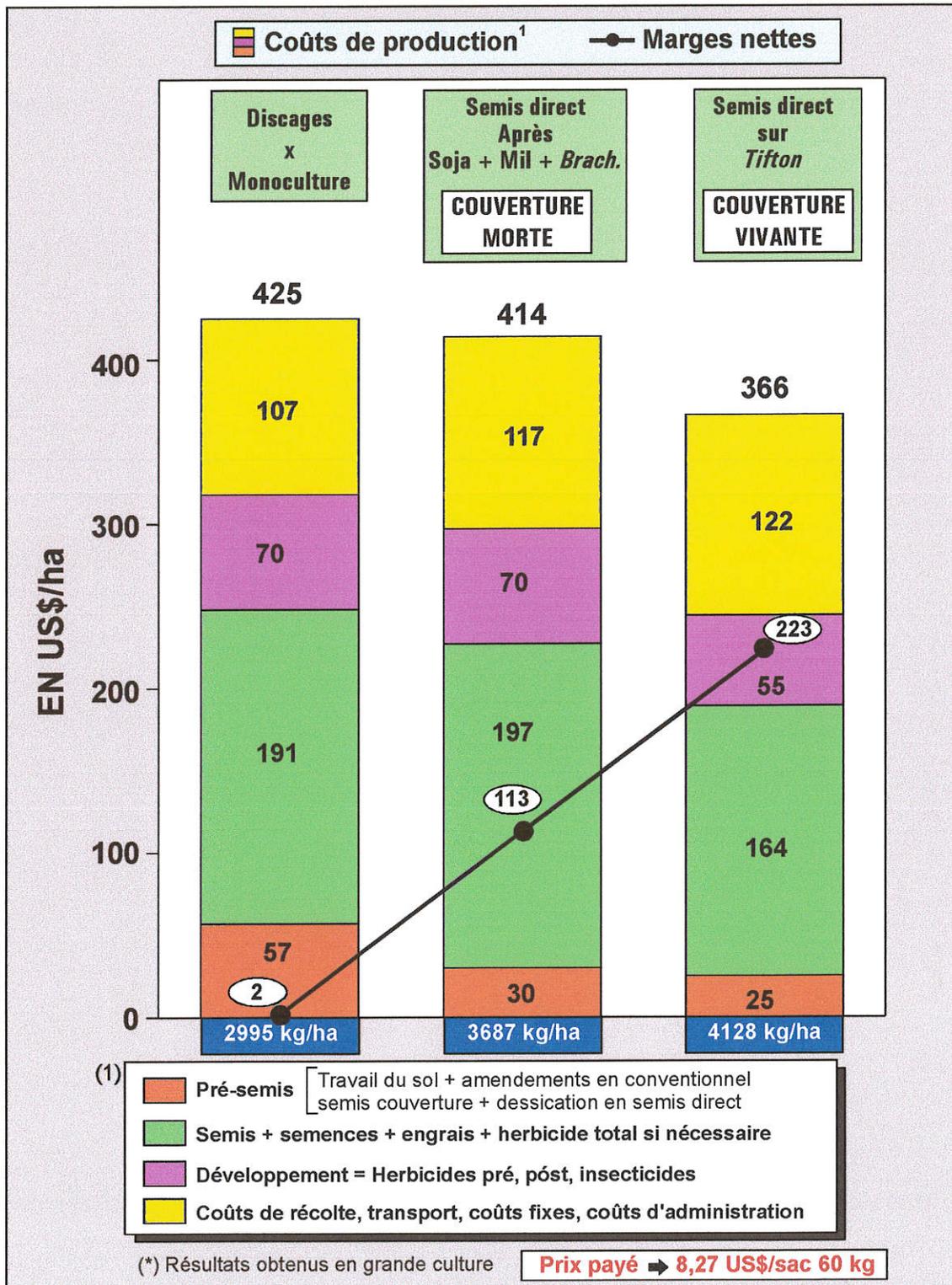
FIG. 48 COÛTS DE PRODUCTION DE LA CULTURE DE SOJA (en US\$/ha) ET PRODUCTION D'ÉQUILIBRE POUR COUVRIR LES COÛTS (en sacs de 60 kg/ha), SUR LES FRONTIÈRES AGRICOLES DU CENTRE NORD DE L'ÉTAT DU MATO GROSSO - Sinop/MT - 1987/2000



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

FIG. 49 COÛTS DE PRODUCTION DÉTAILLÉS ET MARGES NETTES (en US\$/ha), DE LA VARIÉTÉ DE SOJA CONQUISTA, DE CYCLE INTERMÉDIAIRE (110 jours), EN FONCTION DE 3 MODES DE GESTION DU SOL - Sol ferrallitique rouge-jaune sur roche acide -

AGRONORTE - SINOP/MT - /2000



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

FIG. 50 ÉVOLUTION DES RENDEMENTS ET DES MARGES NETTES DU SOJA (Cultivar Emgopa 313), EN FONCTION DES MODES DE GESTION DES SOLS ET DES CULTURES - 1996/99

Écologies des forêts et cerrados humides du sud de l'amazone - Sinop/MT

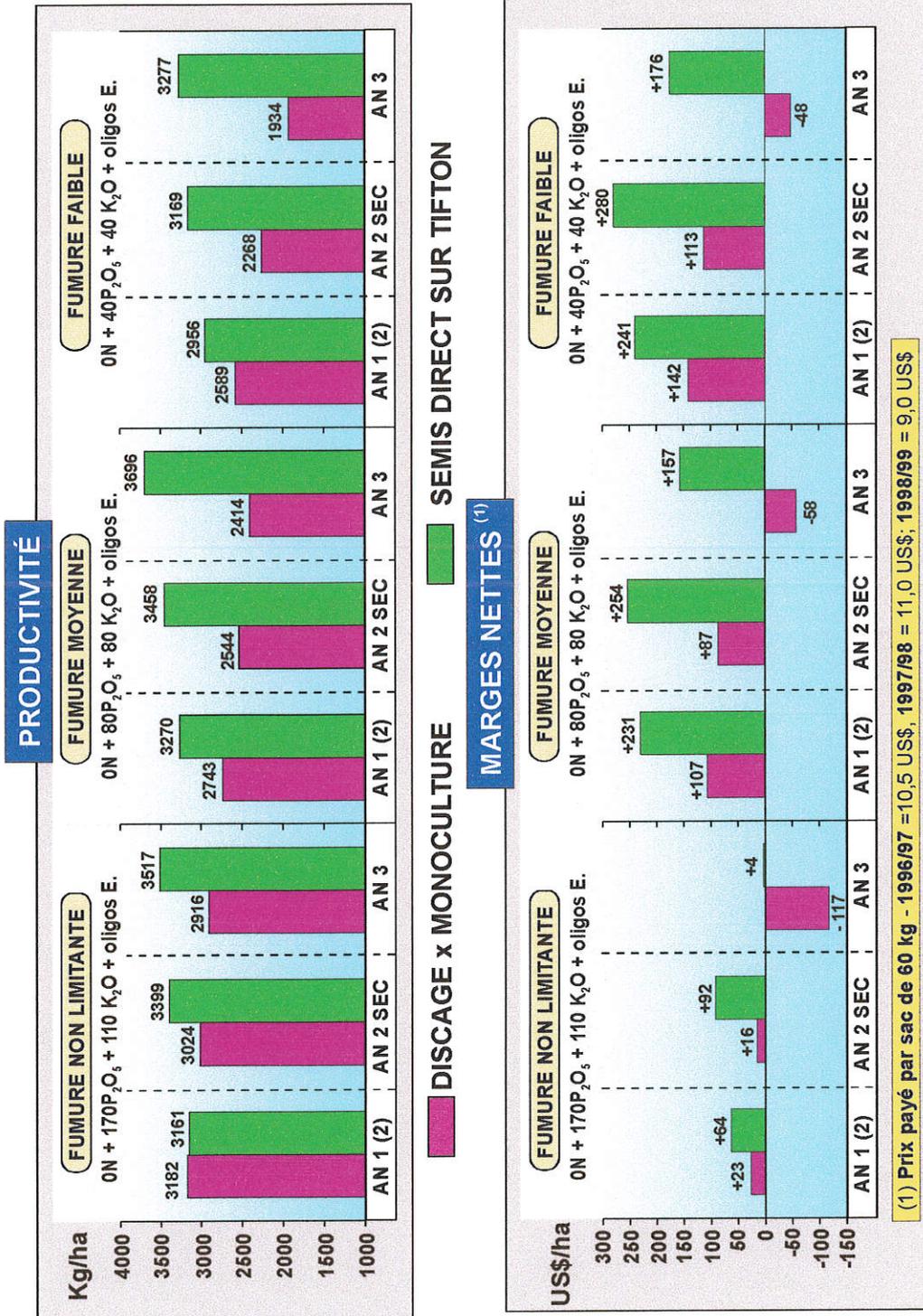
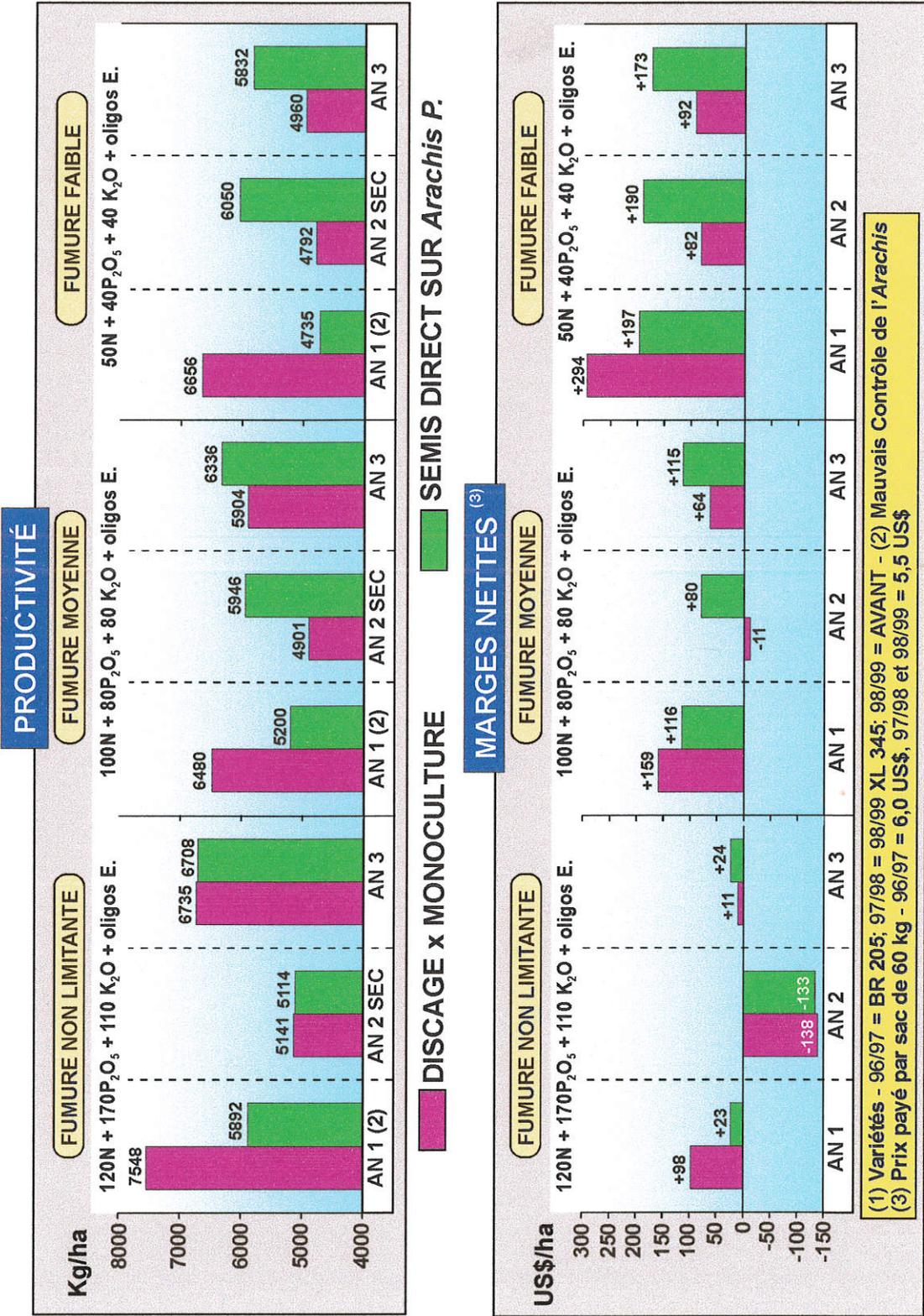


FIG. 51 ÉVOLUTION DES RENDEMENTS ET DES MARGES NETTES DU MAÏS ⁽¹⁾, EN FONCTION DES MODES DE GESTION DES SOLS ET DES CULTURES - 1996/99

Écologies des forêts et cerrados humides du sud de l'amazone - Sinop/MT



(1) Variétés - 96/97 = BR 205; 97/98 = 98/99 XL 345; 98/99 = AVANT - (2) Mauvais Contrôle de l'Arachis
 (3) Prix payé par sac de 60 kg - 96/97 = 6,0 US\$, 97/98 et 98/99 = 5,5 US\$

SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA; A. Maronezzi, Agronorte - Sinop/MT - 1995/98

FIG. 52 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 + SAFRINHA¹ + 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 SAFRINHA¹ 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 -

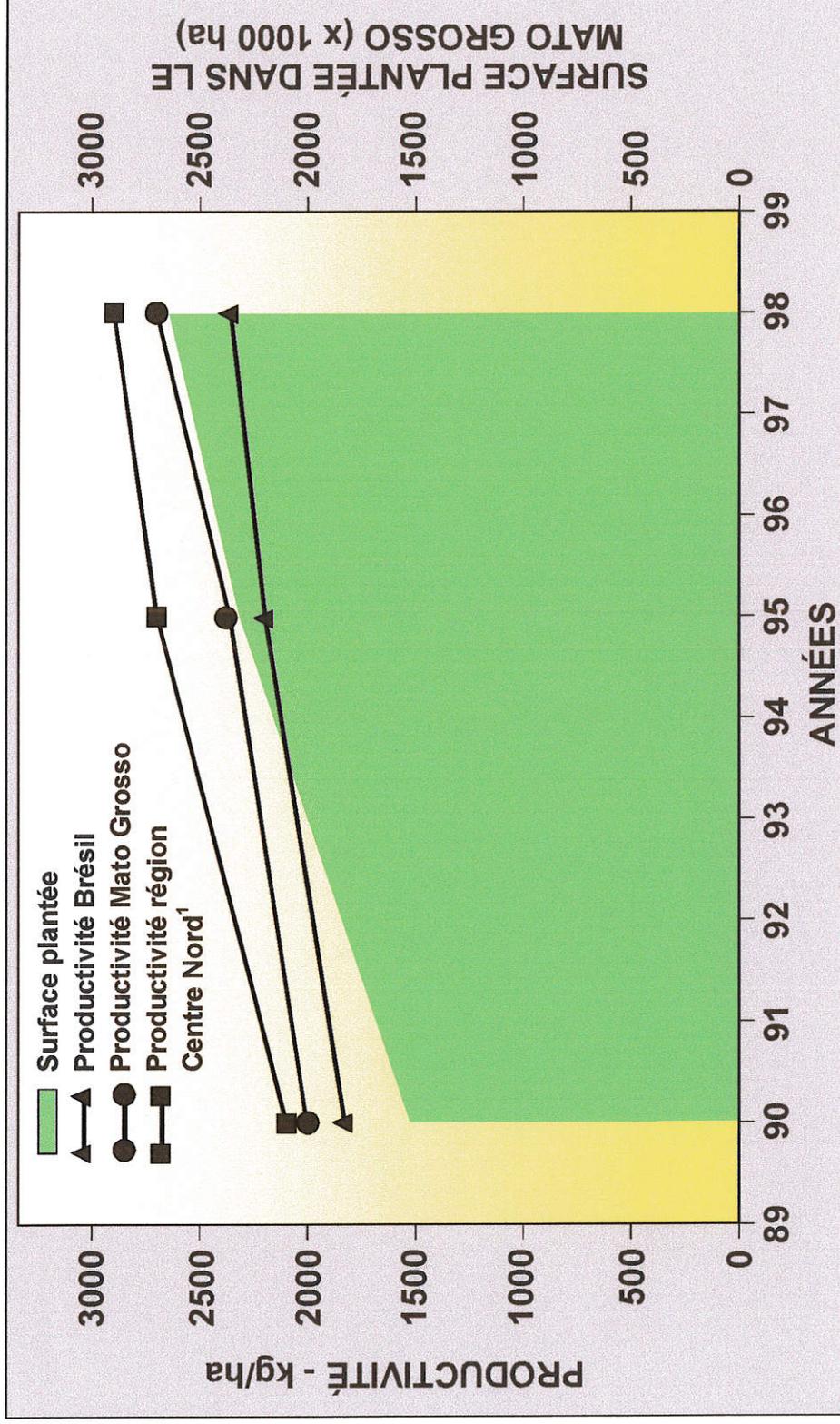
SOURCE: L. Séguay, S. Bouzinac - CIRAD-CA/ GEC; N. Maeda, M. A. Ide, A. Trentini, Groupe Maeda; A. C. Maronezzi, AGRONORTE, Sinop/MT, 2000

FIG. 53 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

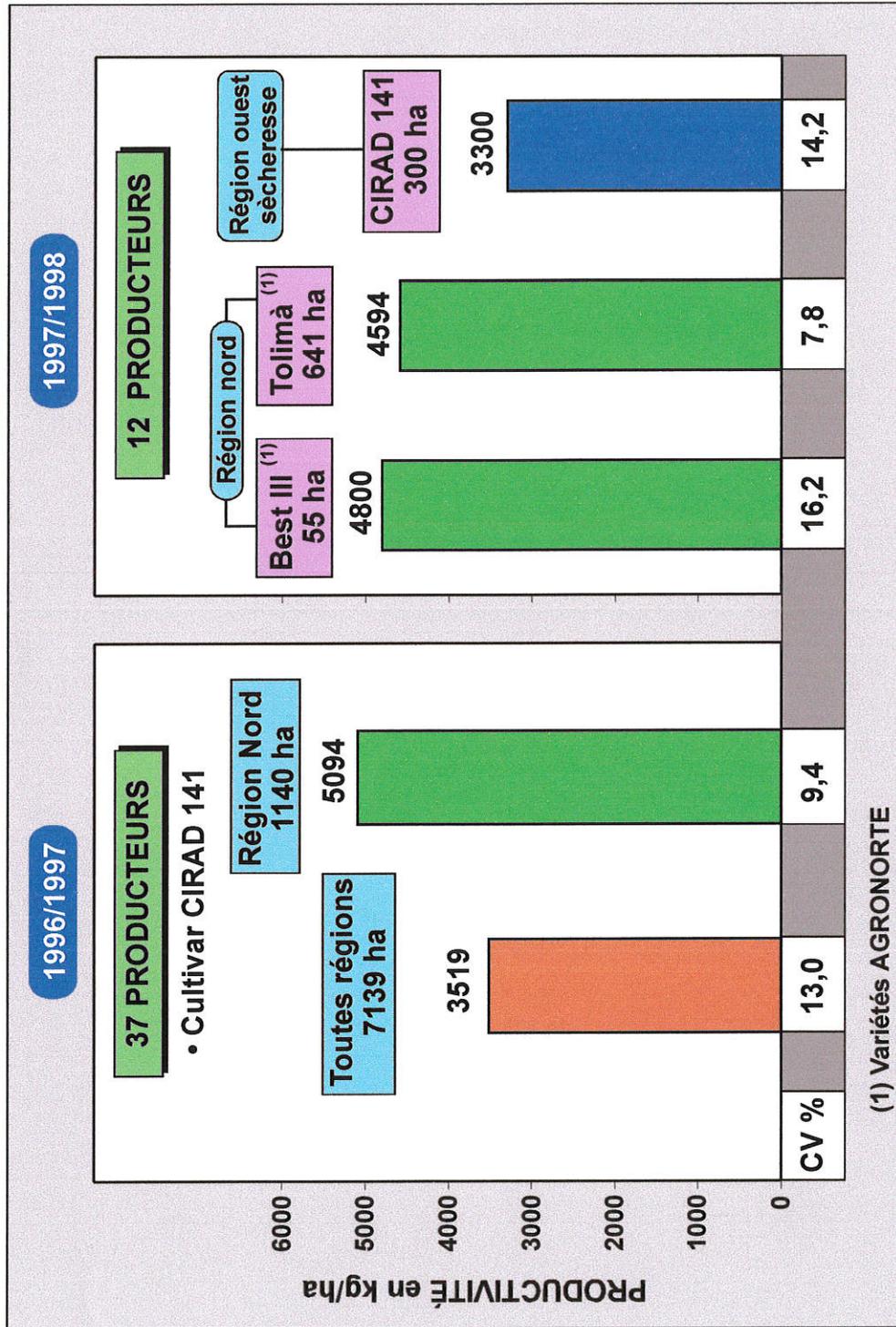
(1) Source: Professeur Luiz Vicente Gentil, Monsanto, Semeato, Fundação MT - Rondonópolis - MT - 1995

FIG. 54 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, Cooperatives -]

FIG. 55 PRODUCTIVITÉ DU RIZ PLUVIAL DE HAUTE TECHNOLOGIE DANS DIVERSES ÉCOLOGIES DE L'ÉTAT DU MATO GROSSO-MT - (ZTH) - 1996/98



(1) Variétés AGRONORTE

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

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. 49 et 53*).

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 (*Fig. 54 et 55*). 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 (*Fig. 54*), des productivités comprises entre 4.000 et 5.500 kg/ha pour le riz pluvial sont aujourd'hui monnaie courante chez les agriculteurs (*Fig. 55*). 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 résultats présentés sont issus d'une chronoséquence courte de 4 ans d'étude des systèmes de culture (*matrice des systèmes + fazendas de référence*), qui se positionne après plus de 10 ans de pratique continue du système de monoculture de coton dans lequel le sol a été travaillé principalement aux engins à disques et où les résidus de récolte ont été systématiquement brûlés. Cette chronoséquence représente donc un épisode important de la construction des systèmes de culture du cotonnier en S.D. (*Séguy L., et al., 1998 a*). Au-delà des performances agro-économiques comparées des systèmes de culture sur cette chronoséquence, seront présentés, comme validation, des résultats obtenus sur les fazendas de référence du même partenaire du CIRAD : le groupe MAEDA ; ces fazendas sont situées dans le Nord de l'état de São Paulo, dans la même grande éco-région des sols ferrallitiques rouges-foncés sur basalte, et ont subi les mêmes modes destructeurs de gestion des sols.

Les performances agro-économiques comparées des modes de gestion des sols et des cultures relatifs à la chronoséquence de 4 ans au Sud de l'état de Goiás sont réunies dans la figure 56, et mettent en évidence :

- En présence d'un niveau de fumure minérale moyen de 85N + 50 P₂O₅ + 100 K₂O + 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. 56*).

- Sur les fazendas de référence de São Paulo, sur le même type de sol avec une histoire culturelle semblable, en 1999/2000, les rendements de 2 variétés de cotonnier sont supérieurs en grande culture de 5 à 8% sur SD par rapport au labour sur même précédent soja + sorgho et de 15 à 18% par rapport au labour x monoculture de coton (*Fig. 60*).

- Concernant l'état sanitaire du coton, ce dernier est très sensible au pouvoir pathogène du sol (*Rhizoctonia*, *Fusariose*, etc...) à la levée et le système SD accroît cette sensibilité par rapport au travail du sol, dès lors que simultanément : les températures sont fraîches le climat très humide et la biomasse de couverture à C/N bas qui se minéralise très rapidement. Ainsi, le mil à décomposition rapide favorise le "dumping-off" à la levée, alors que le sorgho à décomposition lente le limite (Séguy L., et al., 1998 a et b). Par contre, la gestion de la culture cotonnière en SD réduit très significativement les attaques du complexe parasitaire "bactériose-nématodes" de fin de cycle, par rapport au sol travaillé (Séguy L., et al., 1998 a et c).

- 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 (Fig. 57, Séguy L., et al., 1999).

- Cette même couverture de sorgho (*type Guinea*) à décomposition lente (Fig.58) et à effet allélopathique marqué sur le contrôle de 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. 59 et 60) ; comme sur les fronts pionniers, le parc des machines peut être réduit de 50% de même que la consommation de carburant (cf. Fig. 61).

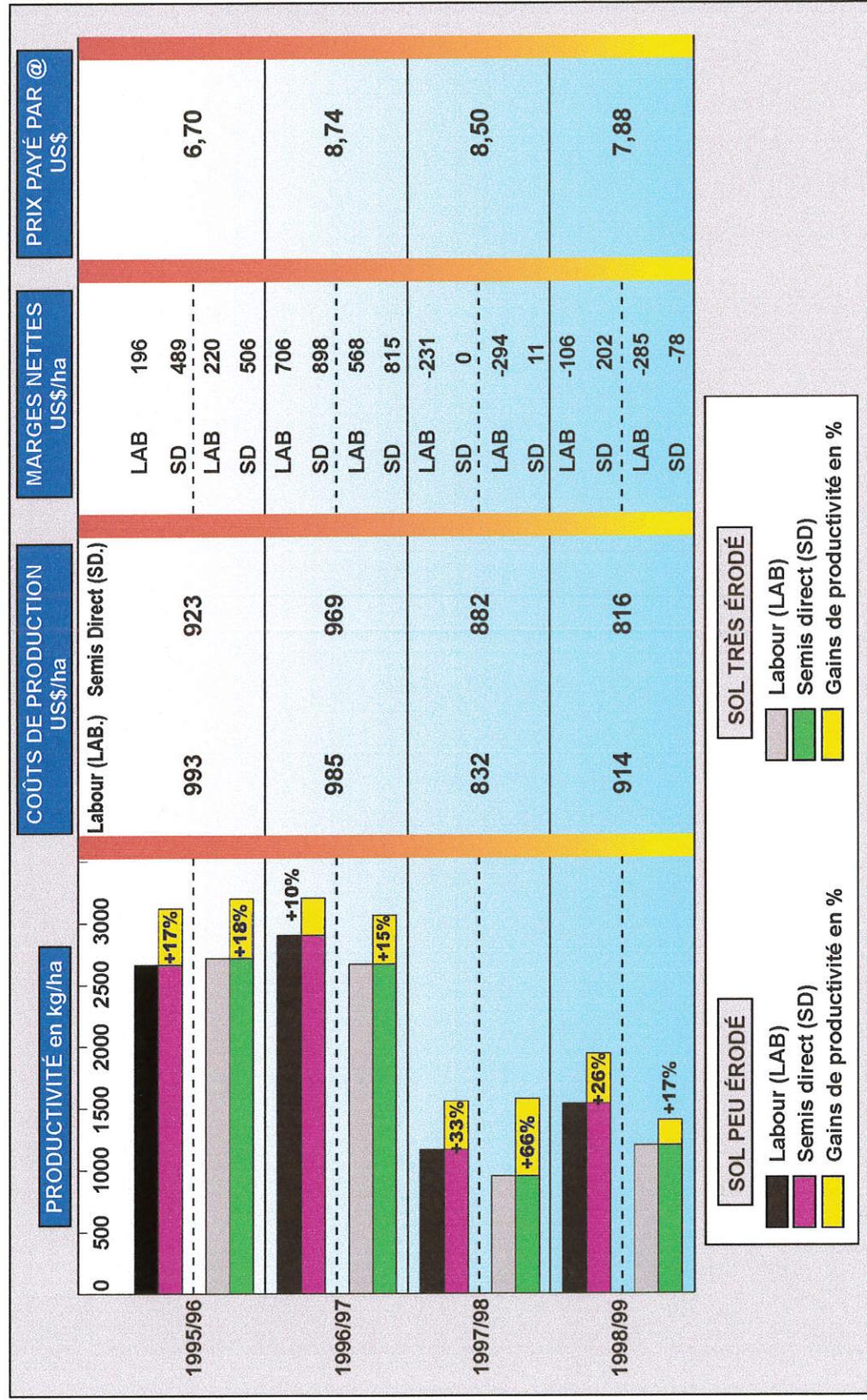
- . Les marges nettes/ha sont très variables d'une année sur l'autre en fonction des prix payés pour la fibre, eux-mêmes très fluctuants. Elles sont, toujours, comme la productivité, plus stables et nettement plus élevées sur SD que sur sol travaillé = de 30 à 50% en fonction des années (Fig. 56, 59 et 60).
- . La culture cotonnière se déplace actuellement massivement vers l'état du Mato Grosso où plus de 300.000 ha ont été conquis en 3 ans. Les systèmes en semis direct de la culture atteignent, chez les meilleurs agriculteurs des rendements records :
 - + 3.642 kg/ha sur 6.306 ha sur la fazenda de notre partenaire MAEDA à Diamantino (MT) [coefficient de variation de 7,1% sur 30 parcelles de culture]
 - + 4.100 kg/ha sur la fazenda Mourão à Campo Verde (MT) sur presque 3.000 ha.

3.3.3. ÉCO-RÉGION DES HAUTS PLATEAUX MALGACHES

Le bilan de l'évaluation des travaux et réalisations en matière de conservation des sols à Madagascar, réalisé en 1996 par l'Office National de l'Environnement Malgache (ONE) sur les hautes terres où l'assistance technique a été particulièrement dense au cours des 40 dernières années, montre, en substance :

- L'impossibilité de restaurer durablement un équilibre biostatique, même partiel, de milieux fortement anthropisés, à partir de techniques importées des pays du Nord, qui exigent des moyens mécaniques

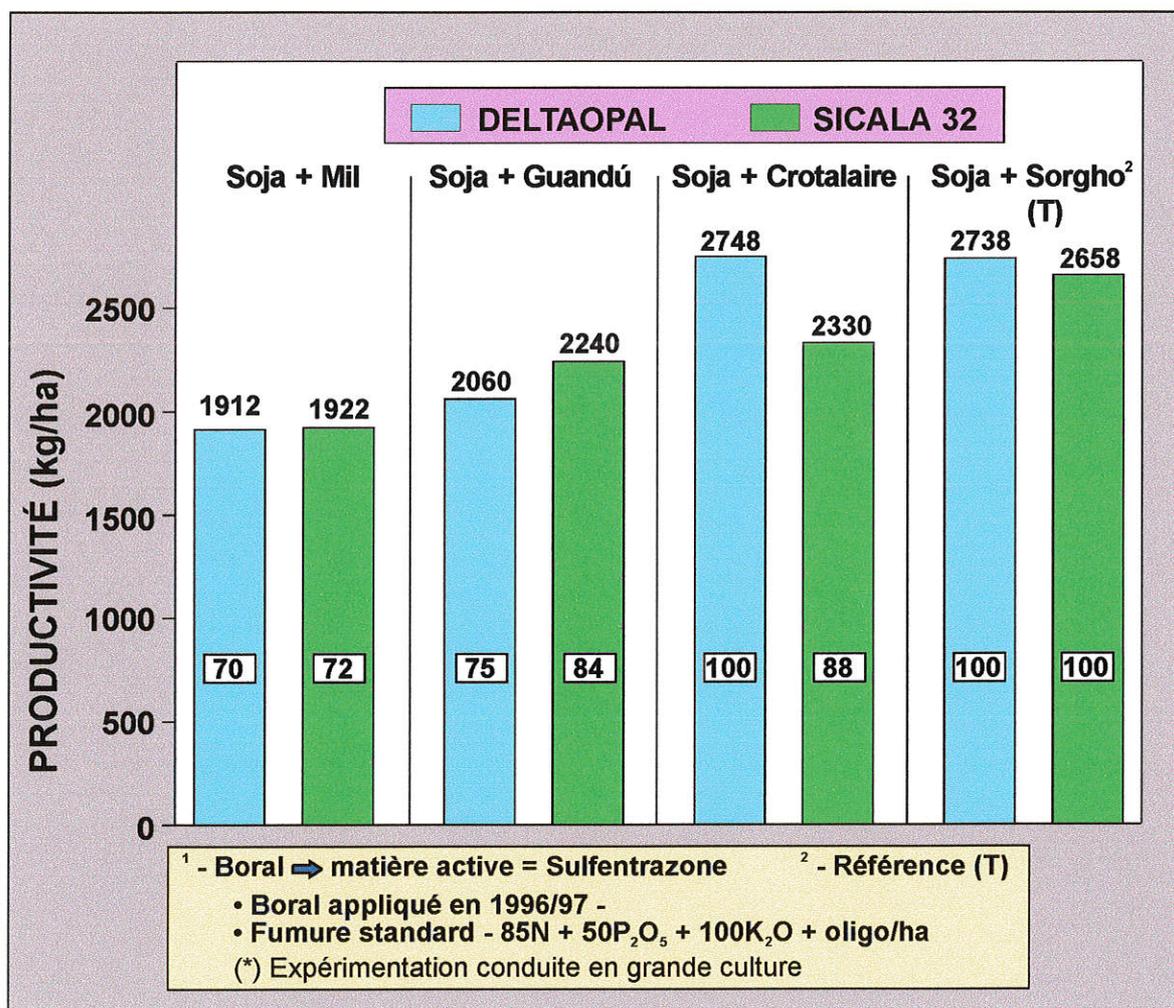
FIG. 56 ÉVOLUTION DES PERFORMANCES MOYENNES AGRO-ÉCONOMIQUES DU COTONNIER SUR 4 ANS EN FONCTION DES SYSTÈMES DE CULTURE PRATIQUÉS -
 Écologie des forêts tropicales et sols ferrallitiques sur basalte du Sud de l'état de Goiás - Centre Ouest - Brésil



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

FIG. 57 DÉSINTOXICATION DU SOL POLLUÉ PAR L'HERBICIDE BORAL¹ AVEC DIVERSES COUVERTURES MORTES DE "SAFRINHAS" EN SEMIS DIRECT

Fazenda Santa Jacinta - Ituverava/SP - 1999



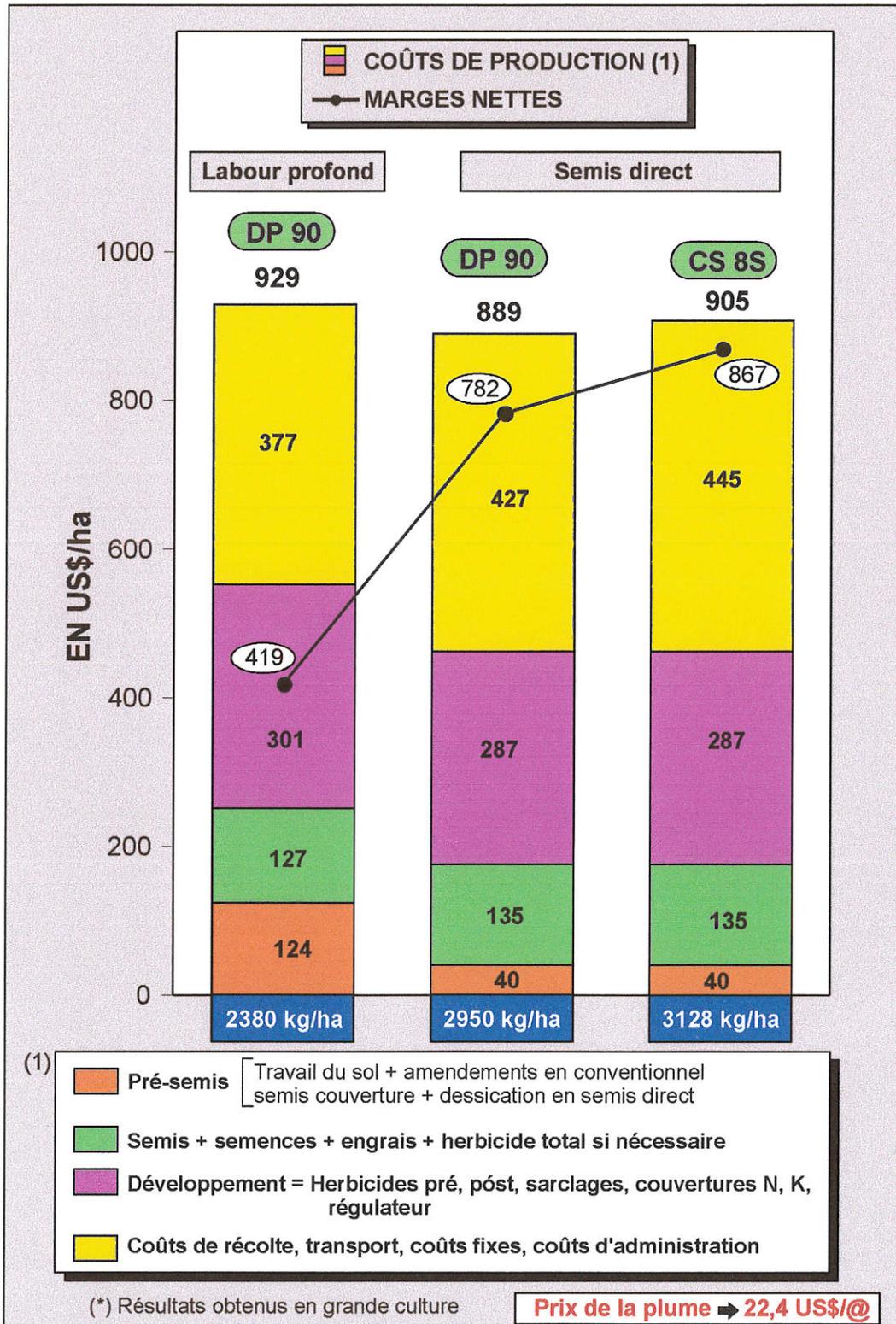
SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD CA-GEC; A. Trentini, M. A. Ide, - Groupe Maeda - Ituverava/SP - 1999

FIG. 58 ÉVOLUTION DE LA MATIÈRE SÈCHE DE SORGHO GUINEA, SOUS CULTURE DE COTON, EN SEMIS DIRECT ET ÉVOLUTION DE LA POPULATION DE *Cyperus rotundus* EN FONCTION DU MODE DE GESTION DU SOL - Sol ferrallitique sur basalte - Ituverava - SP

Matière sèche de Sorgho guinea (t/ha)		Population <i>Cyperus rotundus</i> à la récolte du Cottonnier (nb plantes/m ²)	
Avant semis direct du Cottonnier	À la récolte du Cottonnier	En semis direct ⁽¹⁾ sur couverture restante de Sorgho G.	Sur labour ⁽²⁾ profond x monoculture
12,9	8,44	16,3	73
(1) Réinfestation par tâches ➔ <i>Cyperus</i> chétif, jaune, débilité (2) Réinfestation uniforme ➔ <i>Cyperus</i> vert foncé, très vigoureux.			

SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac CIRAD CA - GEC; Groupe Maeda - SP, 1998

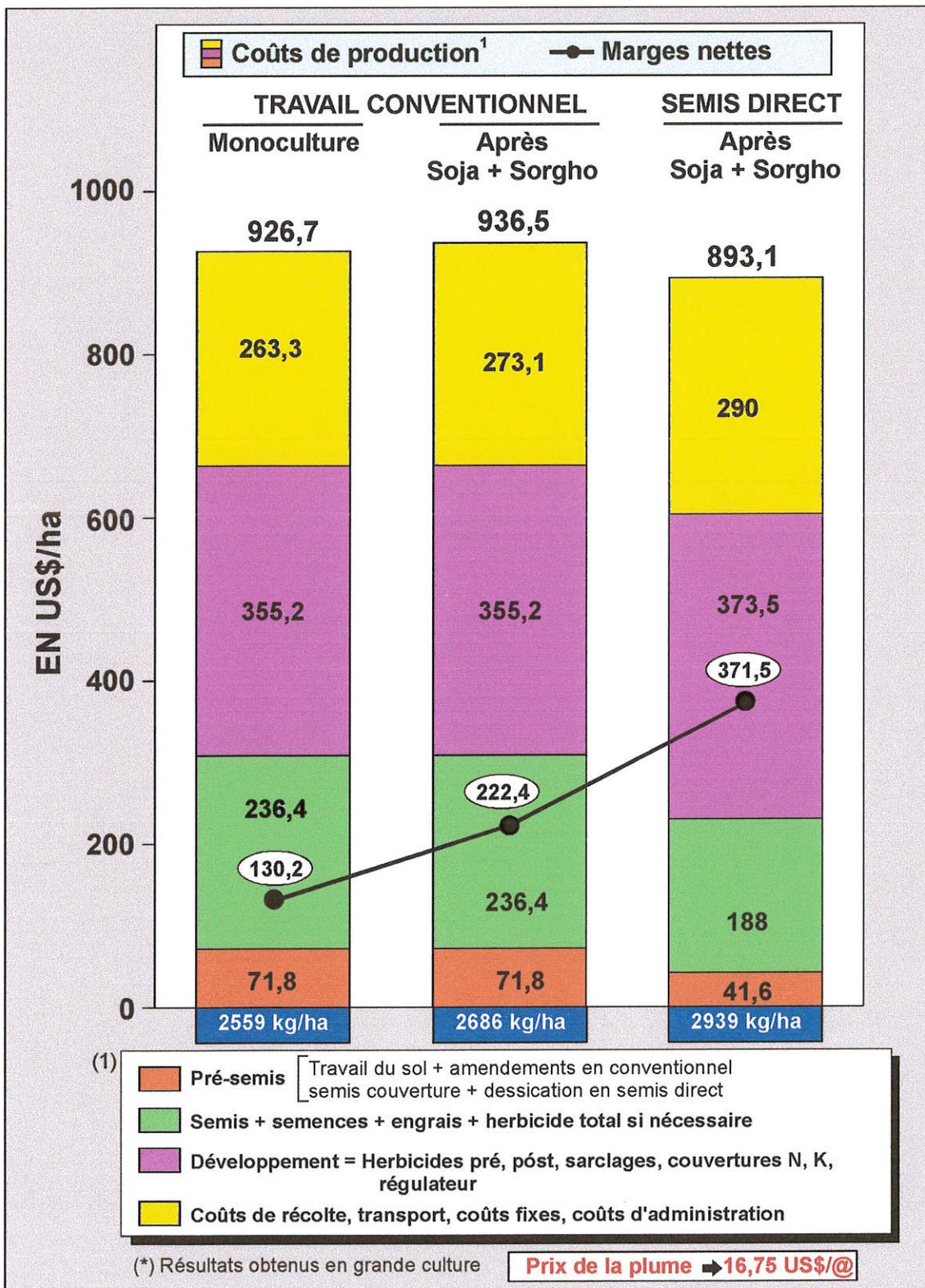
FIG. 59 COÛTS DE PRODUCTION DÉTAILLÉS ET MARGES NETTES EN US\$/ha DE DEUX VARIÉTÉS DE COTON EN FONCTION DE 2 SYSTÈMES DE GESTION DU SOL - SOL FERRALLITIQUE SUR BASALTE, DÉGRADÉ, DE BAS DE PENTE - FAZENDA SANTA JACINTA - ITUVERAVA, SP - 1998



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

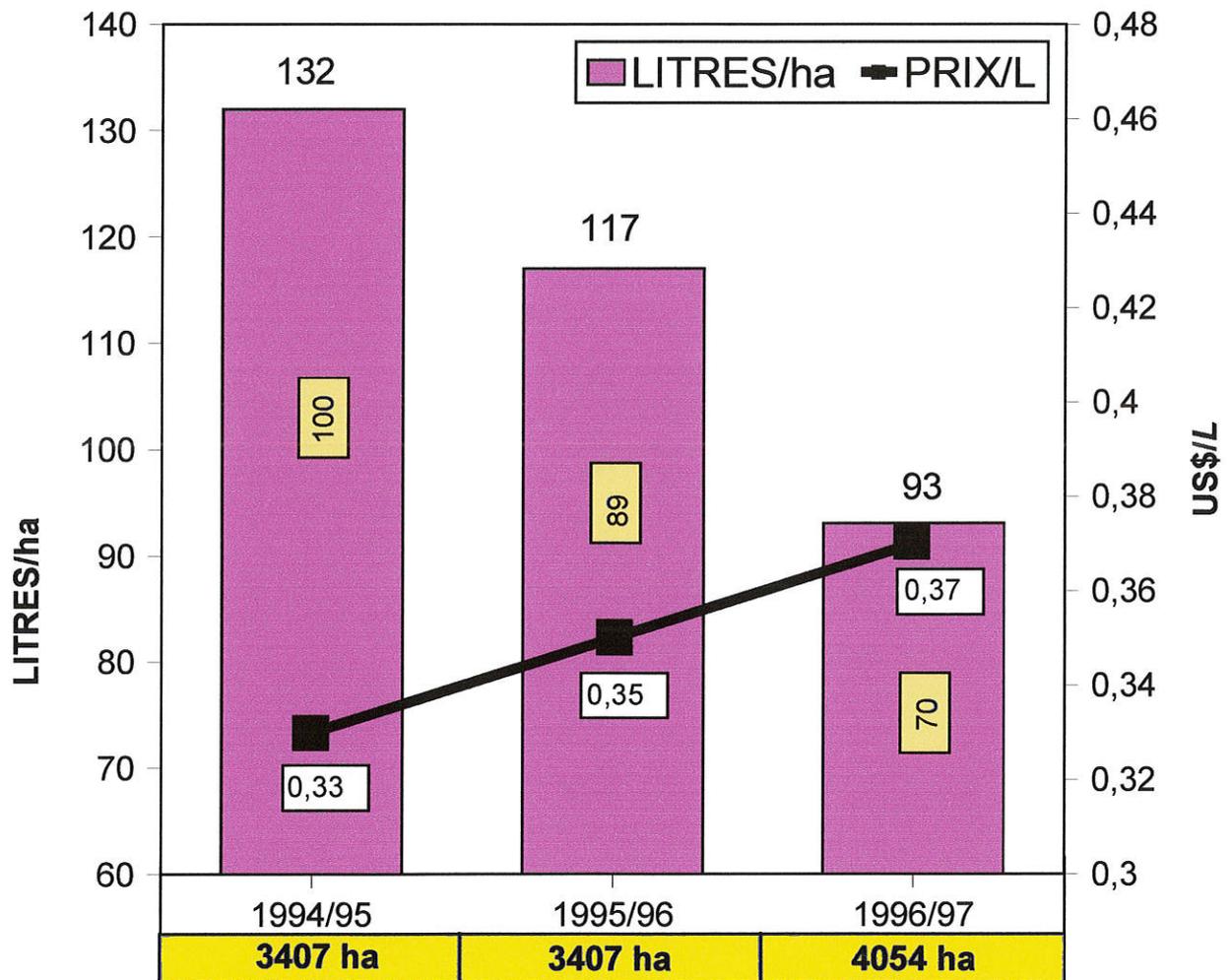
FIG. 60 COÛTS DE PRODUCTION ET MARGES NETTES (en US\$/ha), DU COTONNIER (CV. DELTA OPAL), SOUS 3 MODES DE GESTION DU SOL - Sol ferrallitique rouge-foncé sur basalte -

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. 61 ÉVOLUTION DE LA CONSOMMATION DE DIESEL (L/ha) ET DE SON PRIX/L - FAZENDA CANADÁ - GROUPE MAEDA - 1994 à 1997



SOURCE: Groupe Maeda - Dr. Alceu Massanori Ikeda - Itumbiara - GO - 1997

puissants et souvent coûteux (*banquettes en courbe de niveaux, brise-vent, et...*).

- ces ouvrages, anti-érosifs et les techniques culturales utilisées (*labour notamment*), s'avèrent impuissants à traiter durablement les problèmes de dégradation des sols et du milieu, lorsque la pression démographique augmente dans une période économique en pleine dépression :
 - + les Tanety ou collines s'érodent très vite avec la perte de la couverture végétale herbacée et arbustive,
 - + les aménagements sont détruits à l'aval (*ensablement, rupture des ouvrages, etc...*),
 - + les feux de brousse reprennent,
 - + la pratique de la jachère de moyenne et longue durées, devient impossible,
 - + les innovations agronomiques pour l'essentiel de nature productiviste qui ont été pour la plupart construites sur des intrants chimiques plus ou moins coûteux, sont inapplicables (ONE, 1996).

En outre, un diagnostic initial des états de l'agriculture et du milieu physique sur les Hautes Terres a été réalisé dans le cadre de l'opération blé Kobama (*sur l'initiative de son Directeur, I. Romaroson et de Patrick Julien, 1991*) ; les enquêtes ont mis en évidence, au-delà de la dégradation générale et très rapide du milieu physique, les contraintes majeures suivantes :

- chez les agriculteurs des Hauts Plateaux, les performances agro-économiques et techniques des systèmes de cultures pratiqués sur Tanety (*collines*) des sols acides, 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 H. 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*).

Même si les stratégies paysannes tentent de diversifier l'exploitation intensive des bas fonds par des cultures de contre-saison (*maraîchage, blé, pomme de terre, etc...*) et d'étendre leurs activités de production sur Tanety (*manioc, maïs, patate douce, élevages de porcs, embouche bovine, lait, etc...*), le niveau de productivité du milieu reste extrêmement bas pour des calendriers culturaux toujours fort contraignants et pénibles (*De Rham et al., 1995; Feyt H., Mendez del Vilar P. et al., 1999*).

- . **Performances comparées des systèmes de culture au niveau régional, sur le réseau de sites représentatifs, en milieu semi-contrôlé : les systèmes en semis direct sont toujours les plus productifs, sur tous les types de sols, et progressent d'année en année.**

☞ **Sur les 4 sites de sols acides de basse fertilité (dont les chronoséquences d'ibity et Sambaina) et sur la ferme d'Andranomanelatra**

La productivité moyenne des cultures de maïs, haricot et soja augmentent régulièrement au cours des ans, quels que soient le niveau de fumure utilisé et les conditions climatiques (*Fig.62, 63, 64*).

Les rendements moyens de maïs, passent ainsi, en présence du fumier seul, de 1 100 kg/ha la 1^{ère}. année à plus de 3 000 kg/ha, en 4^{ème}. année sur l'ensemble du réseau des sols acides ; ceux du soja, dans les mêmes conditions, progressent de 1 000 à 2 000 kg/ha et ceux du haricot de 450 à plus de 1 300 kg/ha.

En présence du fumier + fumure minérale, les rendements progressent également tous les ans, pour les 3 cultures.

Sur la culture de maïs, la progression des rendements la plus importante est atteinte avec le fumier seul dans le système en semis direct maïs + légumineuses associées : les rendements triplent sur 4 ans alors qu'ils doublent en présence du fumier + fumure minérale. La technique de l'écobuage², permet l'année de sa réalisation, de doubler les rendements quelque soit le niveau de fumure associé ; ils se maintiennent ensuite stables pour au moins 3 ans sur tous les niveaux de fumure : sur les 4 sites sols acides, plus de 4 000 kg/ha avec fumier seul, 5 400 kg/ha avec fumier + fumure minérale moyenne et 6 200 kg/ha avec fumier + fumure minérale forte (Fig.62). Les courbes d'évolution de la productivité moyenne de maïs entre parcelles en semis direct écobuées et non écobuées se rapprochent à partir de la 4^{ème}. année sur tous les sites (Fig. 62). En semis direct sur sols acides, la technique de l'écobuage avec fumier seul produit autant que la fumure minérale forte + fumier ; cette technique confirme bien qu'elle équivaut à une fumure de fond (*de correction*) et permet de libérer immédiatement une très forte fertilité même en l'absence de fumure minérale complémentaire : elle double les rendements l'année de sa réalisation et apporte ensuite un gain moyen de rendement de maïs compris entre 50 et 60% quel que soit le niveau de fumure minérale utilisée (Fig. 62).

Avec labour, les rendements de maïs sont, non seulement beaucoup plus bas qu'en semis direct, mais extrêmement fluctuants d'une année sur l'autre : en présence du fumier seul, la productivité moyenne sur 5 ans est de 850 kg/ha, contre 2 500 kg/ha pour le système de semis direct avec légumineuses associées, soit seulement le 1/3 de la productivité (Fig. 62).

En présence de la fumure minérale, le maïs avec labour produit en moyenne sur 5 ans, entre 40 et 70% de moins qu'en semis direct sans écobuage et de 2 à 2,5 fois moins qu'en semis direct avec écobuage.

Sur les cultures de soja et haricot, en absence de fumure minérale, les rendements sur labour restent très bas : 350 kg/ha en moyenne pour le haricot, et baissent régulièrement pour le soja où ils passent de 750 kg/ha en 1^{ère}. année à moins de 400 kg/ha en 4^{ème}. année ; à l'inverse sur semis direct, les productivités de soja et haricot progressent régulièrement quel que soit le niveau de fumure : avec fumier seul et avec fumier + fumure minérale moyenne ou forte, la productivité de soja double en 4 ans, celle du haricot triple. Les systèmes en semis direct produisent en moyenne sur 4 ans, pour ces 2 légumineuses, deux fois plus que sur labour avec fumier seul, et entre 60 et 85% de plus en présence de fumure minérale (Fig. 63 et 64).

L'effet du niveau de fumure minérale moyen est toujours significatif par rapport au fumier seul, pour toutes les cultures en semis direct : les gains

² ECOBUAGE = Cuisson localisée du sol sous la ligne de semis, avec des pailles enterrées comme combustible . Cette opération libère une forte fertilité qui correspond à l'application d'une importante fumure de fond.

moyens de productivité sur 4-5 ans vont de 37% pour le maïs et le haricot, à 52% pour le soja ; l'effet de cette fumure minérale de niveau moyen par rapport au fumier seul est nettement plus marqué sur ces 3 cultures lorsqu'elles sont pratiquées avec labour : 140% de gain de rendement moyen sur maïs, 102% sur soja et 67% sur haricot (Fig. 62, 63, 64).

Si l'effet de la fumure minérale forte par rapport à celui de la fumure minérale moyenne est toujours hautement significatif sur maïs pratiqué avec labour, les gains de rendements ne dépassent pas, par contre, 10-12% sur les 3 cultures lorsqu'elles sont conduites en semis direct (Fig. 62, 63, 64).

Performances technico-économiques comparées des systèmes de culture

☞ Utilisation de la main d'oeuvre : le semis direct réduit les temps de travaux, par rapport au labour, de 58 à 65%

Aussi bien pour les petites agricultures familiales qui pratiquent l'agriculture manuelle que pour la grande agriculture mécanisée, les critères qui conditionnent les choix des agriculteurs pour les innovations en matière de systèmes de culture, sont toujours, par ordre décroissant d'intérêt (Séguy L., Bouzinac S. et al., 1996, Séguy L., 2001 a et b) :

- facilité d'exécution, réduction du temps de travail et moindre pénibilité pour les opérations du calendrier cultural les plus contraignantes (*préparation des sols avant semis et entretien des cultures surtout*),
- productivité des cultures et prix payés pour les productions, dans le contexte économique du moment qui conditionne l'utilisation d'intrants,
- entretien de la fertilité et lutte contre l'érosion.

Les figures 65 et 66, relatives 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, mettent en évidence :

- les systèmes en semis direct, consomment beaucoup moins de main d'oeuvre 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.

☞ **Performances économiques comparées des systèmes de culture : des avantages écrasants pour le semis direct**

Ces performances économiques ont été établies chaque année sur chaque site, pour chaque système de culture, par hectare. Nous présenterons ici, à titre d'exemple, les résultats de l'année agricole 1997/98.

Les coûts de productions (**CP**) somment les coûts des semences, des intrants (*engrais, pesticides*) et de la main d'œuvre (**MO**). Les marges brutes (**MB**) représentent la différence entre les recettes (**R**) et les coûts de production, moins la main d'oeuvre [**R - (CP - MO)**]. Les marges nettes (**MN**) sont obtenues par différence entre les recettes et les coûts de production totaux, y compris la main d'œuvre [**R - (CP + MO)**]. La valorisation de la journée de travail (**VJT**) est le résultat de la division de la marge brute par le nombre de journées de travail (**NJT**).

$$\rightarrow \text{VJT} = \frac{\text{MB}}{\text{NJT}}$$

Les résultats économiques relatifs à l'année agricole 1997/98, sont exposés dans les figures 67 à 69; ils mettent en évidence :

+ 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.

+ Les coûts avec fumier seul sont compris entre 1 000 000 et 1 300 000 Fmg/ha (*soit entre 155 et 200 US\$/ha*) ; ils doublent pratiquement avec l'utilisation de la fumure minérale moyenne. L'utilisation de la fumure minérale forte augmente les coûts d'environ 20% par rapport à la fumure minérale moyenne (*1US\$ = 6 451 Fmg*) [Fig. 67].

+ 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. 68).

La culture de soja est celle qui valorise le mieux la fertilisation minérale de niveau moyen.

La valorisation de la journée de travail (Fig. 69)

Cet indicateur économique est très pertinent, pour l'évaluation des performances des systèmes de culture car il prend en compte le temps de travail et la marge brute.

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. 69), 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.

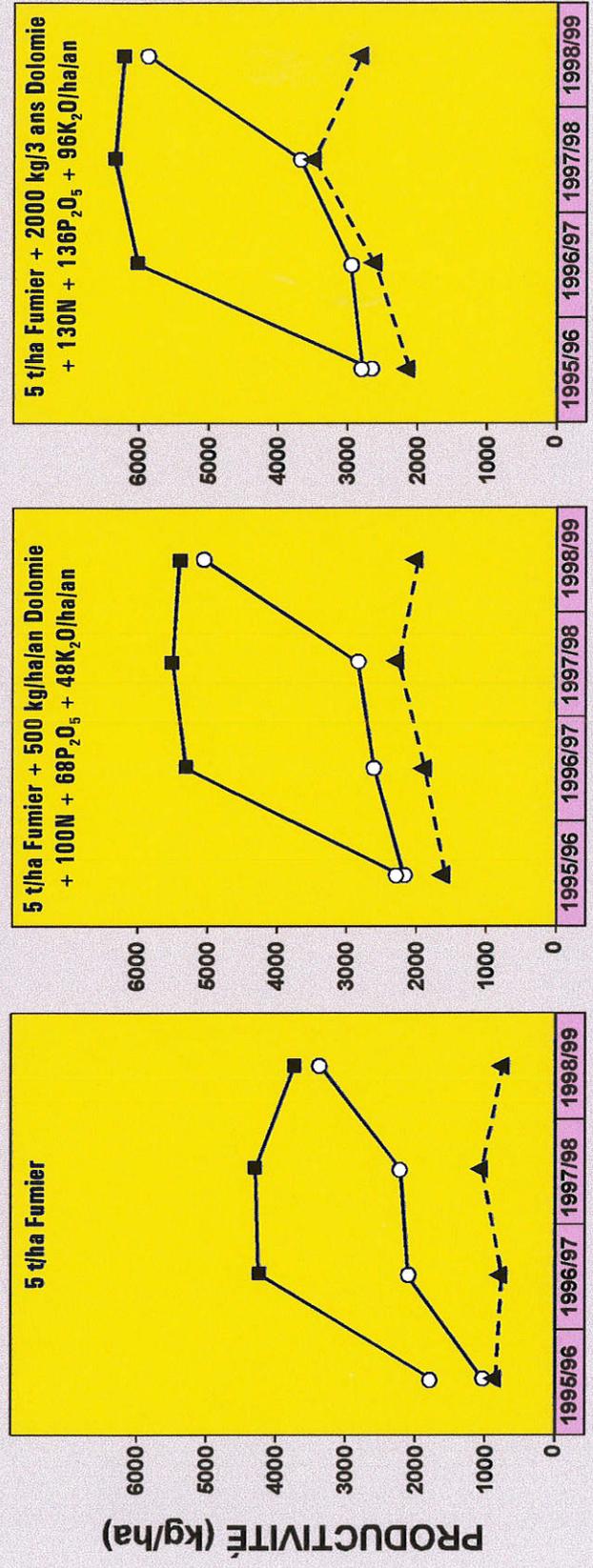
Les systèmes de culture pratiqués avec labour sur sols acides offrent des valorisations de la journée de travail proches du SMIG journalier seulement pour les cultures de maïs et soja.

Les avantages agronomiques et technico-économiques du semis direct par rapport au travail du sol sont écrasants. Cependant, pour en bénéficier pleinement, il est nécessaire de bien contrôler les insectes du sol en Semis Direct, qui peuvent localement affecter négativement la productivité des cultures. Le choix des biomasses de couverture combiné au traitement insecticide des semences et au choix des meilleurs génotypes, constituent les meilleures voies de résolution de ce problème.

FIG. 62 ÉVOLUTION DES RENDEMENTS MOYENS DE MAÏS, 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

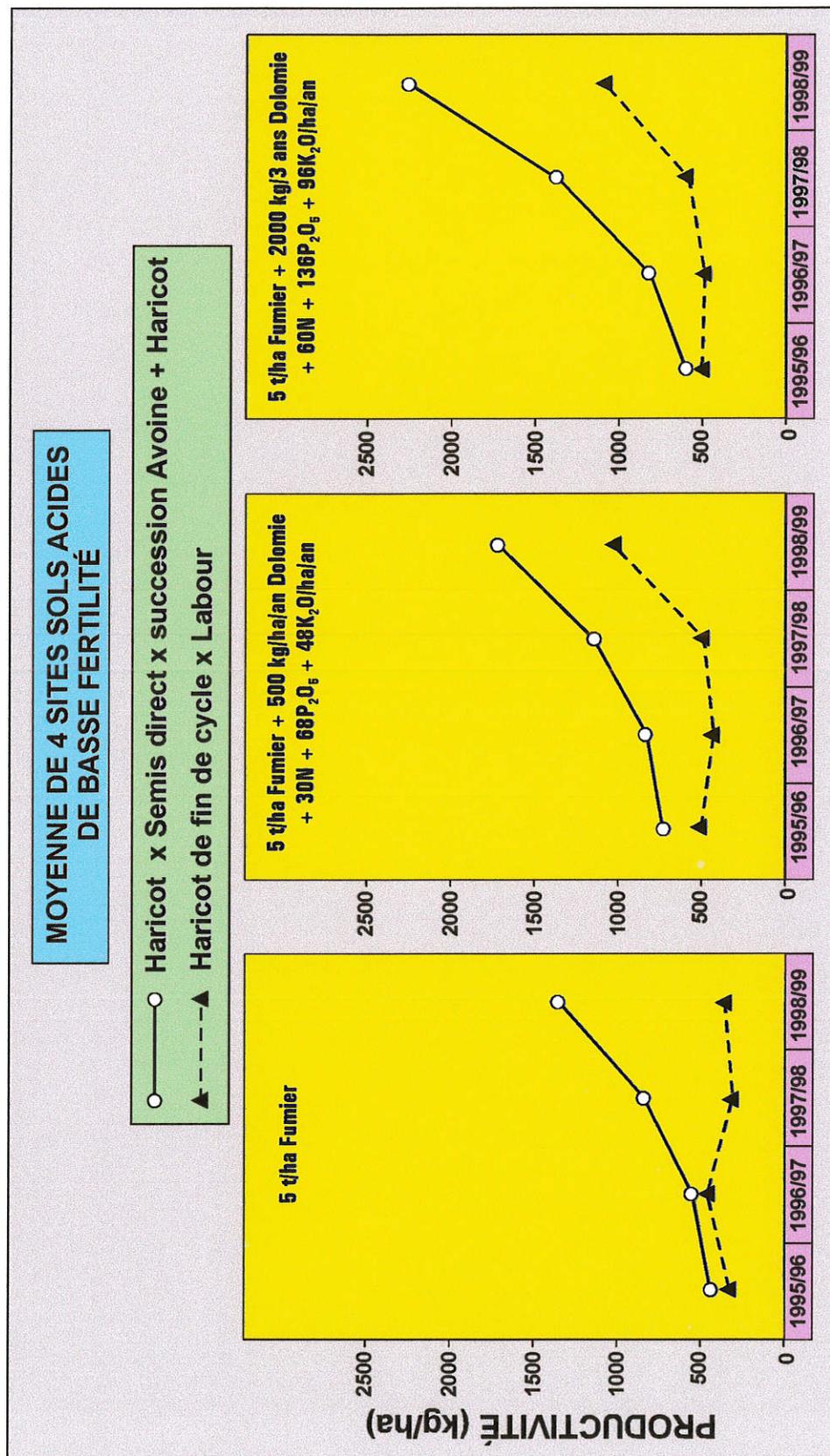
• MOYENNE DE 4 SITES SUR SOLS ACIDES DE BASSE FERTILITÉ

- Semis direct - Maïs + Légumineuses associées
- Semis direct - Maïs + Légumineuses associées + écobuage
- ▲ Labour - Maïs culture pure



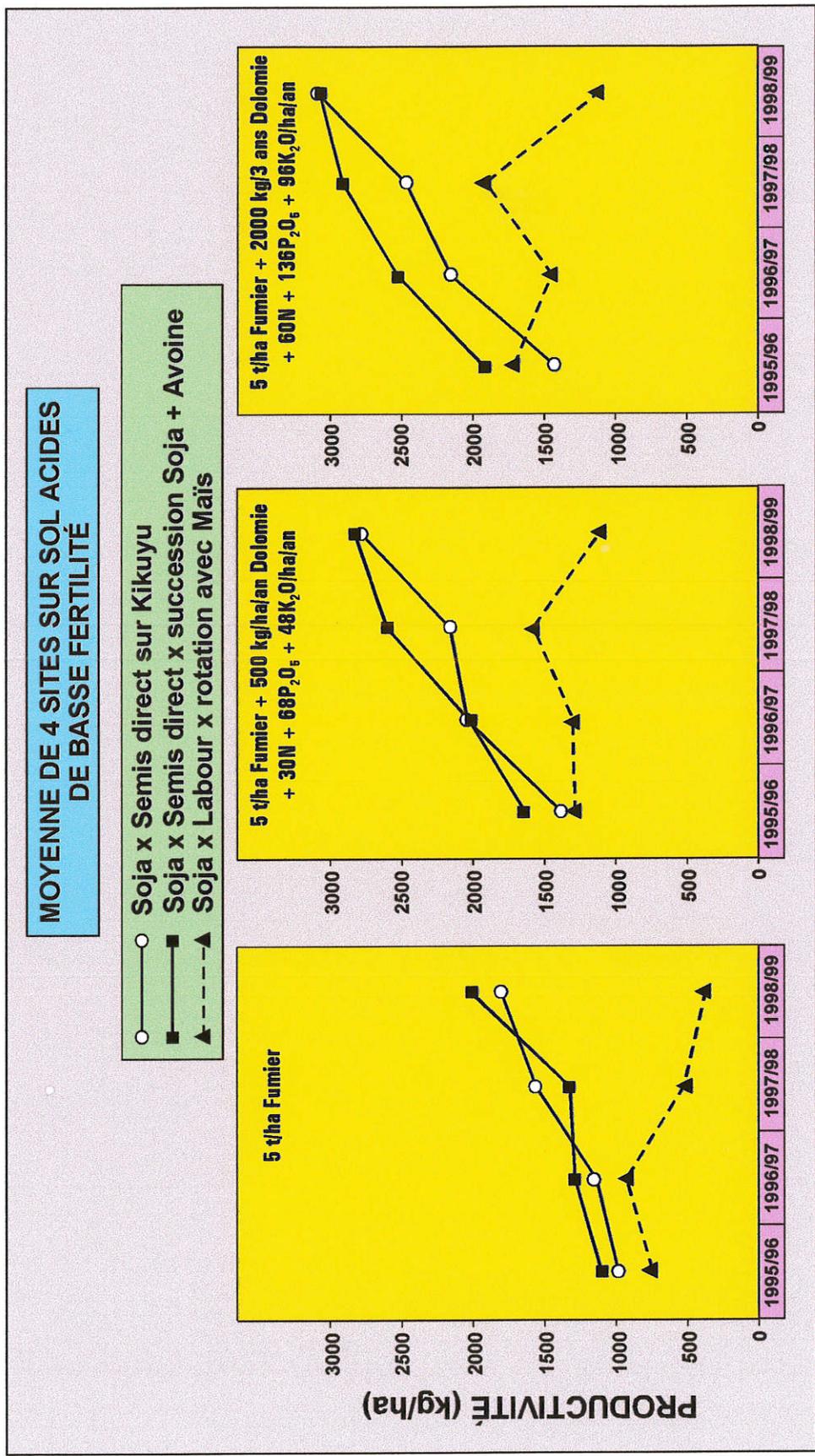
SOURCE: L. Séguy, CIRAD/GEC - ONG TAFE, Antsirabé, 1999

FIG. 63 ÉVOLUTION DES RENDEMENTS MOYENS DE HARICOT, 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



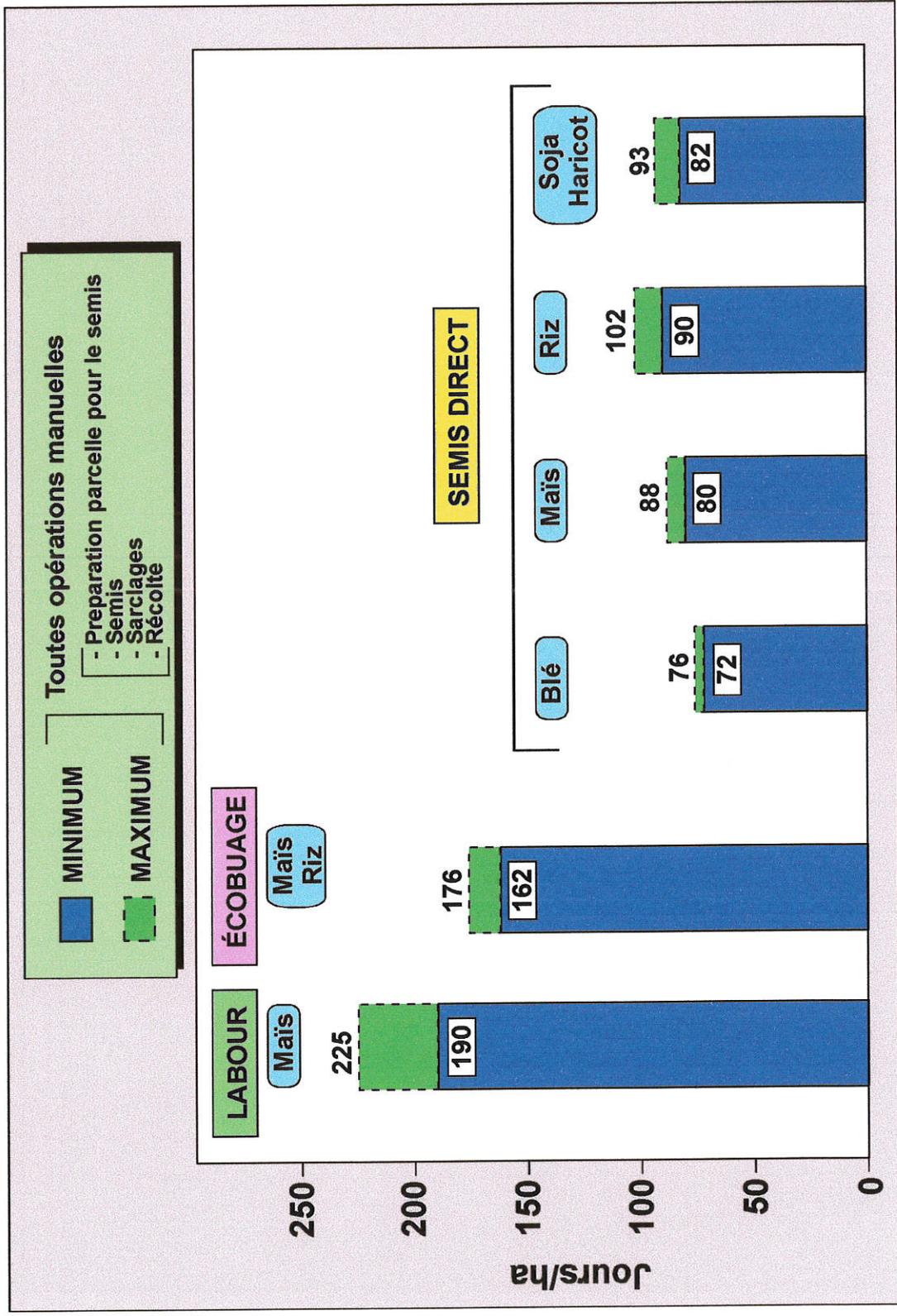
SOURCE: L. Séguy, CIRAD/GEC - ONG TAFI, Antsirabé, 1999

FIG. 64 ÉVOLUTION DES RENDEMENTS MOYENS DE 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



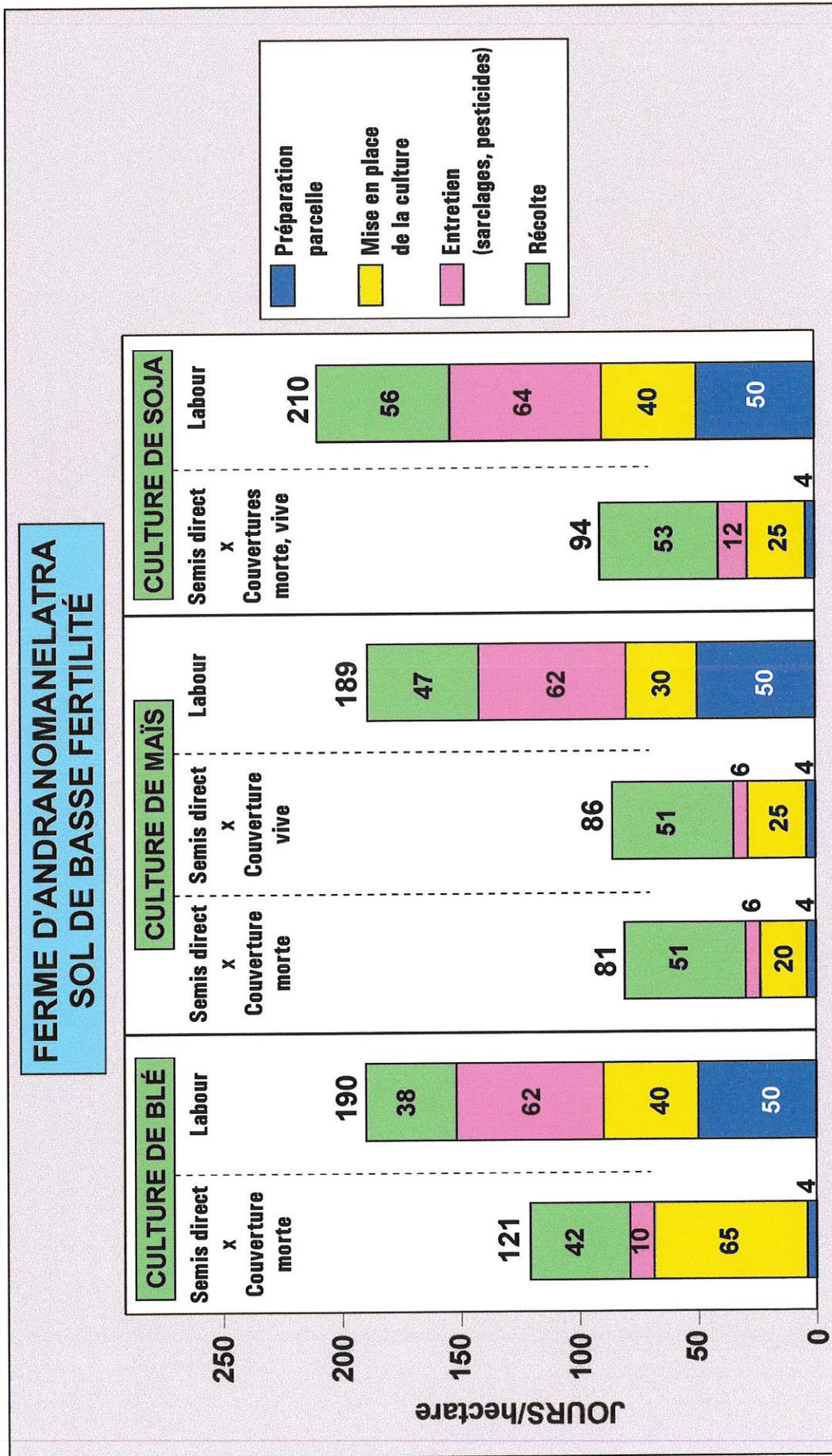
SOURCE: L. Séguy, CIRAD/GEC - ONG TAFE, Antsirabé, 1999

FIG, 65 TEMPS DE TRAVAUX MANUELS PAR ITINÉRAIRE TECHNIQUE EN JOURS/ha, EN FONCTION DES MODES DE GESTION DES SOLS ET DES CULTURES
 - Soils ferrallitiques et volcaniques des hauts plateaux malgaches - Antsirabé, 1994/99



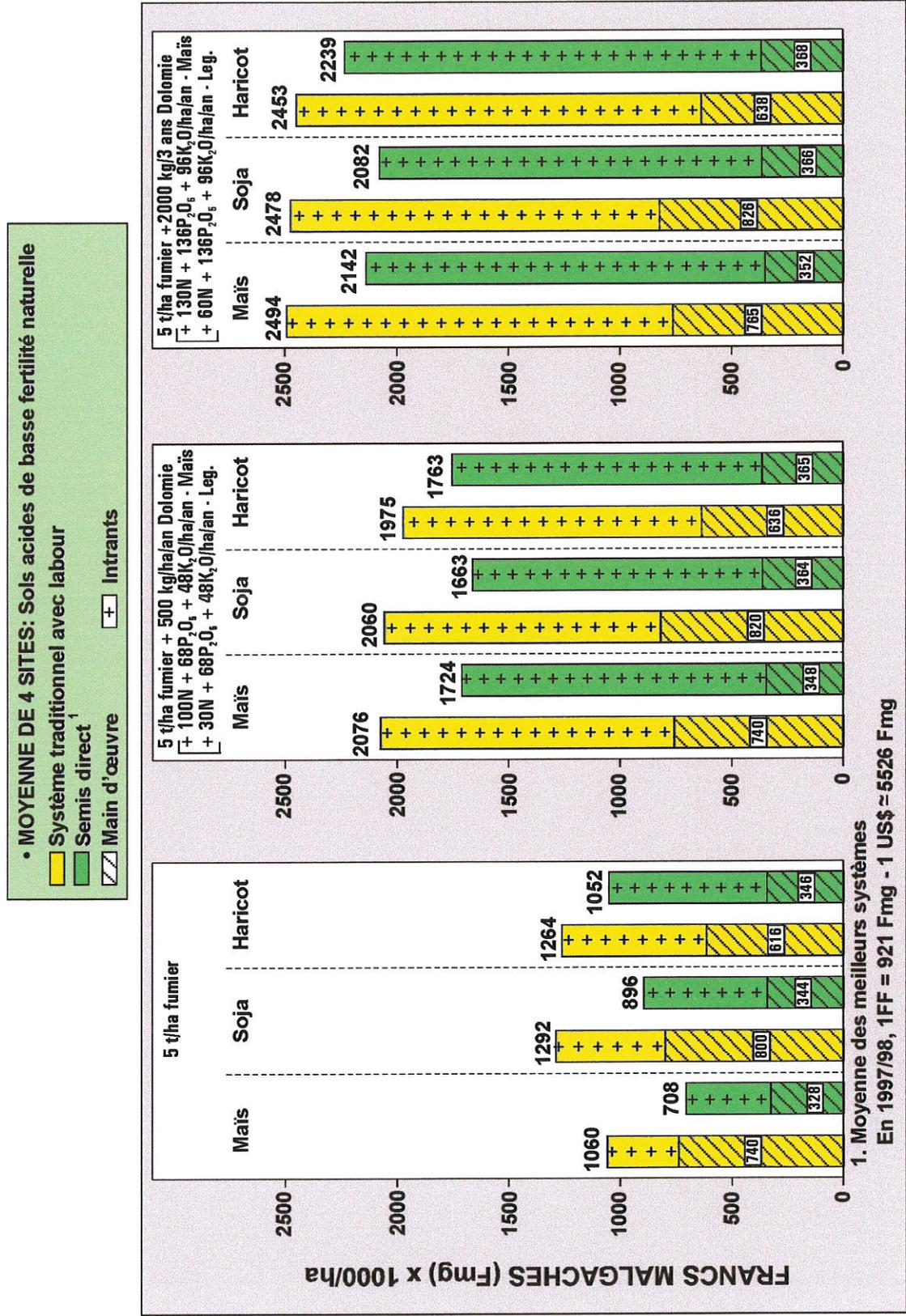
SOURCE: L. Séguy, CIRAD/GEC - ONG Tafa, Antsirabé, 1999

FIG. 66 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

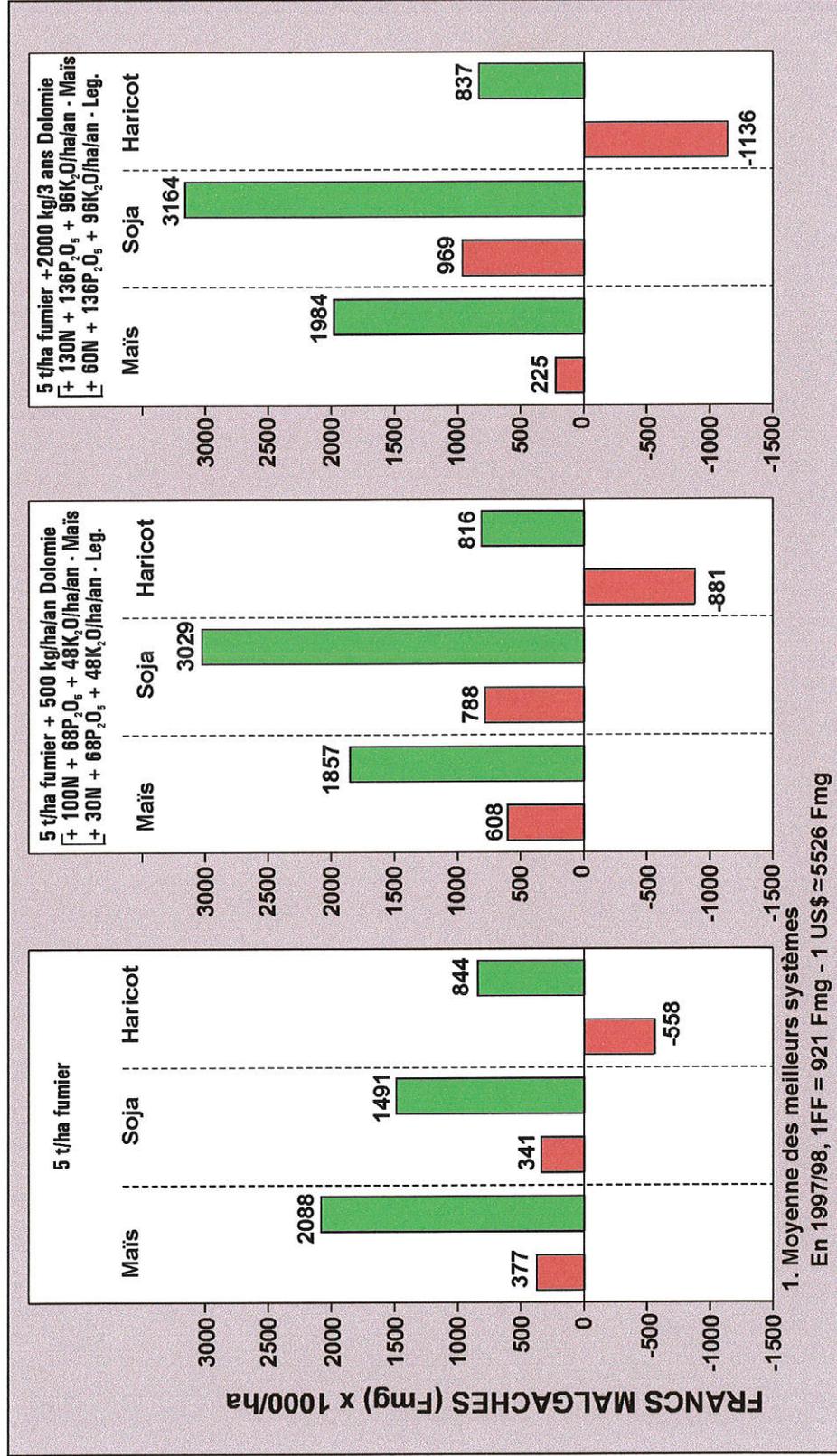
FIG. 67 COÛTS DE PRODUCTION DES CULTURES DE MAÏS, SOJA ET HARICOT EN FONCTION DES MODES DE GESTION DES SOLS ET DES CULTURES, EN AGRICULTURE MANUELLE - Sols ferrallitiques et volcaniques des hauts plateaux malgaches - Antsirabé, 1997/98



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

FIG. 68 MARGES NETTES DES CULTURES DE MAÏS, SOJA ET HARICOT EN FONCTION DES MODES DE GESTION DES SOLS ET DES CULTURES, EN AGRICULTURE MANUELLE - Sols ferrallitiques et volcaniques des hauts plateaux malgaches - Antsirabé, 1997/98

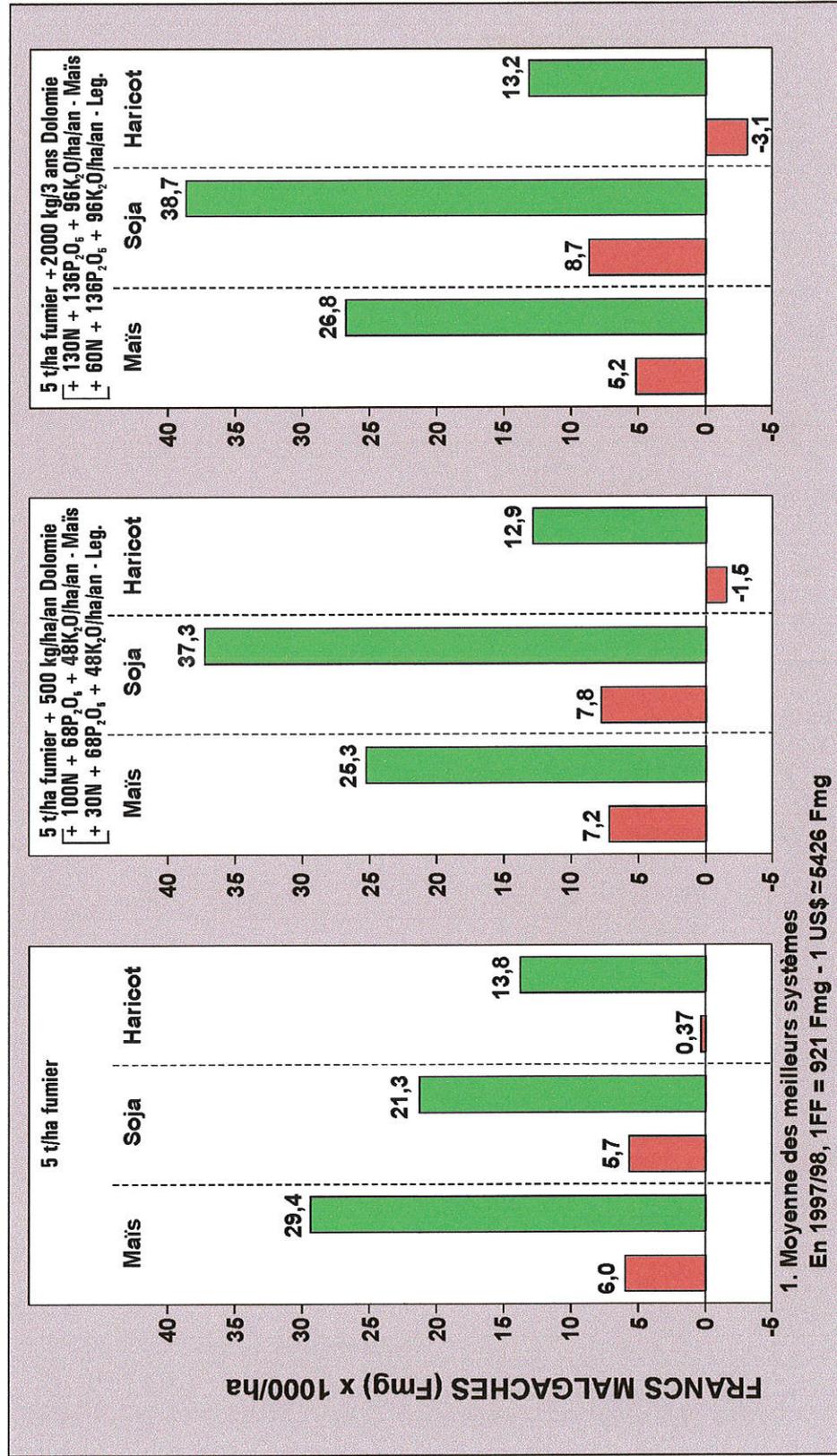
• MOYENNE DE 4 SITES: Sols acides de basse fertilité naturelle
 ■ Système traditionnel avec labour
 ■ Semis direct¹



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

FIG. 69 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 - Sols ferrallitiques et volcaniques des hauts plateaux malgaches - Antsirabé, 1997/98

• MOYENNE DE 4 SITES: Sols acides de basse fertilité naturelle
 ■ Système traditionnel avec labour
 ■ Semis direct¹



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

IV DISCUSSION

La capacité des systèmes de culture à séquestrer le carbone, comme leurs performances agronomiques et technico-économiques dépendent d'abord de la capacité des acteurs de la Recherche et du Développement à construire *in situ* des systèmes de culture toujours plus performants.

L'analyse comparée de la capacité de séquestration de Carbone, en régions tropicales subtropicales et tempérées, faite par J.C.M. Sá et al. (2000 a), à partir des résultats obtenus par différents auteurs de ces grandes éco-régions, l'amène à se poser la question fondamentale suivante : Pourquoi l'accumulation de M.O. en semis direct est-elle souvent plus importante sous climat subtropical et tropical que sous climat tempéré alors que le taux de décomposition de la M.O. y est entre 5 et 10 fois plus élevé ? (Lal R. et Logan T.J., 1995).

J.C.M. Sá et al (2000 a et b) avancent plusieurs hypothèses concordantes et cohérentes pour expliquer ces modes de fonctionnement de la M.O., pour le moins paradoxaux :

- Si la décomposition des résidus culturaux est effectivement beaucoup plus rapide sous climat tropical en fonction des conditions climatiques particulièrement favorables, elle s'accompagne également d'une libération importante de composés organiques qui agissent comme agents d'agrégation ; ce phénomène augmenterait la quantité de macro-agrégats qui assureraient la protection physique de la M.O.. Les polysaccharides joueraient dans ce processus un rôle déterminant comme agent d'agrégation (Neufeldt H. et al., 1999).
- La faculté de cultiver 2 ou même 3 cultures par an rend possible la restitution constante de résidus de différentes compositions phytochimiques = les légumineuses apporteraient surtout les polysaccharides, les graminées fourniraient les polyphénols et leur rotation favoriserait la formation de macro-agrégats stables dans l'horizon superficiel dans lesquels la M.O. serait protégée.

Si les résultats que nous avons obtenus et exposés confirment bien les observations de J.C.M. Sá e al., et peuvent effectivement s'inscrire dans ces hypothèses générales, ils sont déterminés à l'amont par la typologie des systèmes en SD qui constituent à la fois le centre névralgique des explications pertinentes relatives à l'importance du taux de séquestration de C, et le pourvoyeur de systèmes de culture plus performants appropriables par les agriculteurs.

Le Semis Direct (SD) regroupe en fait, sous un même vocable, divers faciès différenciés en fonction de la gestion des matières organiques ; dans la plupart des systèmes de culture pratiques aux U.S.A. et au Sud du Brésil qui concentrent le maximum de surface en SD (33,2 millions ha), ce dernier est réalisé surtout dans les résidus de récolte et fait peu appel à des biomasses annuelles "de renfort" excepté dans l'état du Paraná au Brésil (*Ponta Grossa*) où l'avoine en culture pure ou associée à la vesce, et le ray-grass, renforcent, en hiver, une partie de l'assolement (25%), chaque année.

Dans les TCS (*Techniques Culturelles Simplifiées*), très souvent assimilées, et à tort, au Semis Direct en Europe, la surface du sol est toujours remaniée ; or, cet horizon très superficiel joue, comme sous forêt, un rôle fondamental = interface d'échanges essentiels avec l'atmosphère, c'est aussi un lieu d'accumulation des résidus de récolte, d'action des différents organismes décomposeurs du sol (*fragmentation, digestion, incorporation des résidus*), qui sont détruits à chaque travail du sol même superficiel ; ce dernier peut, en outre, créer des discontinuités physiques nuisibles dans le profil cultural suivant les conditions d'humidité à sa

réalisation ; la structure faite par les "chevelus racinaires" de surface doit se refaire en permanence.

Pour faire face aux conditions exceptionnellement élevées de minéralisation de la M.O. en ZTH, le CIRAD a dû faire appel à de nouveaux concepts de gestion de la M.O., inspirés directement du fonctionnement stable de l'écosystème forestier, dans la mise en pratique desquels, les sols, comme sous la forêt doivent être totalement maintenus couverts et protégés par une couverture végétale et ne sont jamais travaillés (Séguy L., et al., 1998 e).

4.1. LES CONCEPTS NOVATEURS DE GESTION DURABLE DE LA RESSOURCE SOL = LE SEMIS DIRECT SUR COUVERTURE VÉGÉTALE PERMANENTE

Les techniques de semis direct (*sans aucun travail du sol*) développées en zones subtropicales (Brésil) et tempérées (U.S.A.), qui sont construites sur les seuls résidus de récolte, sont insuffisantes en climat tropical pour restaurer rapidement, puis maintenir la fertilité globale du sol, au moindre coût (Séguy L. et al., 1996) :

- Le "réacteur-minéralisation de la M.O.", consomme davantage d'humus qu'il n'en reçoit par les systèmes de culture (*hors prairies et apport exogène de M.O.*) ;
- La restructuration de l'espace poral à partir des seuls systèmes racinaires est insuffisante pour le développement favorable et durable de la plupart des cultures ;
- La couverture du sol n'est plus assurée au bout de quelques semaines, le laissant exposé à l'agression climatique, au passage des outils, et facilitant son envahissement par les adventices (Fig. 70).

A partir de ce constat, le CIRAD-CA a alors conçu et mis en pratique de nouvelles techniques de Semis Direct, inspirées directement du fonctionnement de l'écosystème forestier = le semis direct sur couverture permanente du sol.

Si, dans la construction de ces systèmes, la recherche CIRAD a pris pour modèle global de fonctionnement celui de l'écosystème forestier, elle a dû, pour y parvenir, développer une série de concepts fondamentaux complémentaires, relatifs à la gestion de la M.O. :

- **Le concept de biomasse renouvelable, appelée "Pompe biologique"** ; Cette biomasse "d'intercultures" garantit la couverture permanente du sol, même dans les conditions les plus propices à la minéralisation active de la M.O. (*pluviométrie et températures élevées*) et possède de multiples fonctions essentielles et complémentaires qui peuvent s'exprimer grâce au **Principe et au concept de multifonctionnalité des couvertures** :

⇒ Au-dessus du sol (Fig. 71, 72 et 75) :

- + **Protection totale** et permanente de la surface contre les excès climatiques (*Rôle d'écran régulateur pour l'eau et la température, et d'écran protecteur pour la faune et les molécules de pesticides, d'amortisseur pour le passage des engins et animaux lourds*) ;
- + **Fonction alimentaire** pour la culture principale (*réglée par C/N et teneur en lignine des parties aériennes et racinaires*) et fonction alimentaire pour

les animaux (*intégration de l'élevage, vocation fourragère des biomasses*), pour la faune, la microflore du sol (*Fig. 72*) ;

- + **Fonction de contrôle des adventices** par effets d'ombrage et/ou allélopathiques (*Fig. 75*).

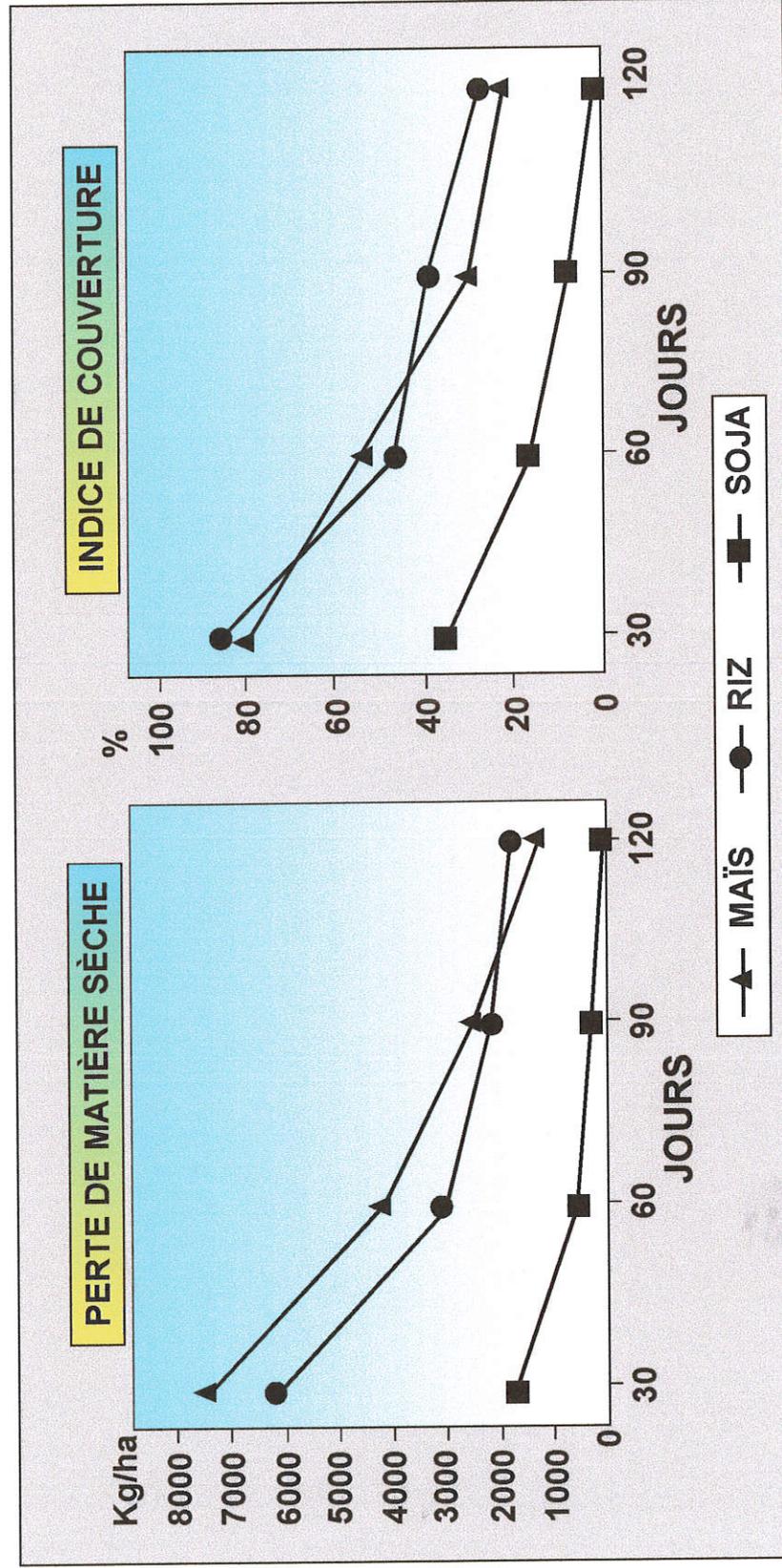
⇒ **Au-dessous du sol (*Fig. 71 à 78*) :**

- + **Restructuration du sol** par un puissant pouvoir agrégeant du système racinaire (*Trame racinaire = trame de sustentation du sol → à l'image du fer dans le béton armé*), qui lui confère des propriétés physiques et biologiques très performantes = qualité de l'espace poral qui est à la fois très filtrant, aérée, assure un ressuyage rapide du profil cultural (*vidange rapide des excès*) et une bonne capacité de rétention en eau (*microporosité*), et en même temps, se montre très résistant à la déformation par la pression exercée par les machines et les animaux (*Fig. 73, 76 et 78*). La restructuration efficace du profil cultural se fait grâce à la production de substances très efficaces pour l'agrégation : les polysaccharides, les endomycorhizes vésiculo-arbusculaires (*Doss D.D. et al., 1989*) ; les espèces *Eleusine coracana* et *Brachiaria ruziziensis, decumbens, humidicola*, sont exemplaires à cet égard où les racines sont fortement engainées dans un manchon protecteur de microagrégats.
- + **Recyclage des nutriments lixiviés** en profondeurs, en particulier les nitrates, la potasse et le calcium (*fermeture du système "sol - Cultures"*), qui sont remontés en surface grâce aux systèmes racinaires des biomasses "pompes biologiques" très puissants à la fois dans leur capacité de développement en profondeur, et dans leur fort pouvoir d'interception des nutriments et molécules organiques (*Fig. 74*);
- + **Utilisation de l'eau profonde** du sol, en dessous de la zone de pompage des cultures commerciales à l'image de l'écosystème forestier en saison sèche. Cette capacité de se connecter à la réserve d'eau profonde permet de produire de la biomasse verte en saison sèche, d'injecter du carbone en continu dans le profil cultural et d'entretenir une activité biologique soutenue toute l'année (*cf. Fig. 76 et 78*).
- + **Capacité à mobiliser de la fertilité** : extraction de nutriments par le système racinaire, puis remise à la disposition des cultures par minéralisation de la matière sèche, et ceci, surtout en conditions de sols considérées comme improductives pour la plupart des cultures commerciales et/ou alimentaires, industrielles (*Les espèces des genres Eleusine et Brachiaria fixent de l'azote dans leurs rhizosphères grâce à des bactéries non symbiotiques et sont capables grâce à l'endomycorhisation vésiculo-arbusculaire de mobiliser des formes insolubles de phosphore*).
- + **Développement d'une forte activité biologique** soutenue toute l'année : les puissants systèmes racinaires de sustentation du sol constituent des milieux privilégiés, car protégés et jamais remaniés, et sont ainsi propices au développement et à l'activité de la faune et de la microflore.
- + **Pouvoir désintoxiquant des biomasses végétales** de couverture (biorémédiation) = contre la toxicité aluminique par exemple (*le genre Brachiaria*) ou contre la salinité (*acides organiques divers libérés lors de la minéralisation des biomasses de couverture qui exercent un fort pouvoir neutralisant, complexant ; Miyazawa M., Pavan M.A., Franchini J.C., 2000*).

FIG. 70 ■ ÉVOLUTIONS

- De la perte de matière sèche des résidus de récolte,
- De l'indice de couverture du sol,

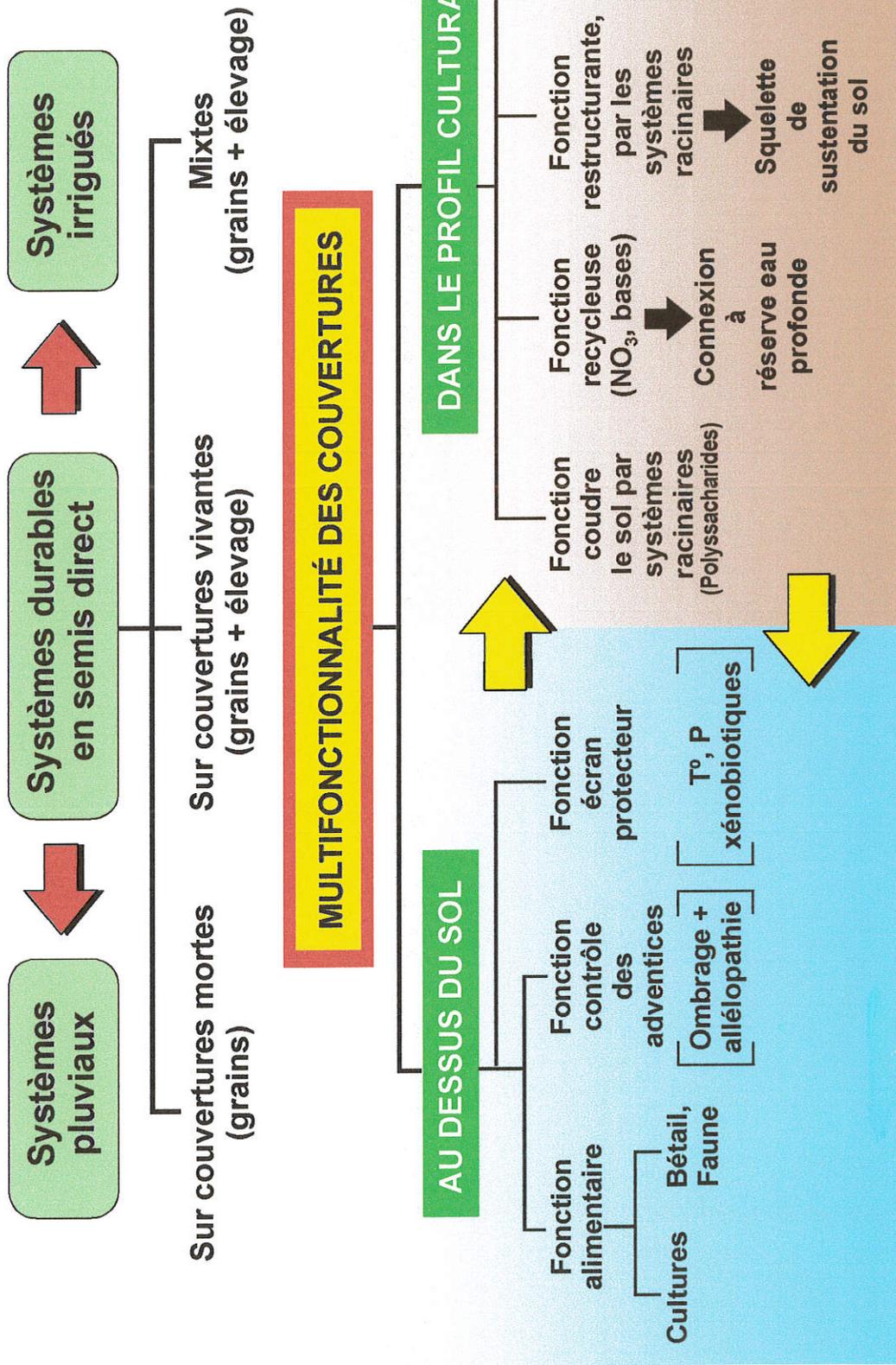
→ Résidus de récolte de Maïs, Riz, Soja, en semis direct



(*) Écologie des cerrados humides. Fazenda Progresso - Lucas do Rio Verde - MT - 1985/89

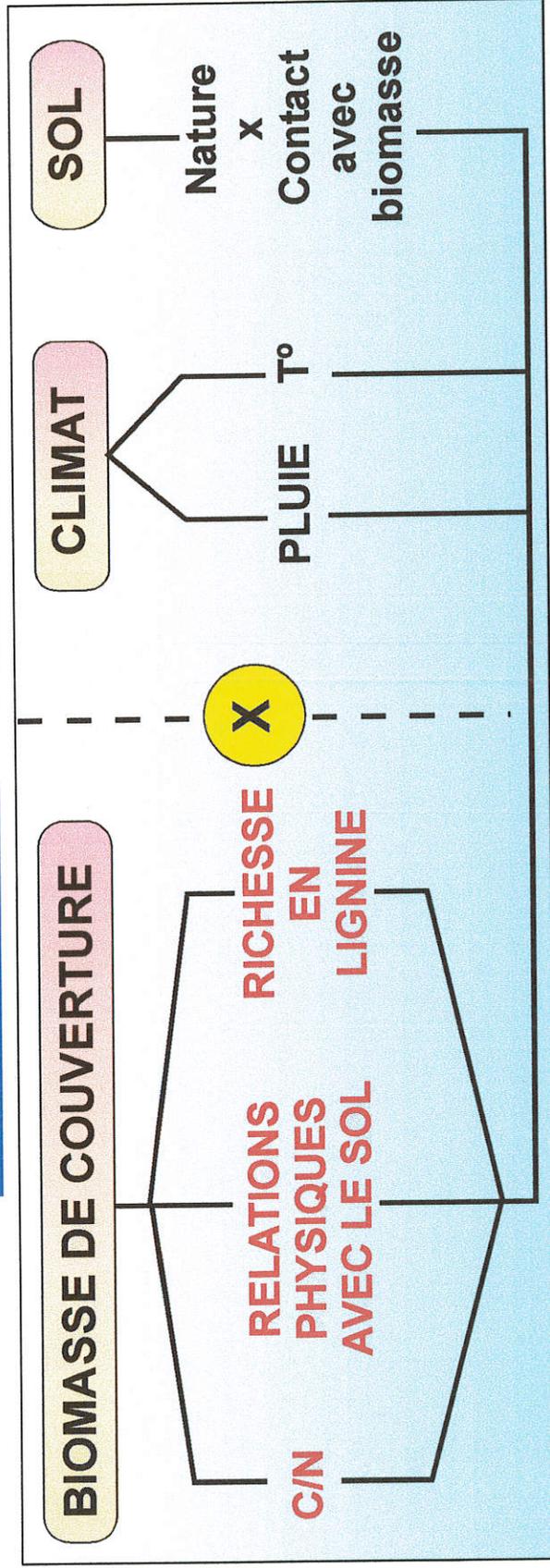
SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA: M. Matsubara - 1985/89

FIG. 71 LE CONCEPT DE MULTIFONCTIONNALITÉ DES BIOMASSES DE COUVERTURE, EN SEMIS DIRECT

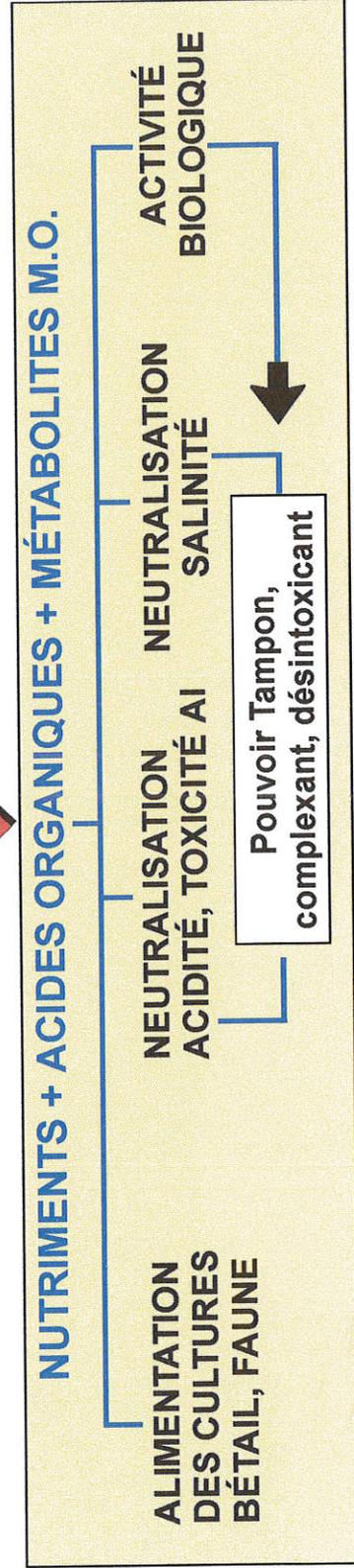


SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA; A. C. Maronezzi, AGRONORTE, Sinop/MT - 1978/2000

FIG. 72 FONCTION ALIMENTAIRE



VITESSE MINÉRALISATION

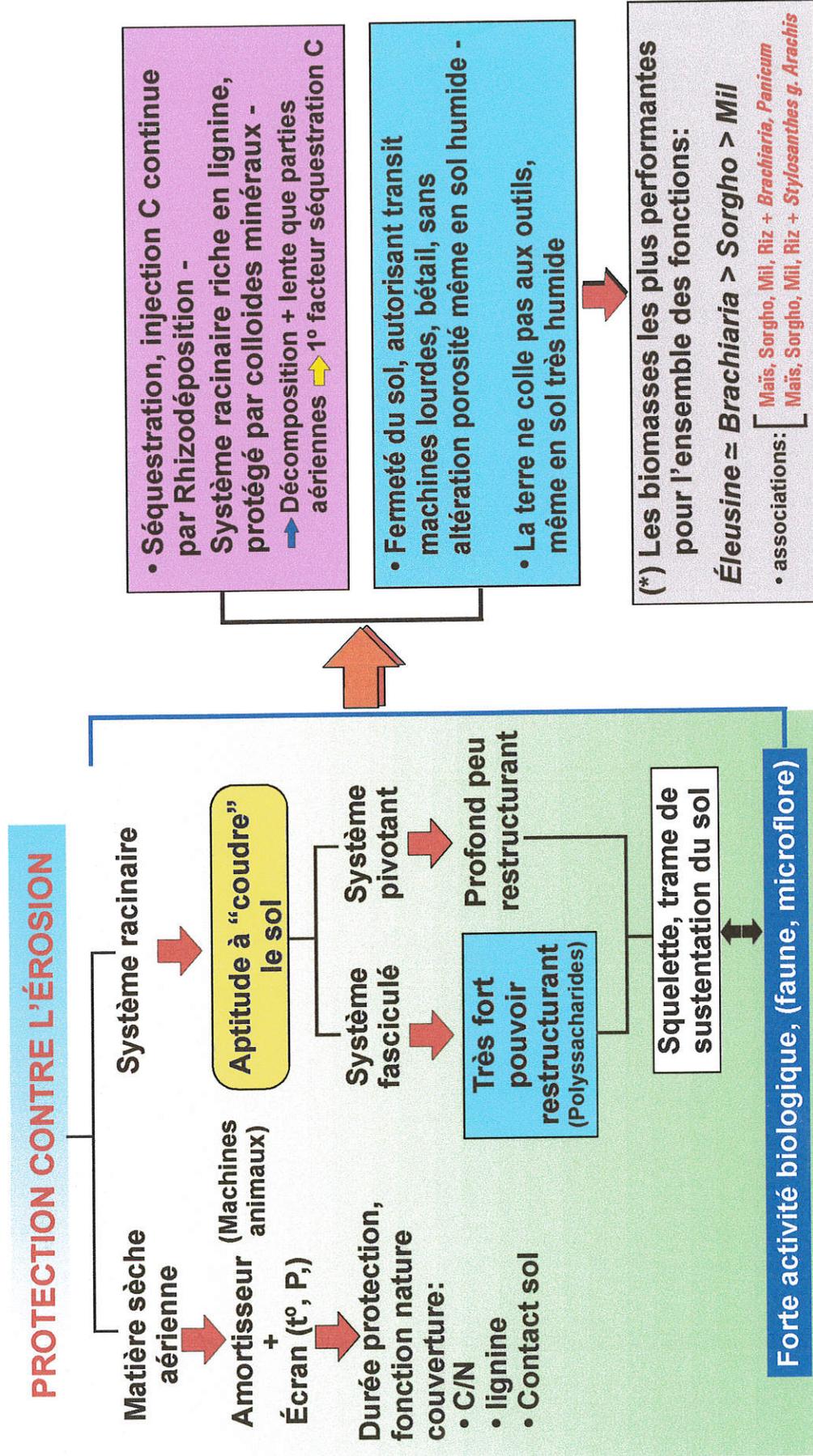


SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA; A. C. Maronezzi, AGRONORTE, Sinop/MT - 1978/2000

FIG. 73

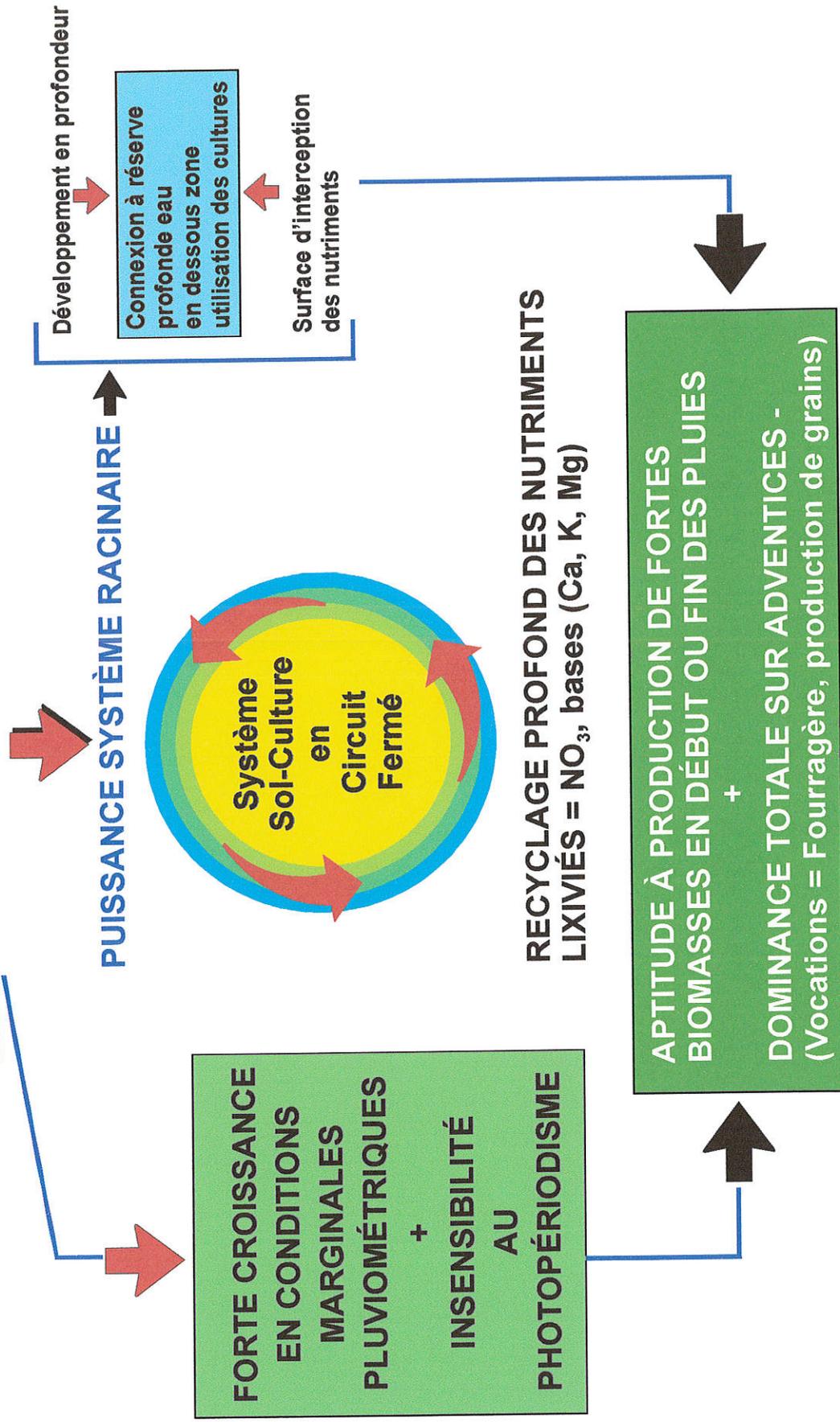
FONCTIONS:

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



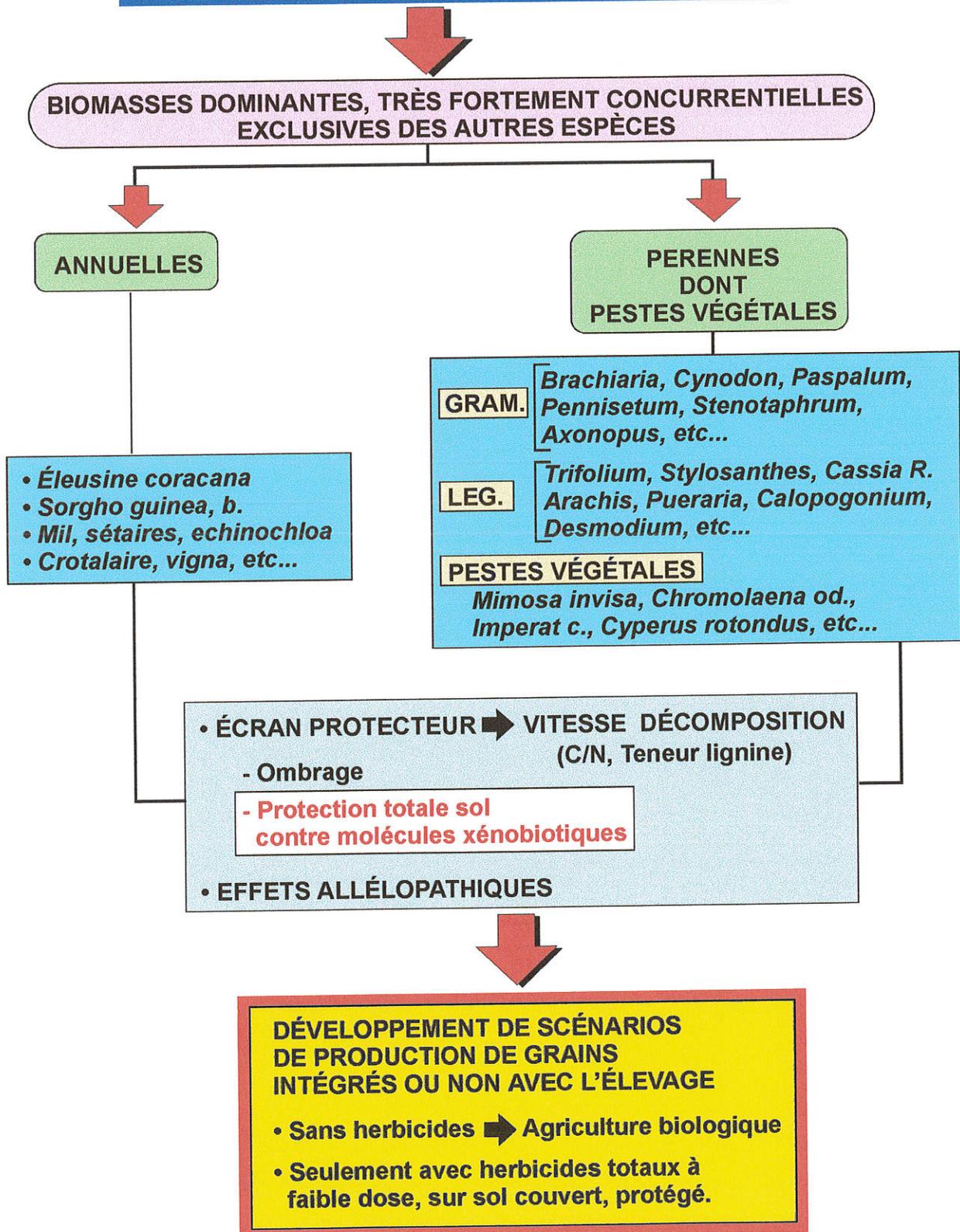
SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA; A. C. Maronezzi, AGRONORTE, Sinop/MT - 1978/2000

FIG, 74 FONCTION RECYCLEUSE



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

FIG. 75 FONCTION: CONTRÔLE DES ADVENTICES



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

Enfin, le maintien d'une couverture totale et permanente de la surface du sol représente la meilleure et la plus efficace protection contre la pollution par les pesticides (*xénobiotiques*), pour tous les types d'agriculture =

- **En cousant véritablement le sol** par des trames racinaires très puissantes et structurantes, le risque d'entraînement des colloïdes et des autres composants du sol est totalement éliminé (*contrôle parfait des externalités solides, exceptés les solutés*).
- **L'épais écran protecteur**, toujours maintenu au-dessus de la surface du sol, intercepte totalement les produits pesticides (*il coexiste toujours, sur la surface, même en ZTH où le réacteur "minéralisation" est le plus actif en intensité et durée, à la fois : des résidus les plus riches en lignine en voie d'humification restant des cycles précédents, et les "pompes biologiques" vertes qui produisent entre 7 et plus de 15 tonnes/ha de matière sèche ; soit un écran intercepteur vert, vivant, de 35 à plus de 70 tonnes/ha au moment de l'application des herbicides totaux*). La surface du sol est ainsi totalement à l'abri du contact direct avec les pesticides.
- **Les volumes de bouillies d'herbicide total** peuvent être réduits à moins de 50 l/ha et sont absorbés en totalité par la biomasse verte avant de toucher le sol,
- **En développant une très forte activité biologique** dans l'horizon nourricier 0-5 cm, toujours protégé de l'agression anthropique, le système de Semis Direct sur couverture vivante dispose d'un puissant appareil de dégradation à l'égard des quelques molécules qui pourraient éventuellement franchir l'écran protecteur de surface.
Les Semis Direct sur couverture permanente, apparaît sans conteste, une manière de produire plus proprement et, moyennant quelques ajustements techniques, les petites agricultures tropicales devraient pouvoir en bénéficier et voir ainsi leur rémunération augmenter (*argument important de lutte contre la pauvreté*).

4.2. ESSAI DE SYNTHÈSE

Il portera essentiellement sur le cas de la ZTH, meilleur simulateur de la dynamique des matières organiques et sur lequel nous avons accumulé le plus d'expérience.

La gestion de la M.O., renouvelable à court terme et au moindre coût, est au cœur de la construction agro-économique des systèmes de culture durables en SD, plus attractifs pour les agriculteurs, dans lesquels les outils biologiques ont remplacé les outils mécaniques.

Dans les systèmes de SD qui ont été imaginés en milieu tempéré et subtropical, ce sont principalement les résidus de récolte des cultures commerciales (*parties aériennes et racinaires*) qui assurent la bonne marche du SD et déterminent son efficacité et sa qualité (*productivité, capacité à séquestrer le carbone, à recycler les nitrates et les bases, à dégrader les xénobiotiques*). La part donnée aux plantes de couverture dans ces systèmes (*intercultures*) ne porte le plus souvent que sur une faible partie de l'assolement, et le "renfort" de ces "pompes biologiques" pour le fonctionnement global du système SD, n'est de ce fait que périodique, non annuel.

En ZTH, où le "réacteur de minéralisation de la M.O." rencontre des conditions idéales pour son activité maximale, la notion de "renfort multifonctionnel" à partir de plantes de couverture puissantes qui doivent assurer leurs fonctions chaque année, s'est imposé comme une nécessité incontournable pour, d'abord, asseoir un Semis Direct plus performant, plus

stable que tout autre système avec travail du sol, et surtout pour le faire progresser constamment par la suite sur tous les plans : ceux qui intéressent directement l'agriculture et les agriculteurs (*productivité, critères technico-économiques*) et ceux qui confèrent au sol sa capacité à produire plus, durablement, et au moindre coût (*sa qualité biologique en général et son aptitude à séquestrer le carbone en particulier*).

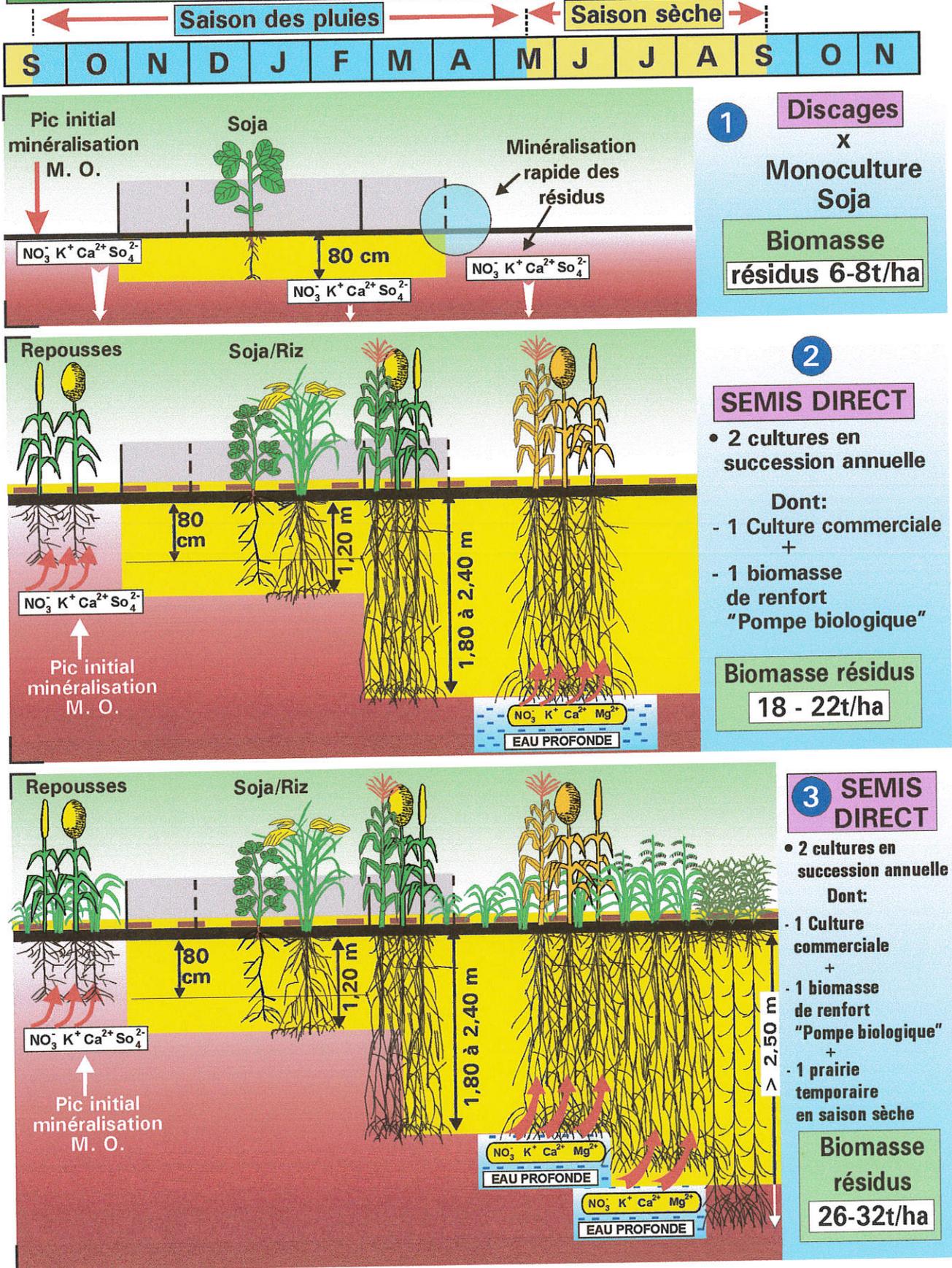
- . Les modes de gestion du sol et des cultures en SD, ont permis, en réalité, de mobiliser une part croissante de la capacité du sol à produire de la matière sèche par voie organo-biologique. Les meilleurs systèmes de culture en SD ont ainsi augmenté graduellement leur capacité de production de biomasse annuelle renouvelable, même en présence de faibles niveaux de fumure minérale appliqués aux cultures commerciales. Le rythme des restitutions de matière sèche au sol (*dessus et dans le profil cultural*) a dépassé rapidement celui des capacités de minéralisation : la M.O. du sol a alors pu s'accumuler.
- . Dans la construction *in situ* de ces systèmes en SD, qui séquestrent efficacement le carbone, la Recherche a dû agir dans une démarche holistique, à la fois =
 - Sur la capacité du sol à produire toujours davantage de biomasse renouvelable au moindre coût (*au-dessus du sol et dans le profil cultural*) ;
 - Sur la qualité de la biomasse produite aussi bien au-dessus du sol que dans le profil cultural, pour que le processus d'accumulation de la M.O. soit supérieur à celui de sa minéralisation.
- . Pour ce qui concerne l'aspect **quantitatif** de biomasse annuelle produite, nous avons introduit dans les rotations et successions annuelles des biomasses de "renfort" ou "pompes biologiques" qui remplissent tout l'espace hydrique disponible avant et après les cultures commerciales, et qui produisent dans ces conditions pluviométriques souvent aléatoires, d'énormes quantités de biomasse sèche sur le sol et dans le profil cultural, qui ferment le système sol-cultures chaque année, et qui régularisent, tamponnent les flux d'échanges et d'énergie avec l'atmosphère (*t^o, h*), à l'image de l'écosystème forestier.

Nous sommes ainsi passés progressivement du système de monoculture de soja avec travail du sol, faible pourvoyeur annuel de biomasse de nature fugace, à des systèmes à une seule culture annuelle bâtis sur la rotation soja-céréales (*Riz, maïs*) avec travail du sol, puis à des systèmes alternant 2 cultures annuelles en succession en SD une année avec une seule culture l'année suivante, puis à des systèmes à 2 cultures annuelles en succession pratiqués en Semis Direct continu, et enfin à des systèmes à 3 cultures par an, toujours en SD continu, qui comprennent : 1 culture commerciale (*soja, riz, maïs*), suivie de céréales "pompes biologiques" (*maïs, mil, sorgho, Eleusine*) associées à des espèces fourragères qui sont également de puissantes "pompes biologiques" et qui produisent d'importantes biomasses en saison sèche qui peuvent être exploitées comme engrais vert ou pâturage (*genres Brachiarias, Stylosanthes*) [cf. Fig. 76 et 77].

Dans ces systèmes en SD, comme dans l'écosystème forestier, l'association "céréale pompe biologique + espèce fourragère" qui succède à la culture commerciale, utilise l'eau profonde du sol, très largement en dessous de 2 m de profondeur. Cette association a aussi une énorme capacité de reprise végétative aux premières pluies de la saison suivante ou aux pluies parasites de la saison sèche, assurant ainsi une couverture complète et permanente du sol.

Nous avons donc créé progressivement des systèmes en SD à 3 cultures par an, dont l'action sur la ressource sol déborde très largement la saison des pluies

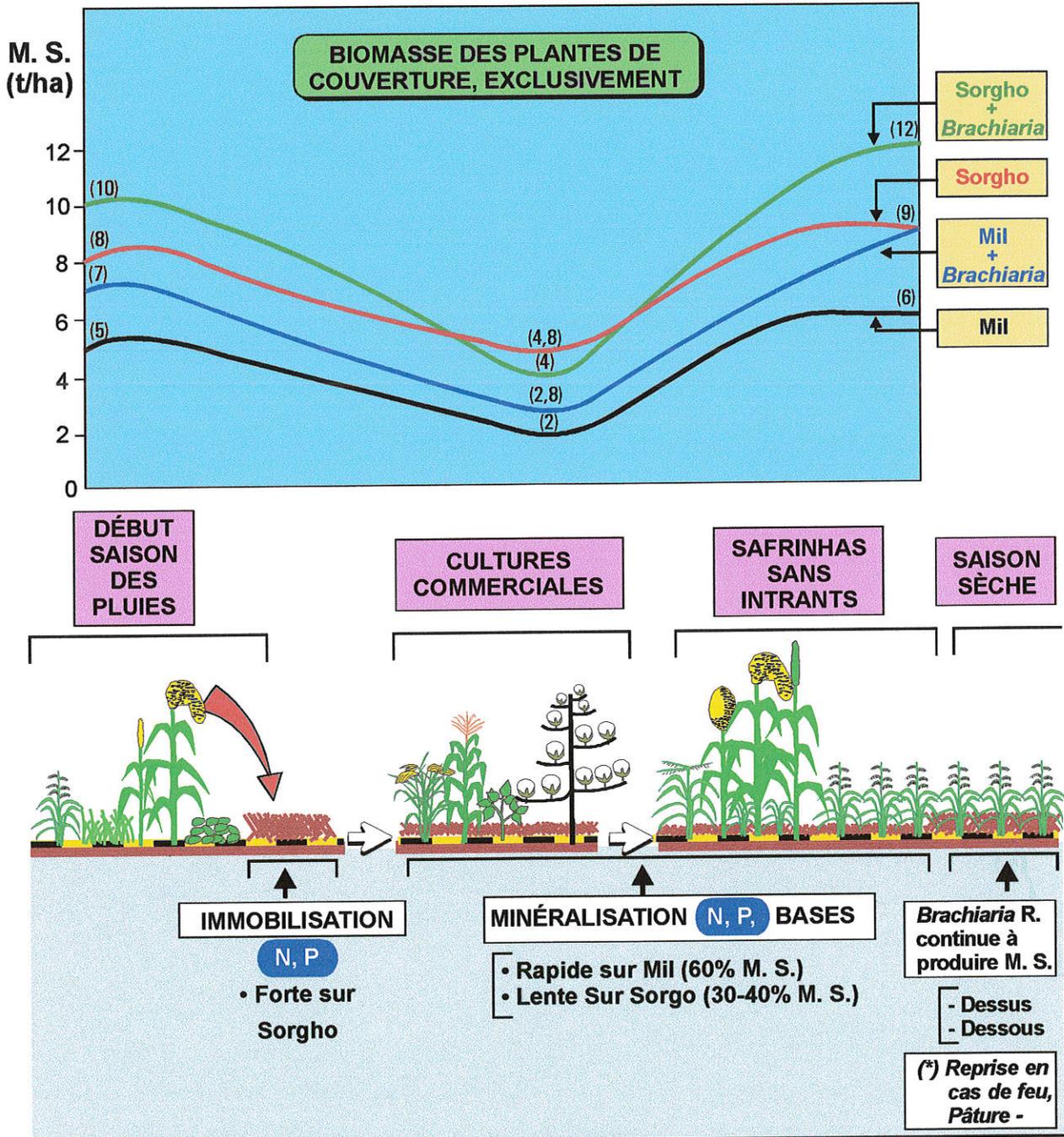
FIG. 76 ÉVOLUTION DES SYSTÈMES DE CULTURE, DE LA BIOMASSE DE RÉSIDUS ET DE L'UTILISATION DES RESSOURCES HYDRIQUES
Écologie des cerrados et forêts humides du Centre Nord Mato Grosso - 1986/2000



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

FIG. 77 ÉVOLUTION DE LA MATIÈRE SÈCHE DES PLANTES DE COUVERTURE AU DESSUS DU SOL DANS LES SYSTÈMES DE CULTURE EN FONCTION DU TYPE DE COUVERTURE (*Pompe biologique*)

- Sols ferrallitiques de la Zone Tropicale Humide du Centre Nord Mato Grosso - Brésil -



SOURCE: L. Ségué, S. Bouzinac, CIRAD CA - GEC;; AGRONORTE - Sorriso/MT - 1998

initial de 2,5% dans l'horizon 0-20 cm, si l'on fait l'hypothèse d'un coefficient d'humification moyen minimum de 25% appliqué aux restitutions, la quantité d'humus formée serait comprise entre 6,25 et 7,5 t/ha/an.

La séquestration de carbone avec cette hypothèse serait alors comprise entre 2,5 et 2,75 Mg.C ha⁻¹ an⁻¹ dans l'horizon 0-20 cm, valeurs voisines de celles mesurées *in situ* pour les systèmes en SD les plus productifs en matière sèche restituée (Cf. Fig. 79).

Pour ce qui concerne la **qualité des biomasses** de couverture, la nécessité de maintenir la surface du sol toujours couverte pour le contrôle des adventices au moindre coût nous a conduit à utiliser les biomasses de graminées à C/N élevé et fortes teneurs en lignine, résistantes à la minéralisation, de préférence à celles de légumineuses à C/N bas, de rapide minéralisation qui laissent le sol découvert très vite.

Nos observations et mesures pluriannuelles effectuées à ce sujet sur l'évolution des couvertures du sol (*vitesse de minéralisation, bilan annuel*. Cf. annexe), et sur le suivi du profil cultural dans les meilleurs systèmes de culture en SD, montrent, qu'en climat chaud et humide :

- Les énormes quantités de biomasse produite qui retournent au sol sont "digérées" en fonction du rapport C/N de la biomasse, de sa teneur en lignine et de la nature du contact avec le sol qui conditionne l'intervention de la faune et de la microflore de transformation ; ce dernier critère, pour prévoir la vitesse de minéralisation est également déterminant : des biomasses de légumineuses à C/N moyen, pauvres en lignine dans les feuilles, mais riches en lignine dans les lianes, de type *Pueraria* ou *Calopogonium*, qui possèdent une structure feuilletée une fois desséchées, sont plus lentes à se minéraliser qu'une biomasse de mil à C/N et teneur en lignine beaucoup plus élevés ; dans la structure feuilletée, très légère, très aérée, le contact de la M.O. avec le sol et les organismes décomposeurs du sol (*faune + microflore* ⇒ *fragmentation, digestion, incorporation des résidus*) ne se fait que graduellement, une seule couche à la fois, isolant les feuillets empilés au-dessus du contact avec le sol : la décomposition de ce type de structure végétale est lente.
- Dans la production de biomasse annuelle, la part du compartiment racinaire est également déterminante pour la séquestration de C. Dans nos systèmes, nous avons identifié et choisi les biomasses de "renfort", pompes biologiques, aussi sur la puissance de leur système racinaire, pour assurer les fonctions de recyclage profond des bases et des nitrates, de restructuration et de recharge en carbone du profil cultural.

Les systèmes racinaires qui sont fortement engainés dans des manchons de microagrégats les protégeant de la décomposition (*manchons de polysaccharides et/ou endomycorhisation vésiculo - arbusculaire*), sont probablement la source la plus importante d'accumulation de C (Fig. 78).

Une espèce comme *Eleusine coracana*, par exemple, produit entre 4 et 6 t/ha de racines fortement engainées sur le seul horizon 0-50 cm en 80 jours de végétation ; en réalité, la production totale par hectare de biomasse racinaire est nettement supérieure, car cette espèce exploite plus de 2 m d'épaisseur de sol et l'expression pondérale des racines est encore très importante en dessous de 50 cm de profondeur.

Toutes nos observations sur les profils culturaux révèlent que ces systèmes racinaires engainés et protégés ne sont que partiellement décomposés d'une année sur l'autre.

Le genre *Brachiaria* possède pareillement un système racinaire extrêmement puissant (*l'espèce Brachiaria humidicola est la plus performante à cet égard*) et engainé, qui peut poursuivre sa rhizodéposition et sa recharge en carbone pendant toute la saison sèche, 3 à 4 mois après la récolte des biomasses de couverture qui lui sont associées telles que sorgho, mil, et qui possèdent aussi des systèmes racinaires puissants et profonds. En réalité, dans de tels systèmes en SD, 3 systèmes racinaires se succèdent au cours de l'année en utilisant les réserves hydriques de plus en plus profondes (*voir Fig. 76*).

Les systèmes de culture en SD les plus efficaces comme pourvoyeurs de biomasse racinaire sont ainsi construits à partir des successions :

- Riz pluvial de haute technologie + $\left\{ \begin{array}{l} \text{(Sorgho + Brachiaria ruz.)} \\ \text{ou} \\ \text{(Eleusine c.), (Eleusine c. +} \\ \text{Légumineuse pivotante)} \end{array} \right.$
- Riz pluvial, coton, sur couverture vivante de Tifton

Pour des raisons agronomiques évidentes, la productivité des graminées, comme cultures principales commerciales, telles que le riz pluvial, le maïs, est subordonnée à la disponibilité en azote minéral. Dans les systèmes de culture en SD, l'azote organique augmente en même temps que le carbone dans l'horizon 0-10 cm, et même dans le niveau 10-20 cm, lorsque des espèces fourragères du genre *Brachiaria* sont installées en SD dans la rotation pour 4 ou 5 ans, ou en association tous les ans avec une biomasse de succession (*mil, sorgho*), comme le montrent les résultats du Tableau ci-après.

Chronoséquence 3	TENEURS EN N ORGANIQUE (%)			
	ANNÉE 1 APRÈS DEFRICHEMENT		ANNÉE 5	
	0-5 cm	0,13	0-5 cm	0,18
Discage x Riz 2 ans	5-10 cm	0,12	5-10 cm	0,17
SD x [soja+(maïs+Brach.)] 2 ans	10-20 cm	0,06	10-20 cm	0,13
SD x [riz + (brach)] 1 an				

Chronoséquence Cerrado	APRÈS 6 ANS de SD soja+mil, sorgho		→ 5 ANS de <i>Brachiaria b.</i> installé en SD	
	0-5 cm	0,16	0-5 cm	0,16
	5-10 cm	0,12	5-10 cm	0,13
6 ans SD	10-20 cm	0,08	10-20 cm	0,14
Soja + (mil, sorgho)				
5 ans <i>Brachiaria b.</i>				

Pour compenser les risques d'immobilisation initiale de l'azote en début de saison des pluies dans ces systèmes SD dominés par l'action des graminées, les "pompes biologiques" de succession des cultures principales commerciales, peuvent être associées à des légumineuses pivotantes qui sont fixatrices efficaces de l'azote de l'air (*Seguy L. et al. 1997/2000 - rapports annuels CIRAD/AGRONORTE*).

La présence du soja comme culture principale, une année sur deux, constitue aussi une option de tout premier choix pour fixer efficacement de l'azote gratuitement au niveau de la rhizosphère et fournir des résidus à C/N bas, pauvres en lignine, de rapide décomposition, qui garantissent une fonction alimentaire, rapide en N, Ca, K, S aux cultures en succession dans la même

année (*biomasses pompes biologiques associées ou non à des espèces fourragères*).

En définitive, en ZTH, où pourtant l'intensité de la minéralisation de la M.O. est la plus élevée des régions tropicales, il a été possible de bâtir des systèmes de culture en Semis Direct qui accumulent de la M.O. et dont les grands principes de fonctionnement sont similaires à ceux de l'écosystème forestier, notre modèle conceptuel.

Cette construction progressive a été rendue possible d'abord par l'esprit et la capacité de création des différents partenaires qui ont œuvré ensemble et qui ont pu avancer rapidement grâce à une méthodologie d'intervention *in situ*, qui a permis, partant du modèle de fonctionnement stable de l'écosystème forestier, de comprendre et d'expliquer les mécanismes principaux, et de formuler les lois agronomiques essentielles qui régissent les fonctionnements différenciés des systèmes de culture.

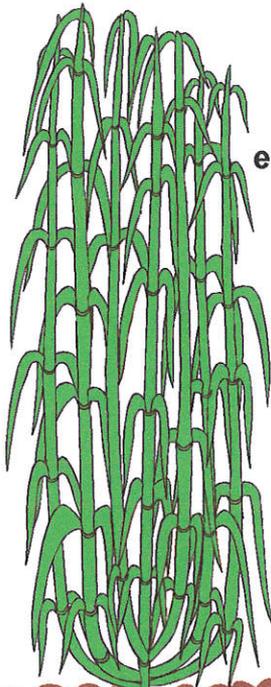
Le dossier, en annexe, synthétise de manière très didactique et à partir d'exemples illustrés et chiffrés, le fonctionnement des meilleurs systèmes de culture actuels en SD, bâtis par le CIRAD-CA en ZTH, entre 1986 et 2000 ; il passe en revue successivement :

- Le modèle de l'écosystème forestier, la notion de pompe biologique,
- La multifonctionnalité comparée des biomasses de couverture les plus intéressantes en ZTH, et leurs performances agronomiques (*parties aériennes et racinaires*),
- Une image synthétique des systèmes actuels en SD, qui intègrent agriculture et élevage, avec exposé de leurs fonctions essentielles,
- La comparaison du fonctionnement des meilleurs systèmes en SD avec celui de l'écosystème forestier notre modèle d'inspiration,
- Des photos représentatives de l'agriculture d'hier d'aujourd'hui et de demain, qui retracent l'histoire de l'évolution des modes de gestion des sols et des cultures en ZTH pionnière du Sud de l'Amazonie.

FIG. 78 ANATOMIE, PROPRIÉTÉS ET FONCTIONS DES PLANTES DE COUVERTURE EN SEMIS DIRECT - Pompes biologiques en intercultures -

Exemple: *Éleusine coracana*

1. À LA LEVÉE



- Forte vigueur initiale et développement végétatif rapide en conditions pluviométriques aléatoires

- Contrôle des adventices (dominance)
- Recyclage pic initial minéralisation M. O.

2. BIOMASSE DESSÉCHÉE Lit des cultures

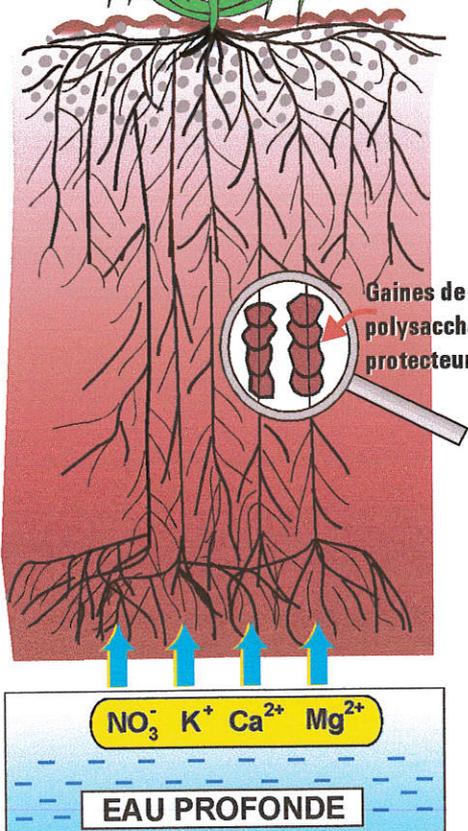
- Écran efficace (t° , P_{mm} , Érosion)
- Fonction alimentaire
- Protection efficace contre xénobiotiques
- Contrôle efficace des adventices

- Régulation hydrique thermique



Alimentation minérale régulée des cultures

- Recharge en carbone



- Coudre la surface
- Restructurer le profil cultural

- Faciliter la levée des petites graines sous couvert

- Favoriser le développement durable de la vie biologique (faune, microflore)

- Ressuyage rapide (macroporosité) + Forte rétention en eau (microporosité)

- Recharger le profil cultural en carbone "protégé"

- Mobilisation et maintien de la fertilité par voie organo-biologique

- Vitesse élevée de colonisation racinaire
- Surface élevée d'interception des flux de nutriments
- Capacité élevée à pomper l'eau profonde, recycler les nutriments

- Fermeture du système "Sol-Cultures"

FIG. 79 INTERVALLES DE PRODUCTIVITÉ EN GRAINS DES SYSTÈMES DE CULTURE À 2 CULTURES PAR AN, PRATIQUÉS EN SEMIS DIRECT CONTINU, SUR 3 ANS - Écologie des cerrados humides du Centre Nord Mato Grosso, MT - 1992/95

INTERVALLES DE PRODUCTIVITÉ EN kg/ha					
Système de culture les plus performants	SOJA (+ Sorgho, Mil ou Crotalaire)		RIZ PLUVIAL (+ Sorgho, Mil)		Technologie
	Basse ¹ Technologie	Haute ² Technologie	Basse ¹ Technologie	Haute ² Technologie	
Riz + [Sorgho ou Mil]	2800 - 3200	3600 - 4200	2200 - 2700	3600 - 4200	+ (900 - 1400)
Alterné avec SOJA + [Sorgho ou Mil]	(700 - 900)	(1400 - 2000)	(500 - 700)	(900 - 1400)	
Riz + [Sorgho ou Mil]	2400 - 3000	3200 - 3600	2800 - 3300	4600 - 5400	+ (1600 - 2300)
Alterné avec SOJA + Crotalaire	(250 - 400)	(360 - 600)	(800 - 1200)	(1600 - 2300)	
M. O. % Dans l'horizon 0-20 cm ≥ 3%					
<p>1 - Basse technologie</p> <p>[Fumure minérale] Sur Soja = 5N + 50P₂O₅ + 50K₂O + oligos/ha Sur Riz = 55N + 50P₂O₅ + 50K₂O + oligos/ha [Traitement fongicide minimum des semences] Aucune fumure sur les pompes biologiques de succession = Mil, Sorgho, Crotalaire</p>					
<p>2 - Haute technologie</p> <p>[Fumure minérale] Sur Soja = 120P₂O₅ + 92K₂O + oligos E. + 200 kg gypse/ha Sur Riz = 85N + 120P₂O₅ + 92K₂O + oligos E. + 200 kg de gypse/ha [Traitement fongicide et insecticide des semences + traitements fongicides sur les cultures] Aucune fumure sur les pompes biologiques de succession = Mil, Sorgho, Crotalaire</p>					

Biomasse aérienne totale sur 3 ans comprise entre 42 et 54 t/ha

(*) Expérimentations conduites en conditions d'exploitation réelles - (Matrice systèmes = 320 ha; parcelle élémentaire = 4 ha)
 SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-C/AGEC; M. Matsubara, Fazenda Progresso; A. Trentini, Cooperlucas; Lucas do Rio Verde/MT, 1992/95

V 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. 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 (*genres Eleusine, Brachiaria associée à sorgho, mil ou utilisée 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 CO₂ 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, ONG TAFI, 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*).

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 ^{13}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 - ANJANANARIVO – 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 CO2 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, , 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. Doc. INTERNES CIRAD, 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. - 34398 Montpellier cedex 5 – France 1998 b.
- SÉGUY L.; BOUZINAC S.; MARONEZZI A.C.** Semis direct et résistance des cultures aux maladies. Doc. CIRAD, 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 pages - 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, 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 nº 21, mars 1999. pp.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 - nº 263 – 1º 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 provisoire, 100 pages, Partie d'un document collectif sur Madagascar à paraître pendant l'année 2001. - 34398 Montpellier cedex 5 - France. 2001a.

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, , 23 pages. - 34398 Montpellier cedex 5 – France – **2001b.**

SHEID LOPES A. Solos sob "Cerrado", características, propriedades e manejo. 162p. POTAFOS - Piracicaba, SP, - Brasil ,**1984** .

VAN RAIJ B., Fertilidade do solo e adubação - 343p. POTAFOS - Piracicaba, SP - Brasil **1991.**