



LA SYMPHONIE INACHEVÉE DU SEMIS DIRECT DANS LE BRÉSIL CENTRAL : LE SYSTÈME DOMINANT DIT DE "SEMI-DIRECT"

**LIMITES ET DÉGÂTS, ECO-SOLUTIONS ET PERSPECTIVES:
LA NATURE AU SERVICE DE L'AGRICULTURE DURABLE**



*L. Séguy
S. Bouzinac
et partenaires brésiliens
2008*



TABLE DES MATIERES

RESUME	p. 3
I) LE SYSTEME DIT DE « SEMI-DIRECT », UN SYSTEME NON DURABLE	5
1.1 CHRONIQUE D'UNE DÉGRADATION ANNONCÉE	6
1.2 QUELQUES ANNEES PLUS TARD : La crise économique du début des années 2000, révèle et confirme les insuffisances et déficiences du système «semi-direct»	6
II) SOLUTIONS ET PERSPECTIVES	26
2.1 LES PREMIERES LEÇONS DU PASSÉ	28
2.2 DES CERRADOS A LA FORÊT HUMIDE DU SUD DU BASSIN AMAZONIEN	33
2.3 APPLICATIONS DE CES PRINCIPES DE GESTION DURABLE	51
2.3.1 LES SYSTEMES COTONNIERS SUR SOLS FERRALLITIQUES ARGILO-SABLEUX DU SUD-OUEST DU MATO GROSSO – DECIOLÂNDIA – 2001/2004	52
2.3.2 LES SYSTEMES COTONNIERS SUR SOLS FERRALLITIQUES SABLO-ARGILEUX DE L'ÉCOLOGIE DES CERRADOS DE MOYENNE ALTITUDE FAZ. MOURÃO	60
2.3.3 PREMIERS PAS VERS UNE GESTION PLUS ÉCOLOGIQUE DES CULTURES EN SCV : il est possible de réduire significativement la charge chimique des cultures	86
2.3.3.1 IMPACTS DES MODES DE GESTION DE LA CULTURE SUR LA PRODUCTIVITE DES SYSTEMES SCV	87
2.3.3.2 IMPACTS SUR LA GESTION OPERATIONNELLE DES SYSTEMES ET LE NIVEAU D'INTRANTS : moins de pesticides, machines et engrais	92
2.3.3.3 IMPACTS SUR LA QUALITE BIOLOGIQUE DES GRAINS ET DES SOLS	92
III) ESSAI DE SYNTHÈSE ET PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION DES SCV	142
3.1 ÉTAPES CHRONOLOGIQUES DE LA CONSTRUCTION DES TECHNOLOGIES SCV : OUTILS, APPLICATIONS ET SYNTHÈSE DES RESULTATS	143
3.2 SYNTHÈSE DES PRINCIPAUX RESULTATS	164
3.2.1 Sur la dynamique de dégradation et de résilience du patrimoine sol en ZTH	164
3.2.2 Sur la productivité de Phytomasse annuelle et l'optimisation du fonctionnement des relations Sols-Cultures : Les voies de la production propre dans un environnement protégé	168
3.3 PERSPECTIVES	180
3.3.1 LES ENJEUX POUR UNE RECHERCHE SCIENTIFIQUE SOUCIEUSE DE S'ENGAGER	180
3.3.2 RECOMMANDATIONS ET ENJEUX POUR LE DÉVELOPPEMENT	189
IV) CONCLUSION	205
V) REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	211

RÉSUMÉ

Les Cerrados de la zone tropicale humide du Brésil couvrent 200 millions d'hectares, dont 50 millions sont potentiellement utilisables pour une agriculture intensive. Leur mise en culture à la fin des années 1970 dans l'état du Mato Grosso, à partir de techniques de travail intensif du sol importées des pays du Nord et des grandes monocultures industrielles, a fortement dégradé le capital sol.

Pour répondre rapidement et durablement à cet échec, le CIRAD et ses partenaires¹ de la recherche et du développement ont construit dès 1985, puis maîtrisé et diffusé progressivement des systèmes de culture en semis direct sur couverture végétale permanente du sol en accompagnant l'avancée des fronts pionniers dans la région Centre Nord Mato Grosso : d'abord les Cerrados de la région de Lucas do Rio Verde, berceau de l'élaboration des techniques de Semis Direct en Zone Tropicale Humide (ZTH), puis rapidement plus au Nord, en zone de forêts dans les régions de Sorriso et Sinop pour précéder l'arrivée du front pionnier et lui offrir des alternatives diversifiées d'agriculture durable de faible impact sur l'environnement, dès son arrivée.

L'adoption massive du Semis Direct de soja sur paille de mil s'est opérée à partir de 1995, sous la forte pression du plan de restructuration économique du président F.H. Cardoso, qui a obligé les producteurs à réduire fortement leurs coûts de production si ils voulaient survivre.

Mais le système originel de semis direct créé par le CIRAD et ses collaborateurs brésiliens¹ a été rapidement modifié par les agriculteurs qui l'ont transformé en un système dit de "semi-direct" dans lequel le semis de la biomasse de couverture (*mil, sorgho*) est effectué à la volée et incorporé par un travail minimum du sol (*discage*) ; les principales justifications à l'adoption de ce système modifié sont : gain de temps opérationnel et décompaction des sols. Le "semi-direct" a trouvé de plus une légitimité officielle avec l'introduction de la culture cotonnière de haute technologie à la fin des années 1990 (*écologies des Cerrados et des Forêts*), la législation en vigueur exigeant la destruction systématique par voie mécanique (*discage*) des repousses de coton en post-récolte pour contenir la propagation d'insectes ravageurs très préjudiciables à la culture (*puçerons, "bicudo" ⇒ Anthonomus grandis*).

Ce système de "semi-direct" (ou TCS = *Techniques de Culture Simplifiées*) a cependant montré très vite ses limites agronomiques, économiques et environnementales dans les conditions pédoclimatiques de la Zone Tropicale Humide (ZTH), et a confirmé qu'il n'est pas durable : perte continue de carbone qui entraîne la stagnation, voire parfois la régression de la productivité du système devenu très sensible aux variations climatiques interannuelles, à une explosion des nématodes phytophages et des maladies cryptogamiques ; il ne peut se maintenir que par un apport massif d'intrants chimiques (*à des coûts de plus en plus prohibitifs*) dont les premières pollutions environnementales sont déjà significatives (*eaux de ruissellement, nappes, sols et productions*), et de variétés nouvelles toujours plus nombreuses qui doivent intégrer (*avec retard par rapport aux besoins de développement*) de plus en plus de résistances multiples au fur et à mesure que le capital sol se dégrade.

Mais, des solutions existent : le CIRAD et ses collaborateurs ont créés au cours des 15 dernières années de nombreux scénarios diversifiés de développement durable en SCV. Les auteurs analysent les diverses étapes qui ont présidé à la genèse de la construction des SCV qui sont issus de l'ingénierie écologique au service du développement et évaluent l'évolution de leurs performances croissantes. Ces systèmes, qui fonctionnent à l'image de l'écosystème forestier dont ils sont inspirés, ont été perfectionnés au cours du temps aux plans écologique, agronomique et technico-économique. Ils offrent, aujourd'hui, toutes les garanties de l'agriculture durable : de plus en plus productifs (*de 23 à plus de 30 t/ha de phytomasse*

¹ Equipe CIRAD L. Ségué, S. Bouzinac et ses partenaires brésiliens de la recherche et du développement, en coopération permanente avec les agriculteurs (*dont le pionnier, Mr Munefume Matsubara*), le CNPAF, Centre de Recherche Fédéral sur le riz et le haricot de l'EMBRAPA, l'EMPAER-MT, Centre de Recherche de l'état du Mato Grosso entre 1986 et 1989 ; puis en partenariat avec RHODIA (*filiale Brésil de Rhône Poulenc*) et la coopérative COOPERLUCAS de Lucas do Rio Verde de 1990 à 1995, plus récemment avec la Préfecture de SINOP, puis le groupe MAEDA, la COODETEC et l'entreprise privée de recherche AGRONORTE entre 1995 et 2002, et enfin l'entreprise CEREASNET, l'USP, le FACUAL et l'UEPG entre 2003 et 2008.

Ce document est le fruit et l'œuvre de tous ces partenaires de la Recherche et du Développement brésiliens, engagés dans l'action avec le CIRAD entre 1983 et 2008. Qu'ils trouvent tous ici notre hommage et nos remerciements les plus chaleureux pour nous avoir permis de vivre, ensemble, cette aventure exceptionnelle.

sèche annuelle), avec de moins en moins d'intrants chimiques, donc des coûts de production en baisse, ils sont tous construits sur une reconquête de la biodiversité fonctionnelle = rotations de cultures (*soja, riz, coton et cultures de succession*), intégration Agriculture - Elevage, sols toujours protégés sous couvertures mortes et/ou vivantes, biologiquement très actifs, qui séquestrent efficacement le carbone, favorisent la rétention des nutriments (*CEC plus élevée*), réduisent l'incidence des maladies et des nématodes phytophages, fonctionnent en circuit fermé comme la forêt (*recyclage profond des bases et nitrates, injection de carbone en profondeur, hors des atteintes anthropiques*) et garantissent la qualité biologique des sols et des productions. Les grandes voies d'une gestion progressivement plus organique des principales cultures dans les SCV sont abordées avec des résultats très prometteurs.

• La construction conceptuelle, scientifique et technique de ces scénarios diversifiés d'agriculture durable de plus en plus performante aux plans agronomique, technique et économique en conditions adverses, a pu se faire, grâce, simultanément, à des outils méthodologiques systémiques performants :

- Les matrices pérennisées des systèmes de culture conduites en conditions d'exploitation réelles et implantées au cœur des réalités agricoles (*pour, avec et chez les agriculteurs, dans leurs unités de production*),
- Le profil cultural qui précise, en continu, la dynamique des relations Sols-Cultures, hiérarchise et oriente les décisions agronomiques,
- L'ingénierie écologique qui traite de la gestion de milieux et de la conception d'aménagements durables, adaptatifs, multifonctionnels inspirés des mécanismes qui gouvernent les systèmes écologiques (*auto-organisation, diversité élevée, structures hétérogènes, efficacité de l'utilisation de l'énergie*)

Les priorités devraient maintenant être données, d'une part, à la promotion et à la diffusion opérationnelle des SCV diversifiés dans le Brésil Central, et d'autre part, à la poursuite de leur perfectionnement à partir de l'écologie fonctionnelle qui constitue sans aucun doute la source d'inspiration la plus prolifique. Ces systèmes SCV peuvent être, à la fois, la clé de la récupération du vaste réservoir de 16,5 millions d'hectares de terres dégradées et abandonnées en Amazonie, ce qui permettrait de freiner efficacement le processus de déforestation et d'ouvrir les voies de réconciliation entre l'écologie et l'agronégoce, décisive pour le développement rapide du Brésil et pour son image à l'extérieur.

La ZTH du Mato Grosso est devenue championne de productivité du Brésil pour le soja, le riz pluvial et le coton de haute technologie ; l'incorporation des SCV diversifiés devrait faire franchir maintenant un nouveau palier supérieur de développement plus en conformité avec les exigences de l'agriculture durable et de la protection des ressources naturelles. Dans l'adversité (*isolement économique, conditions pédoclimatiques très difficiles*) est né, puis s'est fortifié un profil d'agriculteurs très compétents, aptes à affronter les marchés mondialisés sans subventions.

Mots-clés : *Zone Tropicale Humide (ZTH), système de culture durable, Semis direct sur Couverture Végétale permanente du sol (SCV), soja, riz pluvial, coton, "safrinhas" (= cultures de successions), fonctionnement et performances agronomiques, techniques et économiques, ingénierie écologique, écologie fonctionnelle, multifonctionnalité des couverts, séquestration du carbone, CEC, taux de saturation des bases, coefficients K_1 et K_2 , qualité biologique des sols et des productions, phytoremédiation, méthodologie de Recherche-Action..*

Quelques phrases de penseurs et scientifiques célèbres qui illustrent notre engagement et passion d'agronomes œuvrant pour, avec et dans la nature :

"Il faut forcer la nature aussi loin que notre esprit. Rien ne va de soi. Rien n'est donné. Tout est construit" **Gaston Bachelard**

"Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme" **Antoine Lavoisier**

"J'éprouve l'émotion la plus forte devant le mystère de la vie, le sentiment fonde le beau et le vrai, il suscite l'art et la science" **Albert Einstein**

"La vie ne donne ni ne prête ; elle ne s'émotionne pas ni n'a pitié, tout ce qu'elle fait, c'est de rétribuer et transférer tout ce que nous lui offrons" **Albert Einstein**



I) LE SYSTEME DIT DE «SEMI-DIRECT», UN SYSTEME NON DURABLE

Limites écologiques, agronomiques et technico-économiques



1.1 CHRONIQUE D'UNE DÉGRADATION ANNONCÉE

Dès octobre 2000, nous alertions dans la revue "Direto no Cerrado" de l'APDC (*Direto no Cerrado - Ano 5 N° 18 (APDC) Outubro/Novembro 2000 - Alerta á agricultura do Brasil Central - O PD está em perigo*) sur diverses raisons majeures d'ordre à la fois agronomiques, techniques et économiques qui commençaient à entraîner le système de Semis Direct vers une régression rapide et dangereuse pouvant compromettre la capacité des sols à produire durablement, l'intégrité de l'environnement et qui mettaient ainsi en péril les importants investissements déjà réalisés dans la gestion conservatoire du patrimoine sol dès la fin des années 90 ; parmi ces raisons, les plus importantes à rappeler étaient :

- La gestion inadéquate des biomasses de couverture en succession annuelle du soja avec, à la fois, un semis à la volée de mil enterré aux engins à disques et une insuffisance des quantités de biomasse produites (*mils sensibles au photopériodisme semés trop tard*) qui n'assure plus les fonctions agronomiques essentielles à la sustentation du système SD, ni au-dessus de la surface du sol, ni en dessous dans le profil :
 - o Retour au travail du sol, soit protection insuffisante de la surface, réexposée très tôt à l'agression climatique et à l'infestation des adventices,
 - o Restructuration insuffisante du profil cultural qui conduit à utiliser sur les semoirs, des coutres ("*botinhas*") sous la ligne de semis pour décompacter le sol ; le semoir devient un outil de travail localisé du sol, provoquant une énorme perturbation de surface, qui réexpose le sol et replace les semences d'adventices en surface sur la paille censée les couvrir et les maintenir sous ombrage.

- Retour en force de la monoculture souvent dominante (*équipements et investissements obligent !*) avec le développement récent de la cotoniculture de haute technicité construite sur l'emploi massif d'amendements calco-magnésiens et d'engrais minéraux (*formule de fumure annuelle du type 240 N - 160 P₂O₅ - 180 à 240 K₂O/ha + oligo-éléments*) combiné à l'éradication mécanique systématique des repousses de coton en post-récolte. Les opérations d'amendements des terres et d'élimination des repousses effectuées aux engins à disques restructurent les édifices structuraux consolidés sous SD (Semis Direct), réexposent le sol à l'érosion, remettent les semences d'adventices enfouies sous SD en surface. Ce retour au travail du sol avec des outils à disques fortement destructurants (*déprotection rapide des matières organiques par destruction des agrégats*) combiné aux doses massives d'amendements (*taux de saturation V%, souvent supérieur à 60%*) remet la matière organique accumulée sous SD dans une dynamique de minéralisation accélérée entraînant des bilans carbonés annuels négatifs.

Au total, monoculture cotonnière avec destruction mécanique obligatoire des repousses exigée par la législation en vigueur, et systèmes de culture à base de soja, bien trop peu diversifiés, construits à partir du semis direct de ces deux cultures principales sur des biomasses de mil, le plus souvent très faibles, implantées avec travail minimum du sol aux disques (*classable dans les techniques culturales simplifiées = TCS*) ont conduit à l'émergence d'un système dominant de culture dit de «semi-direct» qui signe le retour en force du travail du sol avec son cortège traditionnel de dégâts et de limitations majeures pour l'agriculture durable.

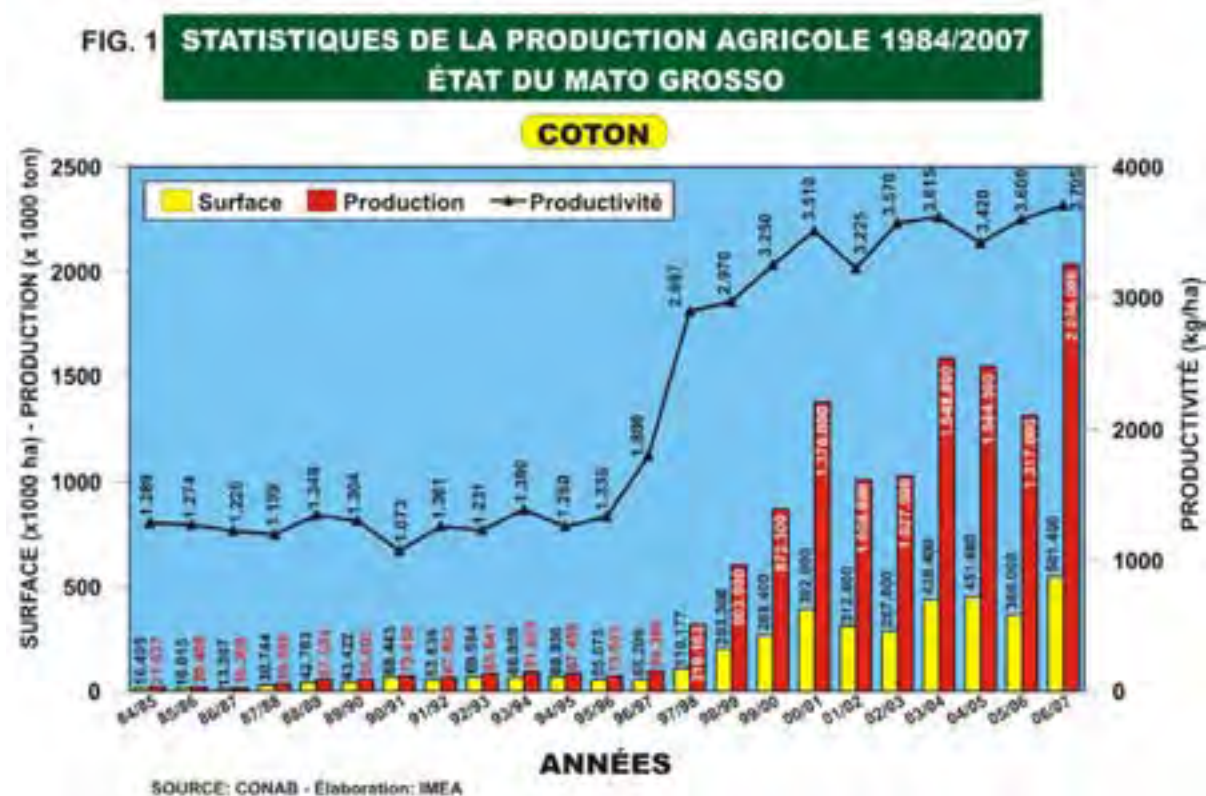
1.2 QUELQUES ANNEES PLUS TARD : La crise économique du début des années 2000, révèle et confirme les insuffisances et déficiences du système «semi-direct»

• Une constatation : la stagnation, voire la régression des rendements de soja, coton, maïs entre 2000 et 2007 dans l'état du Mato Grosso

Les figures 1 à 4, qui illustrent l'évolution des performances des cultures principales de soja, coton, maïs et riz (CONAB²) qui composent les systèmes de culture et de production du Mato Grosso, mettent effectivement en évidence une stagnation, parfois même une régression des rendements entre 2000 et 2007, lorsqu'il y a conjonction entre des conditions climatiques et économiques défavorables :

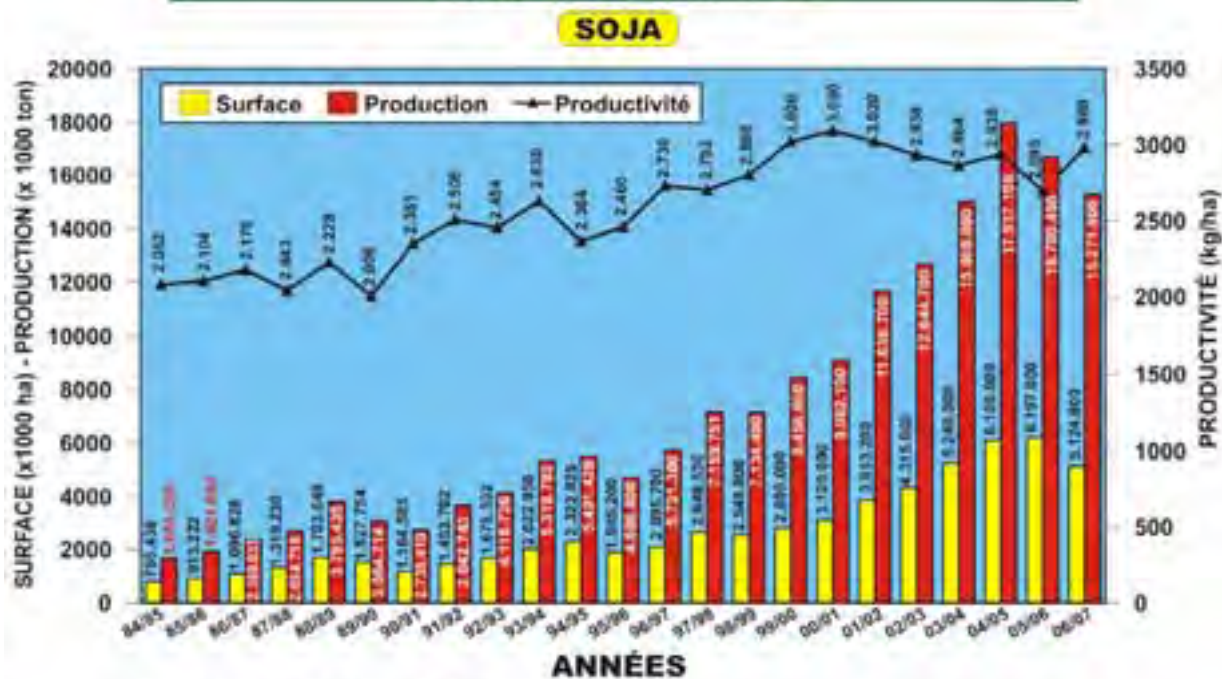
- La productivité du coton de 3.510 kg/ha en 2000/01, oscille entre un minimum de 3.200 kg/ha et un maximum de 3.700 kg/ha (*prévision 2006/07*), soit une moyenne sur les 6 dernières années de 3522 kg/ha (*Fig. 2*) ;
- La productivité du soja sur la même période, de 3.020 kg/ha et 3.090 kg/ha respectivement en 1999/2000 et 2000/01, chute ensuite pour offrir une moyenne de 2.904 kg/ha avec un minimum de 2.695 kg/ha en 2005/06 (*Fig. 1*) ;
- Les rendements de maïs de 3.475 kg/ha en 2000/2001 varient sur les 6 dernières années depuis un minimum de 3.150 kg/ha en 2004/05 jusqu'à un maximum de 3.900 kg/ha en 2005/06, avec une moyenne de 3.438 kg/ha (*Fig. 3*).

• Pourtant, le Mato Grosso n'a jamais reçu un appui scientifique et technique aussi abondant, compétent, concurrentiel et diversifié qu'au cours des 6 dernières années : offre continue annuelle d'un très grand nombre de variétés de soja, dont des variétés transgéniques, de coton, d'hybrides de maïs, emploi régulier, soutenu et maîtrisé de forts niveaux de fumures minérales, d'amendements, d'oligo-éléments, d'une très vaste gamme de fongicides dont la consommation ne cesse d'augmenter, le tout sous assistance technique accrue et de qualité (*Embrapa, Fondation Mato Grosso, Facual, plus toutes les grandes firmes multinationales d'agrochimie, etc...*).



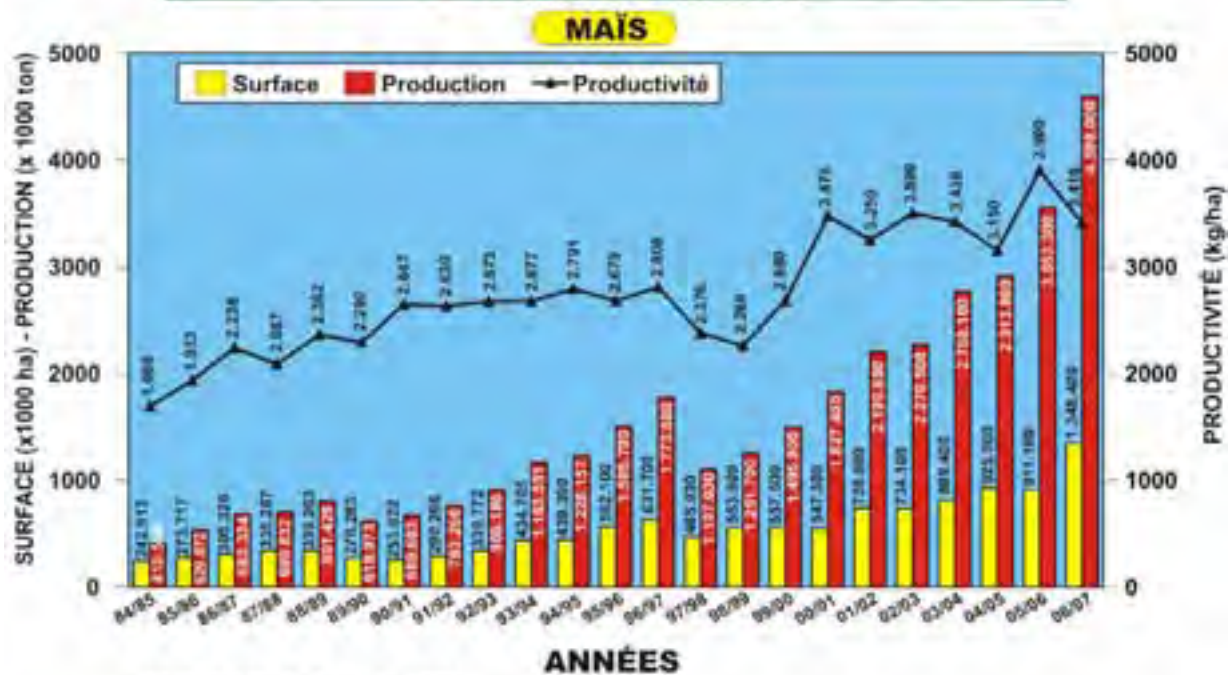
² Source : Statistiques de la production agricole issues de la CONAB (Compagnie Nationale de Stockage de grains, brésilienne) et élaborées par l'IMEA.

**FIG. 2 STATISTIQUES DE LA PRODUCTION AGRICOLE 1984/2007
ÉTAT DU MATO GROSSO**



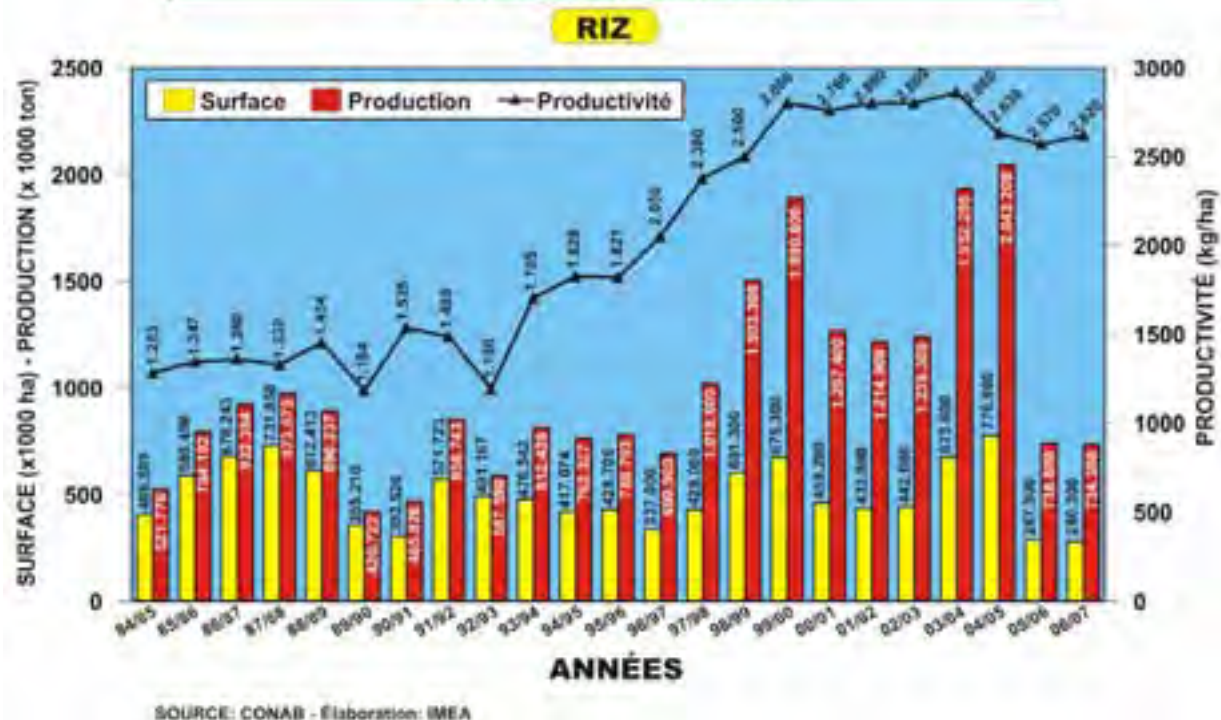
SOURCE: CONAB - Élaboration: IMEA

**FIG. 3 STATISTIQUES DE LA PRODUCTION AGRICOLE 1984/2007
ÉTAT DU MATO GROSSO**



SOURCE: CONAB - Élaboration: IMEA

**FIG. 4 STATISTIQUES DE LA PRODUCTION AGRICOLE 1984/2007
ÉTAT DU MATO GROSSO**



• **Des coûts de production toujours très élevés (Tableau 1) :**

Malgré tous ces atouts techniques réunis, les coûts de production augmentent non seulement à cause du déphasage du taux de change du Real par rapport au Dollar et de l'augmentation du prix des intrants chimiques (*pétrole cher*), mais également et surtout par la nécessité d'un nombre très élevé de traitements chimiques pour une protection phytosanitaire toujours plus exigeante des cultures dans un système «semi-direct» bien trop peu diversifié, continuellement déficitaire en carbone annuel ; l'augmentation du nombre de traitements fongicides est particulièrement éloquent à cet égard depuis le début des années 2000 sur les cultures de soja (*rouille asiatique*) et de coton (*ramulose, ramularia de fin de cycle*), de même que le nombre des traitements insecticides sur coton pour le contrôle de plus en plus problématique des pucerons au départ transmetteurs de la maladie bleue, du «bicudo» (*Anthonomus grandis vers le milieu du cycle entre 50 et 90 jours après semis*), l'apparition de ravageurs qui se montrent de plus en plus résistants aux traitements chimiques tels que l'hémiptère *Bemisia tabaci*, et tout dernièrement le lépidoptère *Spodoptera frugiperda*, indiquant des déséquilibres de plus en plus conséquents dans les relations auxiliaires - prédateurs.

Le développement très préoccupant des nématodes sur ce système "semi-direct" dominant au Mato Grosso durant les 6 dernières années est bien conforme à nos prévisions de l'an 2000 et constitue également une autre preuve très démonstrative des déséquilibres biologiques dans les chaînes trophiques, liés à une gestion inadéquate des sols et des cultures.

Tableau 1 Evolution des coûts de production de la culture cotonnière de haute technicité pratiquée en système “semi-direct”**I - Données Mato Grosso 2004 - 2008**

Local	SORRISO		PRIMAVERA DO LESTE		Taux change R\$/US \$
	US \$/ha	R\$/ha	US \$/ha	R\$/ha	
2004/05	1589	4767	1612	4837	3,00
2005/06	1689	3970	1732	4069	2,35
2006/07	1718	3607	1792	3763	2,10
2007/08 (prévision)	2062	3918	1938	3683	1,90

Source : Algodão brasileiro, Embrapa Agropecuária Oeste, 2004/2008

II - Données Fazenda Mourão 2003 - 2008 - Campo Verde - MT

Récolte	Coûts de production (US \$/ha)	Coûts des fongicides (US \$/ha)	Nombre des applications fongicides	Coûts des insecticides (US \$/ha)	Nombre des applications insecticides
2003/04	1586	59	6	264	18
2004/05	1620	99	6	235	18
2005/06	1667	109	6	284	21
2006/07	1586	74	6	249	19

Source : G.L. Costa, L. Dalla Nora - Fazenda Mourão - Campo Verde - MT

- **Des impacts négatifs sur l’environnement : pollution par les pesticides et pertes de carbone, des signes inquiétants**

Parallèlement à cette stagnation de la productivité du système “semi-direct” toujours plus exigeant en intrants chimiques et matériel génétique plus performant, apparaissent les premiers signes de pollution chimique des eaux de pluies de surface, de ruissellement, des puits et piézomètres, même si ils restent à un niveau modeste comme le montrent les figures 5, 6 et 7 (Carvalho, E. F.G. de ; Monnerat, R. G.- 2006), qui réunissent les premiers résultats d’évaluation au niveau des unités de paysage de la région de Campo Verde, forte productrice de coton, sur les molécules de Méthyl Parathion, Monocrotophos, Teflubenzuron, Diuron, Endosulfan, Metolachlore, Aldicarb, Carbofuran et Chlorpyrifos.

- En outre, les estimations des pertes en carbone³ des systèmes de culture conduits avec travail intensif du sol ou avec travail minimum comme le système “semi-direct”, réunies dans la **figure 8**, montrent que, même si ce dernier réduit fortement les pertes en carbone par rapport au travail intensif, il les maintient cependant à un niveau relativement élevé sous la culture cotonnière de haute technicité, de l’ordre de **- 0,6 t/ha/an** dans l’horizon 0 - 10 cm (Séguy L. ; Bouzinac S., et al. 2001,a et 2003,a), aussi bien à Deciolândia dans le centre du Mato Grosso qu’à Campo Verde au sud-est sur des sols ferrallitiques de texture contrastée.

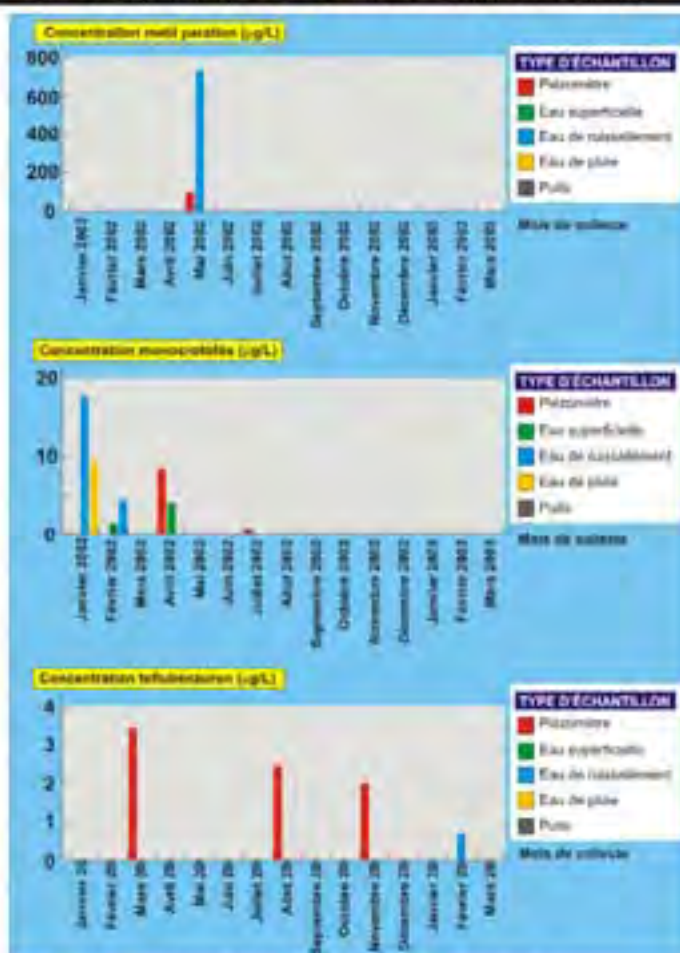
- Il est très important de noter que, lorsque cette même succession annuelle Mil + Coton du système “semi-direct” est pratiquée cette fois en Semis Direct continu, soit lorsque le travail du sol a été définitivement éliminé, elle permet de réaliser, à l’inverse, un gain

³ Travaux du CIRAD et de ses partenaires brésiliens entre 1987 et 2007 dans l’état du Mato Grosso.

annuel de carbone de + 0,9 t/ha/an ; autrement dit, la suppression définitive de l'utilisation des discages pour détruire les repousses de coton et enterrer les semences de mil biomasse, en adoptant le Semis Direct continu associé au contrôle chimique des repousses de coton , permet d'inverser le bilan carboné du sol : de négatif, il devient positif⁴.

- Cet impact destructeur des discages, même légers, sur le stock de carbone des sols est aussi confirmé par des résultats récents similaires obtenus par J. C. Moraes de Sá dans l'état du Paraná, qui a mesuré des pertes moyennes proches de 0,4 t/ha/an dans l'horizon 0 - 5 cm (Sá, J. C. M de, et al. ; 2004), soit légèrement inférieures à celles du Mato Grosso, mais en parfaite cohérence, car évaluées en conditions climatiques subtropicales d'altitude, plus fraîches et moins «minéralisantes» pour la matière organique que celles des Cerrados Humides.

FIG. 5
CONCENTRATIONS MAXIMALES DE METIL PARATION, MONOCROTOFÓS ET TEFLUBENZURON SUR ÉCHANTILLONS D'EAU COLLECTÉS DANS 6 ZONES DE LA CULTURE COTONNIÈRE DE LA RÉGION DE PRIMAVERA DO LESTE ET CAMPO VERDE, MATO GROSSO

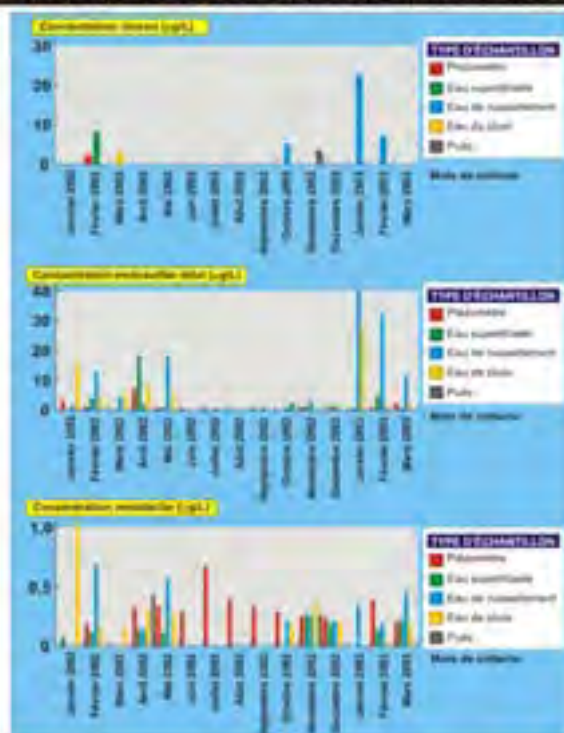


SOURCE: Coton et protection environnementale - Chapitre 15, p. 361-368
 Eliana F. G. de Carvalho Dorea et Rose Gomes Monnerat
 Extraits du Doc. Facual. Coton - Recherches et Résultats pour le Champ - Curitiba 2006

⁴ Le passage du système «semi-direct» au Semis Direct continu (SCV), permettrait également d'économiser 20 kg/ha de mil ou sorgho, ce qui représente, pour le seul Mato Grosso, des dizaines de milliers de tonnes de grains qui pourraient servir à la production de viande.

FIG. 6

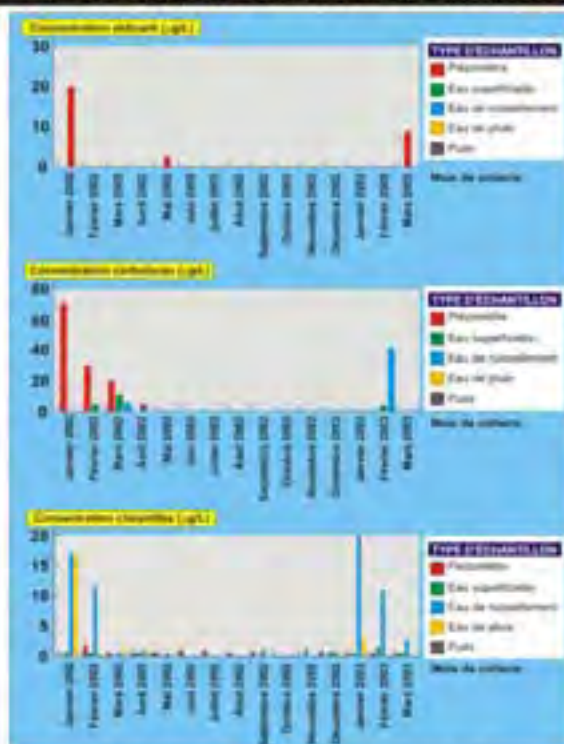
CONCENTRATIONS MAXIMALES DE DIURON, ENDOSULFAN TOTAL ET METOCLOR SUR ÉCHANTILLONS D'EAU COLLECTÉS DANS 6 ZONES DE LA CULTURE COTONNIÈRE DE LA RÉGION DE PRIMAVERA DO LESTE ET CAMPO VERDE, MATO GROSSO



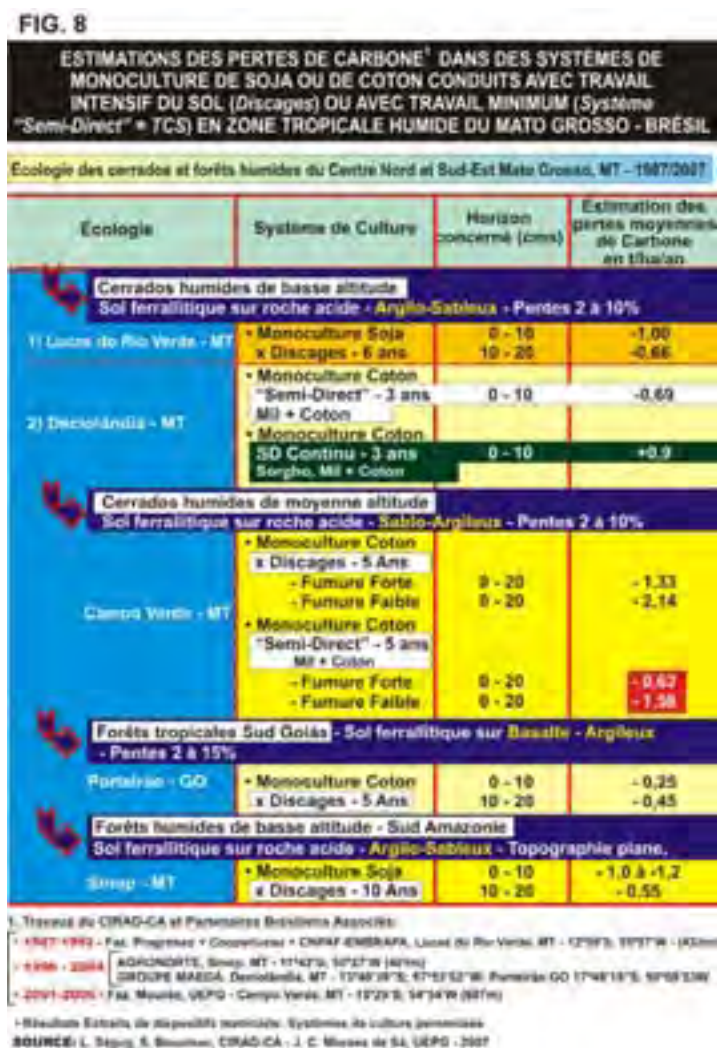
SOURCE: *Coton et protection environnementale - Chapitre 15, p. 261-269*
 Etiana F. G. de Carvalho Dorea et Rose Gomes Moura
 E-mails: do Dora, Fousil, Corça - *Recherches et Résultats pour le Coton - Cuiabá 2008*

FIG. 7

CONCENTRATIONS MAXIMALES D'ALDICARB, CARBOFURAN ET CLORPIRIFOS SUR ÉCHANTILLONS D'EAU COLLECTÉS DANS 6 ZONES DE LA CULTURE COTONNIÈRE DE LA RÉGION DE PRIMAVERA DO LESTE ET CAMPO VERDE, MATO GROSSO



SOURCE: *Coton et protection environnementale - Chapitre 15, p. 261-269*
 Etiana F. G. de Carvalho Dorea et Rose Gomes Moura
 E-mails: do Dora, Fousil, Corça - *Recherches et Résultats pour le Coton - Cuiabá 2008*



• **Les performances agro-économiques du système "semi-direct" sont limitées et ne peuvent s'inscrire dans l'agriculture durable.**

Des résultats récents obtenus entre 2001 et 2006 à Campo Verde⁵ sur les sols ferrallitiques sablo-argileux (17 à 27% d'argile) dans les cerrados humides du Sud-est du Mato Grosso, concernant les performances comparées des systèmes de culture à base de coton, mettent en évidence (FACUAL/ Rapports - 2003, 2004, 2005, 2006) :

- La productivité supérieure du système "semi-direct" sur le système de monoculture de coton pratiqué avec travail du sol (*discages*) :
 - o + 18% de coton graine en moyenne sur 4 ans avec fumure élevée standard et + 30% en présence de la fumure réduite (1/2 fumure standard) [Fig. 9],
 - o L'écart de productivité s'accroît avec le temps en faveur du système "semi-direct" ; après 4 ans de fonctionnement des systèmes, le gain de rendement par rapport au témoin T₁ Monoculture Coton x Travail du sol est de 58% en présence de la fumure élevée et de 50% avec fumure réduite (Fig. 10, 11).

⁵ Matrice des systèmes de culture pérennisés de la Fazenda Mourão à Campo Verde, qui réunit les systèmes représentant l'agriculture d'hier (T₁ = Monoculture Coton x Travail du sol), l'agriculture d'aujourd'hui (T₂ = "semi-direct" x Mil + Coton), l'agriculture de demain (S₁ ou S₃ = SCV sur très fortes productions de biomasse à forte biodiversité en PD) ; sont évalués les performances agro économiques comparées des systèmes, leurs impacts sur la qualité biologique des sols et des productions.

- Mais, la productivité du système T₂ “semi-direct” reste toujours très inférieure à celle des systèmes SCV S₁, S₃ très forts pourvoyeurs de biomasse à forte biodiversité : - 15 à -17% en moyenne sur 4 ans quel que soit le niveau de fumure minérale ; après 4 ans de fonctionnement des systèmes, l'écart grandit en faveur des SCV sur fortes biomasses : + 27 à +45% de productivité.
- **Au niveau de l'évaluation des impacts des systèmes de culture sur les composantes qualité biologique des sols et des productions**, on retrouve la même classification des systèmes : les SCV sur fortes biomasses diversifiées S₁ et S₃ sont supérieurs au système T₂ “semi-direct”, lui-même supérieur au système témoin T₁ Monoculture x Travail du sol :
 - Les gains de productivité du cotonnier dûs au Temik (*nématicide, acaricide, insecticide et phytostimulateur de croissance*) déjà hautement significatifs dès la première année de culture sur T₁ et T₂, augmentent ensuite très fortement entre la 1^o et la 4^o année de culture, alors qu'ils restent très faibles et pratiquement constants sur les systèmes à fortes biomasses diversifiées SCV S₁ et S₃ (*Fig.12*).
 - L'analyse des résidus de pesticides dans le sol et dans la fibre et la graine de coton, par la méthode Luke (*plus de 150 molécules recherchées*), montrent que les systèmes SCV S₁ et S₃ ne sont pas pollués alors que le système T₁ contient le plus de résidus, le système T₂ “semi-direct” étant également pollué, mais moins que T₁ (*Fréquence d'échantillons touchés plus faible et doses de résidus inférieures*) [*Fig. 13*].
- **Les performances économiques reflètent les performances agronomiques** = la classification des systèmes est toujours S₁, S₃ > T₂ > T₁, soit toujours très significativement en faveur des systèmes SCV à très fortes biomasses diversifiées (*Fig.14*).

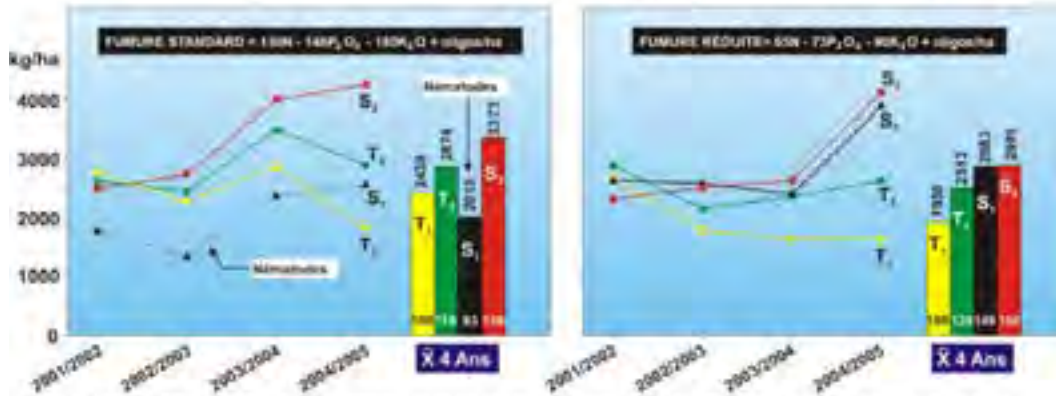
Au total, le système “semi-direct”, constitue sans aucun doute un progrès considérable par rapport aux systèmes de culture avec travail du sol, ne serait-ce que par son contrôle des externalités hydriques qui limite très fortement l'érosion des sols. Cependant, la permanence d'un travail minimum du sol alliée à des inputs limités de biomasse annuelle très peu diversifiée, entraîne une perte continue de carbone du sol, et en conséquences une perte de capacité de ce dernier à produire au cours du temps (*Fig. 15*). Peu performant également sur le contrôle naturel des nématodes phytophages, des insectes ravageurs et des maladies cryptogamiques des cultures par une bien trop faible biodiversité fonctionnelle, ce système ne peut maintenir ses performances agronomiques que par l'emploi massif et soutenu d'engrais minéraux, de pesticides, de fongicides, de nouvelles variétés qui doivent intégrer de plus en plus de résistances de nature variable au fur et à mesure que la qualité biologique des sols se détériore. En outre, il ne protège pas suffisamment les sols ni en surface ni ne les coude de manière assez efficace, ouvrant la porte à une érosion localement active et à une pollution déjà notable de l'environnement ; un tel système n'est pas durable, car il ne réunit pas toutes les conditions minimums nécessaires et suffisantes de la durabilité, et en particulier, il ne garantit pas la reproductibilité environnementale ; ses faiblesses agronomiques et écologiques apparaissent surtout lorsque la conjonction de facteurs économiques et climatiques est défavorable à la production ; il peut alors se montrer très sensible et conduire rapidement à la faillite.

FIG. 9

ÉVOLUTION DE LA PRODUCTIVITÉ ANNUELLE¹ ET PRODUCTIVITÉ MOYENNE DU COTON¹ EN FONCTION DU SYSTÈME DE CULTURE, TOUTES VARIÉTÉS TESTÉES CONFONDUES, SANS TEMIK (Aldicarb)

Fazenda Mourão - Campo Verde (MT) - 2001/2005

T₁ - Monoculture Coton x Travail du sol
 T₂ - Discage léger avant Mil - SD Coton sur Mil / tous les ans
 S₁ - SD Coton dans la rotation = Coton/Soja + Eleusine
 S₂ - SD Coton dans la rotation = Coton/Soja + (Sorgho + *Brachiaria Ruziziensis*)



1 - Dispositif expérimental: Matrice de systèmes de culture en rotation testés, avec 2 répétes à chaque entrée et intervalle au milieu (T₁ et T₂). - Dispositif contrôlé en conditions réelles d'exploitation mécanisée.

Moyenne de 4 variétés (sans Temik): CD 409; CD 2239; CD 408; CD 407

2 - Sol de texture sable-argileuse (20-27% d'argile; 70-75% de sables)

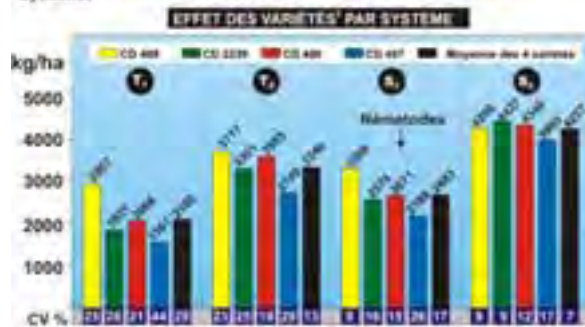
SOURCE: PROJ.FACUL.COEXDET.CIRAD/FAZ.MOURÃO. Equipe DRAD: J. L. Bahr, J. Mello, L. Sordi, S. Bratton; COXDET.C: A. Mengoni, M. Polmerio

FIG. 10

PRODUCTIVITÉS MOYENNE ET RELATIVE COMPARÉES DES SYSTÈMES DE CULTURE - Fazenda Mourão - Campo Verde, MT - 2004/2005

1 FUMURE STANDARD DE LA FAZENDA

T₁ - Monoculture Coton x Travail du sol
 T₂ - Discage léger avant Mil - SD Coton sur Mil / tous les ans
 S₁ - SD Coton dans la rotation = Coton/Soja + Eleusine
 S₂ - SD Coton dans la rotation = Coton/Soja + (Sorgho + *Brachiaria Ruziziensis*)
 □ Productivité relative



1 - Fumure standard = 130N - 140P₂O₅ - 100K₂O + oligo/ha

2 - Dispositif expérimental: Matrice de systèmes de culture en rotation testés, avec 2 répétes à chaque entrée et intervalle au milieu (T₁ et T₂).

- Dispositif contrôlé en conditions réelles d'exploitation mécanisée.

- Sol de texture sable-argileuse (20-27% d'argile; 70-75% de sables)

3 - Variétés testées = CD 409; CD 2239; CD 408; CD 407

SOURCE: PROJ.FACUL.COEXDET.CIRAD/FAZ.MOURÃO. Equipe DRAD: J. L. Bahr, J. Mello, L. Sordi, S. Bratton; COXDET.C: A. Mengoni, M. Polmerio

FIG. 11

PRODUCTIVITES MOYENNE ET RELATIVE COMPAREES DES SYSTEMES DE CULTURE - Fazenda Mourão - Campo Verde, MT - 2004/2005

II FUMURE RÉDUITE¹

T₁ - Monoculture Coton x Travail du sol
 T₂ - Discage léger avant Mil - SD Coton sur Mil / tous les ans
 S₁ - SD Coton dans la rotation = Coton/Soja + Eleusine
 S₂ - SD Coton dans la rotation = Coton/Soja + (Sorgho + Brachiaria Ruziziensis)
 □ Productivité relative



FIG. 12

GAINS COMPARES DE PRODUCTIVITÉ¹ (%) DÛS À L'APPLICATION DE TEMIK (Aldicarb) AU SEMIS, EN FONCTION DU SYSTÈME DE CULTURE, (4 VARIÉTÉS CONFONDUES), ENTRE LA 1^{ÈRE} ANNÉE ET LA QUATRIÈME ANNÉE DE CULTURE

Fazenda Mourão - Campo Verde (MT) - 2004/2005²

T₁ - Monoculture Coton x Travail du sol
 T₂ - Discage léger avant Mil - SD Coton sur Mil / tous les ans
 S₁ - SD Coton dans la rotation = Coton/Soja + Eleusine
 S₂ - SD Coton dans la rotation = Coton/Soja + (Sorgho + Brachiaria Ruziziensis)



1 - Dispositif expérimental: Matrice de systèmes de culture en rotation testés, avec 2 niveaux réduits à chaque répétition et intensité au milieu (T₁ et T₂) - Dispositif contrôlé en conditions réelles d'exploitation mécanisées.
 Moyenne de 4 variétés (sans Temik): CD 406, CD 407, CD 99-37, CD 99-223R
 2 - Sol de texture sable-argileuse (20-27% d'argile, 79-73% de sable)
 SOURCE: Pires, NEAL, COLISTE, CORAD, FAZ. MOURÃO. Essai CIRAD, à L. BIRN & H. RAY, L. Nogue, S. Balthaz, COCOTEC, A. Minora, M. Poljanec.

FIG. 13 RÉSULTATS D'ANALYSES¹ DE RÉSIDUS DE PESTICIDES DANS LES GRAINS ET LE SOL, EN FONCTION DU SYSTÈME DE CULTURE ET DU MODE DE GESTION² DE LA CULTURE COTONNIÈRE

Écologie des sols ferrallitiques des cerrados du Sud-Est Mato Grosso - Campo Verde, MT/2006

Système de culture	Mode de Gestion ² Coton	RÉSIDUS GRAINS-SOLS, (en mg/kg)					
		GRAINS			SOL		
		Multirésidus	Glyphosate	Paraquat	Multirésidus	Glyphosate	Paraquat
I - SEMIS DIRECT (SCV) • Coton/Soja + (<i>Eleusine c.</i> + <i>Crotalaire sp.</i>) (S, J)	C	<LQ	<0,01	<0,02	<LQ	<0,01	<0,02
	C + O	<LQ	<0,01	<0,02	<LQ	<0,01	<0,02
II - SEMI-DIRECT - TCS • Mil + Coton annuel (Disage sur Mil) (T ₁)	C	• 0,20 • 0,22 • 0,03 Cipermetrinas	<0,01	<0,02	• 0,02 Tetraconazol	<0,01	<0,02
	C	• 1,90 • 0,32 • 0,07 Cipermetrinas	<0,01	<0,02	• 0,03 Tetraconazol	<0,01	<0,02
III - DISCAGES • Monoculture Coton (T ₂)	C	• 1,90 • 0,32 • 0,07 Cipermetrinas	<0,01	<0,02	• 0,03 Tetraconazol	<0,01	<0,02

1 - Analyses de résidus: réalisés par le laboratoire CTAEX - Badajoz Espagne

2 - Modes de Gestion du Coton:

a) Chimique (C) - Traitement chimique des semences - Niveau standard de fumure: 140N + 63P₂O₅ + 135K₂O + oligos; herbicides + insecticides; Gestion de la Fazenda

b) Chimique + Organique (C + O) - Traitement organique des semences - Niveau bas de fumure: 70N + 31P₂O₅ + 68K₂O + oligos; herbicide; traitement Fazenda - application de produits organiques: 80kg d'humus + 4,5 kg de EPA à différents stades: 1^{er} bétou, 1^{er} fleur et 100-110 JAS; contrôle des insectes avec Neem complétés par produits chimiques si nécessité (ponaises, *Anthonomus g.*)

SOURCE: Projet FACUAL/COODETEC/CIRAD/FAZ. MOURÃO - Equipe CIRAD: J. L. Belot, J. Martin, L. Séguy, S. Bouzinac; COODETEC: A. Marques, M. Rodrigo; Fazenda Mourão: G. Costa, L. Dalla Nora, Campo Verde, MT/2006

FIG. 14

PERFORMANCES ÉCONOMIQUES DE SYSTÈMES DE CULTURE TRÈS CONTRASTÉS, SUR 4 ANS, À BASE DE COTON¹

Cerrados humides de moyenne altitude (600 a 700 m) du Sud-Est Mato Grosso- Campo Verde-MT – 2001/2005

Système de culture	Paramètres Économiques en US\$/ha	FUMURE ²	2001/02		2002/03		2003/04		2004/05	
			Coton	Soja + "Safinhas"	Coton	Soja + "Safinhas"	Coton	Soja + "Safinhas"	Coton	Soja + "Safinhas"
1. Monoculture Coton + (Mil) - Système Conventiel T1	Coûts de production	Standard	1120	-	1158	-	1261	-	1624	-
		Révisé	964	-	894	-	1185	-	1448	-
		Standard	-17	-	162	-	33	-	-190	-
		Révisé	188	-	88	-	-386	-	-650	-
2. Succession annuelle continue Mil-Coton - Disage sur Mil - Semis Direct sur Coton - Système "Semi-Direct" T2	Coûts de production	Standard	1033	-	1064	-	1198	-	1548	-
		Révisé	888	-	1025	-	1131	-	1464	-
		Standard	8	-	220	-	-384	-	-257	-
		Révisé	278	-	347	-	-73	-	-292	-
3. Rotation en Semis Direct (Coton/Soja) + (Crotalaire sp.) - Système "Semi-Direct" S1	Coûts de production	Standard	1160	388	1194	388	1246	395	1696	436
		Révisé	1162	314	1132	323	1164	361	1533	367
		Standard	-430	188	-407	338	-171	481	-430	348
		Révisé	-69	247	317	373	-168	446	238	227
4. Rotation en Semis Direct (Coton/Soja) + (Sorgho + Boutarins) - Système "Semi-Direct" S2	Coûts de production	Standard	1142	344	1176	376	1234	362	1576	424
		Révisé	1065	288	1111	366	1173	325	1518	372
		Standard	-144	250	421	408	647	424	368	176
		Révisé	-191	282	354	390	1	479	303	410

(1) DANS CE SYSTÈME S1, LE MAÏ VARIÉTÉ PEUT SUBSTITUER TRÈS AVANTAGEUSEMENT LE SORGHO EN OFFRANT DES MARGES PLUS ÉLEVÉES ET PLUS SÛRES.

(2) FUMURE STANDARD = 32,4 N + 121,5 P₂O₅ + 127,8 K₂O en kg/ha
 - FUMURE RÉDUITE = 1/3 FUMURE STANDARD = 41,2 N + 66,9 P₂O₅ + 43,9 K₂O en kg/ha

(3) PRIX PAYÉS AU PRODUCTEUR POUR LE SOJA (en US \$/ha de 60 kg) ⇒ 2002 = 7,25 ; 2003 = 11,03 ; 2004 = 13,50 ; 2005 = 8,08.
 POUR LE COTON FIBRE (en US \$/ha de 15 kg) ⇒ 2002 = 14,80 ; 2003 = 21,67 ; 2004 = 16,88 ; 2005 = 17,88.
 POUR LES "SAFINHAS" DE SORGHO ET ÉLEUSINE + CROTALAIRE, PRIX PAYÉS ESTIMÉS 3,00 US\$/SAC DE 60 kg.

SOURCE: Projet FACUAL/COODETEC/CIRAD/FAZ. MOURÃO - Equipe CIRAD: J. L. Belot, J. Martin, L. Séguy, S. Bouzinac; COODETEC: A. Marques, M. Rodrigo; Fazenda Mourão: G. Costa, L. Dalla Nora, Campo Verde, MT/2006

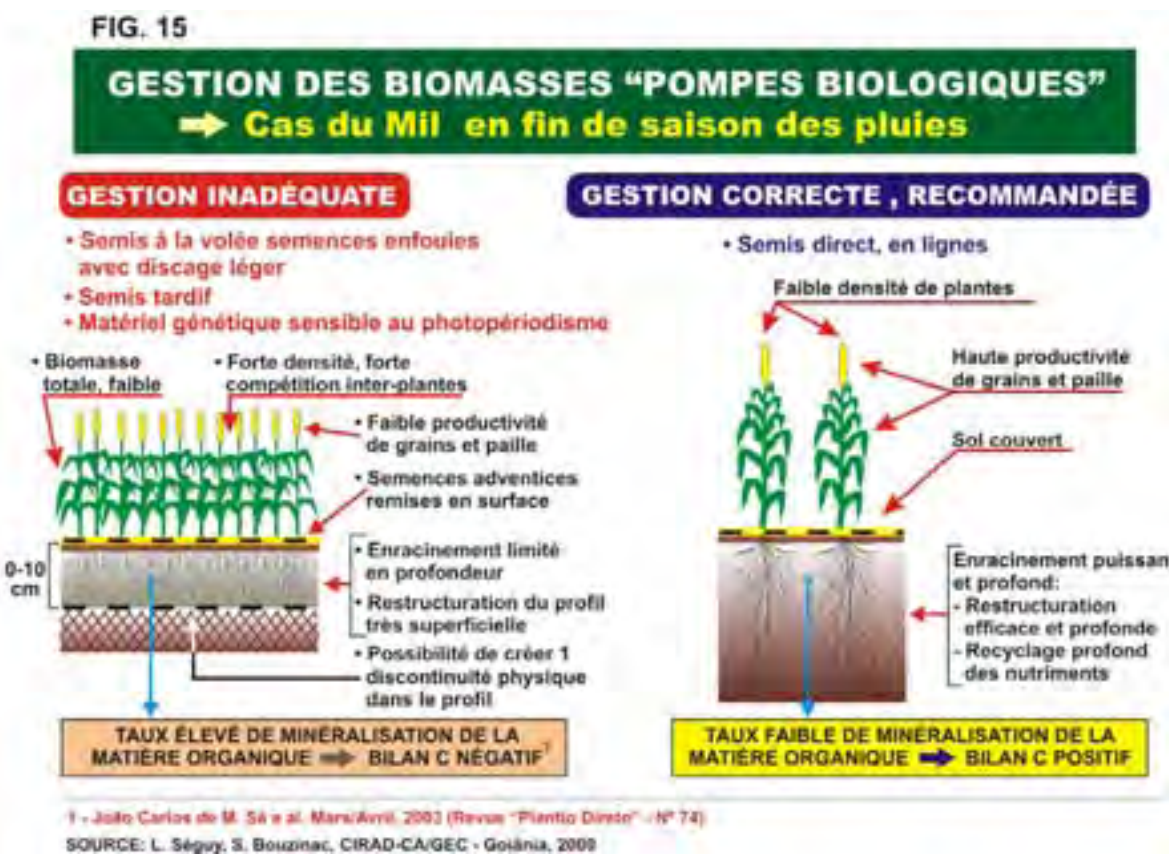


Tableau 2 Limites (concentrations en µg/l) établies par l'EPA⁶ pour diverses matières actives polluantes de l'environnement, et concentrations maximums mesurées dans les régions de campo verde et de primavera do leste - Mato Grosso

Matière active	Classe toxicologique	Classe environnementale	Limites EPA (µg/l)	Concentrations Maximums Mesurées (µg/l)
Aldicarb	I	II	7	19,7 (nappe)
Carbosulfan	II	-	40	69,0 (nappe)
Clorpirifos	II	I	20	68,6 (eaux ruissellement)
Diuron	II	-	10	23,3 (eaux ruissellement)
Endosulfan (haute fréquence)	I	I	-	28,8 (eau de pluie)
Metolaclore (haute fréquence)	II	-	2000	18,7 (eau de pluie)
Methyl parathion ⁷	I	-	-	79,7 (nappe)
Monocrotofos ⁸	I	I	-	17,0 (eaux ruissellement)
Teflubenzuron	IV	II	-	3,6 (nappe)

Source : Eliana F. G. de Carvalho Dores et Rose Gomes Monnerat

Extraits du Document FACUAL : « Algodão - Pesquisas e Resultados para o Campo » FACUAL - Cuiaba 2006
 Coton et protection environnementale - Chapitre 15 p. 361 - 389

(* Dans le bassin du Pantanal, sur les 29 agrottoxiques recherchés, 22 ont été présents au moins une fois, dont 68% dans les eaux superficielles, 87% dans l'eau de pluie et 62% sur les sédiments de fond ; les plus fréquents sont les triazines, les acétanilides, la Trifluraline et l'Endosulfan ; ce dernier est très toxique pour les poissons et les animaux aquatiques (concentration létale [CL 50] de 1,0 µg/L pour les poissons).

⁶ EPA = Agence de l'Environnement des Etats Unis

⁷ Classé comme hautement toxique par l'ANVISA, agence de vigilance sanitaire du Brésil

⁸ Classé en classe environnementale I par l'IBAMA (Institut de protection de l'environnement brésilien)

DÉGÂTS DÛS AU TRAVAIL DU SOL (INTENSIF ET MINIMAL)



Le milieu de l'étude = cerrados et forêts



Sols Ferrallitiques compactés par discages x monoculture – Cerrados –(1982-1995)



Profils culturaux compactés, asphyxiants, sur cotonnier- Sud de Goiás



**Forte érosion hydrique sur sols compactés – Cerrados
Campo Verde /MT- 1995**



**Erosion catastrophique sur unité de paysage (Soja)-Cerrados
Lucas do Rio Verde - 1986**



**Erosion catastrophique sur unité de paysage (Soja)-Cerrados
Lucas do Rio Verde - 1986**



Erosion sur sol préparé (à gauche); conservation sur Semis Direct (à droite)-Piauí –Nord Brésil -1992



Erosion sur travail du sol intensif (T1) - sol sableux –cerrados Campo Verde/MT, après 240mm en 5 h



**Erosion sur travail du sol intensif (T1) - sol sableux – Cerrados
Campo Verde/MT , après 240mm en 5h**



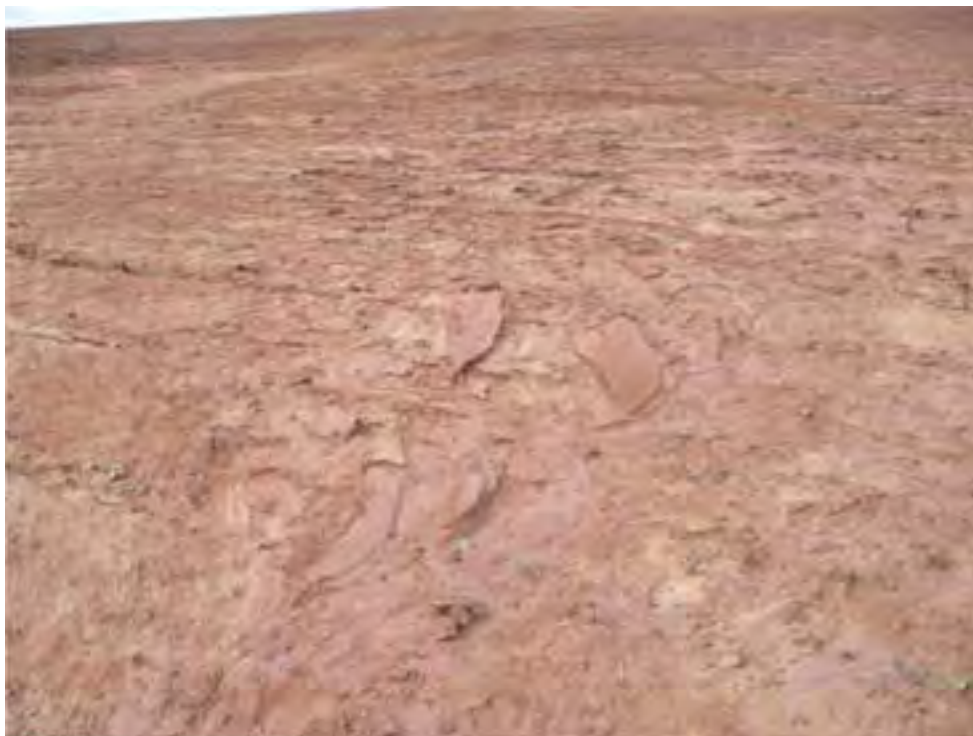
Erosion éolienne – Forêts tropicales – Sud Goiás -1998



Erosion éolienne – Forêts tropicales – Sud Goias - 1999



**Erosion sur système «semi-direct» (T2=TCS) – Cerrados
Campo Verde/MT - 2007**



**Erosion sur système «semi-direct » (T2=TCS) – Cerrados
Campo Verde - 2007**



II) SOLUTIONS ET PERSPECTIVES

Les systèmes de Semis Direct sur Couverture Végétale permanente des sols (SCV) :

- Un retour en force à la biodiversité fonctionnelle des écosystèmes naturels,

Ou : Comment réconcilier l'agronégoce et l'écologie



• **POURTANT DES SYSTEMES DE CULTURE DIVERSIFIES ET DURABLES EXISTENT DEPUIS LES ANNEES 1990 (SCV) :**

construits sur une biodiversité fonctionnelle de plus en plus efficace, ils répondent aux critères essentiels de l'agriculture durable qui doit être écologiquement saine, économiquement viable, socialement juste et humaine.

*Ce chapitre est consacré aux principaux résultats issus des diverses étapes majeures de Recherche-Action pilotées par le CIRAD-CA et ses partenaires brésiliens⁹ de la Recherche et du développement qui ont conduit à l'élaboration et à l'amélioration continue de scénarios de développement diversifié et durable dans le Centre Ouest du Brésil et plus particulièrement dans l'état du Mato Grosso. Ces scénarios devaient répondre aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre à leurs besoins et ont été, pour ce faire, progressivement construits et perfectionnés à partir de 2 composantes essentielles de la durabilité : la **viabilité** qui implique la sécurisation économique des sources de revenu face aux aléas du marché mondialisé et climatiques, et de la **reproductibilité environnementale** des écosystèmes, c'est-à-dire la prise en compte permanente des effets des pratiques sur les milieux afin que l'agriculture, ni ne dénature, ni ne dégrade, ni ne pollue gravement l'environnement.*

Plus précisément, la description de ces scénarios de développement durable vise à faire la démonstration du perfectionnement continu de leur efficacité croissante sur les composantes de durabilité suivantes : productivité et stabilité, viabilité économique avec de moins en moins d'intrants chimiques au cours du temps, qualité biologique des sols (capacité de séquestration du carbone, contrôle naturel des nématodes et des adventices, phytoremédiation) et des productions (exemptes de résidus agrottoxiques).

La création technologique de systèmes SCV de plus en plus performants entre 1987 et 2008 dans la ZTH du Brésil Central a été réalisée à partir de l'ingénierie écologique au service du développement, en s'appuyant sur 2 voies de Recherche-Action complémentaires, converties en techniques appropriables par les agriculteurs (grandes agricultures mécanisées et petites agricultures familiales) [Séguy L. 1994, Séguy L. et al. 1996, 1998 a et d ; 2001, d ; 2004, c] :

- 1) En s'inspirant, dès le départ, des modes de fonctionnement d'un écosystème stable sur sols « vides » chimiquement : l'écosystème forestier*
- 2) En incorporant ensuite dans les systèmes de culture SCV une biodiversité croissante à multifonctionnalité de plus en plus efficace qui œuvre gratuitement pour améliorer les performances agro économiques des SCV, en harmonie avec la nature.*

⁹ Equipe L. Séguy, S. Bouzinac et ses partenaires brésiliens de la recherche et du développement, en coopération permanente avec les agriculteurs (dont le pionnier, Mr Munefume Matsubara), le CNPAF, Centre de Recherche Fédéral sur le riz et le haricot de l'EMBRAPA, l'EMPAER-MT, Centre de Recherche de l'état du Mato Grosso entre 1986 et 1989 ; puis en partenariat avec RHODIA (filiale Brésil de Rhône Poulenc) et la coopérative COOPERLUCAS de Lucas do Rio Verde de 1990 à 1995, et plus récemment avec la Préfecture de SINOP, puis le groupe MAEDA, la COODETEC, le FACUAL et l'entreprise privée de recherche AGRONORTE, entre 1995 et 2002, CEREASNET entre 2004 et 2006, et les Universités USP-CENA et UEPG (Conventions de recherches respectives de 2000/2004 et 2004/2009).

2. 1 - LES PREMIERES LEÇONS DU PASSE :

⇒ *L'exemple incontournable de la Fazenda Progresso entre 1985 et 1995 : les premières preuves de la durabilité des SCV*

▪ Ce haut lieu, pionnier de la création (Séguy L. et al. 1996 ; 1998,a) des systèmes de culture sur couverture végétale permanente à Lucas do Rio Verde¹⁰, produisait déjà entre 1990 et 1995 (Fig. 16) :

- De 1990 à 1993 des rendements croissants de soja, de 2.662 kg/ha à 3.024 kg/ha en Semis Direct continu sur puissantes couvertures de mils et sorghos africains,
- De 1993 à 1995, le franchissement d'un nouveau palier technologique avec l'intégration de l'élevage en rotation avec la culture de soja : les pâturages de *Brachiaria brizantha* et *Panicum maximum* (cv. *Tanzânia*) installés par Semis Direct en succession du soja, avec un minimum d'intrants, permettent d'élever la productivité moyenne de soja à 3.643 kg/ha en 1995, avec un maximum de rendement en 1993 de 4.328 kg/ha sur 384 ha (variété *Emgopa 306*) sans utilisation de fongicides ; ces rendements moyens très élevés, obtenus en grande culture et en Semis Direct continu sont à mettre en regard avec la productivité moyenne annuelle de soja du Mato Grosso issue du système dominant de "semi-direct" en 2007 , inférieure à 3.000 kg/ha, soit quelques 12 ans plus tard !!!

▪ L'évaluation des premiers impacts des SCV sur les propriétés physico-chimiques des sols mettait en évidence (Fig. 17) :

- après avoir perdu plus de 60% du stock de carbone du sol dans l'horizon 0 - 20 cm, en 10 ans de travail intensif du sol (discages), 6 années de pratique des SCV sur puissantes biomasses (Soja ou Riz + Sorghos ou Mils africains en succession annuelle) permettent de récupérer 1% de Matière Organique dans l'horizon 0 - 10 cm et 0,4% dans l'horizon 10 - 20 cm : la première évaluation de la capacité de séquestration de carbone de ce système SCV , est estimée entre 1,1 et 1,2 t/ha/an de carbone dans l'horizon 0 - 10 cm et 0,45 à 0,5 t/ha/an dans l'horizon 10 - 20 cm, soit un total moyen de 1,55 à 1,70 t/ha/an dans l'horizon 0 - 20 cm ;
- 5 ans de pâturages ensuite installés en Semis Direct, avec les espèces *Brachiaria brizantha* et *Panicum maximum* remontent les teneurs en matière organique à un niveau équivalent à celui de l'écosystème originel des Cerrados. La séquestration de carbone établie sur 5 ans est estimée :
 - Entre 0,90 et 1,00 t/ha/an dans l'horizon 0 - 10 cm et 1,25 à 1,35 t/ha/an dans l'horizon 10 - 20 cm sous l'espèce *Panicum maximum*, soit un total moyen de 2,25 à 2,35 t/ha/an dans l'horizon 0 - 20 cm
 - Entre 1,22 et 1,31 t/ha/an dans l'horizon 0 - 10 cm et 1,95 à 2,12 t/ha/an dans l'horizon 10 - 20 cm sous l'espèce *Brachiaria brizantha*, soit un total moyen de 3,15 à 3,43 t/ha/an dans l'horizon 0 - 20 cm(Corraza E. J. et al 1999 ; Cerri C.C. et al. 1992 ; Husson O., Séguy L. et al. 2006 ; Sá J.C.M. et al. 2004 ; Sá J.C.M., Séguy L. et al. et 2008 ; Séguy L. et al. 2006,a ;)
- La CEC accompagne l'évolution des teneurs en Matière Organique en surface ;
- La preuve de l'existence d'une pompe à ions efficace, matérialisée par les puissantes biomasses de pâturages «branchées» dans les réserves d'eau profondes du sol (à l'image de la forêt) est clairement établie (Fig. 18) :

¹⁰ Grâce au visionnaire et diffuseur du Semis Direct, Mr. Munefume Matsubara.

- Alors qu'aucun amendement calcaire n'a été apporté depuis l'année du Semis Direct (1990), le taux de saturation de base des horizons de surface s'élève très significativement sous les pâturages mettant ainsi en évidence la remontée par les systèmes racinaires des pâturages, des bases provenant des amendements lessivés pendant les 10 ans précédents sous travail du sol continu.
- Des fosses pédologiques, ouvertes après 3 ans sous les 2 pâturages et sur plus de 3 m de profondeur confirment visuellement des enracinements très puissants et continus dans le profil cultural au-delà de cette profondeur (*autre preuve donc de l'injection de carbone en profondeur¹¹ et du fonctionnement Sol-Culture en circuit fermé sous SCV par des mécanismes de recyclage profond efficaces*). (Fig. 19).

▪ **L'analyse des productivités moyennes annuelles de biomasse mesurées sur 6 ans** en fonction des systèmes de culture les plus contrastés implantés sur des matrices systématisées à la même Fazenda Progresso (*dispositif expérimental pérennisé couvrant plus de 400 ha*) (Séguy L., 1994 ; Séguy L. et al., 1996 ; Séguy L. et al. 1998,a ; L. Séguy et al., 2001,d ; Séguy L. et al., 2004, c), réunie dans la Figure 20 permet de tirer les conclusions suivantes :

- Le système le plus performant, SCV continu Soja + Sorgho africain à forte biomasse, produit en moyenne entre 11,5 et 13,7 t/ha de biomasse aérienne + racinaire ($B_A + B_R$) en fonction des niveaux de fumure minérale utilisés, soit 3 à 5 fois plus que les systèmes de Monoculture annuelle de Soja et que la rotation Soja / Riz, tous les deux étant pratiquées avec une seule culture par an et un travail intensif du sol (*discages*) ;
- Les études de régression entre la productivité cumulée de grains et les différents compartiments de la biomasse : totale (B_T), aérienne (B_A) et racinaire (B_R) cumulées, montrent de bonnes corrélations linéaires, exceptée pour la régression grain/biomasse aérienne de la Monoculture de soja x Discages ; plus la quantité de biomasse produite est importante dans tous les compartiments, et plus la corrélation est précise entre production de grains et tous les compartiments biomasse comme le montrent les R^2 de 0,98 à 0,99 obtenus pour le meilleur système Soja + Sorgho en SCV continu, traduisant un effet «niveleur - tampon» cumulé de la matière organique : plus la biomasse produite annuellement est importante, et plus la productivité de grains est élevée et stable (Fig. 21).

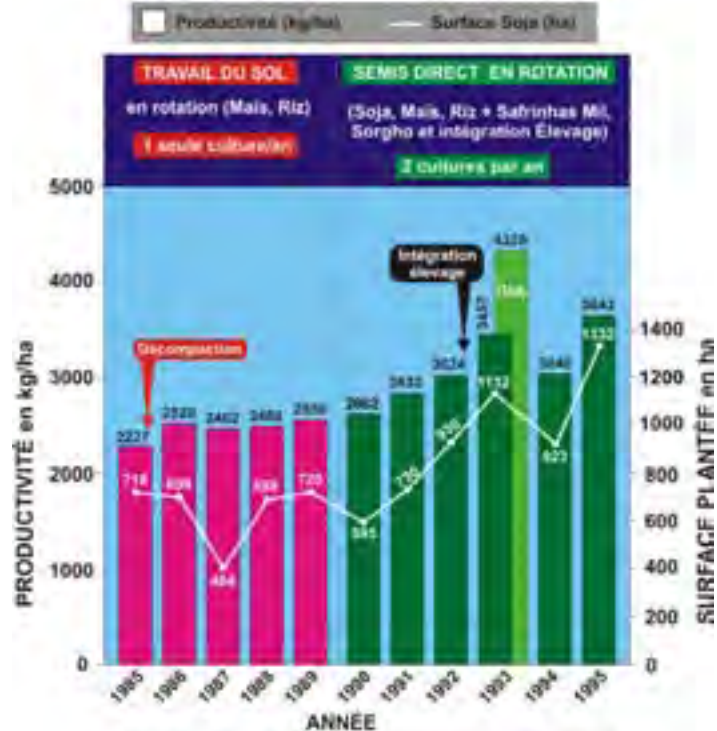
▪ Ces performances agronomiques différenciées des systèmes de culture se répercutent de la même manière sur leur viabilité économique et conduisent à un classement des systèmes similaire à celui établi pour la production de biomasse = le système SCV continu Soja + Sorgho est le plus attractif et le plus stable économiquement avec une marge nette moyenne de 140 US \$/ha ; à l'opposé, la Monoculture de Soja x Discages conduit le plus souvent à des marges nettes négatives (Figure 22).

¹¹ Des résultats récents obtenus sur le fonctionnement comparé des systèmes de culture très contrastés de diverses écologies de Madagascar montrent l'enrichissement en carbone des horizons profonds au-delà de 60 cm, avec ce type de SCV (*résultats encore non publiés*).

FIG. 16

ÉVOLUTION DE LA PRODUCTIVITÉ DU SOJA À LA FAZENDA PROGRESSO, PÔLE DE CRÉATION DU SEMIS DIRECT SUR COUVERTURE VÉGÉTALE PERMANENTE (SCV), entre 1985 et 1995

Écologie des sols ferrallitiques des cerrados humides du Centre Nord Mato Grosso - Lucas do Rio Verde - MT



SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinec, M. Matubera et partenaires Brésiliens, Fazenda Progresso, Lucas do Rio Verde/MT, 1996

FIG. 17

TENDANCES D'ÉVOLUTION DU TAUX DE MATIÈRE ORGANIQUE (EN %), EN FONCTION DE LA NATURE DES SYSTÈMES DE CULTURE PRATIQUÉS DANS DIVERS AGROSYSTÈMES CONTRASTÉS, TROPICAUX ET SUBTROPICAUX -



SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinec, CIRAD-CA/SCV, Munfami Matubera, Fazenda Progresso - Lucas do Rio e Verde/MT - 1978/1998

FIG. 18

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



FIG. 19

ÉVOLUTION DU TAUX DE MATIÈRE ORGANIQUE (M. O. %), DE LA CEC ET DU TAUX DE SATURATION DE BASES (V %), APRÈS 5 ANS DE PÂTURE SUR *Brachiarla brizanta* (Brizantão) ET *Panicum maximum* (Tanzânia), AVEC UNE CHARGE DE 1,7 UGB/ha, SANS ENGRAIS - Écologie des savanes humides - Fazenda Progresso - Centre Nord Mato Grosso - Lucas do Rio Verde - MT - 1998 -

SOLS FERRALLITIQUES ROUGE - JAUNES

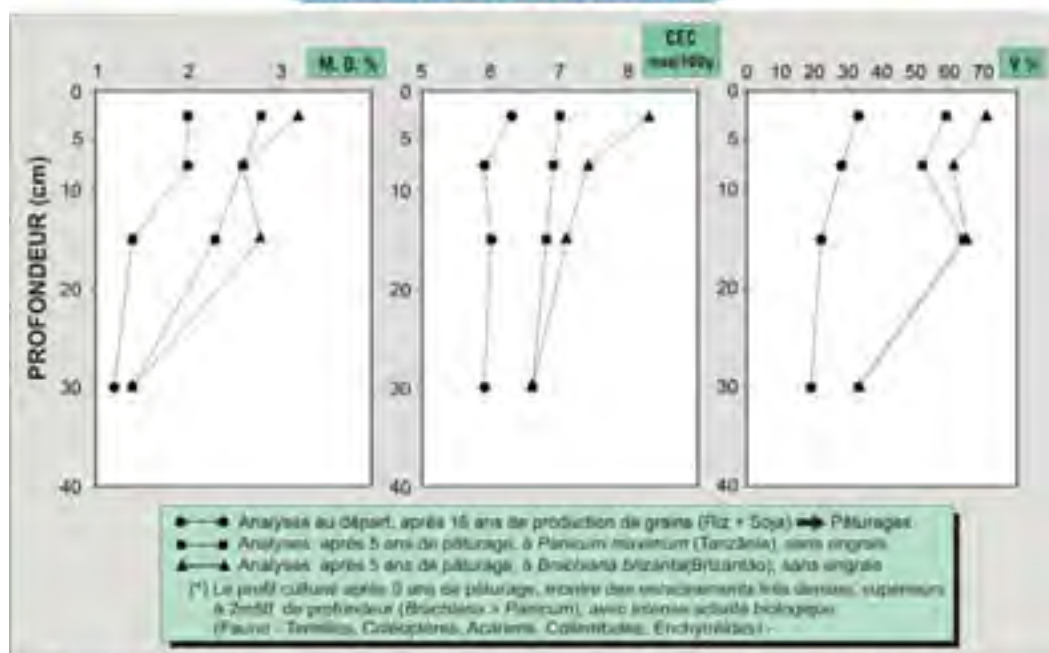


FIG. 20

PRODUCTIVITÉ MOYENNE ANNUELLE DE BIOMASSE MESURÉE¹ SUR 6 ANS EN FONCTION DE LA NATURE DE DIVERS SYSTÈMES TRÈS CONTRASTÉS, À BASE DE SOJA, SOUMIS À 2 NIVEAUX DE FERTILISATION MINÉRALE

Écologie des cerrados humides du Centre Nord Mato Grosso - Lucas do Rio Verde - MT - 1987/1993

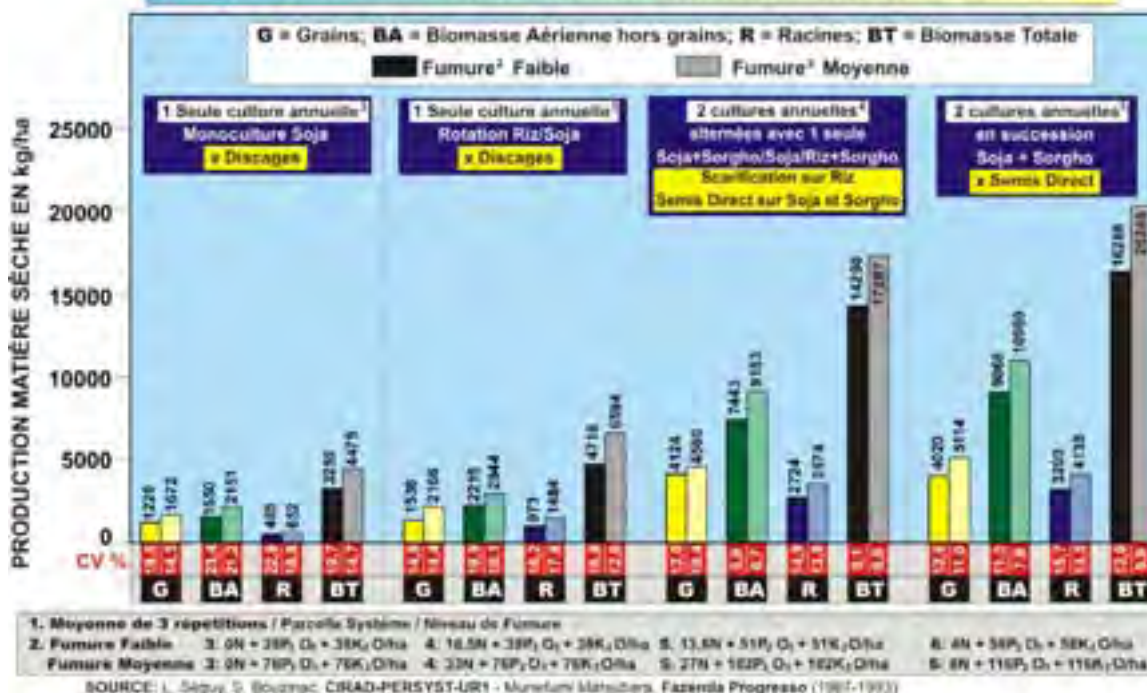


FIG. 21

RÉGRESSIONS: PRODUCTIVITÉ CUMULÉE DE GRAINS x BIOMASSE CUMULÉE TOTALE (BT), BIOMASSE AÉRIENNE VÉGÉTATIVE (BA), BIOMASSE RACINAIRE (BR), EN FONCTION DE LA NATURE DE DIVERS SYSTÈMES DE CULTURE CONTRASTÉS SOUMIS À 2 NIVEAUX DE FUMURE² SUR 6 ANS

Écologie des cerrados humides du Centre Nord Mato Grosso - Lucas do Rio Verde - MT - 1987/1992

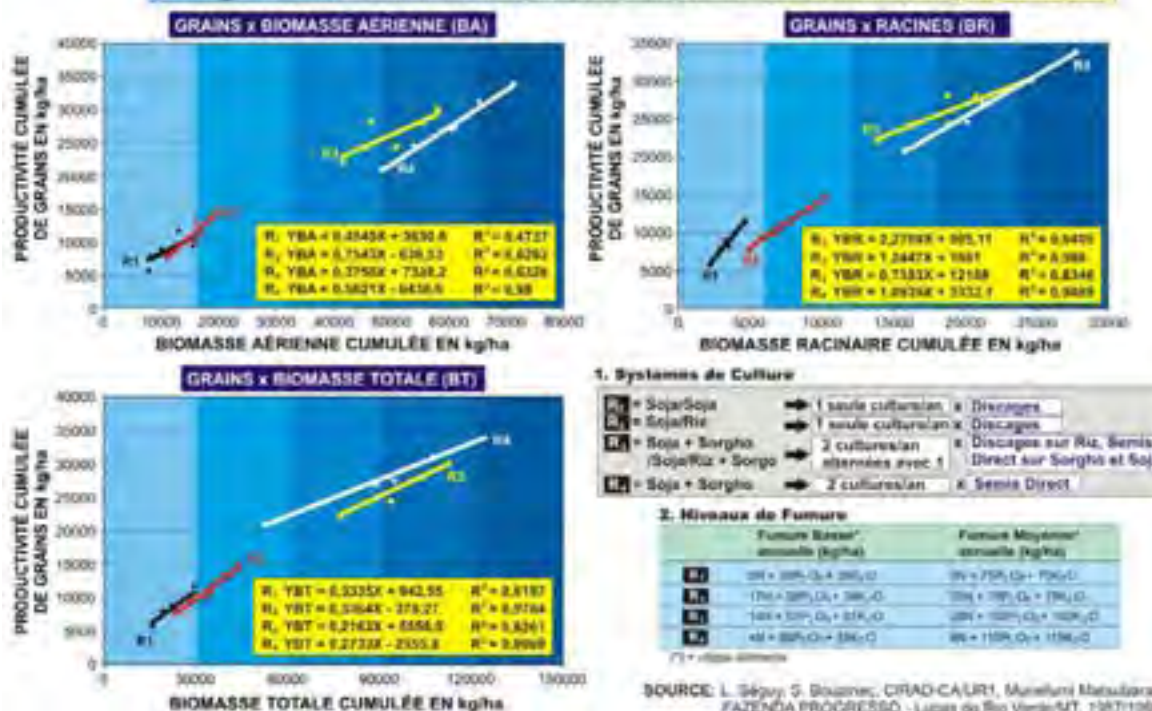


FIG. 22 PERFORMANCES ECONOMIQUES¹ DE SYSTEMES DE CULTURE TRÈS CONTRASTÉS, SUR 5 ANS À BASE DE SOJA ET RIZ + "SAFRINHAS"

Écologie des cerrados humides du Centre Nord du Mato Grosso – Lucas do Rio Verde/MT, 1987 - 1991

Systèmes de culture	Paramètres économiques en US\$/ha	ANNEES				
		1987	1988	1989	1990	1991
Monoculture Soja x Discages + 1 seule culture annuelle	Coûts de production	290	272	364	255	362
	Marges Nettes ²	60	-87	-45	-58	-142
Rotation Riz / Soja x Discages + 1 seule culture annuelle	Coûts de production	235	261	315	252	435
	Marges Nettes ²	11	113	27	44	-71
Rotation: Soja + Sorgho/ Soja / Riz + Sorgho x SD (semis Direct) sur Soja et Sorgho, Scarification sur Riz + 2 cultures / an, alternées avec 1 seule culture annuelle	Coûts de production	440	247	465	453	324
	Marges Nettes ²	50	160	128	119	170
Succession annuelle continue Soja + Sorgho x Semis Direct (SD) + 2 cultures / an	Coûts de production	400	336	471	408	356
	Marges Nettes ²	151	208	112	125	98

1. Évaluées en conditions de culture commerciale, en présence du niveau moyen de fertilisation minérale.

2. Prix payés au producteur pour le SOJA (sac de 60 kg), en US \$/hc : 1987 = 8,42 ; 1988 = 9,79 ; 1989 = 12,80 ; 1990 = 10,00 ; 1991 = 9,15.
Prix payés au producteur pour le RIZ (sac de 60 kg), en US \$/hc : 1987 = 6,88 ; 1988 = 7,68 ; 1989 = 7,61 ; 1990 = 8,31 ; 1991 = 10,33.
Les prix payés pour le SORGHO blanc sans sarins et à haute teneur en protéines (*12%) sont estimés à 3,00 US\$/sac de 60 kg.

SOURCE: L. Séby, S. Bouzinac, CIRAD-PERSYST-UR1 - Munfumi Matubera, Fazenda Progresso (1987-1992)

2.2 - DES CERRADOS A LA FORÊT HUMIDE DU SUD DU BASSIN AMAZONIEN : Reproductibilité du fonctionnement agronomique comparé des systèmes de culture contrastés et création de SCV plus performants - 2^e étape 1998 - 2002 - Sinop - MT

● L'outil expérimental «matrice des systèmes de culture pérennisés» implanté en zone de forêt (cf. photos en fin de Chapitre II) entre 1997 et 2002 incorpore les progrès techniques issus de la phase précédente des Cerrados (Lucas do Rio Verde - 1985 - 1995), et crée de nouveaux systèmes SCV encore plus performants grâce à l'ingénierie écologique notamment en poursuivant les voies de progrès déjà identifiées qui commandent la productivité des systèmes : l'incorporation de biomasses de couverture encore plus puissantes et plus diversifiées pour que les couverts végétaux des SCV gagnent en multifonctionnalité gratuite. Les efforts de création de l'innovation portent donc en pratique à la fois sur l'objectif d'accroissement de la production totale de biomasse annuelle (compartiments : biomasse aérienne, racinaire et production de grains) et sur sa qualité en visant l'augmentation de sa biodiversité fonctionnelle.

● En partant du meilleur système SCV pour la production de soja, issu de l'étape précédente Cerrados (Lucas do Rio Verde), constitué par la succession annuelle Soja + Sorgho africain à forte biomasse :

Soja + Sorgho devient Soja + (Sorgho + *Brachiaria ruziziensis*) et une nouvelle rotation SCV est créée puis maîtrisée : Soja/Riz avec en succession annuelle (*Eleusine coracana* + *Crotalaria spectabilis*)¹² associées et des SCV sur couvertures vivantes permanentes gérées avec un minimum d'herbicides sont dominés et reproductibles : légumineuses Soja sur

¹² Ces deux espèces correspondent aux fonctions recherchées pour nos objectifs, notamment pour augmenter la production de carbone dans le compartiment racinaire (pivot décompacteur + système racinaire fasciculé fortement restructurant) et pour fixer gratuitement de l'azote pour le riz pluvial et les « safrinhas » (céréales de succession : mils, sorghos et maïs). L'identification de ces nouvelles espèces se fait à partir de l'outil profil cultural qui indique les fonctions nécessaires à améliorer, couplé à une démarche de naturaliste qui recherche dans la nature les espèces utiles et leurs modes de fonctionnement pouvant servir gratuitement les performances des systèmes.

couverture vivante de *Cynodon dactylon* (Tifton 85) et céréales Maïs et Riz sur couverture vivante d'*Arachis pintoï*.

● Les nouvelles successions annuelles sur couverture morte, apportent, dans des conditions pédoclimatiques similaires à celles des Cerrados Humides, des accroissements de biomasse sèche (*donc de carbone*) significatifs et dans toutes ses composantes : productivité de grains, biomasses aérienne et racinaire (*Fig. 20 et 23*) :

- L'introduction du *Brachiaria ruziziensis* (*Travaux CIRAD : Séguy L. et al. 1996, Séguy L. et al. 1998,a*) en association avec le sorgho, permet, au-delà d'offrir un pâturage de qualité en saison sèche comme 3^e culture de succession annuelle lucrative (*charge/ha de 1,7 UGB sur 120 jours*), des augmentations de biomasse sèche hautement significatives par rapport à la succession Soja + Sorgho =
 - + 53% et + 48% de biomasse totale avec fumures moyenne et faible respectivement,
 - + 61% et + 77% de biomasse aérienne (*hors grains*) et + 91% et + 19% de biomasse racinaire en présence des mêmes niveaux de fumure minérale,
 - La productivité totale des grains de soja augmente de 6 à 7% dans les mêmes conditions
- La rotation des successions annuelles Riz + (*Eleusine coracana* + *Crotalaria spectabilis*) / Soja + (*Eleusine coracana* + *Crotalaria spectabilis*) offre des augmentations de biomasse sèche du même ordre que la succession Soja + (Sorgho + *Brachiaria ruziziensis*) par rapport à la meilleure succession (Soja + Sorgho) issue de l'étape Cerrados précédente (*Lucas do Rio Verde*), pour ce qui concerne la biomasse totale ; elle produit cependant un peu moins de biomasse aérienne (*Fig. 24*), mais par contre beaucoup plus de grains lorsque les céréales sont cultivées dans la rotation (*riz, maïs*) grâce à la capacité de fixation de l'azote de l'association (*Eleusine* + *Crotalaria*) qui apporte gratuitement des quantités d'azote très profitables à la productivité du riz pluvial qui augmente ainsi de 35% à 41% par rapport à celle obtenue sur la succession Soja + Sorgho (*Fig. 25 et 26*)

● La productivité de biomasse sèche annuelle hors grains (*aérienne et racinaire*) est très élevée sur ces deux systèmes SCV utilisant les puissantes successions précédentes :

- Par rapport à la productivité de la succession Soja + Sorgho des Cerrados (*Lucas do Rio Verde*) comprise entre 16 et 13 t/ha en fonction des niveaux de fumure moyenne et faible respectivement, les successions Soja + (Sorgho + *Brachiaria ruz.*) et Soja/Riz + (*Eleusine cor.* + *Crotalaria sp.*) produisent 23 t/ha en présence de la fumure moyenne et entre 15 et 20 t/ha avec la fumure faible, soit une augmentation de matière sèche d'environ 7 t/ha (*3,15 t/ha/an de carbone en plus*), traduisant un saut technologique majeur quantitatif mais aussi qualitatif avec les successions SCV Soja/Riz + (*Eleusine c.* + *Crotalaria s.*) qui offrent une fixation gratuite et efficace de l'azote de l'air (*Fig. 20 et 23*).

● Ces systèmes SCV précédents, très fort pourvoyeurs de biomasse diversifiée, conduisent rapidement à des productivités très élevées des cultures principales Soja et Riz, même en partant de sols déjà fortement dégradés, reproduisant les réponses rapides de ces cultures à la quantité et à la qualité de biomasse, déjà obtenues sur Cerrados (*Lucas do Rio Verde*) au cours de la précédente étape de Recherche-Action (*Fig. 24*). **Les rendements de soja** sont ainsi étroitement corrélés à la

quantité de biomasse aérienne de graminées, mesurée à la floraison des safrinhas¹³ (Sorgho, mil, Eleusine), dès la 3^e année de fonctionnement des systèmes (*Fig.28 et 29*). **La preuve est faite de la possibilité de pouvoir, avec ces systèmes SCV, réduire fortement la fumure minérale** : dès la 3^e année de pratique continue des SCV avec 40 P₂O₅ - 40 K₂O/ha, soit la moitié du niveau de fumure le plus utilisé dans la région, la productivité de soja peut se maintenir entre 3.200 kg/ha avec un cycle court et 3.600 kg/ha avec un cycle moyen (*Fig. 30 et 31*).

C'est en présence d'un très faible niveau de fumure minérale de 40 P₂O₅ + 40 K₂O/ha, qui met en évidence la capacité du sol à produire par voie organo-biologique, que les gains de productivités des meilleurs SCV par rapport au système « monoculture x discages » s'accroissent le plus vite tous les ans, quel que soit le cycle de la variété utilisée : de 12-15% en 1^{er} année à 45-52% en 5^e année ; le gain moyen annuel de rendement en faveur des SCV, sur 5 ans, est de plus de 700 kg/ha [*Fig. 33*]. Sur ce très faible niveau de fumure, dès la 3^e année, les productivités de soja sur les meilleurs SCV vont de 3.100 kg/ha pour les cycles courts à plus de 3.500 kg/ha pour les cycles moyens. Quel que soit le cycle du soja, le rendement moyen sur 5 ans du soja est plus élevé sur les meilleurs SCV avec fumure faible (40 P₂O₅ + 40 K₂O/ha) que sur le système « monoculture x discages » avec fumure double (80 P₂O₅ + 80 K₂O/ha), et voisine de celle obtenue sur ce même système travaillé avec fumure non limitante (160 P₂O₅ + 110 K₂O/ha) [*Fig. 30, 31 et 32*].

Avec la fumure moyenne (80 P₂O₅ + 80 K₂O/ha), la plus utilisée dans la région, les cultivars de soja de cycle moyen, à fort potentiel, expriment une productivité croissante avec le temps sur les meilleurs SCV, qui produisent, sur 5 ans, de 16 à 40% de plus que sur le système travaillé en monoculture ; **leur rendement dépasse 4.300 kg/ha dès la 3^e année de culture sur SCV** ; les variétés de cycle court, de plus faible potentiel, offrent un gain annuel moyen de rendement sur SCV plus limité, de 516 kg/ha contre 934 kg/ha pour les cultivars de cycle moyen [*Fig. 31 et 33*]. Ces résultats convaincants obtenus en grande culture mécanisée sont produits sans utilisation de fongicides jusqu'en 2002.

¹³ Biomasse sèche très inférieure à celle mesurée 6 mois plus tard en octobre, juste avant le semis qui incorpore toute la biomasse produite par le *Brachiaria ruz.* et la crotalaire en saison sèche et après les premières pluies précoces.

FIG. 23 PRODUCTIVITÉ MOYENNE ANNUELLE DE BIOMASSE MESURÉE¹ SUR 5 ANS EN FONCTION DE LA NATURE DE DIVERS SYSTÈMES TRÈS CONTRASTÉS, À BASE DE SOJA, SOUMIS À 3 NIVEAUX DE FERTILISATION MINÉRALE

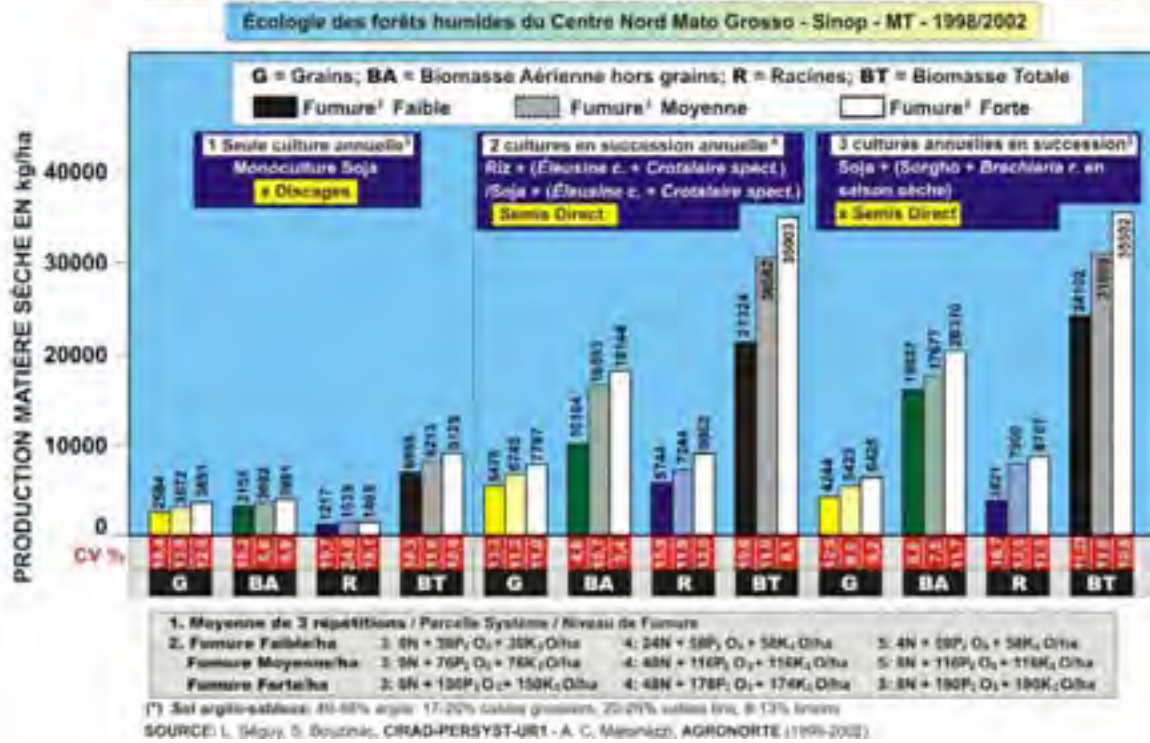


FIG. 24 RÉGRESSIONS: PRODUCTIVITÉ CUMULÉE DE GRAINS x BIOMASSE CUMULÉE TOTALE (BT), BIOMASSE AÉRIENNE VÉGÉTATIVE (BA), BIOMASSE RACINAIRE (BR), EN FONCTION DE LA NATURE DE DIVERS SYSTÈMES DE CULTURE CONTRASTÉS SOUMIS À 2 NIVEAUX DE FUMURE MINÉRALE, SUR 5 ANS

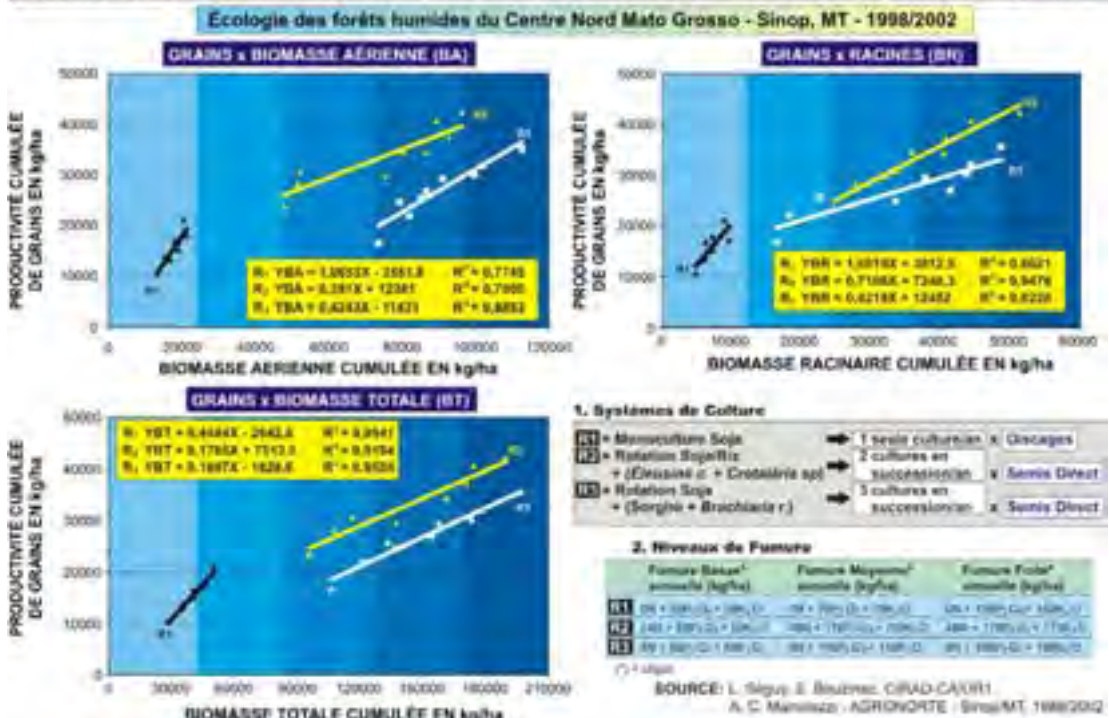


FIG. 25

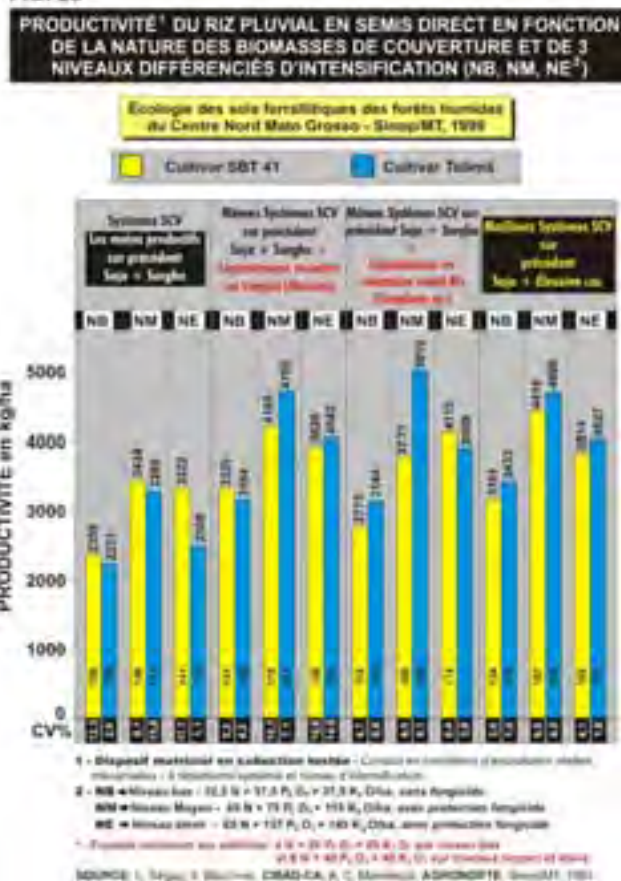


FIG. 26

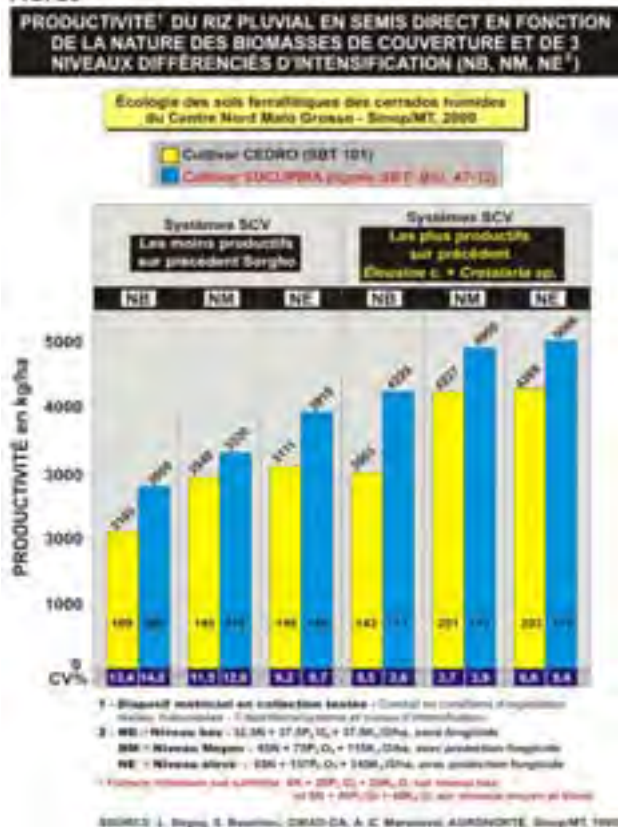
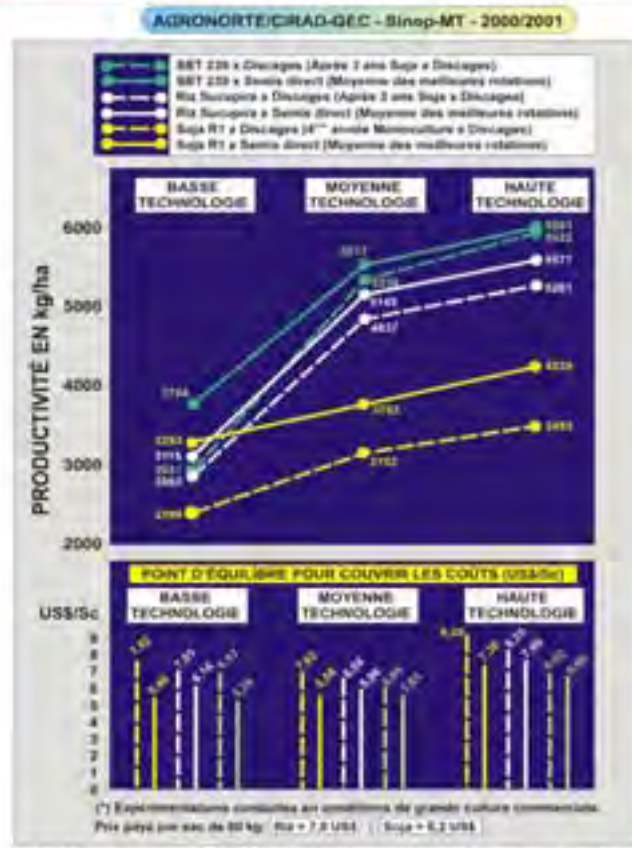


FIG. 27

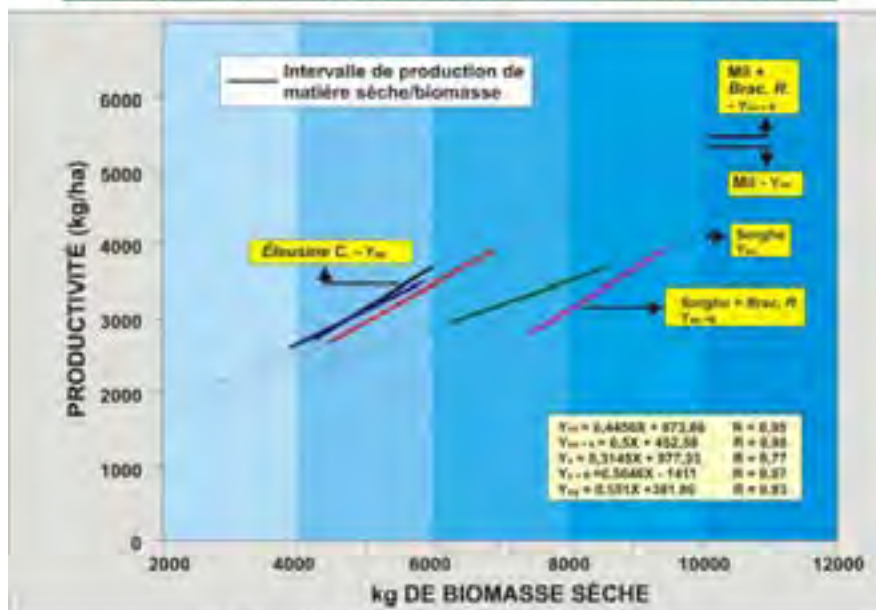
RÉPONSE DES CULTURES DE SOJA ET RIZ GRAIN LONG FIN EN FONCTION DU SYSTÈME DE CULTURE ET DU NIVEAU TECHNOLOGIQUE
Sols fertiles de l'écologie des forêts humides du Centre Nord du Mato Grosso



SOURCE: L. Seguy, S. Bruemel, CIRAD-CA/DECA, C. Marinoni, L. Bruemel, AGRONORTE - Sinop/MT, 2001

FIG. 28

REGRESSIONS ENTRE LA QUANTITÉ ET LA NATURE DE LA BIOMASSE SÈCHE ET LA PRODUCTIVITÉ DU SOJA DE CYCLE INTERMÉDIAIRE (CV. Conquistador) SUR 3 ANS DE SEMIS DIRECT - (1997/2000) - AGRONORTE - SINOP/MT, 2000

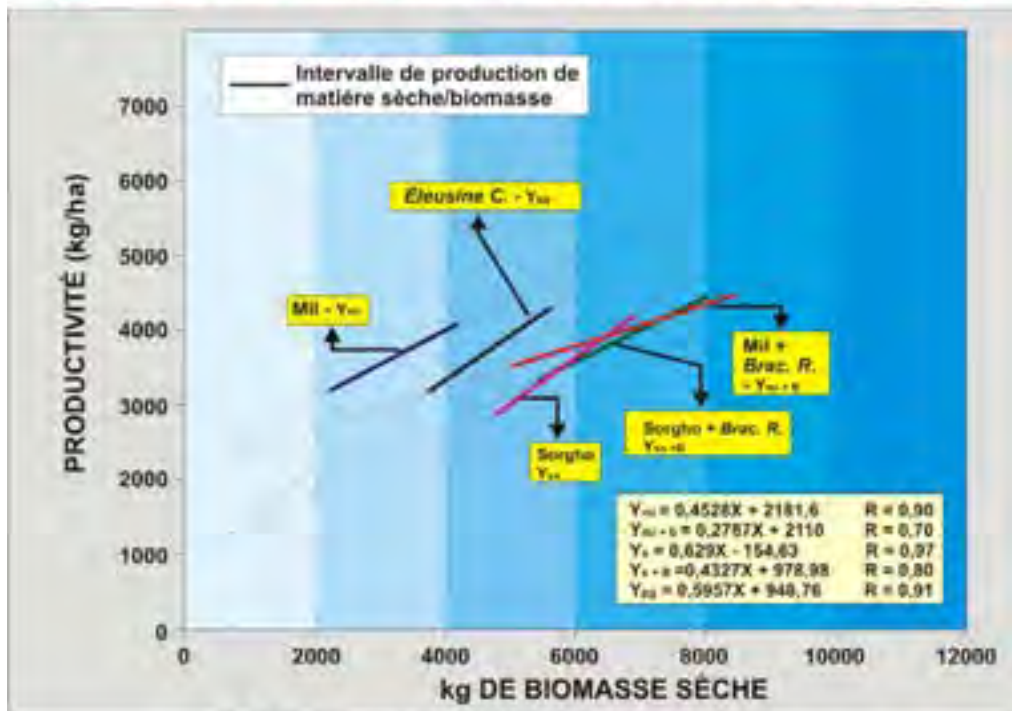


(1) 6 Répétitions/niveau de fumure/an

SOURCE: Seguy L., Bruemel S., CIRAD-CA, Marinoni A., Lucas G. L., Bruemel M., AGRONORTE - Sinop/2000

FIG. 29

REGRESSIONS¹ ENTRE LA QUANTITÉ ET LA NATURE DE LA BIOMASSE SÈCHE ET LA PRODUCTIVITÉ DU SOJA DE CYCLE MOYEN (FT 114) SUR 3 ANS DE SEMIS DIRECT - (1997/2000) - AGRONORTE - SINOP/MT, 2000



(1) 6 Répétitions/niveau de fumure/an

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

FIG. 30

ÉVOLUTION SUR 5 ANS DE LA PRODUCTIVITÉ DE SOJA, EN FONCTION DU SYSTÈME DE CULTURE
Sols ferrallitiques de l'écologie des forêts humides du Centre Nord Mato Grosso - Sinop/MT - 1997/2002

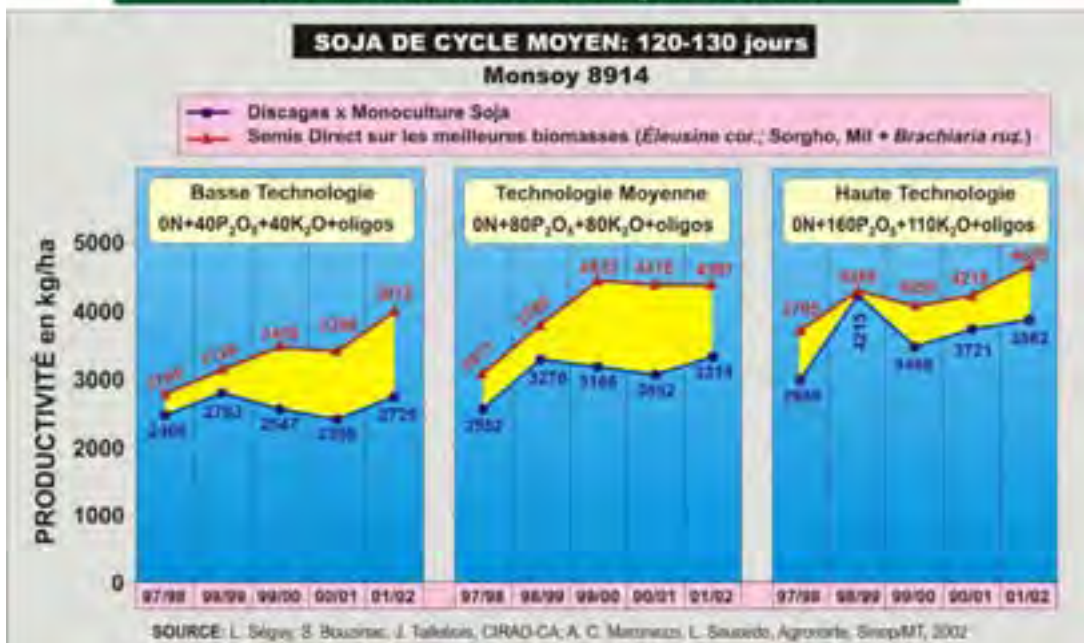


FIG. 31 ÉVOLUTION SUR 5 ANS DE LA PRODUCTIVITÉ DE SOJA, EN FONCTION DU SYSTÈME DE CULTURE
 Sols ferrallitiques de l'écologie des forêts humides du Centre Nord Mato Grosso - Sinop/MT - 1997/2002

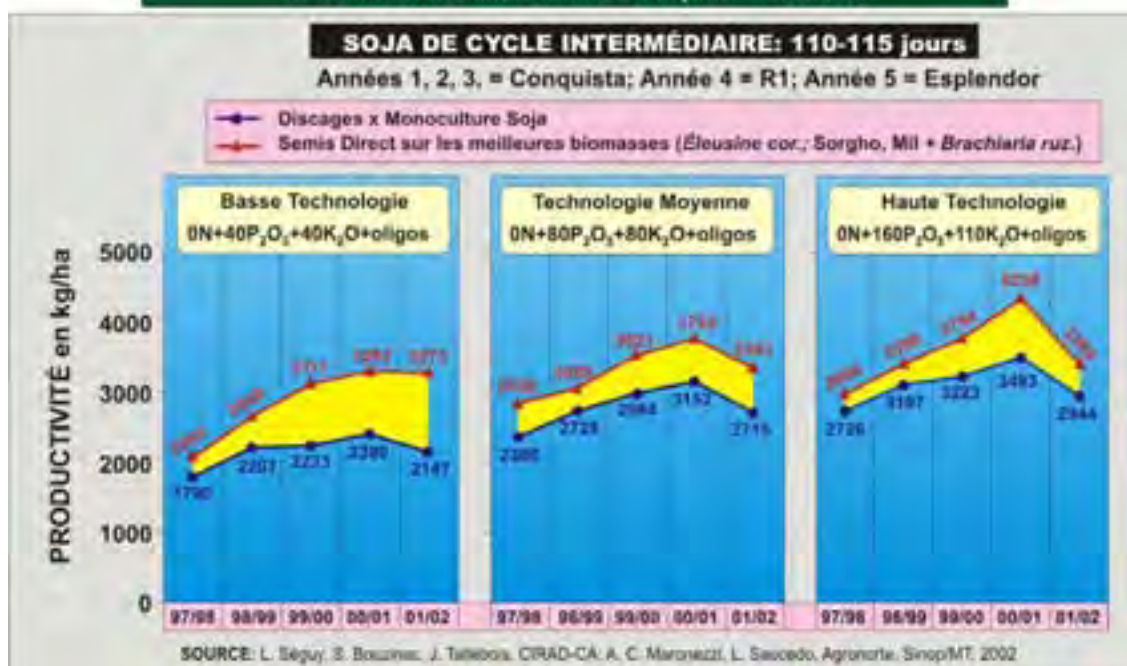
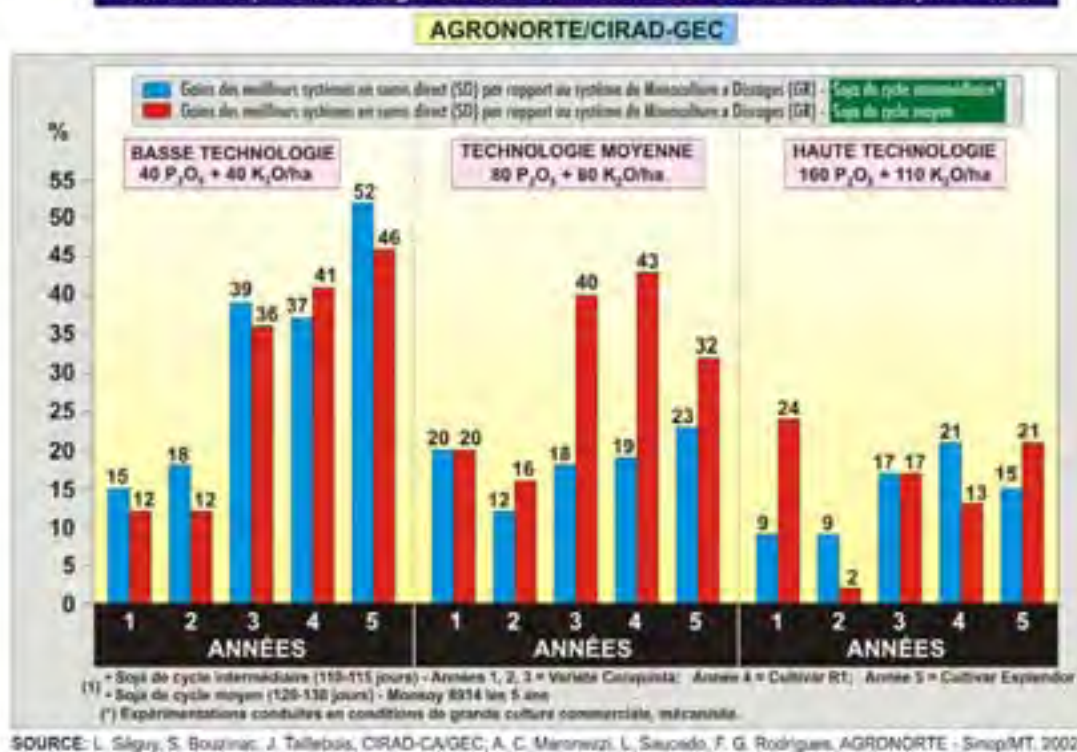
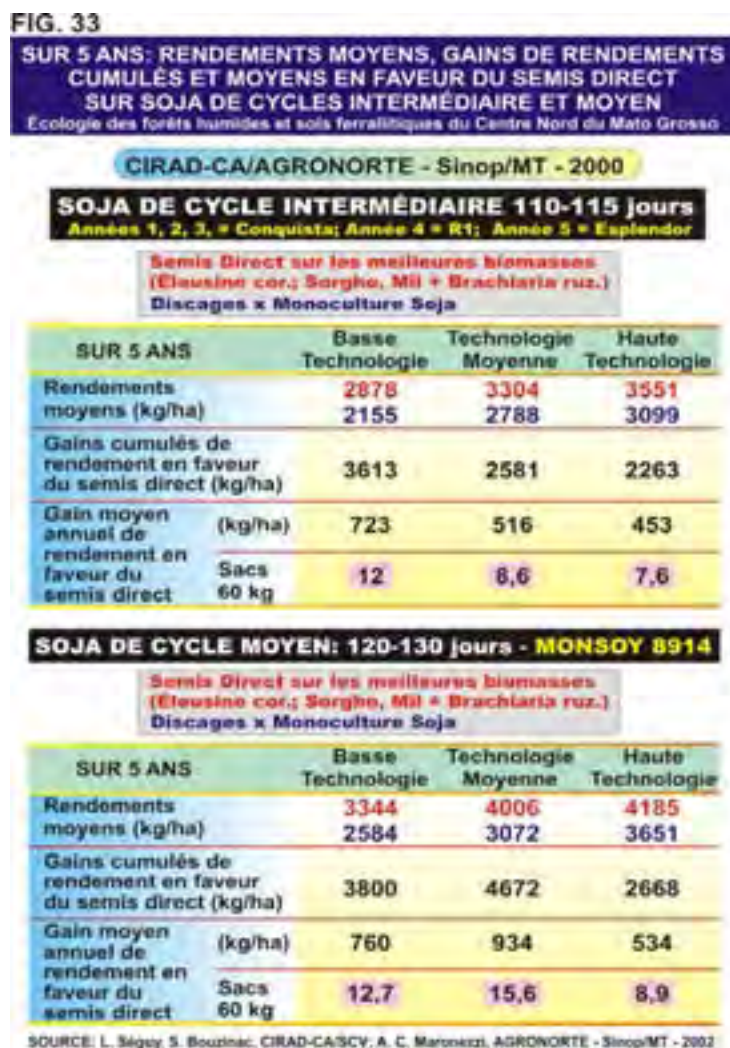


FIG. 32 ÉVOLUTION DES GAINS DE PRODUCTIVITÉ DU SOJA^(*), EN FONCTION DU SYSTÈME DE CULTURE ET DU NIVEAU TECHNOLOGIQUE
 Sols ferrallitiques de l'écologie des forêts humides du sud de l'Amazonie - Sinop/MT - 2002





• Comme pour la culture de soja, la **productivité du Riz pluvial (de qualité)** répond de manière hautement significative à la quantité mais aussi à la nature du couvert végétal : la rotation Soja/Riz + (*Eleusine cor.* + *Crotalaria spect.*) en succession, permet d'atteindre des rendements moyens :

- en 1999, de 3.900 kg/ha contre 2.850 kg/ha sur la succession SCV Soja + Sorgho,
- en 2000, de 4.270 kg/ha contre 3.000 kg/ha dans les mêmes conditions,

Soit des augmentations de productivité respectivement de 35% et 41% (Fig. 25 et 26). Le niveau de rendement s'accroît dans la même rotation SCV au cours du temps : **en 2001, la productivité moyenne des meilleurs cultivars est voisine de 6.000 kg/ha (Fig.27)** sur ces couverts végétaux associant des graminées fixatrices d'azote (*bactéries libres*), pourvues de systèmes racinaires restructurants les plus puissants telle que *Eleusine coracana* et des légumineuses à racines pivotantes profondes, également fixatrices d'azote (*Crotalaria spectabilis*, *Cajanus cajan*, *Stylosanthes guyanensis*), qui assurent une forte macroporosité, déterminante, comme l'azote, pour l'obtention de hautes productivités de riz pluvial.

• **Les safrinhas de succession¹⁴ : Mils, Sorghos et Eleusine coracana**, d'origine africaine, produisent en succession du soja ou du riz, en fonction du niveau de fumure (Fig. 34 et 35) :

¹⁴ Les sorghos blancs, sans tanins et à haute teneur en protéines, les mils et l'Eleusine coracana sont des aliments très importants pour les hommes en Inde, au Cameroun et en Afrique en général.

- Entre 1.000 et 2.000 kg/ha de grains + 5 à 7 t/ha de biomasse aérienne avec fumure faible ;
- Entre 2.000 et 4.900 kg/ha de grains + 7 à 14 t/ha de biomasse aérienne avec fumure moyenne, la plus utilisée.

L'espèce *Coix lacryma jobi* (Adlai), originaire du Vietnam et à très haute teneur en protéines et acides aminés essentiels, produit en présence de la fumure moyenne entre 2,4 et 3,6 t/ha de grains + 19 à plus de 20 t/ha de biomasse sèche aérienne de toute première qualité pour l'ensilage ; entre octobre et juin de l'année suivante, la succession annuelle *Eleusine coracana* comme couvert + *Coix lacryma jobi* comme culture de succession en semis direct du 20 décembre, produit 6 t/ha de grain + 20 t/ha de matière sèche aérienne + 10 t/ha de biomasse racinaire cumulée, soit un total de plus de 36 t/ha sur 9 mois (*soit plus de 16 t/ha de carbone*).

● **Au plan des impacts des meilleurs systèmes de culture SCV sur les propriétés physico-chimiques et biologiques des sols**, si le processus de dégradation très rapide et continue des propriétés physiques et biologiques est bien confirmé sous Travail intensif du sol x Monoculture de Soja (*Fig. 36*), les SCV les plus puissants en recyclage de biomasse annuelle dans tous les compartiments (*aérien et racinaire*) permettent de **restaurer-régénérer aussi rapidement le taux de Matière Organique et la CEC des horizons de surface imprimant une forte résilience qui permet, entre 3 et 5 ans, de retrouver les teneurs en Matière Organique et les caractéristiques de distribution des tailles d'agrégats des sols originels sous forêt** (*Fig.39*).

L'examen détaillé de la dynamique de la résilience pour les composantes de la fertilité : Matière Organique et CEC, à partir des chronoséquences distinctes¹⁵, 2 à 4 (*Fig. 37 à 44*), met en évidence :

➤ **Après une période de 3 ans de fonctionnement des systèmes**, la chronoséquence 2 qui enregistre les variations des taux de Matière Organique sous les couvertures vivantes, montre que la couverture de Tifton 85 séquestre plus de carbone que celle d'*Arachis p.* : 3 t/ha/an contre 1,4 t/ha/an respectivement ; sous les SCV avec couvertures mortes de la chronoséquence 4, qui intègrent tous les ans les biomasses les plus puissantes comme *Eleusine coracana* et *Brachiaria ruziziensis*, la séquestration du carbone varie entre 3 et 4 t/ha/an dans l'horizon 0 - 20 cm, soit plus du double que sous la biomasse de Sorgho ou de Mil seule, le sorgho étant plus efficace que le mil (*biomasse sèche supérieure dans tous les compartiments et C/N plus élevé*) : le sol très appauvri en M.O. après des années de travail intensif du sol allié à la production continue d'une très faible biodiversité est avide de carbone =>le taux de séquestration initial est très élevé en présence de la forte production annuelle d'inputs carbonés diversifiés (*Fig. 37, 38, 41 et 42*).

➤ **Après une période de 5 ans de fonctionnement des systèmes**, cette dynamique des variations des taux de M.O. réunie dans la chronoséquence 3 indique que la très forte capacité de séquestration de C évaluée sous les meilleurs SCV (*Fig. 40 et 43*), **s'amortit** dans les puissants systèmes SCV sur couvertures vivantes et mortes, mais **reste cependant très élevée** dans l'horizon 0 - 20 cm :

- 1,72 t/ha/an sous tifton,
- 1,54 t/ha/an sous *Arachis p.*,
- 2,12 t/ha/an dans une rotation complexe qui intègre la biomasse d' *Eleusine cor.* pendant 2 ans suivi de 2 ans de biomasse de *Stylosanthes guyanensis*.

¹⁵ Les chronoséquences 2 et 4 ont été montées à Sinop sur 2 sols ferrallitiques différents : la première sur faciès gris hydromorphe, l'autre faciès jaune-rouge hydraté.

(Bernoux M. et al., 2006 ; Husson O., Séguy L. et al., 2006 ; Perrin A.S., 2004 ; Sá J.C.M. et al., 2004 ; Sá J.C.M., Séguy L. et al., 2008 ; Séguy et al. 2001, a ; 2004, a et b ; 2006, a).

➤ Que ce soit sur 3 ou 5 ans, l'utilisation de **puissantes biomasses graminéennes** (*Sorgho* + *Brachiaria ruzi.* ou *Eleusine cor.* ou *Cynodon d.* cv. Tifton) en succession annuelle du soja ou du riz ou en couverture vivante du soja, permet de **recharger aussi significativement en carbone l'horizon 10 - 20 cm** et très certainement les horizons plus profonds jusqu'à plus de 1,80 m. comme le montre la «paroi racinaire dense» toujours présente dans les fosses pédologiques tous les ans (*Photos en fin de chapitre II*).

➤ **La CEC**, comme dans les Cerrados Humides (*Lucas do Rio Verde*) accompagne étroitement les variations de la Matière Organique, confirmant une résilience très rapide qui induit un pouvoir de rétention des nutriments qui s'accroît en même temps que la teneur en M.O. (*Fig. 43*)

➤ Les couverts végétaux qui incorporent dans la rotation de puissantes légumineuses telles que *l'Arachis pintoï* et le *Stylosanthes guyanensis*, se révèlent de **très efficaces recycleurs de K et d'oligo-éléments (Mn, Zn, Cu)** (*Fig. 45*). *L'Arachis pintoï*, en outre, disponibilise davantage le phosphore assimilable que les autres espèces, probablement par une forte mycorhisation (*Doss D. D. et al., 1989*) sous SCV continu (*Fig. 44*).

➤ **L'indice MWD** qui caractérise l'agrégation du profil cultural (*classes des tailles d'agrégats et leur répartition en %*) est compris entre 4 et 5 dans les SCV les plus productifs sur couvertures mortes et vivantes, soit proche de celui mesuré dans les milieux naturels forêts et Cerrados (*Fig. 39*), confirmant la récupération en 5 ans des propriétés structurales originelles des sols sous milieux naturels.

➤ **Au plan de la viabilité**, dans une période économique très instable, chaotique comme le montre la *Fig. 46*, où les prix payés aux producteurs pour le soja et le riz peuvent varier du simple au double, les systèmes SCV sur fortes biomasses offrent des marges nettes moyennes 7 à 8 fois supérieures et beaucoup plus stables que celles de la Monoculture de Soja avec Travail intensif du sol, pour des coûts de production supérieurs seulement de 11 à 29% (*Fig.47*). Compte tenu de l'isolement économique encore important de cette région au début des années 2000 (*distances jusqu'aux ports d'exportation, absence d'industries de transformation*), on voit tout l'intérêt économique que peut représenter la qualité des productions (*Riz, cultures de succession*) pour bénéficier d'un maximum de valeur ajoutée.

Au total, dans l'écologie des forêts humides du Sud du Bassin Amazonien, sur sols ferrallitiques dérivés de roche acide à texture argilo-sableuse, les systèmes de culture de même nature impriment donc les mêmes effets que dans l'écologie des Cerrados humides, tant sur la productivité de biomasse que sur la résilience des sols, qui, sous les meilleurs SCV, récupèrent aussi vite leur fertilité que le travail intensif du sol l'a dégradée. Les progrès réalisés dans le domaine de l'ingénierie écologique ont permis, à la fois d'amplifier les impacts des SCV en multipliant quantitativement l'offre «inputs carbonés recyclés annuels» dans les compartiments «Sol-Biomasse aérienne» et en la diversifiant continuellement par l'incorporation d'une biodiversité fonctionnelle croissante qui travaille gratuitement au profit de la production agricole et de la protection de l'environnement (*regain de forte biodiversité dans les systèmes*) (*Husson O., Séguy L. et al., 2006 ; Sá J.C.M. et al., 2004 ; Sá J.C.M., Séguy L. et al., 2008 ; Séguy L. et al. 2001, a ; 2002, a ; 2004, a et b ; 2006, a ;*).

FIG. 34

**INTERVALLES DE PRODUCTIVITÉ DE GRAINS DES SAFRINHAS
(CULTURES DE SUCCESSION) SUR DIVERS SYSTÈMES DE
CULTURE EN SEMIS DIRECT -
Écologies des forêts et des savanes humides du Centre Nord Mato Grosso**

AGRONORTE/MT - 2000

Culture de succession ² x Date de semis direct	Niveaux de fumure appliqués à la culture principale ¹		
	250 kg/ha	500 kg/ha	500 kg/ha + thermophosphate (en 100 kg/ha) etc.
■ APRÈS SOJA CYCLE COURT ➡ Semis direct entre 10-25/02			
• Mil Nangagolo	1000 - 1300	1300 - 1800	1800 - 2500
• Sorgho 321	1200 - 1600	1600 - 2000	2000 - 3200
• Sorgho 321 + <i>Brachiaria</i>	1100 - 1500	1500 - 1800	1800 - 3000
• Sorgho pool preto	1000 - 1200	1200 - 1700	1700 - 2200
• Éleusine C. (PG 5352)	1200 - 1500	1500 - 1800	1800 - 3000
• Éleusine C. (PG 5352) + <i>Crotalaria spectabilis</i>	600 - 900 300 - 500	900 - 1300 500 - 850	1300 - 1800 850 - 1200
■ APRÈS RIZ CYCLE COURT ➡ Semis direct entre 10-25/02 Fumure faible²			
• Éleusine C. (PG 5352) + <i>Crotalaria spectabilis</i>	500 - 700 200 - 400	700 - 900 400 - 600	900 - 1200 600 - 800
■ APRÈS SOJA CYCLE MOYEN ➡ Semis direct entre 10-20/03 Sans fumure			
• Mil Nangagolo	1100 - 1300	1300 - 1600	1600 - 2200
• Sorgho pool preto	1100 - 1400	1400 - 1800	1800 - 2300
• <i>Crotalaria spectabilis</i>	350 - 550	550 - 700	700 - 900
• Éleusine C. (PG 6240)	700 - 900	900 - 1200	1200 - 1800

1 - Engrais formulé - 8-16-16 + oligos pour le Riz; 8-16-16 + oligos sur le Soja

2 - Engrais formulé { Sur niveau 250 kg/ha appliqué sur la culture principale ➡ 100 kg/ha 8-16-16
Sur niveaux 500 kg/ha et 500 kg/ha + thermophosphate ➡ 250 kg/ha 8-16-16

SOURCE: Sérgio L. Biazoli, S., CIRAD-CA, Marneffi A., Lucas G. L., Bianchi M., AGRONORTE - Sinop/2000

FIG. 35 PRODUCTIVITÉ DES BIOMASSES "POMPES BIOLOGIQUES DE SAFRINHAS", EN SEMIS DIRECT PRÉCOCE DU 15-20 FÉVRIER, ET EN SUCCESSION DU SOJA DE CYCLE COURT OU INTERMÉDIAIRE

AGRONORTE - SINOP/MT - 2000

BIOMASSE ¹	INTERVALLE DE PRODUCTIVITÉ DE MATIÈRE SÈCHE (t/ha)					
	Fumure faible ²		Fumure moyenne ²		Fumure forte ²	
	Grains	Paille	Grains	Paille	Grains	Paille
Mil Nangagolo	1,1 - 1,9	5,0 - 5,6	1,9 - 2,7	6,4 - 10,4	1,8 - 2,6	8,0 - 9,1
Sorgho CIRAD 155	1,0 - 1,6	6,4 - 8,4	1,8 - 3,0	10,9 - 13,2	2,1 - 2,3	10,3 - 13,9
Sorgho CIRAD 321	1,3 - 1,5	6,7 - 7,0	2,3 - 2,8	11,8 - 12,6	2,7 - 2,9	12,8 - 14,0
Sorgho CIRAD 202	-	-	3,6 - 4,9	11,8 - 14,2	-	-
Sorgho CIRAD 203	-	-	3,6 - 3,9	9,7 - 10,4	-	-
Éleusine C. (CV. 6240)	1,3 - 1,8	9,1 - 11,2	1,8 - 2,2	12,7 - 14,3	1,9 - 2,6	12,6 - 14,6
Colx lacryma jobi ³	-	-	2,4 - 3,6	19,1 - 20,4	-	-

1. Fumure faible ➔ 100 kg 5 - 15 - 15/ha Fumure moyenne et forte ➔ 200 kg 5 - 15 - 15/ha
2. Niveaux de fumure minérale appliqués par ha à la culture principale qui précède la biomasse safrinha:
 - Fumure faible ➔ 40P₂O₅ + 40 K₂O sur Soja; 56 N + 38 P₂O₅ + 62 K₂O sur Riz, Maïs
 - Fumure moyenne ➔ 80P₂O₅ + 80 K₂O sur Soja; 89 N + 75 P₂O₅ + 119 K₂O sur Riz, Maïs
 - Fumure forte ➔ 80P₂O₅ + 80 K₂O sur Soja; 89 N + 75 P₂O₅ + 119 K₂O sur Riz, Maïs + 1500 kg Thermophosphate ym/3 ans
3. Semis direct de décembre, après biomasse d'Éleusine C. ➔ Option pour les éleveurs -

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

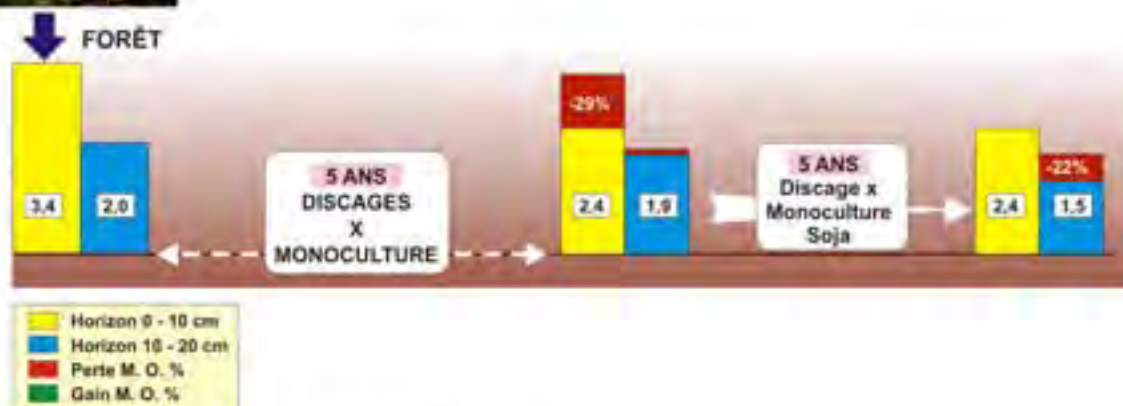
FIG. 36

TENDANCES D'ÉVOLUTION DU TAUX DE MATIÈRE ORGANIQUE (en %), EN FONCTION DE LA NATURE DES SYSTÈMES DE CULTURE PRATIQUÉS DANS DIVERS AGROSYSTÈMES CONTRASTÉS, TROPICAUX ET SUBTROPICAUX - 2002



Agrosystèmes des forêts tropicales humides du Sud de l'Amazonie

1 - Chronoséquence: 10 ans Discages x Monoculture Soja



- Soils ferrallitiques jaunes hydratés sur roche acide
- Situation = Sinop/MT - Lat. 11°40' Sud - Long. 55°30' W
- Topographie = Plane - Altitude = 3 à 400 m
- Pluviométrie - 2000 à 3000 mm sur 7-7,5 mois

SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA/SCV; A. C. Maronezzi, AGRONORTE - Sinop/MT - 2002

FIG. 37

TENDANCES D'ÉVOLUTION DU TAUX DE MATIÈRE ORGANIQUE (EN %), EN FONCTION DE LA NATURE DES SYSTÈMES DE CULTURE PRATIQUÉS DANS DIVERS AGROSYSTÈMES CONTRASTÉS, TROPICAUX ET SUBTROPICAUX -

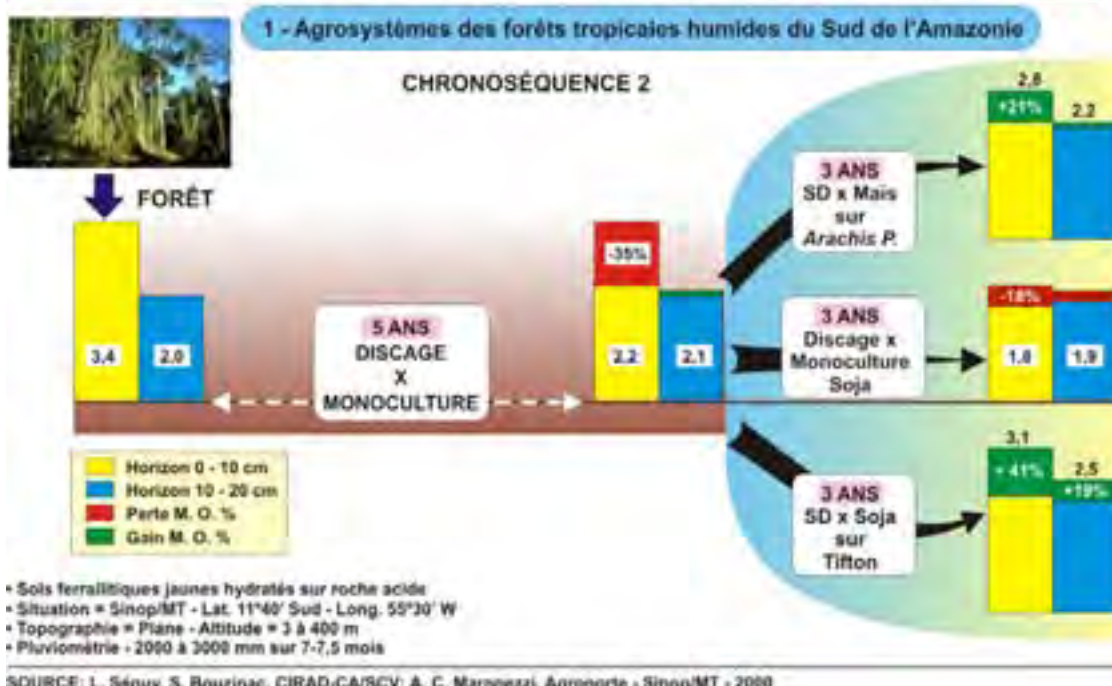


FIG. 38

TENDANCES D'ÉVOLUTION DU TAUX DE MATIÈRE ORGANIQUE (EN %), EN FONCTION DE LA NATURE DES SYSTÈMES DE CULTURE PRATIQUÉS DANS DIVERS AGROSYSTÈMES CONTRASTÉS, TROPICAUX ET SUBTROPICAUX -

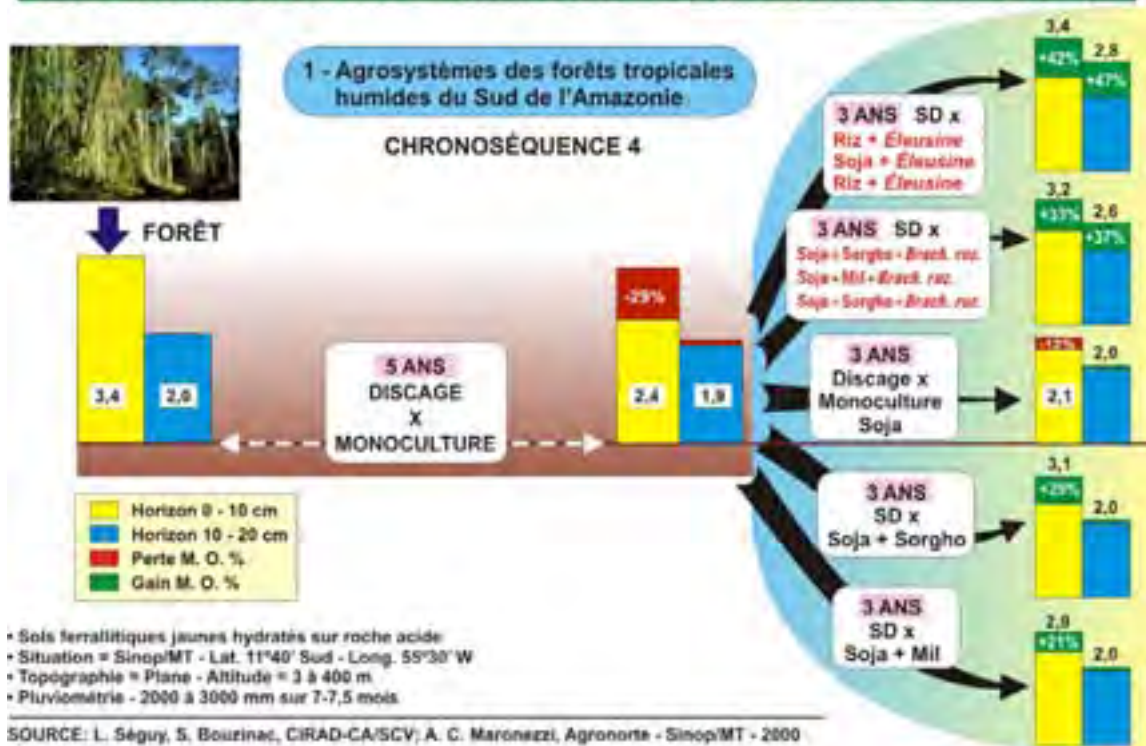


FIG. 39

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DES SOLS⁽¹⁾ EN FONCTION DES SYSTÈMES DE CULTURE
Écologie des forêts humides et sols ferrallitiques du centre nord du Mato Grosso - Sinop/MT - 2002

Laboratoire du CPAC/EMBRAPA - Brasília

SYSTÈMES DE CULTURE	Profondeur (cm)	Granulométrie				M. O. ¹ (%)	Agrégaats > 2 mm (%)	Agrégaats > 2 mm (mm)	MWD ²
		Argile (%)	Limons (%)	Sables grossiers (%)	Sables fins (%)				
5 ANS (GR) Discages x Monoculture Soja	0-5 cm	57	4	12	27	2,52	69	3,44	3,69
	5-10 cm	57	4	11	28	2,36	56	2,80	3,11
	10-20 cm	60	6	11	23	1,49	Données manquantes		
5 ANS (SD) Riz sur Arachis p.	0-5 cm	48	8	21	23	3,95	79	3,94	4,00
	5-10 cm	48	7	12	33	2,41	64	3,19	3,35
	10-20 cm	61	3	11	25	1,80	64	3,22	3,40
5 ANS (SD) Soja sur Tifton ³	0-5 cm	53	3	23	21	3,08	90	4,52	4,57
	5-10 cm	53	2	13	32	2,41	79	3,95	4,04
	10-20 cm	56	3	13	28	2,31	84	4,21	4,30
5 ANS (SD) Riz + Eleusine Soja + Eleusine Maïs + Stylosanthes p. Stylosanthes p. Riz	0-5 cm	50	7	19	24	3,95	87	4,35	4,38
	5-10 cm	53	4	15	28	3,08	79	3,94	4,05
	10-20 cm	55	6	22	17	1,90	70	3,49	3,68

1 - M. O. = Matière organique
2 - MWD = Indice de stabilité des agrégats - Les milieux naturels (forêt, cerrado), présentent un indice compris entre 4 et 5
3 - Tifton = Cynodon d. - Hybride (N° 85)
(*) - 1 Échantillon moyen est composé de 20 sous-échantillons

SOURCE: L. Séguy, S. Bourzac, J. Tallebois, CIRAD-CA; A. C. Maronezzi, L. Saucedo, AGRONORTE - Sinop/MT, 2002

FIG. 40

TENDANCES D'ÉVOLUTION DU TAUX DE MATIÈRE ORGANIQUE (en %), EN FONCTION DE LA NATURE DES SYSTÈMES DE CULTURE PRATIQUÉS DANS DIVERS AGROSYSTÈMES CONTRASTÉS, TROPICAUX ET SUBTROPICAUX - 2002

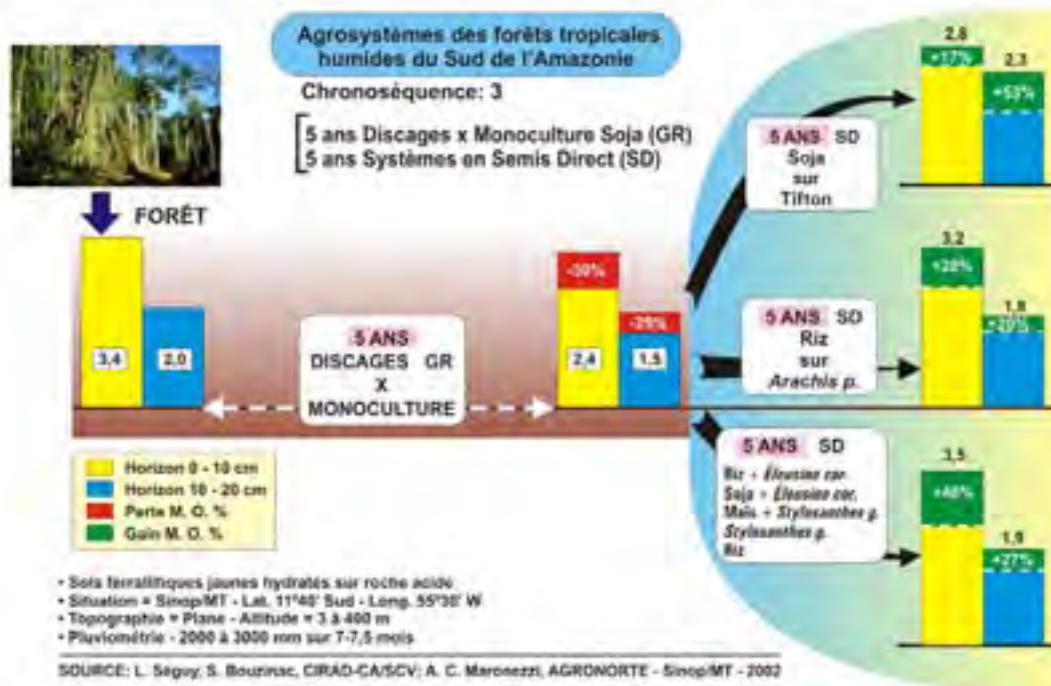


FIG. 41

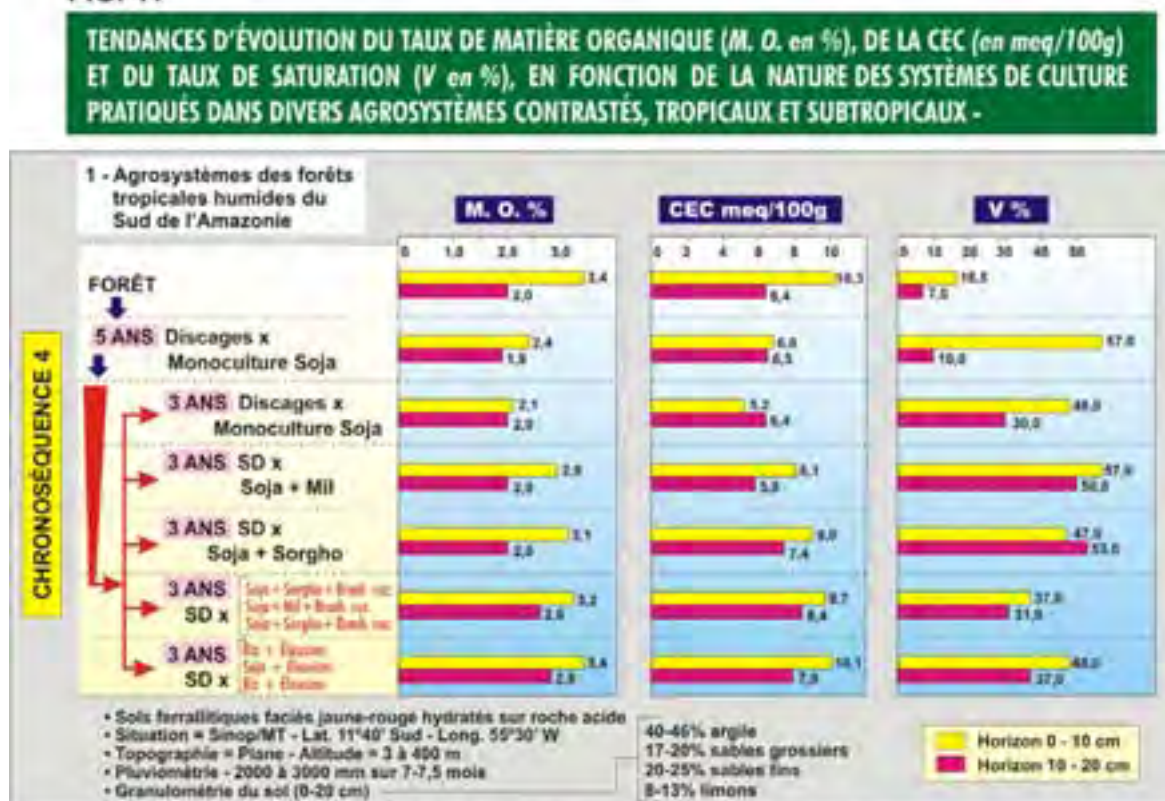


FIG. 42

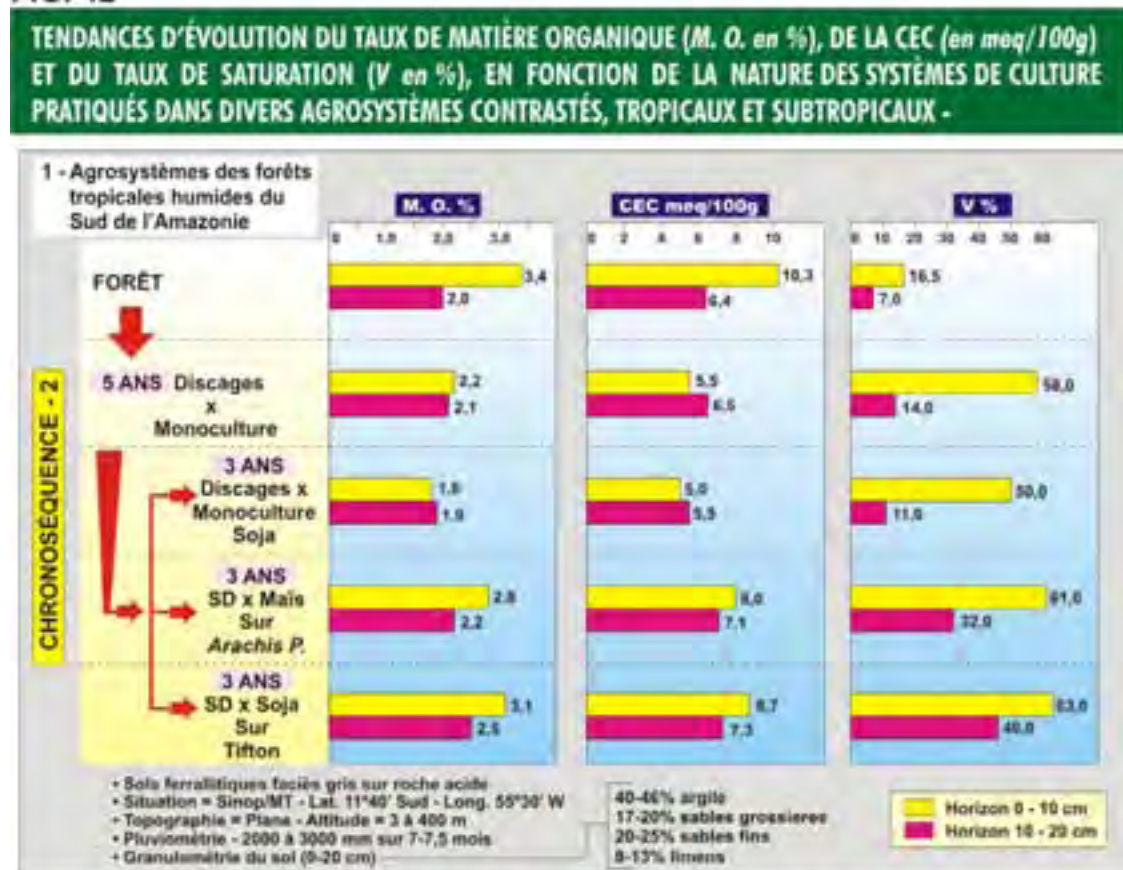
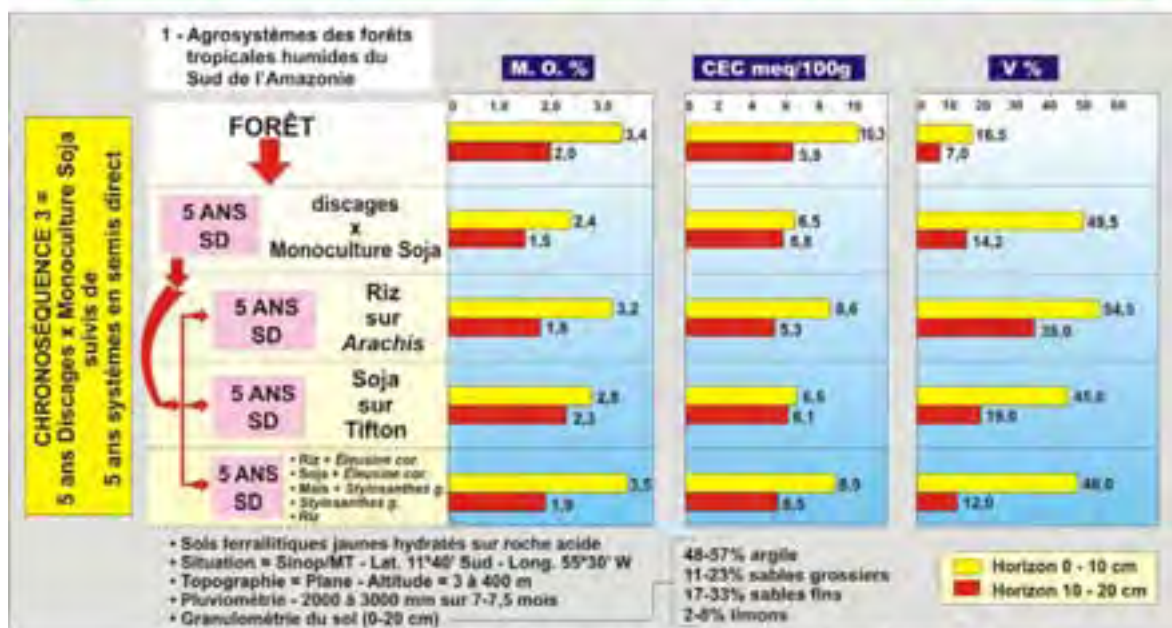


FIG. 43

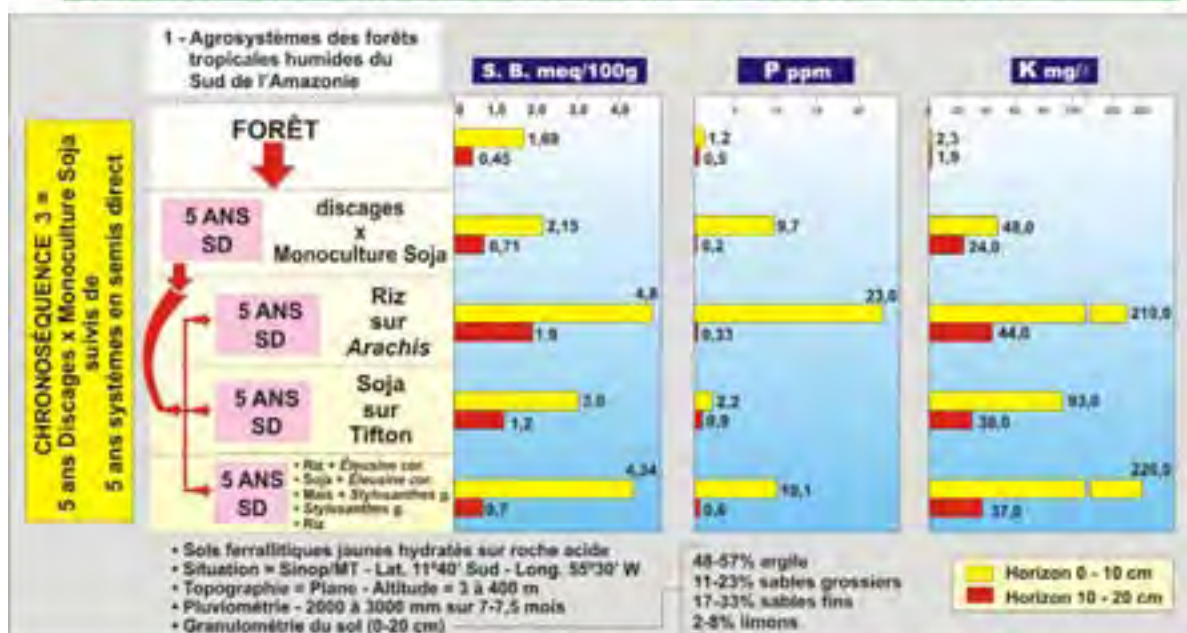
TENDANCES D'ÉVOLUTION DU TAUX DE MATIÈRE ORGANIQUE (M. O. en %), DE LA CEC (en meq/100g) ET DU TAUX DE SATURATION (V en %), EN FONCTION DE LA NATURE DES SYSTÈMES DE CULTURE PRATIQUÉS DANS DIVERS AGROSYSTÈMES CONTRASTÉS, TROPICAUX ET SUBTROPICAUX -



SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA/SCV; A. C. Maronezzi, Agronorte - Sinop/MT - 2002

FIG. 44

TENDANCES D'ÉVOLUTION, DE LA SOMME DES BASES ÉCHANGEABLES (en meq/100g), DES TENEURS EN P mehllich (ppm), ET EN K (mg/l), EN FONCTION DE LA NATURE DES SYSTÈMES DE CULTURE PRATIQUÉS DANS DIVERS AGROSYSTÈMES CONTRASTÉS, TROPICAUX ET SUBTROPICAUX -



SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA/SCV; A. C. Maronezzi, Agronorte - Sinop/MT - 2002

FIG. 45

TENEURS DES SOLS⁽¹⁾ EN MANGANÈSE (Mn), CUIVRE (Cu) ET ZINC (Zn), EN FONCTION DES SYSTÈMES DE CULTURE
Écologie des forêts humides et sols ferrallitiques du centre nord du Mato Grosso - Sinop/MT - 2002

Laboratoire du CPAC/EMBRAPA - Brasilia

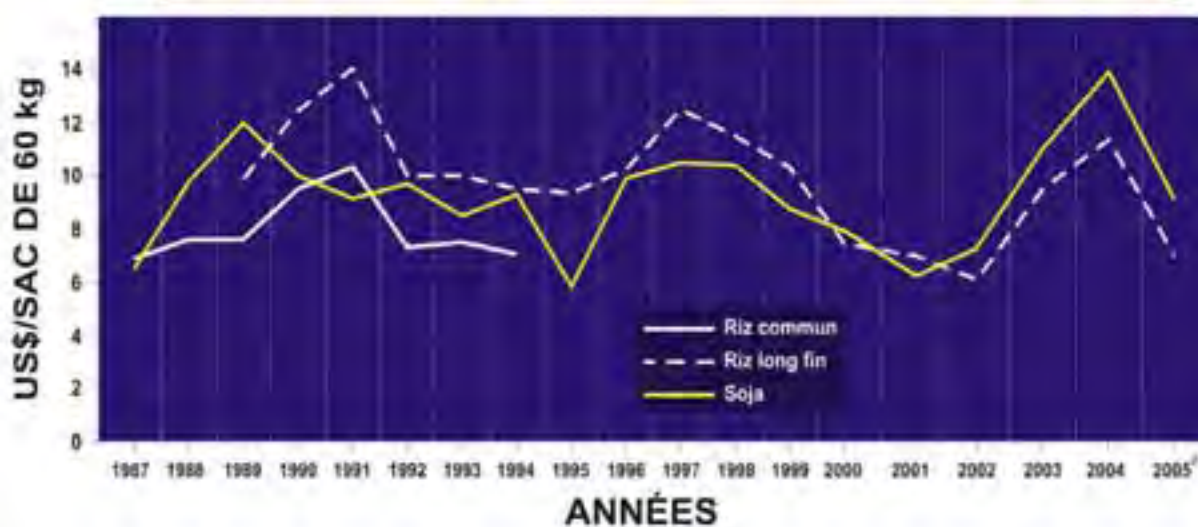
SYSTÈMES DE CULTURE		Manganèse mg/l	Cuivre mg/l	Zinc mg/l
5 ANS (GR) Discages x Monoculture Soja	0-5 cm	9,70	0,80	6,00
	5-10 cm	7,80	0,40	3,70
	10-20 cm	2,90	0,10	3,00
5 ANS (SD) Riz sur Arachis p.	0-5 cm	22,60	1,60	20,80
	5-10 cm	10,00	0,70	5,70
	10-20 cm	2,60	0,20	0,40
5 ANS (SD) Soja sur Tifton ¹	0-5 cm	8,60	0,50	4,20
	5-10 cm	4,60	0,60	1,10
	10-20 cm	2,10	0,30	0,30
5 ANS (SD) • Riz + Eleusine • Soja + Eleusine • Maïs + Stylosanthes g. • Stylosanthes g. • Riz	0-5 cm	16,00	0,90	9,40
	5-10 cm	13,20	0,50	4,20
	10-20 cm	1,40	0,20	0,40

1 - Tifton = Cynodon d. - Hybride (N° 85)

(*) - 1 Échantillon moyen est composé de 20 sous-échantillons

SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, J. Taillebois, CIRAD-CA; A. C. Maronezzi, L. Saucedo, AGRONORTE - Sinop/MT, 2002

FIG. 46 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 - 1987/2005



1 - Période février - Mars, chaque année

2 - Moyenne annuelle

SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA/SCV - A. C. Maronezzi, Agronorte; Cooperlutas; Cobasol, Comsol; Préfecture de Sinop, SEDER - Sinop/MT - 1987/2005

FIG. 47

PERFORMANCES ECONOMIQUES¹ DE SYSTEMES DE CULTURE TRÈS CONTRASTÉS, SUR 5 ANS, À BASE DE SOJA ET RIZ + "SAFRINHAS"

Écologie des forêts humides du Sud du bassin Amazonien– Sinop/MT, 1997 - 2002

SYSTEMES DE CULTURE	PARAMETRES ECONOMIQUES EN US\$/ha ¹	ANNEES				
		1998	1999	2000	2001	2002
1/ Monoculture de Soja x Discages • 1 seule culture annuelle	Coûts de production	330	405	385	371	323
	Marges Nettes (MN)	52	86	24	-56	63
2/ Succession annuelle continue Soja + (Sorgho + Brachiaria r.) x SD (Semis Direct) • 3 cultures / an	Coûts de production	428	460	414	357	326
	Marges MN Soja	48	108	155	95	184
	Nettes MN Sorgho (MN)	64	120	114	144	126
	MN TOTALE	112	228	269	239	310
3/ Successions annuelles: Soja + (Éleusine c. + Crotalaria s.) / Riz + (Éleusine + Crotalaria) x Semis Direct • 2 cultures / an	Coûts de production	441	481	534	394	496
	Marges MN Riz et Soja	157	126	87	112	95
	Nettes MN Éleusine	54	96	118	90	122
	(MN) MN TOTALE	211	222	205	202	217

1. Évaluées en conditions de culture commerciale en présence du revenu moyen de fumure minérale.

Dans les systèmes 2) et 3), les biomasses de succession: Brachiaria ruziziensis et Crotalaria spectabilis restent vertes en saison sèche et produisent une importante biomasse au cours de cette saison.

2. Prix payés au producteur pour le SOJA (sac de 60 kg), en US\$: 1998 = 10,40; 1999 = 8,70; 2000 = 7,82; 2001 = 8,16; 2002 = 7,39.

Prix payés au producteur pour le RIZ (sac de 60 kg), en US\$: 1998 = 11,50; 1999 = 10,30; 2000 = 7,43; 2001 = 8,31; 2002 = 8,08.

Les prix payés pour le SORGHO blanc sans tige et à haute teneur en protéines (>12%) sont estimés à 2,00 US\$/sac de 60 kg.

Ident pour l'Éleusine amoxicos + Crotalaria spectabilis.

SOURCE: L. Séguy, B. Bouvier, CIRAD-PERSYST-UR1 - Agronomie (1998-2002). Coordonné à UR 10.

2.3 - APPLICATIONS DE CES PRINCIPES DE GESTION DURABLE DES SOLS SCV construits sur fortes biomasses diversifiées A LA CULTURE COTONNIERE de haute technologie en Zone Tropicale Humide, particulièrement chargée chimiquement : L'ingénierie écologique permet, dans ce cas aussi, simultanément, d'obtenir des rendements de coton élevés, stables et propres, tout en réduisant la charge chimique et ses impacts négatifs pour la ressource sol et l'environnement en général - 1998 - 2007

Deux exemples sont retenus pour valider - démontrer cette affirmation :

- La culture cotonnière de haute technologie **sur sols ferrallitiques argilo-sableux** dérivés de roche acide¹⁶ de l'écologie des Cerrados humides du Sud-Ouest du Mato Grosso à Deciolândia sur la Fazenda Guapirama, mise en valeur par le groupe Maeda, partenaire du CIRAD (2001 - 2004), (Séguy L. et al. 1998, a ; 1999 ; 2001, c ; 2002, a et b ; 2004, a ; 2004, d ; 2006, b)
- Cette même culture de haute technologie **sur sols sablo-argileux fortement dégradés** des Cerrados humides de moyenne altitude (600-700 m) du Sud Est Mato Grosso à Campo Verde sur la Fazenda Mourão, gérée de manière exemplaire (2001 - 2006) (FACUAL, 2003 ; 2004 ; 2005 ; 2006 ; Maronezzi, 2001 ; Séguy L. et al., 2002, b ; 2004, a)

La démonstration s'appuie, à la fois, sur les «Matrices expérimentales Systèmes de culture pérennisés» qui réunissent et comparent les performances de l'agriculture d'hier (*Travail du sol x Monoculture cotonnière*), de l'agriculture d'aujourd'hui (*système dit de "semi-direct" = TCS*) et de l'agriculture de demain (*SCV continu sur fortes biomasses*), et les performances agronomiques et technico-économiques obtenues à l'échelle des fazendas de référence.

¹⁶ Sols ferrallitiques de la Chapada dos Parecis, similaires à ceux de Lucas do Rio Verde et de Sinop, et soumis aux mêmes systèmes de culture. Région de Campo Novo dos Parecis – Texture : argile entre 47 et 64%, sables entre 32 et 45%, limons entre 6 et 8%.

2.3.1 LES SYSTEMES COTONNIERS SUR SOLS FERRALLITIQUES ARGILO-SABLEUX DU SUD-OUEST MATO GROSSO - Deciolândia - (2001 - 2004)

▪ **Sur l'unité expérimentale (> 100 ha)** qui compare les performances de SCV à biomasses très différenciées, le classement des systèmes de culture pour la productivité de coton est conforme à celui obtenu sur les systèmes à base de soja dans les Cerrados de Lucas do Rio Verde et dans les forêts de Sinop :

- **La productivité de coton graine** est toujours **significativement supérieure en Semis Direct continu dans la rotation Coton/Soja + fortes biomasses safrinhas** (*coton un an sur deux*) que sur la succession annuelle Sorgho, Mil + Coton (*coton tous les ans*) (*Fig.48*) ;

- **L'incidence de la ramulose est toujours nettement moindre sur SCV Coton en rotation avec Soja + Safrinhas** que sur SCV Sorgho + Coton tous les ans, de même que le complexe «bactériose - ramularia» de fin de cycle, même pour les cultivars les plus sensibles (CD 402, CD 404) (*Fig. 50*) et la productivité de tous les cultivars est voisine, nivelée vers le haut ;

- **La forte interaction «Cultivars x Modes de Gestion du Sol en SCV**», met en évidence la nécessité de choisir les cultivars en fonction du système de culture utilisé : sur forte pression biologique négative induite par la monoculture de Coton en SCV sur couvert de Mil ou de Sorgho, les cultivars rustiques tels que IAC 23 et IAC 24 doivent être retenus ; sur SCV Coton en rotation un an sur deux avec Soja + puissantes Biomasses en succession, les cultivars les plus productifs et de meilleure qualité de fibre doivent être choisis, l'incidence des maladies étant contenue par le système de culture ;

- **Confirmation de la relation étroite entre productivité de coton graine et quantité de biomasse recyclée annuellement** : sur le SCV le plus productif Coton/ Soja + Safrinhas, la productivité moyenne des variétés les plus productives sur faible biomasse au cours des 2 années 2001/02 et 2002/03 est de 3.840 kg/ha contre 2.814 kg/ha sur le SCV Coton tous les ans Mil, Sorgho + Coton, soit 36% de productivité en plus ; lorsque la biomasse recyclée annuelle est très élevée, comme en 2003/04 dans le SCV Coton en rotation un an sur deux sur les biomasses *Eleusine coracana*, Mil et Sorgho + *Brachiaria ruzi*. (12 à 17 t/ha de matière sèche), la productivité moyenne des cultivars est de 4.659 kg/ha, soit un gain de 21% par rapport à la moyenne des 2 années antérieures sur le même système SCV (*Fig. 51*) (*Séguy L. et al., 2002, b ; 2004, a*).

▪ **Au niveau des performances agro économiques et techniques obtenues à l'échelle du groupe agro-industriel Maeda**

Après 9 ans de collaboration fructueuse entre les 2 institutions, un bilan des résultats est dressé par rapport aux objectifs de départ. Il montre que, en résumé, l'incorporation – adaptation progressive des systèmes de culture en Semis direct sur Couverture Végétale (SCV) créés par la recherche a permis simultanément : d'augmenter de 46% la surface cultivée vers d'autres grandes éco-régions du Brésil Central (*Etats du Mato Grosso et de Bahia*), de transformer la nature des productions qui ont été fortement diversifiées et qui sont passées de coton dominant en 1994/95 à grains très largement dominants (soja + sorgho, mil et Eleusine) en 2002/03, de faire progresser la productivité des cultures principales de soja et coton respectivement de 25,5% et 45%, et de produire 3 cultures sur 2 ans au lieu de 2.

Au plan économique, les coûts de production ont légèrement baissé grâce aux progrès et à la maîtrise du semis direct et, malgré une conjoncture très difficile, les marges nettes et le taux de rentabilité ont été multipliés par plus de 3 ; le parc mécanisé a été réduit de

moitié, le nombre des prestataires de services a chuté de 71% et la consommation de carburant a diminué de 70% (*Séguy L. et al., 2004, d*).

Une analyse plus détaillée des performances agricoles du groupe MAEDA sur plus de 40.000 ha, met en évidence successivement :

➤ **EVOLUTION DE LA PRODUCTIVITE DES CULTURES ET DES SURFACES CULTIVEES :** *des accroissements de production spectaculaires dans un environnement de mieux en mieux protégé où érosion et externalités sont parfaitement contrôlées (Fig. 52, 53, 54)*

- La productivité de soja est passée de 2.598 kg/ha en 1994/95 à plus de 3.260 kg/ha en moyenne sur les 3 dernières années 2001-2003, avec un maximum détenu en 2001/02 avec 3.414 kg/ha [Fig. 52].
- Le gain moyen de rendement entre 1994/95 et les 3 dernières années est de 25,5% sur une surface plantée en forte croissance qui a atteint plus de 38.000 ha en 2002/03.
- La productivité du coton a progressé de manière régulière, de 2.355 kg/ha de coton graine en 1994/95 à 3.405 kg/ha en 2002/03, soit une augmentation de rendement de 44,6% [Fig. 52].
- A partir de 1998/99, l'adoption du semis direct est généralisée sur toute la surface plantée en soja qui passe de 9.595 ha à 38.131 ha en 2002/03 ; cette sole soja produit en fait 2 cultures par an en succession annuelle et semis direct sur couverture végétale (SCV) : soja suivi de sorgho, comme culture biomasse de safrinha (*le lit de paille et de sustentation du semis direct SCV*) pratiquée avec des coûts de production très faibles qui vont de 60 à 120 US \$/ha ; la sole soja qui a ainsi conquis plus de 38.000 ha en 2002/03 produit annuellement plus de 3.100 kg/ha de soja (*en conditions d'excès pluviométrique fortement pénalisant pour la production en 2002/03*) suivi de 1.600 à 2.500 kg/ha de sorgho¹⁷.

➤ **EVOLUTION DES COÛTS DE PRODUCTION :** *en moyenne, baisse sensible des coûts sur 9 ans*

- Cette baisse sur coton est d'environ 10% entre les 3 premières années (*monoculture de soja et coton x travail du sol*) et les 3 dernières qui ont incorporé les systèmes de culture en semis direct parfaitement maîtrisés [Fig. 53].
- Sur soja, la baisse notable est de même importance que sur coton entre les 3 premières années et les 2 dernières où la surface a le plus augmenté, mettant ainsi en évidence à la fois, l'importance du semis direct sur couverture végétale et le niveau de maîtrise technique du groupe MAEDA.
- C'est à partir de 1999/2000, date à laquelle le semis direct prend de plus en plus d'importance, grâce à l'accroissement de la sole annuelle soja + safrinhas, que les coûts des 2 cultures principales, soja et coton, baissent le plus significativement.

➤ **LES PRIX PAYES À LA PRODUCTION :** *une conjoncture difficile avec une dépression sans précédent sur le coton et une baisse moyenne sensible sur soja*

¹⁷ La majeure partie de la surface actuelle est cultivée avec des sorghos hybrides, peu productifs compte tenu du faible niveau d'intrants utilisé. Le CIRAD dispose de variétés rustiques, à haute valeur ajoutée (*grains sans tanins, et à haute teneur en protéines, d'alimentation humaine*), qui peuvent produire environ 3.000 kg/ha avec le même niveau faible d'intrants et bénéficier d'un prix de vente plus rémunérateur, dès lors qu'ils sont valorisés à leur juste valeur auprès de l'agro-industrie.

- De 1994/95 à 2001/02, le prix payé pour le coton graine a chuté très régulièrement de 8,28 à 4,73 US \$/@ (1 @ = 15 kg), soit une perte de 43% sur 8 ans (*Fig. 53*). 2002/03 est l'année d'une récupération très significative des prix payés : de 4,73 US \$/@ en 2001/02 à 6,62 US \$/@, soit 41% de remontée ; mais ce prix payé est encore inférieur de 20% à celui de 1994/95.

- Les prix payés pour la filière soja, très bien structurée, ont oscillé sur une fourchette de 16,7% sur la période, entre un minimum de 8,4 US \$/sac de 60 kg en 2001/2002 et un maximum de 9,8 US \$/sac en 1997/98 [*Fig. 53*].

■ **LES MARGES NETTES ET LE TAUX DE RENTABILITE¹⁸** : *profit faible pour le soja, mais en constante augmentation, forte rentabilité possible sur coton, mais plus instable et plus risquée.*

- Sur coton, malgré la forte dépression des prix payés, les marges nettes sont toujours positives : elles varient entre un minimum de 64,0 US \$/ha en 2001/02 avec le prix payé le plus bas historiquement et un maximum de 452,7 US\$/ha en 2002/03, à la reprise importante des prix payés [*Fig. 54*]. La plus-value de la culture a pu être maintenue grâce à l'augmentation régulière de productivité obtenue grâce aux systèmes de culture en semis direct et rotations créés par le projet de recherche MAEDA/CIRAD.

- Sur soja, les marges nettes et le taux de rentabilité, hors safrinhas de sorgho, ont été multipliés respectivement par 3,4 et 3,6 entre les 3 premières et les 3 dernières années de la période 1994-2003. Avec une maîtrise technique toujours plus performante, une fertilité des sols en amélioration constante en semis direct, la marge nette moyenne sur les 3 dernières années (*malgré un accident climatique notable en 2002/03 qui a fortement pénalisé la productivité*), est de 146,5 US \$/ha et le taux moyen de rentabilité de 45,6%.

➤ **EVOLUTION DU PARC MÉCANISÉ, PRESTATIONS DE SERVICES, CONSOMMATION DE CARBURANT** : *L'adoption du semis direct permet de simplifier le parc et de réduire considérablement les charges opérationnelles.*

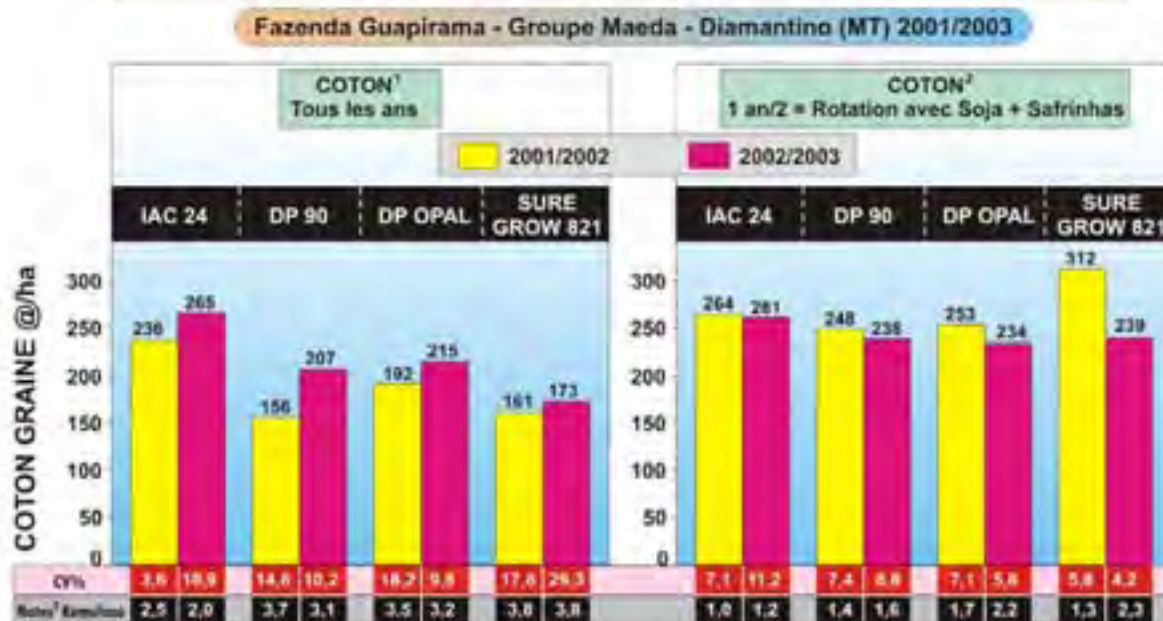
- Le nombre de prestataires de service est passé de 533 en 1994/95 à 158 en 2002/03, soit une baisse de 71% [*Fig. 54*].

- Sur la même période, malgré une augmentation de 46% de la surface plantée, le nombre total de tracteurs et moissonneuses-batteuses a chuté de 53% [*Fig. 54*].

- La consommation de carburant diesel est passée de 267 l/ha à 78 l/ha en moyenne sur les 3 dernières années ; cette économie des 2/3 de carburant avec une surface emblavée en forte croissance est due à la fois aux systèmes de semis direct de plus en plus performants et au niveau de maîtrise technique en constante amélioration [*Fig. 54*].

¹⁸ Taux de rentabilité = marges nettes/ coûts de production x 100

FIG. 48 ÉVOLUTION DE LA PRODUCTIVITÉ DE 4 CULTIVARS DE COTON EN FONCTION DU SYSTÈME DE CULTURE EN SEMIS DIRECT



1 - Moyenne des rendements de Coton en semis direct sur biomasses faites de Sorgho et Mi (= 3 t/ha)
 2 - Moyenne des rendements de coton en semis direct sur biomasses de Sorgho, Mi, Brachiaria (= Eleusine c. entre 3 et 5 t/ha)
 3 - Erreurs de 3 à 5 ; 0 = Sans incidence; 5 = Incidence maximale

SOURCE: Projet GROUPE MAEDA/CIRAD CA-GEC - CIRAD CA: L. Séguy, S. Bouzinac; GROUPE MAEDA: E. et A. Maeda, A. Luiz

FIG. 49 ÉVOLUTION DE LA PRODUCTIVITÉ DE 5 VARIÉTÉS DE COTON EN SYSTÈMES¹ DE SEMIS DIRECT SUR COUVERTURE PERMANENTE DU SOL



1 - Rotation: Coton un an sur deux, alterné avec la succession Soja + "Safrinhas"
 - En 2002/2003 → Moyenne de productivité sur les Safrinhas: Mi, Sorgho, Brachiaria ruziziensis, Eleusine toracane
 - En 2003/2004 → Moyenne de productivité sur les Safrinhas: Eleusine cor. Mi + Brachi. ruzi., Sorgho + Brachi. ruzi.
 - Fumure minérale: 120N + 120 P₂O₅ + 180 K₂O + oligo-éléments/ha

SOURCE: Projet GROUPE MAEDA/CIRAD CA-GEC - CIRAD CA: L. Séguy, S. Bouzinac; GROUPE MAEDA: E. et A. Maeda, A. Luiz

FIG. 50

PERFORMANCES DE VARIÉTÉS DE COTON EN FONCTION DU SYSTÈME DE CULTURE
Sols ferrallitiques de l'écologie des cerrados humides de l'ouest du Mato Grosso

GRUPE MAEDA/CIRAD-CA - Fazenda Guapirama - Decioândia/MT

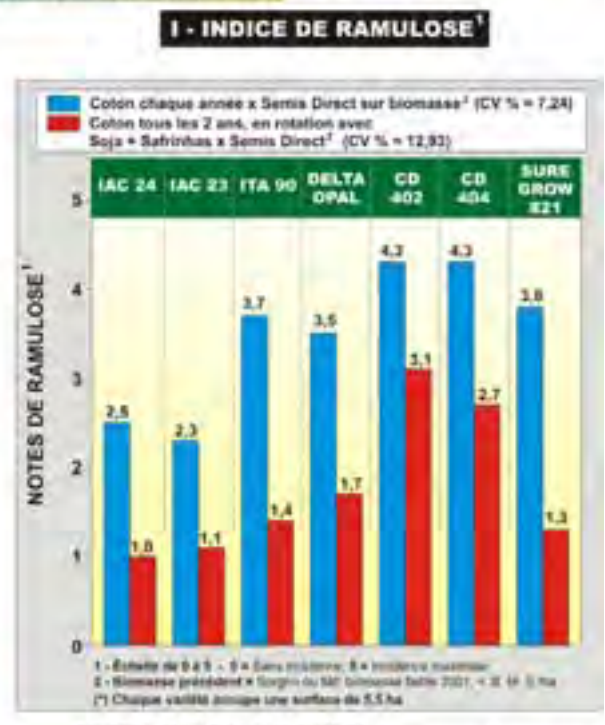
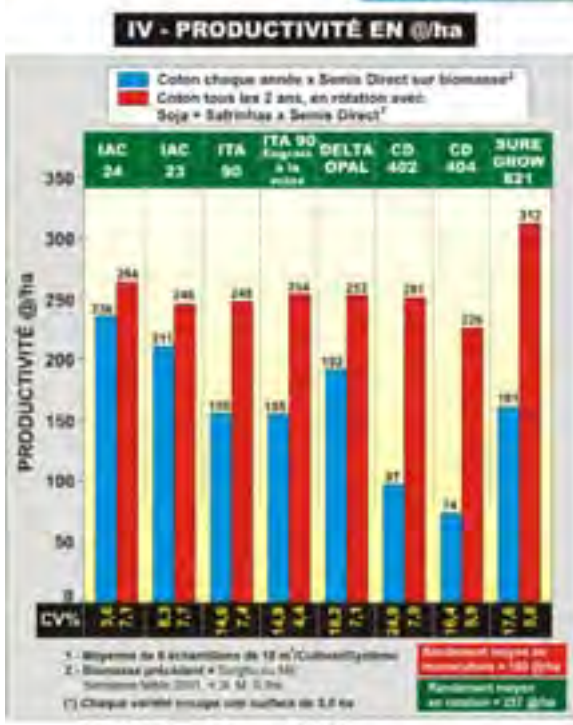


FIG. 51

PRODUCTIVITÉ¹ DE 6 VARIÉTÉS DE COTON EN SYSTÈME DE SEMIS DIRECT SUR COUVERTURE VÉGÉTALE PERMANENTE DU SOL², EN FONCTION DE 3 BIOMASSES DE NATURE DIFFÉRENTE

Fazenda Guapirama - Groupe Maeda - Diamantino (MT) 2003/2004

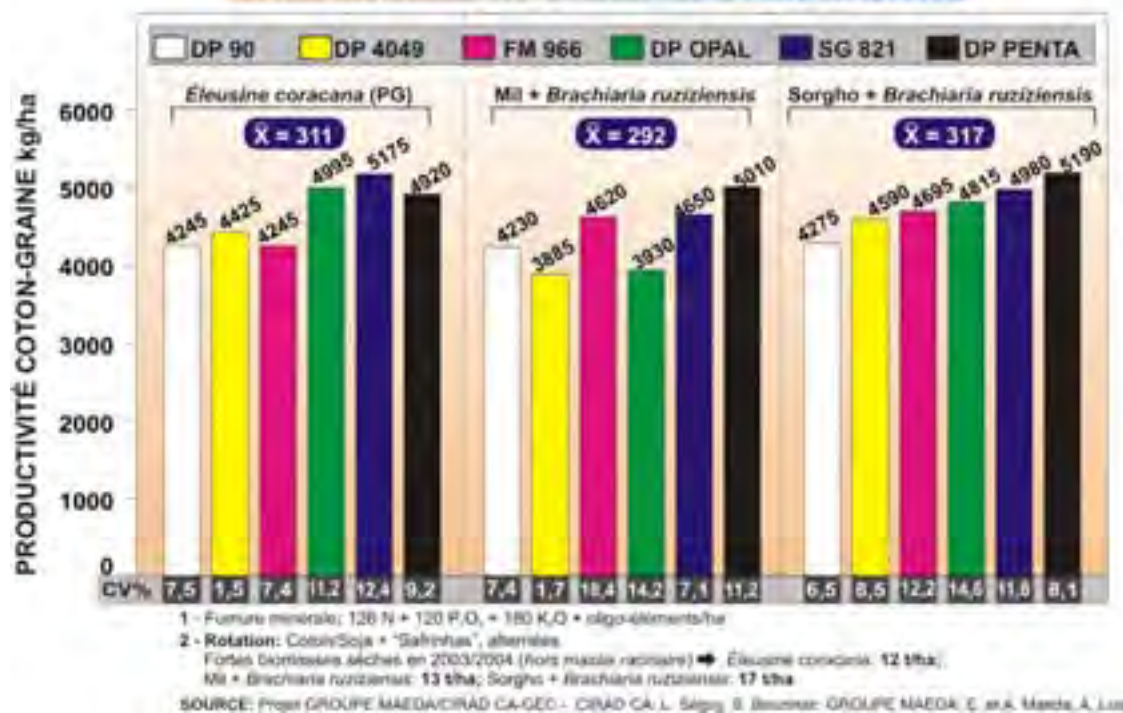
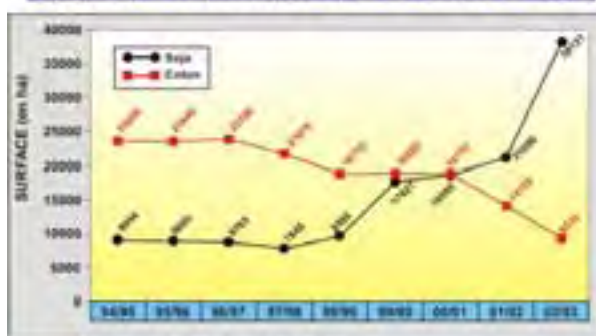


FIG. 52
ÉVOLUTION DE LA SURFACE PLANTÉE EN SOJA ET COTON



ÉVOLUTION DE LA PRODUCTIVITÉ DE SOJA ET COTON

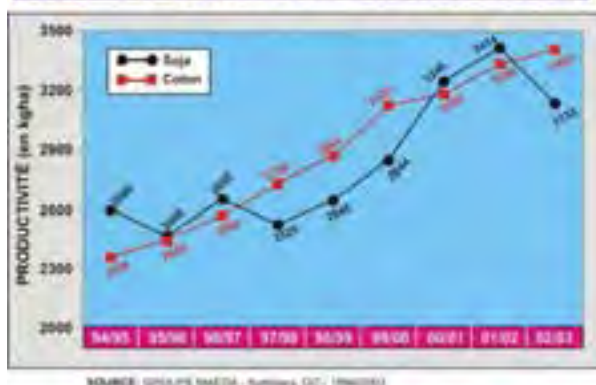
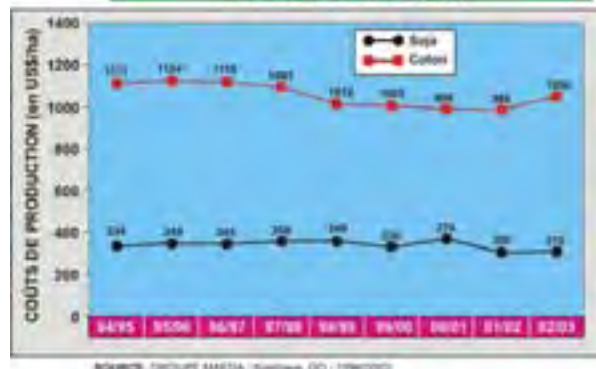


FIG. 53
ÉVOLUTION DES COÛTS DE PRODUCTION DU SOJA ET DU COTON



ÉVOLUTION DES PRIX PAYÉS À LA RÉCOLTE POUR LE SOJA ET LE COTON GRAINE

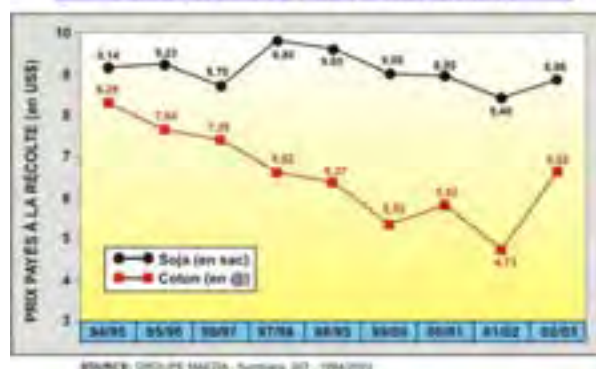


FIG. 54 ÉVOLUTION DES MARGES BRUTES DU SOJA ET DU COTON



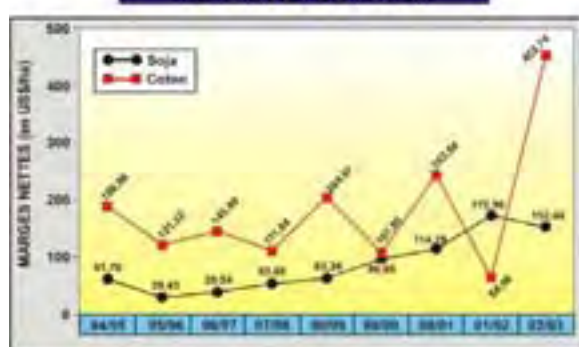
SOURCE: GROUPE SAGIA - Sumaris OC - 1994/2013

ÉVOLUTION DU TAUX DE RENTABILITÉ DU SOJA ET DU COTON



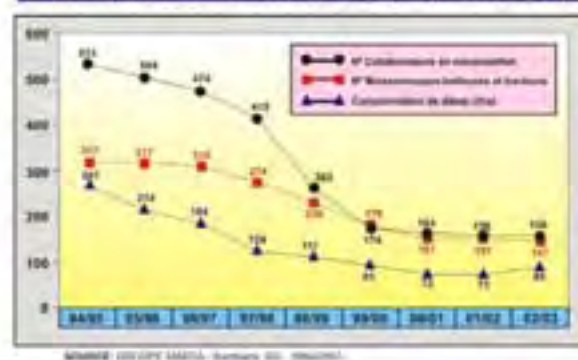
SOURCE: GROUPE SAGIA - Sumaris OC - 1994/2013

ÉVOLUTION DES MARGES NETTES DU SOJA ET DU COTON



SOURCE: GROUPE SAGIA - Sumaris OC - 1994/2013

ÉVOLUTION DU NOMBRE DE COLLABORATEURS EN MÉCANISATION, DE MOISSONNEUSES-BATTEUSES ET TRACTEURS, DE LA CONSOMMATION DE DIESEL



SOURCE: GROUPE SAGIA - Sumaris OC - 1994/2013

IMPACTS DES SYSTEMES EN SEMIS DIRECT (SCV) SUR LES SOLS : Comme dans les écologies des Cerrados à Lucas do Rio Verde et des forêts à Sinop, quantité et qualité de biomasse, donc la nature des SCV, commande les fonctions agronomiques essentielles, la dynamique de leurs relations avec les cultures et leur capacité à transformer les propriétés physico-chimiques et biologiques du profil cultural.

L'érosion et les externalités sont maintenant bien contrôlées, et la pratique des meilleurs systèmes SCV, les plus forts pourvoyeurs de biomasse, surtout en fin de saison des pluies et en saison sèche, permettent de séquestrer¹⁹ efficacement le carbone, entre 0,7 t/ha/an (système SCV Coton tous les ans Sorgho + Coton) et plus de 3 t/ha/an (systèmes SCV Coton un an sur deux, rotation Soja + safrinha/Coton) après seulement 3 ans de fonctionnement des systèmes (Fig. 55).

¹⁹ Analyses de départ réalisées sur 35 parcelles d'une superficie totale de 7.443 ha – Entre 3 et 6 échantillons moyens/parcelle composés chacun de 20 sous-échantillons ; Stocks moyens de carbone avant expérimentation sur la matrice des systèmes dans les horizons 0 – 10 cm et 10 – 20 cm = 20 t/ha et 14 t/ha respectivement

Tableau 3 – Variations, après 3 ans des stocks de carbone de l'horizon 0 – 20 cm (en t/ha) en fonction du système de culture

SYSTEMES	SCV	SCV	SCV	SCV	TCS
Année 1	Sorgho + Coton	Soja + Safr./	Coton /	Soja + Safr./	“semi-direct” Mil + Coton
Année 2	Sorgho + Coton	Coton/	Soja + Saf./	Soja + Saf. /	Mil + Coton
Année 3	Sorgho + Coton	Soja + Saf.	Coton	Coton	Mil + Coton
	Tous les ans	2 fortes biomass. sur 3 ans	1 forte biomasse sur 3 ans	2 fortes biomass. sur 3 ans	Tous les ans (discages)
Horizon (en cm)	STOCKS DE CARBONE en t /ha				
0 - 10	23	23	21	22	18
10 - 20	15	20	16	20	14

Le système dit de **“semi-direct”** (TCS) bâti sur la succession annuelle continue Mil ou Sorgho + Coton avec l'utilisation des engins à disques pour enterrer les semences de la couverture de Mil ou Sorgho et pour détruire les repousses de coton immédiatement après la récolte, **perd du carbone** tous les ans, à hauteur de **- 0,6 à - 0,7 t/ha/an** ; la fertilité, sous ce système, ne peut donc être maintenue qu'à partir de quantités d'engrais minéraux et d'amendements croissantes. Le simple fait de pratiquer cette même succession annuelle en **Semis Direct continu**, permet, à l'inverse d'augmenter **significativement le stock de carbone du sol : + 0,7 à + 0,9 t/ha/an**.

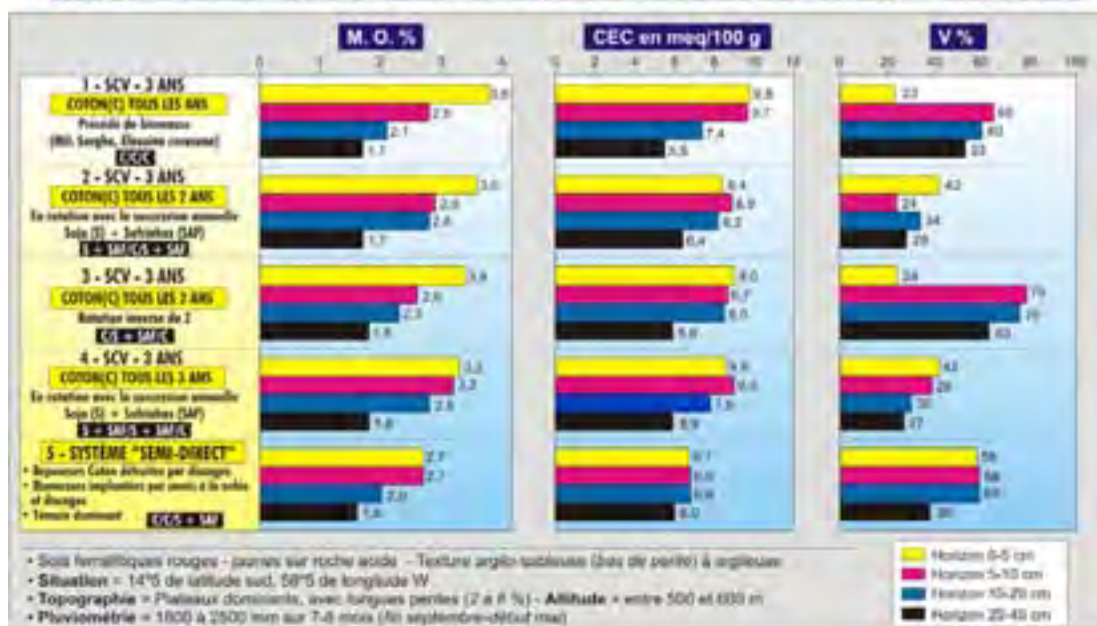
La CEC suit, comme dans les exemples de Lucas do Rio Verde et de Sinop, **les mêmes variations que la Matière Organique (Fig. 55)**.

Le **taux de saturation** est toujours plus élevé en moyenne dans les horizons de surface (0 - 40 cm) lorsque la culture de coton, très fortement fertilisée, domine dans la rotation (**Fig. 55**).

FIG. 55

TENDANCES D'ÉVOLUTION DES TENEURS EN MATIÈRE ORGANIQUE (M. O. %), DE LA CAPACITÉ D'ÉCHANGE CATIONIQUE (CEC en meq/100g) ET DU TAUX DE SATURATION DE BASES (V en %), EN FONCTION DE LA NATURE DU SYSTÈME DE CULTURE EN SEMIS DIRECT SUR COUVERTURE VÉGÉTALE (SCV), APRÈS 3 ANS -

Agro-systèmes des cerrados humides du Centre-Ouest de l'état du Mato Grosso - Fazenda Guapirama - Deciolândia/MT-2003



SOURCE : Convention GROUPE MAEDA/CIRAD-CA
GROUPE MAEDA: E. et A. Maeda, A. L. de Souza; CIRAD-CA: L. Séguy, S. Boumrac - 2003

2.3.2 LES SYSTEMES COTONNIERS SUR SOLS FERRALLITIQUES SABLO-ARGILEUX DE L'ÉCOLOGIE DES CERRADOS DE MOYENNE ALTITUDE (600-700 m) du Sud-Est Mato Grosso - Faz. Mourão - Campo Verde²⁰ 2001 - 2006 - MT.

• La matrice pérennisée des systèmes de culture installée depuis 2001 sur une toposéquence de la fazenda Mourão compare les systèmes de l'agriculture **d'hier** (T_1 = monoculture coton *x offset*), de l'agriculture **d'aujourd'hui** (T_2 = Système "semi-direct" sur mil *x* coton tous les ans) et de l'agriculture **de demain** [S_1 et S_3 = innovations Semis Direct : Coton en Rotation avec Soja + Eleusine sur 2 ans suivi d' Eleusine + Crotalaire sp., ou + (sorgho + *Brachiaria ruzi.*) sur 2 ans suivi de (Sorgho ou Maïs + *Brachiaria ruzi.* + *Cajanus cajan*)] ; elle incorpore donc les couverts végétaux multifonctionnels déjà évalués à Sinop (*forêts*) et Deciolândia (*Cerrados*) dans les SCV fort pourvoyeurs de biomasse sèche annuelle : ce sont les successions annuelles du soja = *Eleusine*, *Eleusine cor.* + *Crotalaria spect.*, Sorgho + *Brachiaria ruzi.* et enrichit cette dernière succession avec l'adjonction de *Cajanus cajan* ; elle devient = Sorgho ou Maïs + (*Brachiaria ruzi.* + *Cajanus cajan*) et gagne en multifonctionnalité (*effet décompactant du pivot de cajanus cajan* + fixation d'azote).

Cette vitrine des systèmes de culture est conduite, comme dans les exemples précédents, en conditions d'exploitation réelles mécanisées ; elle comporte 2 modes de gestion de la fertilisation minérale : celui de la fazenda et un niveau minimum pour à la fois réduire les coûts, mais également mettre en évidence l'impact positif de la régénération organo-biologique des sols par les SCV (*résilience, qualité biologique*).

Elle intègre l'amélioration variétale coton, pour et dans les systèmes de culture, dans l'objectif essentiel d'optimiser les relations «Géotypes *x* Modes de gestion des sols et des cultures ».

Elle constitue un «laboratoire d'observation, d'évaluation scientifique et de modélisation» pour l'étude du fonctionnement agronomique comparé des systèmes de culture et de leurs impacts sur la productivité des cultures, sur les transformations des sols : les externalités

²⁰ Travaux de recherches pluridisciplinaires = CIRAD-CA + COODETEC sur financement du FACUAL (Fonds d'Appui à la recherche cotonnière).

et les xénobiotiques, la résilience (*composantes de la qualité biologique des sols*), sur la qualité des eaux et des productions.

- **Sont évalués, annuellement** : les rendements et leurs composantes, sur la culture de coton et les cultures en rotations, l'évolution de la flore adventice, des maladies cryptogamiques, des ravageurs des cultures.
- **Tous les 3 ans, est réalisé un contrôle de la fertilité** : composantes physiques et chimiques dont la matière organique, **le fractionnement granulométrique du carbone**²¹ qui permet de suivre la capacité différentielle des systèmes à séquestrer le carbone

Les résultats obtenus les plus significatifs sur le coton culture principale, au cours des 4 dernières années d'évaluation, peuvent être résumés comme suit:

► **Les performances agronomiques des systèmes de culture se différencient fortement et rapidement** au cours du temps. Les **figures 56 à 59** qui illustrent l'évolution des rendements de coton sur 4 ans, en fonction des systèmes de cultures pratiqués (*FACUAL, 2003 ; 2004 ; 2005 ; 2006 ; Maronezzi, 2001 ; Sá J.C.M. et al., 2008 ; Séguy L. et al., 2004, a*), mettent en évidence, toutes variétés confondues :

- **Le système «d'hier», T₁, avec Travail du sol x Monoculture, offre les productivités moyennes les plus faibles** et les plus variables inter annuellement :
 - **En fonction du niveau de fumure, de 15 à 23% de moins** que le système «d'aujourd'hui», **semi-direct T₂**, et **de 28 à 33% de moins** que le système **SCV S₃**, en Semis Direct sur Couverture Végétale permanente, très fort pourvoyeur de biomasse diversifiée annuelle, qui est toujours le plus productif ;
 - **L'évolution des rendements s'inscrit dans une forte instabilité** annuelle (*forte sensibilité aux variations climatiques*) et une tendance générale à la baisse d'autant plus marquée que le niveau de fumure minérale (*compensateur*) est plus faible ; cette productivité interannuelle chaotique est en parfaite conformité avec la perte importante et continue de matière organique du sol dans ce système (*Forte érosion continue et dégradation croissante de l'état structural*).
- **Les systèmes «d'aujourd'hui», représentés par le système "semi-direct", T₂, (TCS²²)** dans lequel la monoculture de coton est implantée tous les ans en Semis Direct sur biomasse de mil installée par discage léger, expriment une productivité interannuelle plus élevée et plus stable que le système «d'hier» T₁, **mais toujours très inférieure à celle des systèmes SCV S₁, S₃, S₄**.
- **Seuls, les systèmes «de demain», SCV cotonniers S₁, S₃ et S₄** en rotation avec les successions Soja + «Safrinhas» (*cultures de succession comme sorgho ou maïs associés à Brachiaria ruziziensis, ou à Brachiaria ruziziensis + Cajanus cajan ou encore Eleusine coracana associée à Crotalaria spectabilis*) très fortes pourvoyeuses de biomasse annuelle (*Fig. 60*). (*supérieure à 20 t/ha*), qui nourrissent en continu, protègent et maintiennent le sol toujours couvert (*comme sous forêt*), **s'inscrivent dans des courbes de production fortement croissantes** depuis le début de l'expérimentation en grande culture mécanisée, quel que soit le niveau de fumure minérale utilisé ; si les rendements de coton graine étaient pratiquement équivalents pour tous les modes de gestion du sol en première année, au départ de l'expérimentation, **les écarts de productivités se creusent très vite en faveur de ces systèmes SCV** :
 - **Dès la 3^e année de culture:** de 39% à 62% de plus que le système « d'hier » T₁, en présence de la fumure standard et réduite respectivement ; 11% de plus que le système «d'aujourd'hui» T₂, semi-direct, quel que soit le niveau de fumure ;

²¹ Analyses réalisées à l'UEPG.

²² TCS : Techniques Culturelles Simplifiées

- **En 4^o année**, les écarts de rendements s'accroissent encore fortement en faveur des SCV S1 et S3 : productivité double de celle du système «d'hier» T1, quel que soit le niveau de fumure ; + **27% de rendement par rapport au système «d'aujourd'hui» T2 avec fumure standard et + 45% avec fumure réduite** ;

La productivité de ces systèmes très performants est équivalente dès la 4^o année, entre fumure réduite et fumure double (*standard*), démontrant ainsi l'augmentation de la capacité du sol à produire par voie organo-biologique avec peu d'engrais minéraux et la possibilité de réduire de moitié la fumure minérale pour maintenir des rendements très élevés voisins de 4.500 kg/ha (*cultivar CD 409*) sur ce type de sol fragile à dominance sableuse : le fonctionnement du système Sol - Culture se fait de plus en plus à partir du cycle biologique annuel de la phytomasse qui constitue le siège de la fertilité, à l'image de l'écosystème forestier (*Fig. 59*).

➤ **LA CULTURE DE SOJA (variété à cycle court CD 217) dans les systèmes SCV de «demain» S₁, S₂, S₃, S₄ (Soja + Safrinhas en rotation avec coton) obtient en 2004/05 des productivités, en moyenne supérieures à 4,0 t/ha (maximum de 4,44 t/ha sur S₁) avec la fumure standard, contre plus de 3.500 kg/ha avec la fumure faible (*Fig. 61*). Les rendements sont stables sur 4 ans. La productivité de ces 4 systèmes SCV sur la rotation de 2 ans est en moyenne de 3,6 t/ha de Soja + 2,0 à 3,0 t/ha de coton graine avec la fumure faible et confirme bien ainsi encore une fois, la forte capacité de production du sol par voie organo-biologique même en présence d'un minimum d'engrais minéral et de contrôle naturel efficace des nématodes phytophages.**

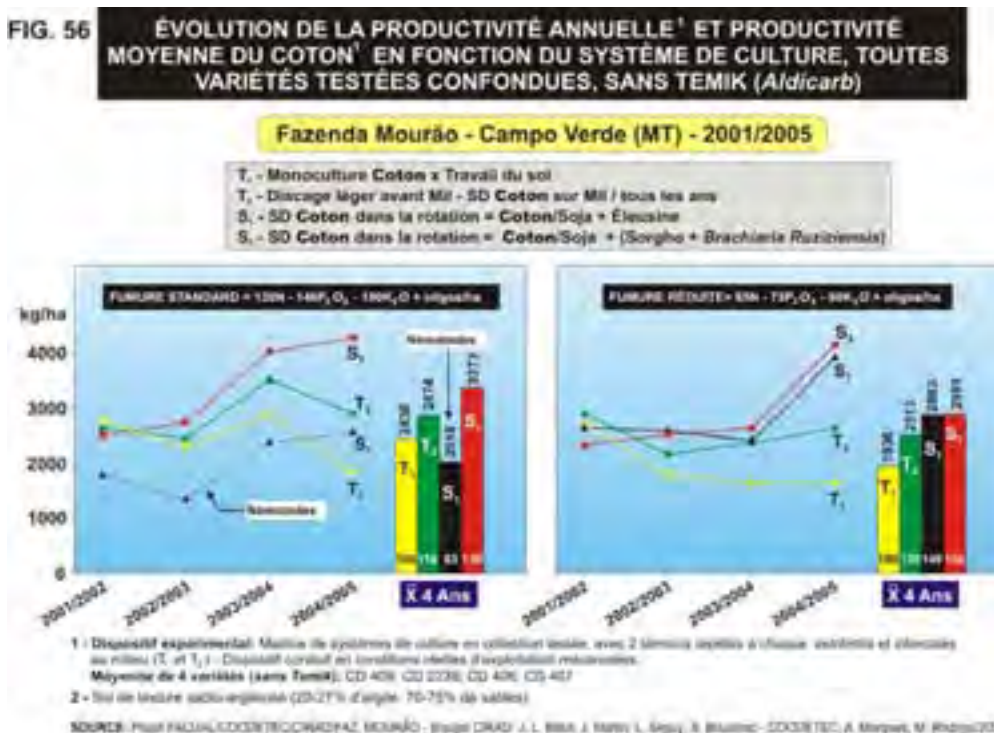


FIG. 57

PRODUCTIVITÉS MOYENNE ET RELATIVE COMPARÉES DES SYSTÈMES DE CULTURE - Fazenda Mourão - Campo Verde, MT - 2004/2005

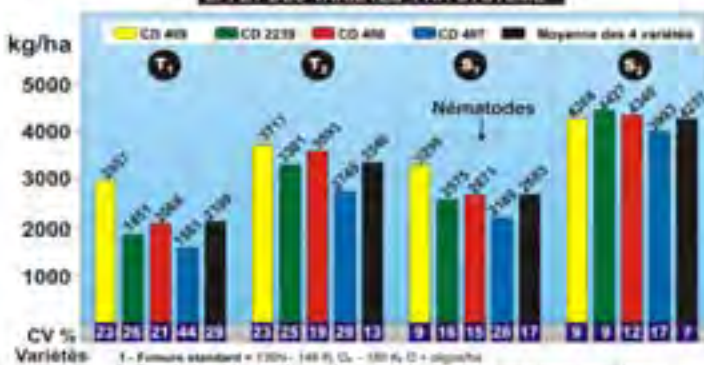
I FUMURE STANDARD DE LA FAZENDA

T₁ - Monoculture Coton + Travail du sol
 T₂ - Discaje léger avant MI - SD Coton sur MI / tous les ans
 S₁ - SD Coton dans la rotation = Coton/Soja + Éléusine
 S₂ - SD Coton dans la rotation = Coton/Soja + (Sorgho + Brachiaria Ruzizizemra)
 □ Productivité relative

EFFET DU SYSTÈME¹ : 4 VARIÉTÉS CONFONDUES



EFFET DES VARIÉTÉS² PAR SYSTÈME



1 - Fumure standard = 130N - 148 P₂ O₂ - 180 K₂O + oligo/ha
 2 - Disponibilité expérimentale: Moyenne des systèmes de culture en rotation (tous les ans à l'année) - Niveau 2 (Moyenne) - variétés en rotation au même (T₁, T₂)
 (Disponibilité standard en conditions locales et exploitation mécanisée)
 - Effet du système: Moyenne des 4 variétés, sans terre.
 3 - Variétés testées = CD 408; CD 2238; CD 408; CD 407
 SOURCE: Pêzer (AGROECODETERMINAZ MOURÃO - Experi. CMAE) et J. Bello - I. Bello
 L. Bello, S. Buelens - CODETEC A. Mourão, M. Pêzer/2005

FIG. 60

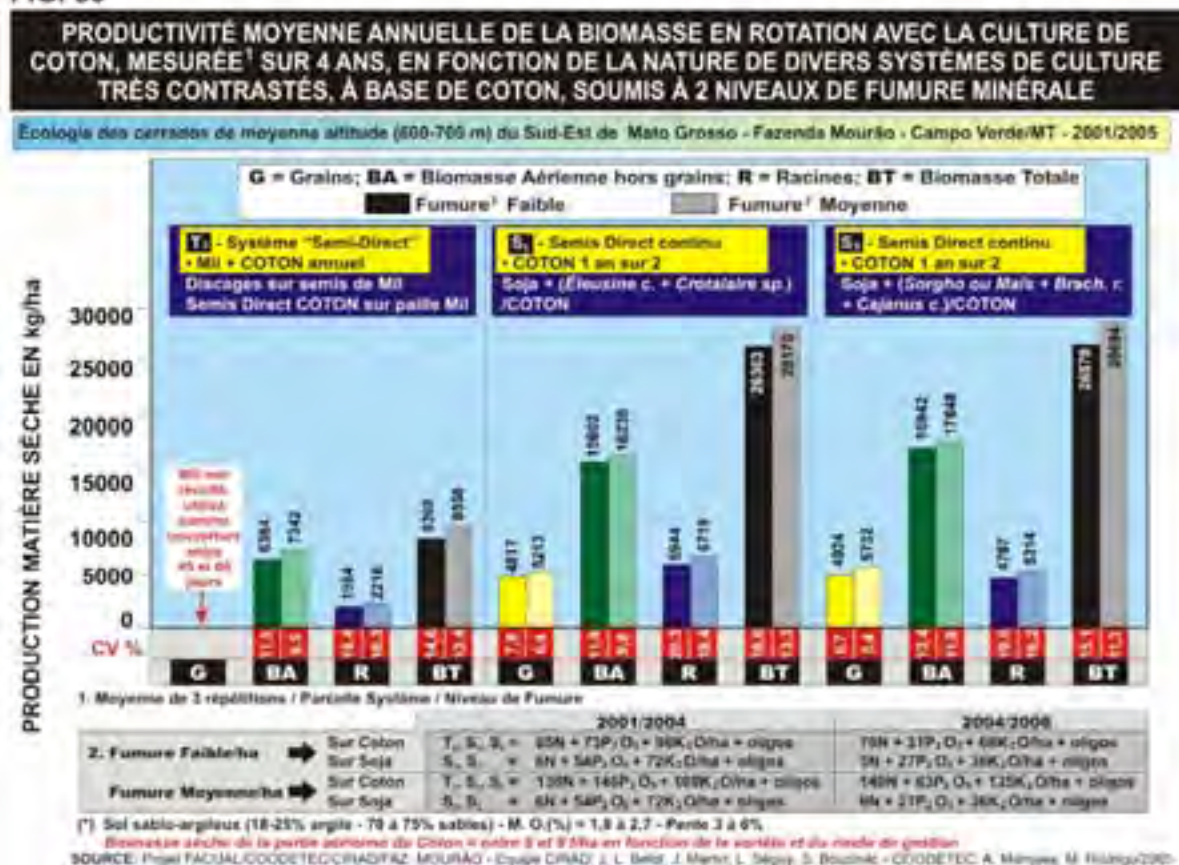


FIG. 61

ÉVOLUTION DES RENDEMENTS ANNUELS DU SOJA DE CYCLE COURT¹ ET PRODUCTIVITÉ MOYENNE SUR 4 ANS (en kg/ha), DANS 4 SYSTÈMES DE SEMIS DIRECT SUR FORTES BIOMASSES ET EN PRÉSENCE DE 2 NIVEAUX BAS² DE FUMURE MINÉRALE

Fazenda Mourão - Campo Verde (MT) - 2001/2005

ANNÉES	S ₁ SD x Soja + Éleusine c./Coton		S ₂ SD x Éleusine + Riz/Soja + Coton Safrinha		S ₃ SD x Soja + (Sorgho + Brach.) /Coton		S ₄ SD x Soja + (Sorgho + Brach.) /Coton Safrinha	
	Fumure Standard	Fumure Réduite	Fumure Standard	Fumure Réduite	Fumure Standard	Fumure Réduite	Fumure Standard	Fumure Réduite
2001/2002	3856	4042	3442	3925	3831	3906	3706	3726
2002/2003	3599	3541	3700	3762	3754	3376	3853	4094
2003/2004	3192	3306	3720	3636	3138	3360	3276	3696
2004/2005	4440	3452	3839	3211	4232	3549	4352	3552
Moyenne	3772	3585	3675	3634	3739	3548	3797	3767
ET	522,7	319,5	167,2	305,5	452	253,7	443,8	230,8
CV%	13,8	8,9	4,5	8,4	12,1	7,1	11,7	6,1

1 - Variétés: En 2001/2002: Conquista; en 2002/2003: Moyenne de CD 211 + Conquista; en 2003/2004 et 2004/2005: CD 217
 2 - Fumure Standard = 8N + 54P, O₂ + 72K, O₁ + oligo-eltia
 Fumure Réduite = 3N + 27P, O₂ + 36K, O₁ + oligo-eltia
 SOURCE: Projet FACUAL/COODETEC/CIRAD/FAZ. MOURÃO - Equipe CIRAD: J. L. Bello, J. Martin, L. Séguin, S. Boucincé - COODETEC: A. Menezes, M. Roldán/2005

➤ L'IMPACT DIFFERENCIE DES SYSTEMES DE CULTURE EST EGALEMENT TRES MARQUE ET TRES RAPIDE SUR L'EVOLUTION DU STOCK DE CARBONE DU SOL

- Les mêmes systèmes SCV (S1, S3, S4) produisent les mêmes effets qu'en écologie de forêt (*Sinop*) sur la production de matière sèche, hors grains, à partir des successions annuelles Soja + safrinhas Eleusine cor. + *Crotalaria spec.* et Sorgho + *Brachiaria ruz.* en rotation un an sur deux avec le coton. : la moyenne de production sur 4 ans est proche de 23 t/ha avec la fumure standard et de 21 t/ha avec la fumure réduite, contre 8 à 9 t/ha de matière sèche de mil installé par discages, qui précède tous les ans la culture de coton dans le système T2 de "semi-direct" (TCS).

- **Après seulement 3 ans de fonctionnement des systèmes**, la différenciation des stocks de carbone est hautement significative en fonction de la nature des systèmes, dans les horizons 0 - 10 cm et 10 - 20 cm, de même que celle des fractions granulométriques du carbone ([Fig.62 et 63](#))

- **Après 5 ans de fonctionnement des systèmes**, les différences entre les stocks de carbone dans les horizons 0 - 20 cm et 20 - 40 cm sont aussi hautement significatives et varient de plus du simple au double en fonction de la nature du système pratiqué ([Fig. 64 et 65](#)) et la classification des systèmes par ordre décroissant des stocks de carbone, s'établit comme suit, dans ce sol fragile sablo-argileux :

- **SCV sur couvertures vivantes > SCV sur couvertures mortes > T2 "semi-direct" > T1 «Monoculture x Discages»**

- les SCV sur couvertures vivantes (*Arachis p.* > *Cynodon d.*) présentent des stocks 0 - 20 cm, 20 - 40 cm et 0 - 40 cm de 2 à 3 fois plus élevés que sous le système témoin T1 Monoculture x Travail du sol ([Fig. 64 et 65](#));

- les SCV sur couvertures mortes les plus productifs en coton et soja (S1, S3, S4) ont des stocks près de 2 fois supérieurs à ceux de T1 et de 27 à 50% plus élevé que T2 (TCS) de "semi-direct" dans l'horizon 0 - 40 cm en fonction du niveau de fumure ;

- plus le niveau de fumure est élevé et plus le stock de carbone est élevé dans tous les systèmes, en parfaite concordance avec le niveau d'entrées des inputs carbonés issus de la biomasse recyclée annuellement qui est toujours plus importante avec la fumure standard, double de la fumure réduite : plus la quantité annuelle d'inputs carbonés qui rentre dans le système est grande et plus le stock de carbone est élevé ;

- l'impact relatif des SCV en matière de carbone par rapport aux systèmes T1 (Monoculture x Travail du sol) et T2 ("semi-direct") est d'autant plus élevé que la fumure est plus faible, mettant en évidence clairement l'effet restaurateur - régénérateur des SCV (*résilience*) en présence d'un très faible niveau de fumure minérale, grâce à des couverts végétaux capables de produire de forts niveaux de biomasse sèche annuellement en sol pauvre chimiquement : comme sous la forêt, la fertilité réside davantage dans le cycle de la biomasse annuelle produite que dans le sol ([Lucas Y. et al., 1993](#) ; [Sá J.C. M. et al., 2008](#) ; [Stark N. M., 1978](#)).

- Les propriétés physico-chimiques moyennes analysées (*) dans l'horizon 0 – 15 cm, sur échantillons réalisées avant expérimentation sur l'ensemble de la parcelle

qui a supporté la matrice des systèmes de culture, sont réunies dans le tableau ci-après:

	Densité Apparente (kg/dm ³)	P (mg/dm ³)	M 0 (%)	K	Ca	Mg	CEC	SB	V (%)	Argile (%)	Limon (%)	Sable (%)
Moyenne des parcelles 1 à 14	1,3	1,52	1,50	0,12	1,32	0,49	4,84	1,93	40,2	22,8	4,6	72,7
CV (%)	8,2	57,0	4,1	45,5	27,6	29,1	4,5	28,5	30,6	11,9	14,5	3,7
Moyenne des parcelles 15 à 28	1,27	1,25	1,59	0,10	0,92	0,37	4,85	1,38	28,5	25,3	5,3	69,4
CV (%)	6,4	61,6	7,5	11,8	8,2	11,7	6,6	7,8	6,4	8,8	21,9	3,2

Les stocks de carbone de départ, évalués²³ sur les parcelles qui ont reçu les systèmes les plus contrastés : T₁, T₂, S₃, S₄ et SCV sur couvertures vivantes (*Tifton 85*, *Arachis*), varient, sur les parcelles 1 à 14 affectées au niveau de fumure standard moyenne entre 22,2 et 24,4 t/ha dans l'horizon 0 – 20 cm et entre 22,1 et 25,8 t/ha sur les parcelles 15 à 28 relatives à la fumure réduite.

Les pertes ou gains de carbone, en fonction de la nature du système, peuvent être estimés, ainsi, en moyenne, après 5 ans de fonctionnement des systèmes :

- Pertes de – 0,95 et de – 2,0 t/ha/an, avec fumures standard et réduite respectivement sous le système T₁ avec Travail continu intensif du sol x Monoculture Coton,
- Pertes comprises dans les mêmes conditions de fumure entre – 0,6 et – 1,55 t/ha/an sous le système T₂, de "semi-direct" (*TCS*), Mil + Coton annuel ;
- Gains, sous les systèmes SCV S₃ et S₄ forts pourvoyeurs annuels de biomasse, compris entre + 1,2 et + 1,8 t/ha/an avec fumure réduite et entre + 1,8 et + 2,7 t/ha/an avec fumure standard ;
- Gains les plus élevés sous SCV sur couvertures vivantes avec fumure standard, qui vont sous *Cynodon d.* de + 2,4 à 2,7 t/ha/an et de 3,0 à 3,4 t/ha/an sous *Arachis p.* ; ces systèmes SCV cotonniers se révèlent comme les plus performants, en sol sablo-argileux de la ZTH.

➤L'IMPACT DIFFÉRENCIÉ DES SYSTEMES, TRÈS MARQUÉ ET TRÈS RAPIDE SUR L'ÉVOLUTION DU STOCK DE CARBONE DU SOL, EST ÉGALEMENT HAUTEMENT SIGNIFICATIF SUR LES PROPRIÉTÉS CHIMIQUES DES MÊMES HORIZONS ANALYSÉS :

- les systèmes qui génèrent les stocks de carbone les plus élevés au cours du temps , sont ceux qui offrent aussi les attributs chimiques les plus élevés et les plus favorables à la productivité des cultures sur l'ensemble du profil cultural 0-40 cms : la CEC , la saturation de bases , la somme Ca + mg , K et P (**Fig. 66**) ; ces composantes chimiques de la fertilité sont étroitement corrélées au stock de carbone dans les horizons analysés 0-20 cms et 0-40 cms , avec des coefficients de détermination R² compris entre 0,7 et 0,8 selon les éléments (**Fig. 67**)

²³ Ces évaluations ne sont qu'indicatrices d'une fourchette de réponse, les horizons prélevés au départ et à la fin n'étant pas les mêmes : 0 – 15 et 0 – 20 cm.

➤ LES RENDEMENTS DES SYSTEMES DE CULTURE SONT ETROITEMENT CORRELES AUX STOCK DE CARBONE²⁴

Nous avons rigoureusement établi, dans les différentes écologies de la Zone Tropicale Humide (*Cerrados et Forêts*), les lois de fonctionnement agronomique des systèmes de culture en sols ferrallitiques de texture argilo-sableuse (*Lucas do Rio Verde, Deciolândia et Sinop*) traduites par les étroites corrélations entre productivité de grains et productivité de biomasse des couverts végétaux (*compartiments biomasses aérienne et racinaire*), et entre cette dernière et les teneurs en Matière Organique des sols.

Dans le sol ferrallitique à texture sablo-argileuse, les mêmes lois de fonctionnement s'appliquent parfaitement aussi bien après 3 ans qu'après 5 ans de fonctionnement des systèmes comme le montrent les figures 68, 69 et 70, qui réunissent les corrélations linéaires (R^2 compris entre 0,70 et 0,89) entre productivité de coton graine et les stocks de carbone des horizons 0 - 20 cm, 20 - 40 cm et 0 - 40 cm, après 5 ans de fonctionnement des systèmes pour chaque niveau de fumure.

La réponse Productivité x Stock de carbone est relativement plus forte avec la fumure réduite, confirmant le fort effet restaurateur - régénérateur des SCV les plus forts pourvoyeurs d'inputs carbonés annuels en présence d'une fumure minérale très faible.

FIG. 62

STOCK ¹ DE CARBONE C (en tonne/ha) ET FRACTIONS GRANULOMÉTRIQUES (2000 μ m à <53 μ m) DANS L'HORIZON 0-20 cm (0-10 et 10-20cm), EN FONCTION DU SYSTÈME DE CULTURE APRÈS 3 ANS DE FONCTIONNEMENT DE SYSTÈMES TRÈS CONTRASTÉS						
Écologie des cerrados humides d'altitude (600-700m) du Sud-Est Mato Grosso Fazenda Mourão - Campo Verde/MT - 2005						
Horizon x Fractions Granulométriques	SYSTÈMES DE CULTURE					
	S ₁ Semis Direct SCV		T ₂ Semi-Direct		T ₁ Monoculture x Discages	
0-10 cm	C (t/ha)	CV%	C (t/ha)	CV%	C (t/ha)	CV%
210-2000 μ m	6,25	16,50	3,95	7,00	2,86	8,32
53-210 μ m	6,09	19,60	5,33	13,57	3,90	8,50
< 53 μ m	6,22	3,60	4,09	10,20	2,83	16,65
TOTAL C (0-10 cm)	18,56	5,60	13,37	4,78	9,59	6,95
10-20 cm	C (t/ha)	CV%	C (t/ha)	CV%	C (t/ha)	CV%
210-2000 μ m	2,69	15,00	2,79	12,03	1,69	12,01
53-210 μ m	5,24	7,88	4,04	6,10	4,06	9,25
< 53 μ m	3,91	20,51	3,45	6,84	2,77	7,24
TOTAL C (10-20 cm)	11,84	6,86	10,29	7,41	8,52	7,86
TOTAL C (0-20 cm)	30,40		23,66		18,11	
C Relatif %	(100)		(78)		(60)	

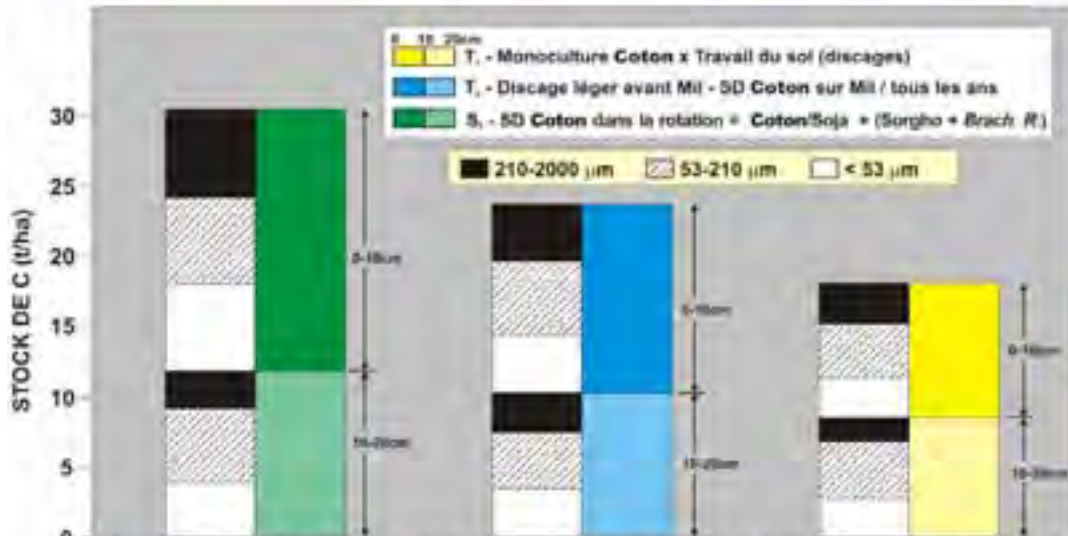
1 - Dispositif expérimental: Matrice de systèmes de culture en collection lesée, avec 2 témoins répétés à chaque extrémité et intercalés au milieu (T₁ et T₂) - Dispositif conduit en conditions réelles d'exploitation mécanisées.
 (4) Moyennes de 3 répétitions - Corrections jointives sur les systèmes (analyse avec fonction résiduée $402 + 730 \cdot CV + 938 \cdot C$)
 SOURCE: Projeto FACUAL/COODETEC/CIRAD/FAZ. MOURÃO - Equipe CIRAD: J. L. Balot, J. Martin, L. Séguin, S. Bouzonac - COODETEC: A. Marques, M. Rodrigo, J. C. Moraes de Sá, M. Machado Sá - UEPG - Ponta Grossa - Campo Verde/MT - 2005

²⁴ Analyses réalisées à l'UEPG (Prof. João Carlos Moraes de Sá) – Convention UEPG/CIRAD/FACUAL

FIG. 63

STOCK¹ DE CARBONE C (en tonne/ha) DANS L'HORIZON 0-20 CM (0-10 et 10-20cm), EN FONCTION DU SYSTEME DE CULTURE APRÈS 3 ANS DE FONCTIONNEMENT DE SYSTEMES TRÈS CONTRASTÉS

Écologie des cerrados humides d'altitude (600-700m) du Sud-Est Mato Grosso
Fazenda Mourão - Campo Verde/MT - 2005



1 - Dispositif expérimental; Mêmes des systèmes de culture en conditions réelles, avec 2 récoltes répétées à chaque extrémité et travail du sol milieu (T, et T₁); Dispositif ponctuel en bordure relative à associations rotatives.

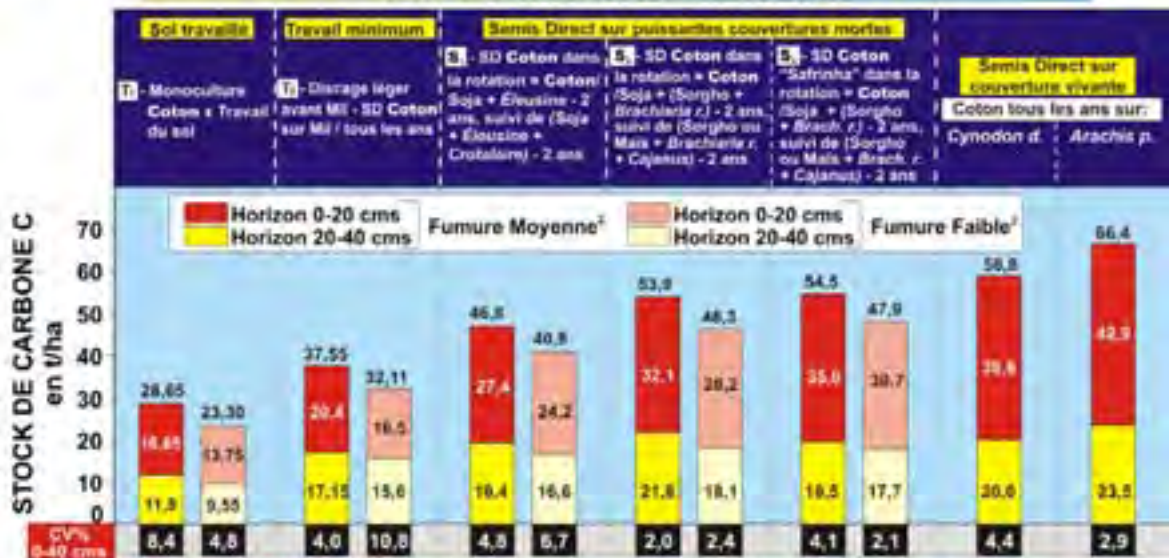
(*) - Moyenne de 3 répétitions + l'incertitude provient des systèmes expérimentaux. Erreur standard: 40% + (20) C₀ + 60% C₁.

SOURCE: Projet FACUAL/COODETEC/CIRAD/FAZ. MOURÃO - Equipe CIRAD: J.L. Balé, J. Marín, L. Sique, S. Brinco, - COODETEC: A. Marques, M. Rodrigo, J.C. Moraes de Sá, M. Machado Sá - NEPE - Ponta Grossa; Campo Verde/MT - 2005.

FIG. 64

ÉVOLUTION DES STOCKS DE CARBONE (en t/ha), APRÈS 5 ANS DE FONCTIONNEMENT DE SYSTEMES DE CULTURE TRÈS CONTRASTÉS À BASE DE COTON, SUR UN SOL¹ FERRALLITIQUE SABLO-ARGILEUX

Écologie des cerrados humides de moyenne altitude (600-700m) du Sud-Est du Mato Grosso
Fazenda Mourão, Campo Verde/MT - 2001/2006



(*) Les traitements systèmes T₁, T₂ sont répétés 2 fois. Ils représentent les limites de référence qui encadrent les autres traitements systèmes sur chaque niveau de fumure - le stock de carbone a été évalué sur 3 répétitions par culture alternative.

1. Texture moyenne = 19 à 27% argile; 76 à 76% de sable; 4 à 5% de limon

2. Input moyen annuel en [Fumure Faible: 41N + 61 P₂O₅ + 64 K₂O kg/ha + oligo; Fumure Moyenne: 62N + 122 P₂O₅ + 128 K₂O kg/ha + oligo]

SOURCE: Projet FACUAL/COODETEC/CIRAD/FAZ. MOURÃO - Equipe CIRAD: J.L. Balé, J. Marín, L. Sique, S. Brinco, - COODETEC: A. Marques, M. Rodrigo, J.C. Moraes de Sá, M. Machado Sá - NEPE - Ponta Grossa; Campo Verde/MT - 2005.

FIG. 65 STOCKS RELATIFS¹ DE CARBONE (%), ARÈS 5 ANS DE FONCTIONNEMENT DE SYSTÈMES DE CULTURE TRÈS CONTRASTÉS À BASE DE COTON, DANS UN SOL FERRALLITIQUE SABLO-ARGILEUX

Écologie des cerrados humides de moyenne altitude (600-700m) du Sud-Est du Mato Grosso
Fazenda Mourão, Campo Verde/MT - 2001/2006

Horizonte en cm	Témoin T ₁								Témoin T ₂								Témoin S _c		Témoin S ₂			
	T ₁ x 100	S ₁ x 100	S ₂ x 100	S ₃ x 100	AR x 100	TIF x 100	S ₁ x 100	S ₂ x 100	S ₃ x 100	TIF x 100	AR x 100	S ₁ x 100	S ₂ x 100	S ₃ x 100	TIF x 100	AR x 100	S ₁ x 100	TIF x 100	AR x 100			
0 - 20	121	120	163	176	191	205	288	220	255	238	134	147	157	171	172	163	235	260	117	116	138	152
20 - 40	145	163	164	174	185	190	165	165	199	169	115	100	127	118	114	113	128	151	112	109	110	130
0 - 40	132	138	163	175	188	199	190	206	232	206	125	127	144	149	145	149	193	207	115	113	127	143

- 1. Systèmes de culture**
- T₁ - Monoculture Coton x Travail du sol; T₂ - Discage Niger avant M³ - SD Coton sur Mil / tous les ans
 - S₁ - SD Coton dans la rotation = Coton/Soja + Eleusine - 2 ans, suivi de (Soja + Eleusine + Crotolaire) - 3 ans
 - S₂ - SD Coton dans la rotation = Coton/Soja + (Sorgho + Brachiaria r.) - 2 ans, suivi de (Sorgho ou Maïs + Brachiaria r. + Cajanus) - 3 ans
 - S₃ - SD Coton "Safrinha" dans la rotation = Coton/Soja + (Sorgho + Brachiaria r.) - 2 ans, suivi de (Sorgho ou Maïs + Brachiaria r. + Cajanus) - 3 ans
 - AR - Coton tous les ans sur couverture vivante d'Arachis pintoi
 - TIF - Coton tous les ans sur couverture vivante de Cynodon d.

- 2. Input moyen annuel en fumure minérale (kg/ha)**
- Fumure Faible (FF) : 41N + 61 P₂O₅ + 64 K₂O kg/ha oligo-éléments
 - Fumure Moyenne (FM) : 62N + 122 P₂O₅ + 128 K₂O kg/ha oligo-éléments

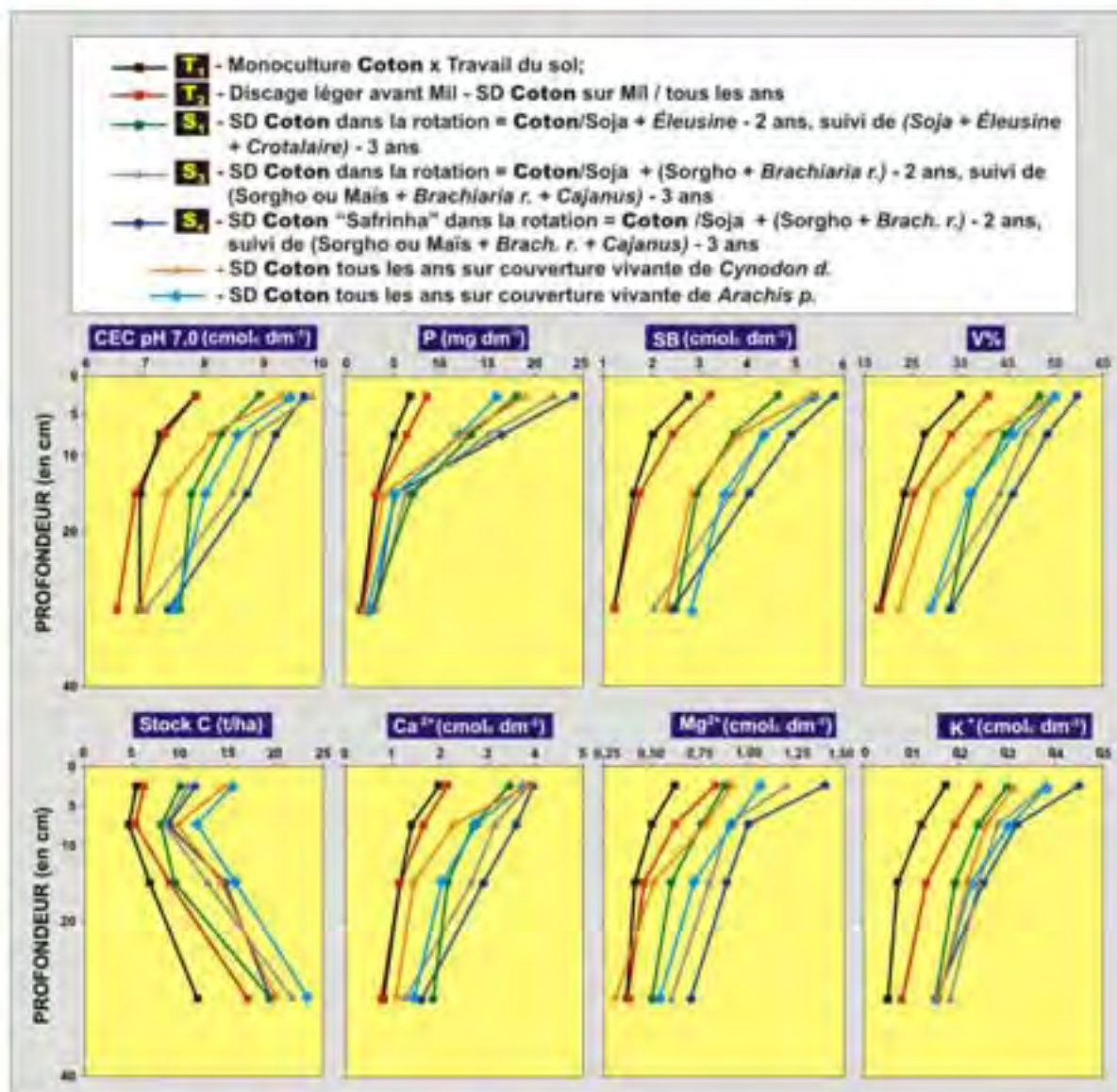
SOURCE: Prata FADUAL/COODETEC/CIRAD/FAZ. MOURÃO - Equipe CIRAD J. L. Basso J. March L. Seguy S. Brazneric - COODETEC A. Marquis M. Rodrigo J. C. Moraes de Sa, M. Machado Sa - UEPG - Ponta Grossa - Campo Verde/MT - 2005

FIG. 66a

PROPRIÉTÉS CHIMIQUES DANS L'HORIZON 0-40 cms D'UN SOL FERRALLITIQUE SABLO-ARGILEUX, APRÈS 5 ANS DE FONCTIONNEMENT DE SYSTÈMES DE CULTURE TRÈS CONTRASTÉS

Écologie des cerrados humides de moyenne altitude (600-700m) du Sud-Est du Mato Grosso
Fazenda Mourão, Campo Verde/MT - 2001/2006

a) - Fumure Standard moyenne annuelle = 82N + 122 P₂O₅ + 128 K₂O kg/ha + oligos



(*) Texture: 18-25% argile - 70 à 75% sables - Pente 3 à 6%

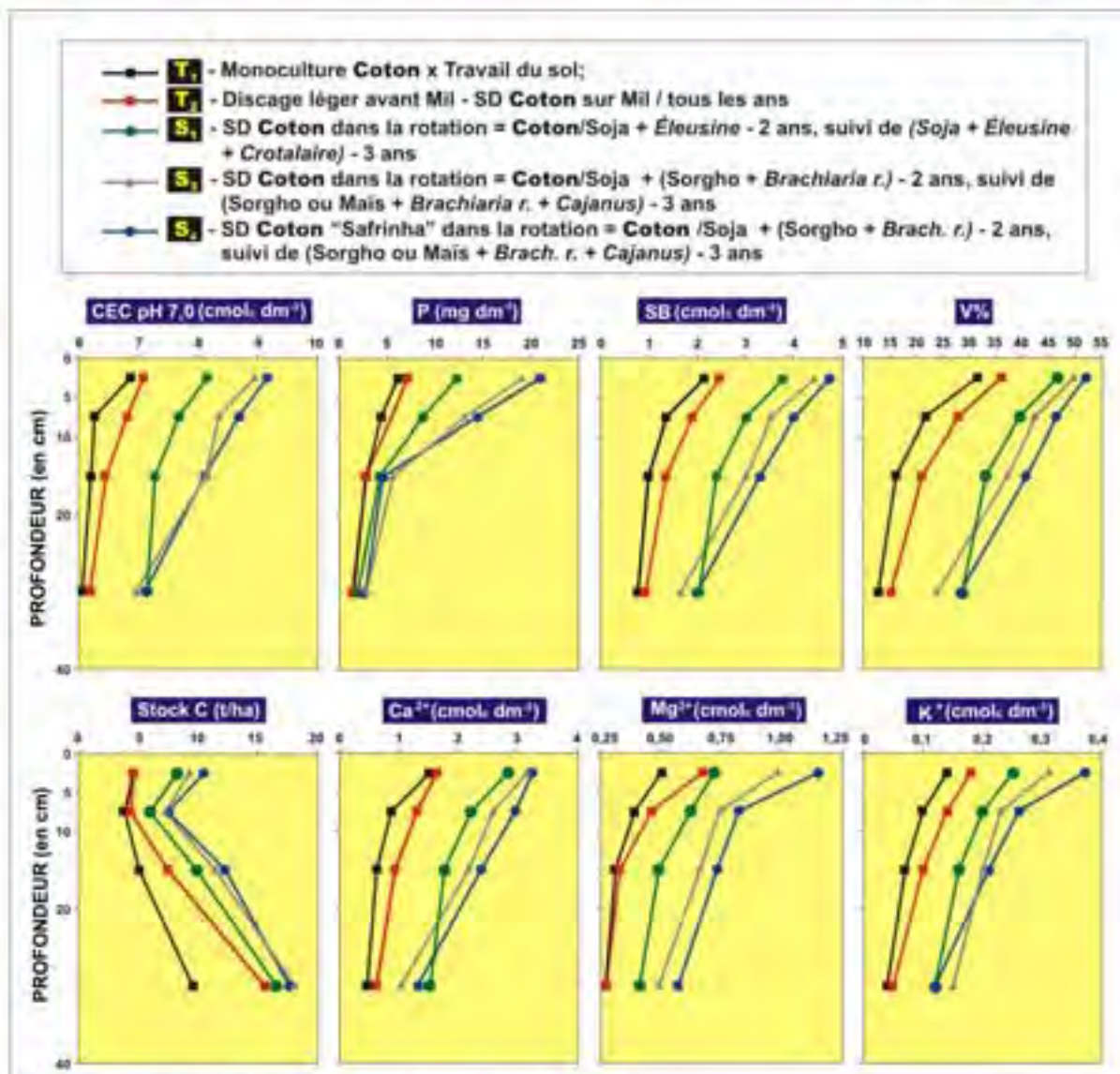
SOURCE: Projet FACUAL/COODETEC/CIRAD/FAZ. MOURÃO - Équipe CIRAD: J. L. Belot; J. Martin; L. Séguy; S. Bouzmac - COODETEC: A. Marques, M. Rodrigo, J. C. Moraes de Sá, M. Machado Sá - UEPG - Ponta Grossa - Campo Verde/MT - 2005

FIG. 66b

PROPRIÉTÉS CHIMIQUES DANS L'HORIZON 0-40 cms D'UN SOL FERRALLITIQUE SABLO-ARGILEUX, APRÈS 5 ANS DE FONCTIONNEMENT DE SYSTÈMES DE CULTURE TRÈS CONTRASTÉS

Écologie des cerrados humides de moyenne altitude (600-700m) du Sud-Est du Mato Grosso
Fazenda Mourão, Campo Verde/MT - 2001/2006

b) - Fumure Réduite moyenne annuelle = 41N + 61 P₂O₅ + 64 K₂O kg/ha + oligos



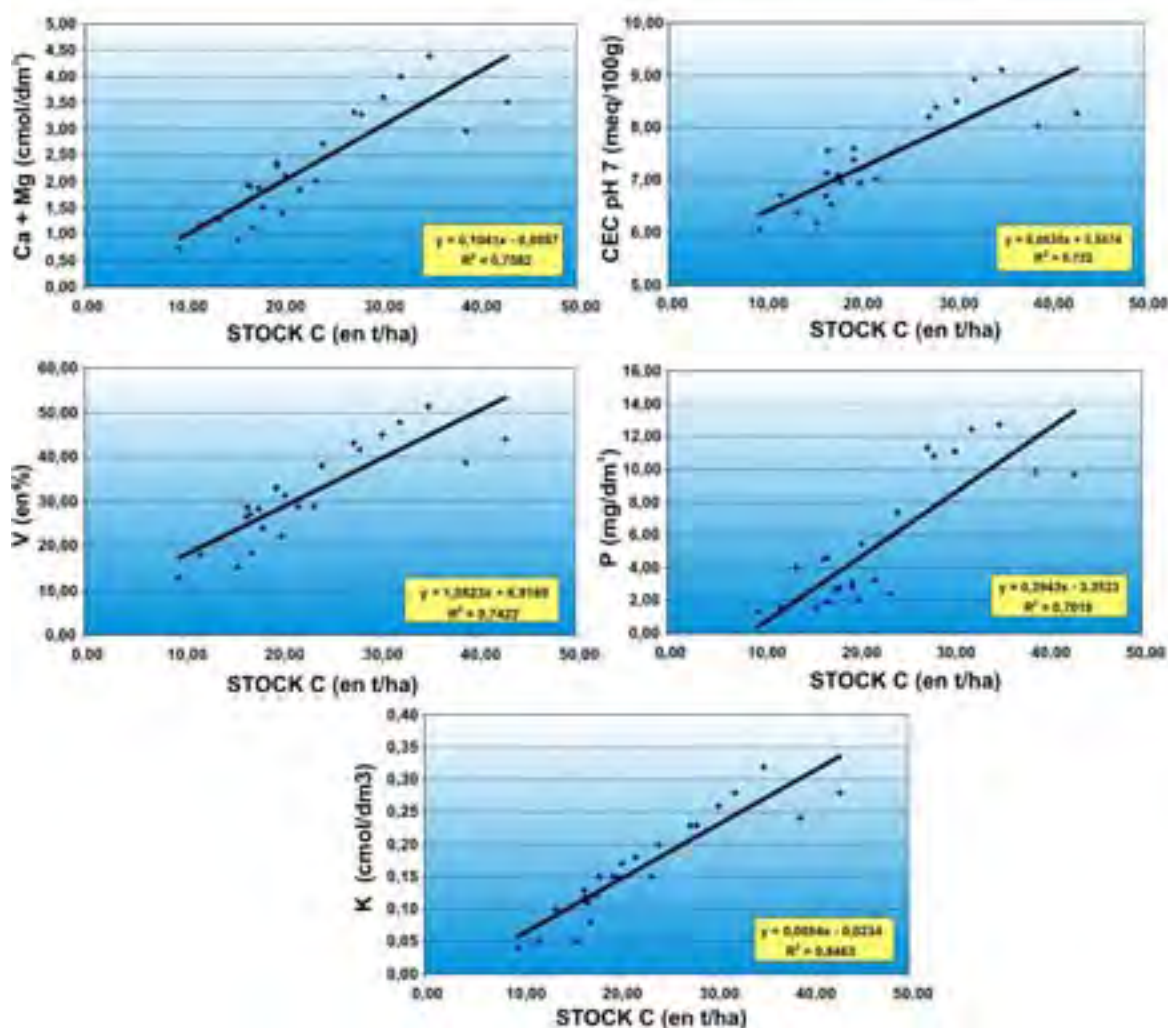
(*) Texture: 18-25% argile - 70 à 75% sables - Pente 3 à 6%

SOURCE: Projet FACUAL/COODETEC/CIRAD/FAZ. MOURÃO - Equipe CIRAD, J. L. Beloit, J. Martin, L. Ségué, S. Bouzinac - COODETEC, A. Marques, M. Rodrigo, J. C. Moraes de Sá, M. Machado Sá - UEPG - Ponta Grossa - Campo Verde/MT - 2005

FIG. 67

REGRESSIONS : STOCK DE CARBONE x CEC, V, Ca + Mg, P, K, Dans les horizons 0 - 20 cm et 20 - 40 cm d'un sol¹ ferrallitique sablo-argileux après 5 ans de fonctionnement de systèmes² de culture très contrastés

Écologie des cerrados humides de moyenne altitude (600-700m) du Sud-Est du Mato Grosso
Fazenda Mourão, Campo Verde/MT - 2001/2006



1. Texture: 18-25% argile - 70 à 75% sables - Pente 3 à 6%

2. Systèmes de culture

- T** - Monoculture Coton x Travail du sol;
- T** - Discage léger avant Mil - SD Coton sur Mil / tous les ans
- S** - SD Coton dans la rotation = Coton/Soja + Eleusine - 2 ans, suivi de (Soja + Eleusine + Crotalaria) - 3 ans
- S** - SD Coton dans la rotation = Coton/Soja + (Sorgho + Brachiaria r.) - 2 ans, suivi de (Sorgho ou Maïs + Brachiaria r. + Cajanus) - 3 ans

* **Fumure Standard moyenne annuelle** = 52N + 122 P₂O₅ + 128 K₂O kg/ha + oligos

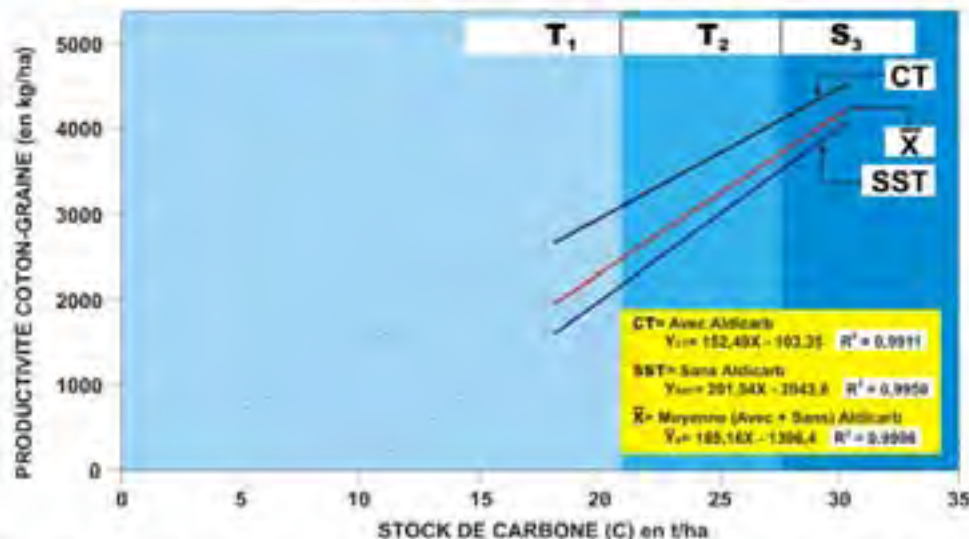
Fumure Réduite moyenne annuelle = 41N + 61 P₂O₅ + 64 K₂O kg/ha + oligos

SOURCE: Projet FACUAL/COODETEC/CIRAD/FAZ. MOURÃO / Equipe CIRAD: J. L. Beiot, J. Martin, L. Séguy, S. Bouzinac - COODETEC: A. Marques, M. Rodrigo, J. C. Moraes de Sá, M. Machado Sá - UEPG - Ponta Grossa - Campo Verde/MT - 2005

FIG. 68

REGRESSIONS: PRODUCTIVITÉ MOYENNE DU COTON (en kg/ha de grain) x STOCK DE CARBONE (en t/ha) DANS L'HORIZON 0-20cm

Écologie des cerrados humides d'altitude (600-700m) du Sud-Est Mato Grosso
Fazenda Mourão - Campo Verde/MT - 2005



1 - Dispositif expérimental: Marquis de systèmes de culture en collection localis, avec 2 répètes répétées à chaque extrémité et intervalles en mètres (T₁ et T₂). Dispositif conduit en conditions réelles d'exploitation mécanisées.

T₁ - Monoculture Coton + Travail du sol (dicapex)

T₂ - Dicapex léger avant Mi - SD Coton sur Mi / tous les ans

S₃ - SD Coton dans la rotation = Coton/Soya + (Sorgho + Brachi R.)

2 - Moyenne de 2 répétitions - Climatologie présentée sur les systèmes fonctionnels dans l'annexe finale - 400 + 720 C₂ + 1000, D

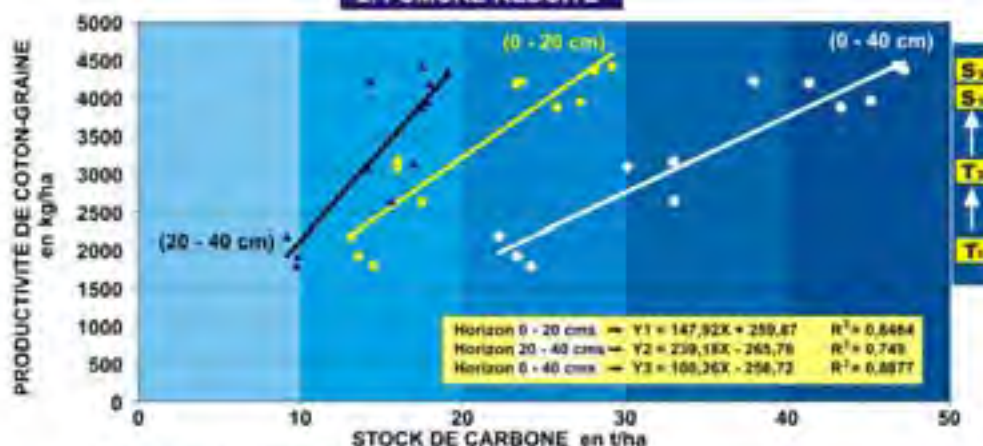
SOURCE: Projet FACIAL/COODETEC/CIRAD/FAZ MOURÃO - Equipe CIRAD: J. L. Bédou J. Martin L. Séguy S. Bouzinac - COODETEC: A. Marques, M. Rosário J. C. Moraes de Sá, M. Machado Sá - UEPG - Ponta Grossa - Campo Verde/MT - 2005

FIG. 69

REGRESSIONS: PRODUCTIVITÉ DE COTON GRAINE x STOCKS DE CARBONE DES HORIZONS 0-20 cms, 20-40 cms et 0-40 cms D'UN SOL FERRALLITIQUE SABLO-ARGILEUX APRÈS 5 ANS DE FONCTIONNEMENT DE SYSTÈMES DE CULTURE TRÈS CONTRASTÉS

Écologie des cerrados humides de moyenne altitude (500-700m) du Sud-Est du Mato Grosso - Fazenda Mourão, Campo Verde/MT - 2005 (2005)

2. FUMURE RÉDUITE¹



1. Textures: 18-25% argile - 70 à 75% sables - Pente 2 à 6%

2. Systèmes de culture

- 1.1 - Monoculture Coton + Travail du sol
- 1.2 - Dicapex léger avant Mi - SD Coton sur Mi / tous les ans
- 2.1 - SD Coton dans la rotation = Coton/Soya + Eleusine - 2 ans, suivi de (Soya + Eleusine + Crotalaria) - 3 ans
- 2.2 - SD Coton dans la rotation = Coton/Soya + (Sorgho + Brachiaria r) - 2 ans, suivi de (Sorgho ou Maïs + Brachiaria c + Cajoum) - 3 ans

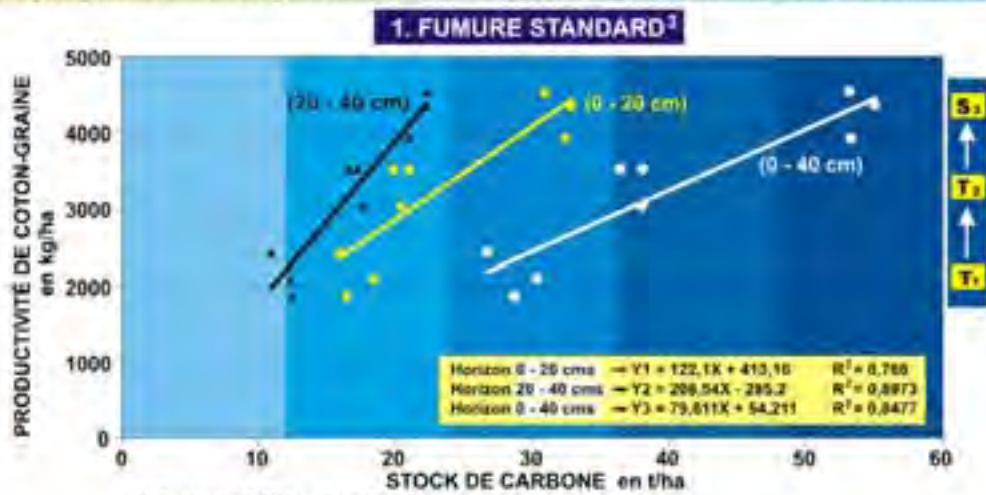
3. Fumure Réduite moyenne annuelle = 41N + 61 P₂ O₅ + 64 K₂ O kg/ha + oligos

SOURCE: Projet FACIAL/COODETEC/CIRAD/FAZ MOURÃO - Equipe CIRAD: J. L. Bédou J. Martin L. Séguy S. Bouzinac - COODETEC: A. Marques, M. Rosário J. C. Moraes de Sá, M. Machado Sá - UEPG - Ponta Grossa - Campo Verde/MT - 2005

FIG. 70

RÉGRESSIONS: PRODUCTIVITÉ DE COTON GRAINE x STOCKS DE CARBONE DES HORIZONS 0-20 cms, 20-40 cms et 0-40 cms D'UN SOL FERRALLITIQUE SABLO-ARGILEUX¹ APRÈS 5 ANS DE FONCTIONNEMENT DE SYSTÈMES² DE CULTURE TRÈS CONTRASTÉS

Écologie des cerrados humides de moyenne altitude (600-700m) du Sud-Est du Mato Grosso - Fazenda Mourão, Campo Verde/MT - 2001/2008



1. Texture: 18-25% argile - 70 à 75% sables - Pente 3 à 6%

L₁ - Monoculture Coton + Travail du sol.

L₂ - Disage léger avant MI - SD Coton sur MI / tous les ans.

L₃ - SD Coton dans la rotation + Coton/Soja + Eleusine - 2 ans, suivi de (Soja + Eleusine + Ortanique) - 3 ans.

L₄ - SD Coton dans la rotation + Coton/Soja + (Sorgho + Brychiotte 1/2) - 2 ans, suivi de (Sorgho ou Maïs + Brachiaria r + Capote) - 3 ans.

3. Fumure Standard moyenne annuelle = 82N + 122 P₂ O₅ + 128 K₂O kg/ha + oligos.

SOURCE: Fiche FADUAL/COODETEC/CHADIFAZ MOURÃO - Équipe CIRAD / J. L. Boix, J. Martin, L. Delpech, S. Bruneau, COODETEC/A. Menezes, M. Ferreira, J. C. Mendes de SA, M. Nairam Sa - IEPG - Ponta Grossa / Campo Verde/MT - 2008

➤ **REPONSE DIFFERENTIELLE DES VARIETES A LA NATURE DU SYSTEME DE CULTURE (FACUAL, 2003 ; 2004 ; 2005 ; 2006).**

C'est à partir de la 4^o année de fonctionnement que la productivité de coton sur la fumure réduite de moitié rejoint celle de la fumure pleine standard, traduisant l'importance des impacts des systèmes de culture sur les transformations du sol favorable à la production. L'écart de productivité entre les systèmes, déjà significatif dès la 2^{ème} année de fonctionnement, s'accroît fortement (*Fig. 56*) :

- **Quand le milieu de culture est très contraignant, en voie de dégradation active continue ($T_1 = \text{Travail du sol} \times \text{Monoculture}$),** les qualités variétales réunies sous le vocable de «rusticité» s'expriment et permettent de sélectionner le type de matériel génétique (CD 409) qui peut minimiser les transformations négatives du profil cultural pour la production (*nématodes, déstructuration, perte de matière organique, forte sensibilité aux aléas climatiques, pression croissante des adventices, des ravageurs et des maladies, etc. ...*) ;
- **A l'inverse, lorsque le système de culture restaure rapidement la fertilité** par voie organo-biologique (*séquestration forte de C, restructuration de l'espace poral favorable à l'enracinement et aux propriétés hydrodynamiques, contrôle naturel des adventices, moindre sensibilité aux maladies et aux ravageurs etc. ...*), **tout le matériel génétique** qui présente un bon potentiel de production **peut s'exprimer avec un minimum de contraintes et de limitations** : les cultivars montrent des **rendements très élevés et très voisins** les uns des autres, traduisant un **nivellement par le haut** des performances variétales, aussi bien sur la fumure standard que sur la fumure réduite de moitié ;
- Les systèmes SCV S₁ et S₃ expriment leur très fort pouvoir d'impact **transformateur - régénérateur de la fertilité** : la restauration rapide des propriétés biologiques et physiques, permet d'obtenir **un niveau élevé de productivité** de tous les cultivars, et **de plus équivalent entre fumure standard et fumure réduite de moitié**, dès la 4^o année (*Résilience et régénération «boostées»*) (2004/05) (*Fig. 59*).

• Les *figures 71, 72 et 73*, qui réunissent en 2004/05, les études de régression entre le rendement de chaque variété dans chaque système et le rendement moyen de l'ensemble des variétés/système, confirment :

- **Le comportement homéostatique de la variété CD 409** qui présente la meilleure stabilité de production dans la forte variabilité des conditions de croissance offerte par l'ensemble des systèmes de culture différenciés à fort niveau d'impact ;
 - Cette stabilité de production de la variété CD 409 face à une forte variabilité environnementale représentée par les systèmes de culture, s'exprime dans tous les cas étudiés : avec ou sans Aldicarb, en présence de la fumure standard ou de la fumure réduite, ou en réunissant les 2 niveaux de fumure ensemble ;
 - A l'inverse, la plupart des autres cultivars et en particulier la CD 407, expriment une forte sensibilité aux systèmes pratiqués : obtention d'une très faible productivité sur sol travaillé en voie de dégradation active et continue, et au contraire de très forts rendements sur SCV S₃ (*régénérateur*) ;
 - Les droites de régressions réunies sur les divers graphiques montrent bien que, sur les SCV, toutes les variétés se rejoignent à des rendements très voisins et nivelés par le haut.
- Cette réponse variétale différentielle à la nature des systèmes de culture est confirmée en 2005/06, mettant ainsi en relief l'importance de l'outil «matrice pérennisée des

systèmes de culture» tant pour la sélection variétale que pour la diffusion du matériel génétique en précisant les systèmes de culture qui permettent d'optimiser les relations "Géotypes x Modes de gestion des sols et des cultures", soit les conditions les meilleures (*systèmes*) pour exprimer le potentiel variétal (*Fig. 74*).

➤ LA QUALITE BIOLOGIQUE DES SOLS:

La matrice des systèmes a été polluée dès le départ, par des externalités provenant de l'érosion de la propriété voisine en amont ; la pollution porte sur les pesticides et de très fortes infestations de nématodes (*sol dégradé*), en particulier sur le système SCV S₁ avec fumure standard ; les populations sont représentées par les espèces dominantes *Meloidogyne incognita*, *Pratylenchus brachyurus* à un degré moindre et par *Trichodorus* et *Helicotylenchus*.

Le suivi nématologique²⁵ effectué sur le sol et les racines de coton, réuni dans les *figures 75 et 76*, pour chaque système de culture et niveau de fumure, met en évidence :

- Les systèmes T₁ (*Travail du sol x Monoculture*) et T₂ ("*semi-direct*" *Mil + Coton*) sont, en moyenne plus infestés que les SCV S₁, S₃, S₄ (*excepté pour S₁ fumure standard très pollué, par colluvionnement dès la première année*) par les populations de *Meloidogyne i.* et *Pratylenchus b.* ;

- Le couvert *Eleusine cor.* + *Crotalaria spec.* est efficace au cours du temps pour réduire la nuisance de ces populations de même que l'association Sorgho + *Brachiaria ruziziensis*

- La culture de maïs pratiquée 2 ans de suite en association avec *Brachiaria ruziziensis* + *Cajanus c.* contrôle parfaitement les populations de *Meloidogyne*, mais accroît les populations de *Pratylenchus*, suggérant d'utiliser Sorgho et Maïs en alternance en association avec *Brachiaria ruziziensis* + *Cajanus c.*.

- **Globalement, la pression des contraintes biologiques** liées à la nature des systèmes de culture est très différenciée et bien mise en évidence dans **l'évolution des systèmes cotonniers SCV S₃ entre la 1^o et la 4^o année où l'effet de l'Aldicarb (nématocide, acaricide, insecticide et phytostimulateur, p.c.: Temik) sur les gains de productivité est minimum**, toutes variétés confondues (*Fig.77*); **à l'inverse, les gains de productivité grâce à l'Aldicarb ont fortement progressé sur le système «d'hier» T₁ en voie de dégradation avec Travail du sol x Monoculture de coton** : de 23% à 41% entre la 1^o et la 4^o année de culture en présence de la fumure forte, et de 43% à 64% dans les mêmes conditions avec la fumure faible. **Sur le système T₂, «d'aujourd'hui», de "semi-direct" (TCS), les gains dus à l'application de l'Aldicarb ont progressé de 9 à 41% sur la fumure forte entre la 1^o et la 4^o année de culture et sont restés stables sur la fumure réduite. Sur les systèmes SCV S₃, les gains de rendements sont minimums et non significatifs** avec la fumure forte: de 4% en 1^o année à 2% en 4^o année, et restent très modérés et en voie de régression sur la fumure réduite où ils passent de 12% en année 1 à 9% en année 4.

- **Le Système SCV S₁ avec fumure élevée (standard) est également un excellent exemple du pouvoir de phytoremédiation des SCV** ; ce système, envahi par de puissantes entrées colluviales entraînées par l'érosion à partir de la propriété voisine, était celui qui produisait le moins en raison des très fortes contraintes biologiques héritées (*pollution pesticide + nématodes*) pendant les 3 premières années (*Fig. 78*).

²⁵ **Simultanément sont évalués** : l'état de l'enracinement (*présence des galles, nécroses*), symptômes visuels sur le feuillage (« carijo »), composantes du rendement et rendements, couplés à un suivi nématologique Sol/Racines évolutif sur chaque système au cours du temps – Réalisé par l'UNESP – Jaboticabal - SP. Consulter les rapports FACUAL/COODETEC/CIRAD, 2002 à 2006.

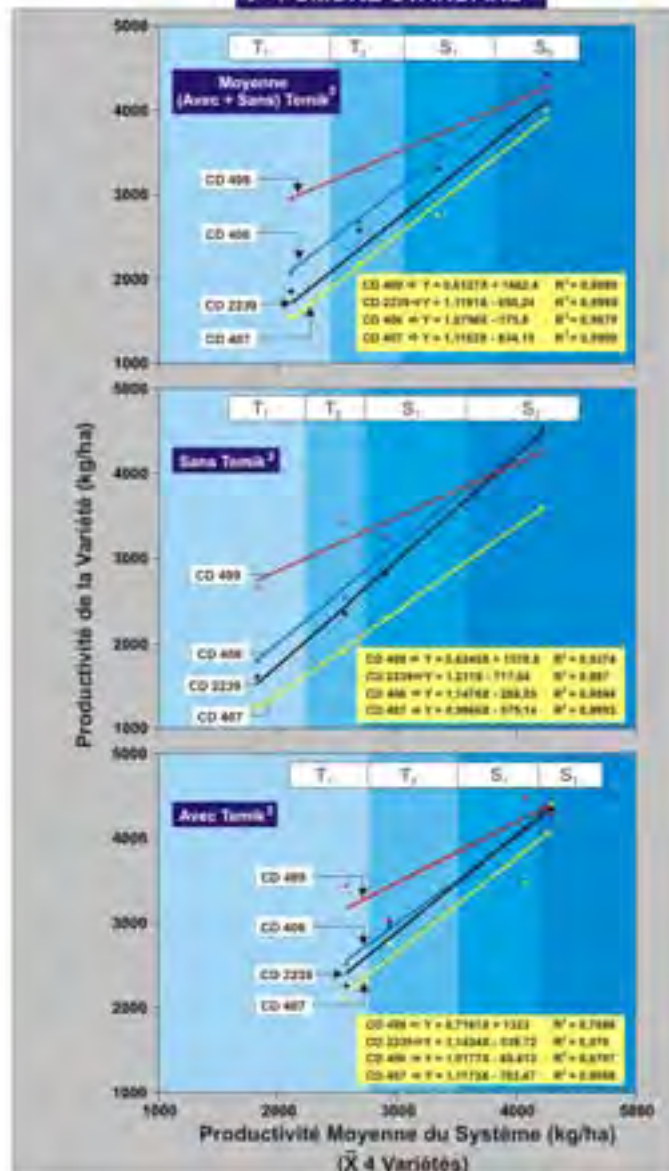
La rotation du Coton avec la succession Soja + *Eleusine coracana* les 2 premières années, puis avec la succession Soja + (*Eleusine coracana* + *Crotalaria spectabilis*) sur les 3 années suivantes, a permis de «nettoyer» - désintoxiquer rapidement le système S₁ dont la courbe de productivité est régulièrement croissante et se rapproche de celle du meilleur système SCV S₃ en 5^e année (Fig. 78).

FIG. 71

RÉGRESSIONS "VARIÉTÉ COTON x SYSTÈME DE CULTURE"

Fazenda Mourão - Campo Verde/MT - 2004/2005

I - FUMURE STANDARD¹



1 - Systèmes de Culture → T₁ - Monoculture Coton x Travail du sol
T₂ - Binage léger avant M5 - S5 Coton sur M5 tous les ans
S₁ - S2 Coton dans la rotation + Coton/Soja + Eleusine
S₂ - S2 Coton dans la rotation + Coton/Soja + (Soja + Brachiaria Ruzizensis)

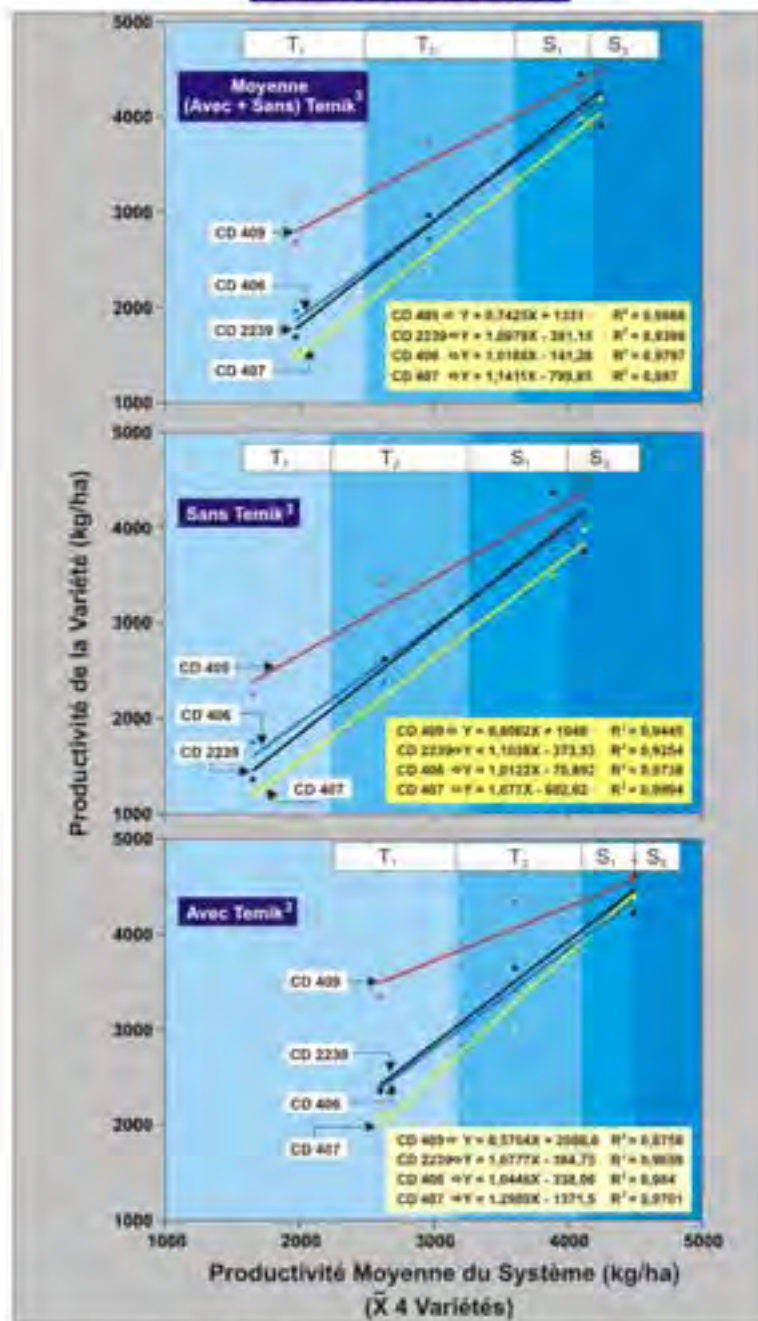
2 - Fumure Standard: 130N - 146P₂ O₂ - 180K₂O + oligos/ha
3 - Terrik: Matière active (Aldicarb)
SOURCE: Projet FAÇUAL/COODETEC/CIRAD/FAZ. MOURÃO - Equipe CIRAD: J. L. Béjat, J. Maître, L. Séguy, S. Boudriac - COODETEC: A. Marques, M. Rodrigo/2005

FIG. 72

RÉGRESSIONS "VARIÉTÉ COTON x SYSTÈME DE CULTURE"

Fazenda Mourão - Campo Verde/MT - 2004/2005

II - FUMURE RÉDUITE²



1 - Systèmes de Culture

- T₁ - Monoculture Coton + Travail du sol
- T₂ - Disque léger avant Mi - SD Coton sur Mi / tous les ans
- S₁ - SD Coton dans la rotation = Coton/Soja + Émilase
- S₂ - SD Coton dans la rotation = Coton/Soja + (Sergio + Brachiaria Brizobromis)

2 - Fumure Réduite: 65N + 73P₂O₅ + 90K₂O + oligos/ha

3 - Temik: Matière active (Aldicarb)

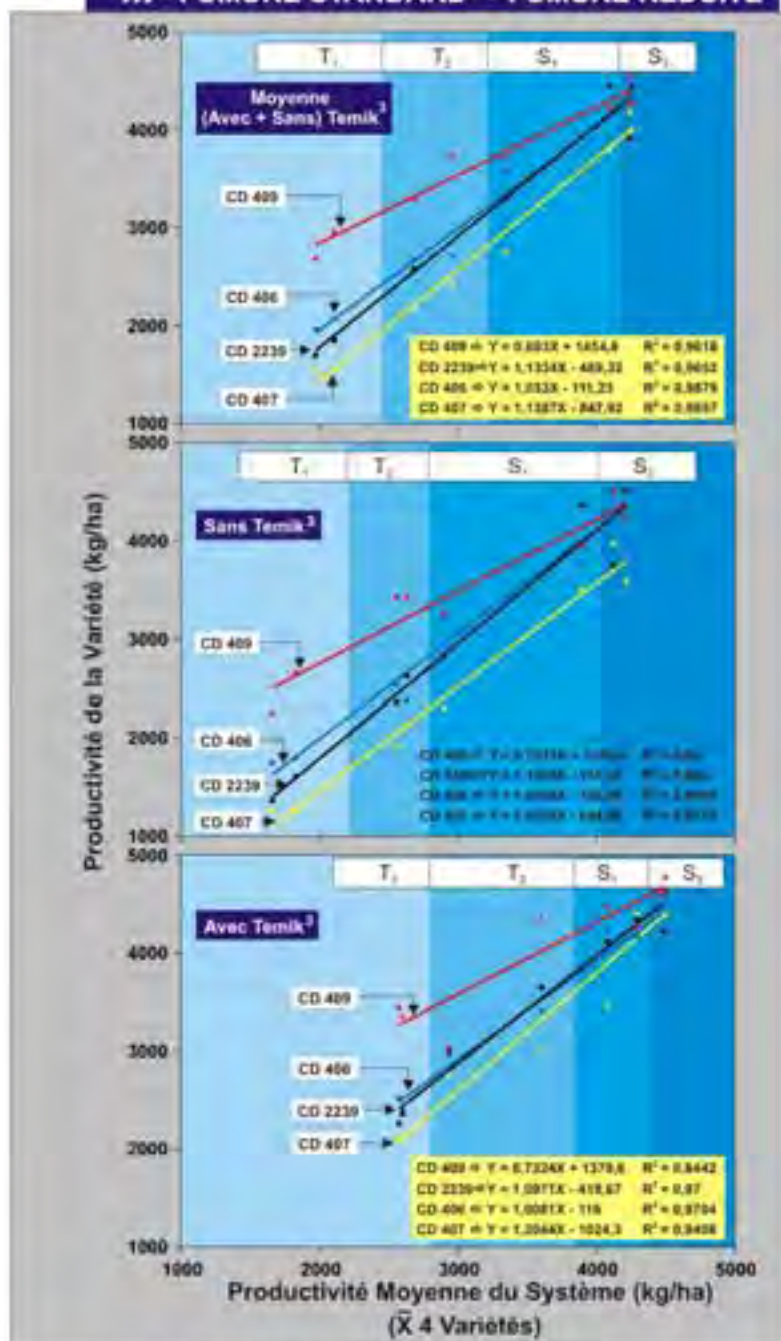
SOURCE: Projet FACUAL/COODETEC/CIRAD/FAZ. MOURÃO - Equipe CIRAD: J. L. Belot, J. Martin, L. Séguy, S. Bouzinac - COODETEC: A. Marques, M. Rodrigo/2005

FIG. 73

RÉGRESSIONS "VARIÉTÉ COTON x SYSTÈME¹ DE CULTURE"

Fazenda Mourão - Campo Verde/MT - 2004/2005

III - FUMURE STANDARD² + FUMURE RÉDUITE³



- 1 - Systèmes de Culture →
- T₁ - Monoculture Coton + Travail du sol
 - T₂ - Discaje léger avant Mi - SD Coton sur Mi / tous les ans
 - S₁ - SD Coton dans la rotation = Coton/Soja + Éleusine
 - S₂ - SD Coton dans la rotation = Coton/Soja + (Sorgho + Brachiaria Mutabilis)
- 2 - Fumure Standard: 130N - 146P₂O₅ - 180K₂O + oligos/ha
 Fumure Réduite: 65N + 73P₂O₅ + 90K₂O + oligos/ha
- 3 - Temik: Matière active (Aldicarb)
- SOURCE: Projet FACUAL/COODETEC/CIRAD/FAZ, MOURÃO - Equipe CIRAD: J. L. Belot, J. Mathy, L. Séguy, S. Bouzinac - COODETEC, A. Marques, M. Rodrigo/2005

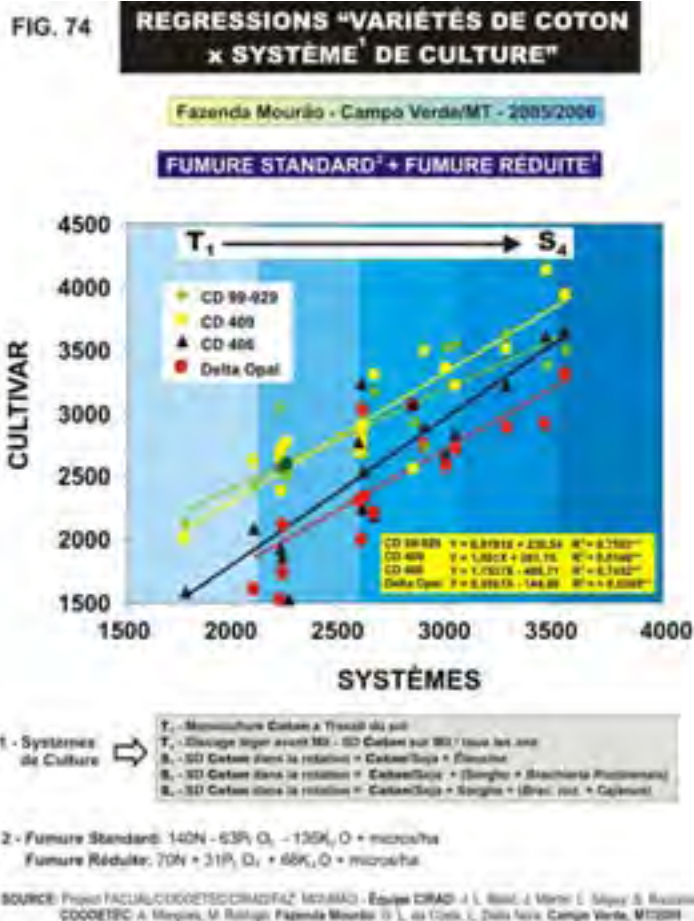


FIG. 75 SUIVI NÉMATOLOGIQUE DANS DIVERS SYSTÈMES DE CULTURE CONTRASTÉS (2003/2007)

Écologie des cerrados de moyenne altitude (600-700m) du Sud-Est Mato Grosso - Fazenda Mourão - Campo Verde-MT

FUMURE STANDARD¹

Systèmes	Mars-2003		Mars-2004		Mars-2005		Mars-2006		Novembre-2007	
	G. Meloidogyne Sol. Exotica	G. Pratylenchus Sol. Exotica	G. Meloidogyne Sol. Exotica	G. Pratylenchus Sol. Exotica	G. Meloidogyne Sol. Exotica	G. Pratylenchus Sol. Exotica	G. Meloidogyne Sol. Exotica	G. Pratylenchus Sol. Exotica	G. Meloidogyne Sol. Exotica	G. Pratylenchus Sol. Exotica
T ₁	288	0	4734	17508	18	209	28	1848	8	529
T ₂	378	0	10944	4015	32	116	88	0	16	0
S ₁	0	0	12166	4340	8	800	9	0	36	533
S ₂	776	0	0	0	258	525	28	88	9	12
T ₃	1328	0	7888	0	0	0	160	72	0	184
T ₄	128	0	1144	216	0	0	344	187	20	33
S ₃	52	2	0	0	0	0	48	133	0	4
S ₄	0	0	378	128	184	378	0	0	48	133
S ₅	4	0	0	0	0	0	36	0	0	0
S ₆	0	0	48	0	48	88	0	0	36	540
T ₅	224	0	4304	741	32	53	184	11	34	114
T ₆	44	0	3362	111	36	82	168	168	8	13

(*) Analyses réalisées au laboratoire de nématologie de FUNEP/UNICAMP - SP par le Prof. Jaime Maia dos Santos
 3 échantillons parcellaire de 100 ml de sol et 5 g de résidus

1 - Fumure minérale moyenne annuelle sur Coton:
 2003/2004 = 130N - 146P, O₂ - 180K, O + oligo/ha
 2005/2006 = 140N - 63P, O₂ - 135K, O + oligo/ha

2 - Systèmes de Culture

T₁ - Monoculture Coton + Travail du sol
 T₂ - 30 Coton dans la rotation + Coton/Soja + Éricacée - 2 ans, suivi de (Soja + Éricacée + Crotalaria) - 7 ans
 S₁ - 30 Coton dans la rotation + Coton/Soja + (Sorgho + Brachiaria) - 2 ans, suivi de (Sorgho ou Maïs + Brachiaria) + Cajourot - 3 ans
 S₂ - 30 Coton "Safinima" dans la rotation + Coton/Soja + (Sorgho + Brachiaria) - 2 ans, suivi de (Sorgho ou Maïs + Brachiaria) + Cajourot - 3 ans

SOURCE: Projet FACUAL/COOGETEC/RADIFAZ, MOURÃO - Equipe CIRAD: J. L. Balci, J. Martin, L. Siqueira, S. Bazzani; COOGETEC: A. Moreira, M. Rodrigo; Fazenda Mourão: G. Costa, L. Datta Nara, Campo Verde, MT/2006

FIG. 76

SUIVI NÉMATOLOGIQUE DANS DIVERS SYSTÈMES DE CULTURE CONTRASTÉS (2003/2007)

Écologie des carrados de moyenne altitude (600-700m) du Sud-Est Mato Grosso - Fazenda Mourão - Campo Verde-MT

FUMURE RÉDUITE¹

Systèmes ¹	Mars-2003		Mars-2004		Mars-2005		Mars-2006		Novembre-2007	
	G. Maloïdogyne Sol Racines	G. Pratylenchus Sol Racines	G. Maloïdogyne Sol Racines	G. Pratylenchus Sol Racines	G. Maloïdogyne Sol Racines	G. Pratylenchus Sol Racines	G. Maloïdogyne Sol Racines	G. Pratylenchus Sol Racines	G. Maloïdogyne Sol Racines	G. Pratylenchus Sol Racines
T ₁	338 0	8 -	1800 1093	32 187	182 19801	32 80	40 0	0 0	8 0	4 372
T ₂	1044 4	28 -	4032 123	16 27	224 891	8 68	96 0	0 72	8 0	12 84
S ₁	- -	4 -	112 0	16 224	0 0	0 213	204 8	0 0	0 0	20 19
S ₂	- -	40 100	- -	- -	88 0	18 180	0 0	0 0	0 0	18 18
T ₃	1826 -	12 -	4464 8920	48 84	120 30	40 0	868 0	0 0	8 0	12 198
T ₄	498 4	18 12	17680 1477	80 197	184 107	0 133	204 0	18 0	8 0	4 808
S ₃	330 38	30 38	- -	- -	128 0	84 480	64 8	0 0	8 0	12 208
S ₄	20 -	12 -	2912 964	80 280	12 0	12 0	264 8	0 5	8 0	18 188
S ₅	890 -	2 -	- -	- -	8 20	40 280	0 0	20 0	8 0	10 0
S ₆	38 -	- -	768 222	40 148	0 0	56 0	48 0	8 168	8 0	4 0
T ₅	1612 -	8 12	7200 10240	0 120	1136 23	8 144	504 8	4 0	8 0	8 208
T ₆	194 44	10 8	2336 280	80 144	- -	- -	116 0	18 0	8 0	8 108

¹ Analyses réalisées au laboratoire de nématologie de FUNESP Jaboticabal - SP par le Prof. Jaime Maia dos Santos
² échantillonage parcou de 100 m² de sol et 8 g de racines

1 - Fumure minérale moyenne annuelle sur Coton:
 2003/2004 = 65N - 73P, O₂ - 90K₂O + oligos/ha
 2005/2006 = 70N - 31P, O₂ - 88K₂O + oligos/ha

2 - Systèmes de Culture:
 T₁ - Monoculture Coton x Travail du sol
 T₂ - SD Coton dans la rotation = Coton/Soja + Éléusine - 2 ans, suivi de (Soja + Éléusine + Croissane) - 2 ans
 S₁ - SD Coton dans la rotation = Coton/Soja + (Sorgho + Brachiaria) - 2 ans, suivi de (Sorgho ou Maïs + Brachiaria x + Cajanus) - 3 ans
 S₂ - SD Coton "Sahivira" dans la rotation = Coton/Soja + (Sorgho + Brachiaria) - 2 ans, suivi de (Sorgho ou Maïs + Brachiaria x + Cajanus) - 3 ans

Legend:
 Coton (Yellow)
 Soja + (Éléusine) (Green)
 Soja + (Éléusine + Croissane sp.) (Dark Green)
 Soja + (Sorgho + Brachiaria) (Pink)
 Soja + (Sorgho + Brachiaria + Cajanus) (Red)
 Soja + Maïs + (Brachiaria + Cajanus) (Orange)
 Maïs (Light Orange)

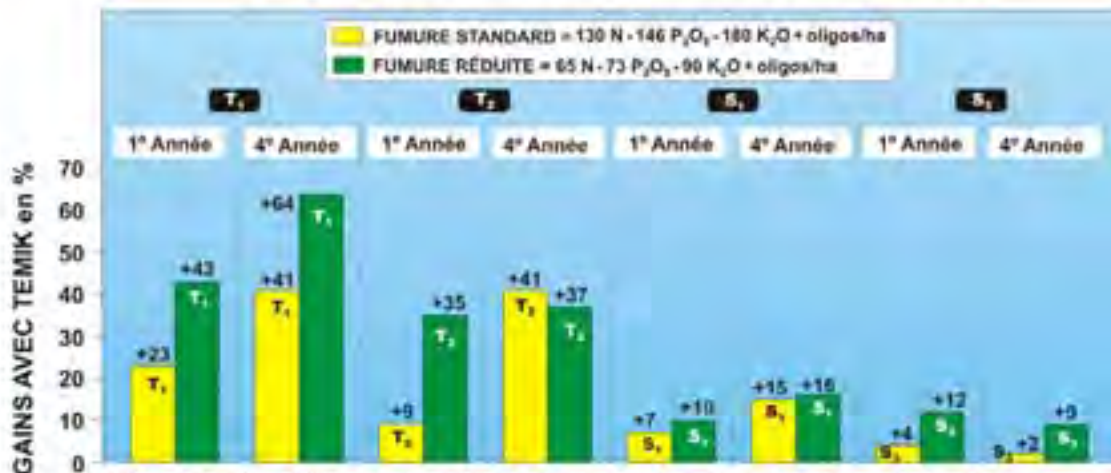
SOURCE: Projet FACUAL/COODETEC/CIRAD/FAZ. MOURÃO - Equipe CIRAD: J. L. Béret, J. Martin, L. Séguy, S. Bruchon; COODETEC: A. Marques, M. Rodrigo; Fazenda Mourão: G. Costa, L. Dalla Nora, Campo Verde, MT/2008

FIG. 77

GAINS COMPARÉS DE PRODUCTIVITÉ¹ DÛS À L'APPLICATION DE TEMIK (Aldicarb) AU SEMIS, EN FONCTION DU SYSTÈME DE CULTURE, (4 VARIÉTÉS CONFONDUES), ENTRE LA 1^{re} ANNÉE ET LA QUATRIÈME ANNÉE DE CULTURE

Fazenda Mourão - Campo Verde (MT) - 2004/2005²

T₁ - Monoculture Coton x Travail du sol
 T₂ - Discage léger avant Maïs - SD Coton sur Maïs / tous les ans
 S₁ - SD Coton dans la rotation = Coton/Soja + Éléusine
 S₂ - SD Coton dans la rotation = Coton/Soja + (Sorgho + Brachiaria Ruziziensis)



1 - Dispositif expérimental: Matrice de systèmes de culture en collection bâillie, avec 2 répétitions répliquées à chaque substratum et intraculis au milieu (T₁ et T₂). Dispositif conduit en conditions réelles d'exploitation rural-brasilien.

Moyenne de 4 variétés (sans Temik): CD 40K, CD 40F, CD 99-32, CD 99-2238

2 - Sol de texture sablo-argileuse (20-27% d'argile, 70-75% de sables)

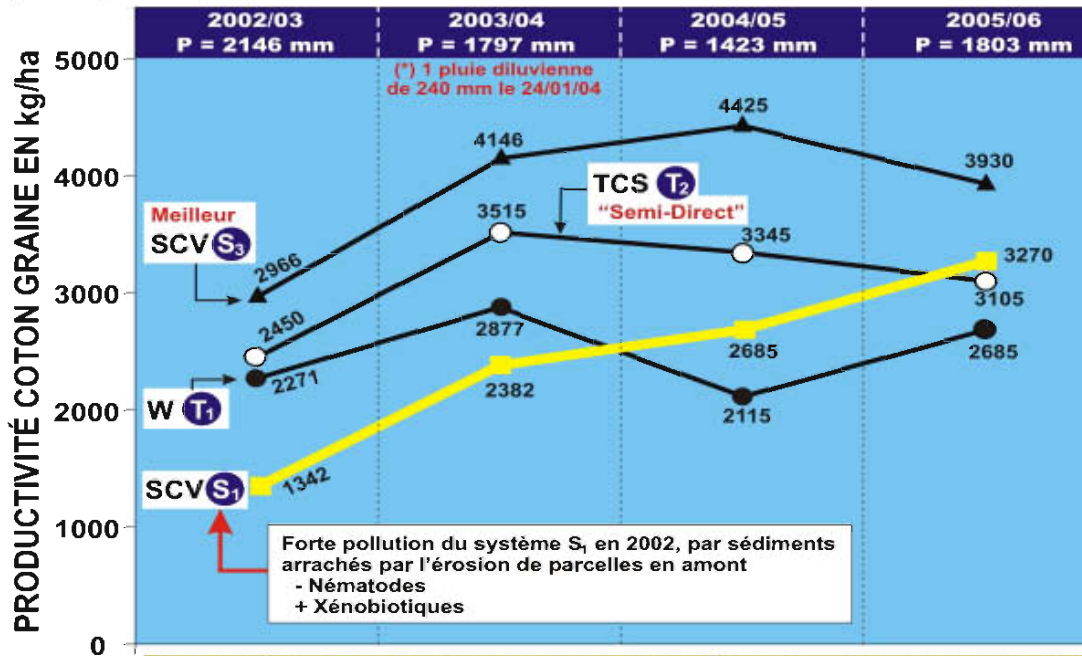
SOURCE: Projet FACUAL/COODETEC/CIRAD/FAZ. MOURÃO - Equipe CIRAD: J. L. Béret, J. Martin, L. Séguy, S. Bruchon; COODETEC: A. Marques, M. Rodrigo/2008

PHYTOSANITARIATION ET CONTRÔLE DE NÉMATODES PHYTOPHAGES (*Genres: Meloidogyne et Pratylenchus*) DANS UN SYSTÈME SCV S₁ EN SEMIS DIRECT CONTINU BASÉ SUR LA ROTATION COTON/SOJA + FORTES BIOMASSES EN SUCCESSION À BIODIVERSITÉ CROISSANTE

Écologie des cerrados humides de moyenne altitude (600-700m) du Sud-Est du Mato Grosso - Fazenda Mourão, Campo Verde/MT - 2001/2006

SYSTÈMES DE CULTURE

- T₁** - Monoculture Coton x Travail du sol; **T₂** - Discage léger avant Mil - SD Coton sur Mil / tous les ans; **S₁** - SD Coton dans la rotation = Coton/Soja + *Éleusine* - 2 ans, suivi de (Soja + *Éleusine* + *Crotalaire*) - 3 ans; **S₃** - SD Coton dans la rotation = Coton/Soja + (Sorgho + *Brachiaria r.*) - 2 ans, suivi de (Sorgho ou Maïs + *Brachiaria r.* + *Cajanus*) - 3 ans
- **Fumure Moyenne Standard annuelle en kg/ha** = 82N + 122 P₂ O₅ + 128 K₂O kg/ha + oligos
- **Moyenne biomasse annuelle totale** (hors grains), produite dans la succession Soja + biomasses des systèmes S₁ et S₃ = 21 et 23t/ha



SUIVI NÉMATOLOGIQUE SUR LE SYSTÈME S₁ = SOL ET RACINES

(*) Analyses réalisées au laboratoire de nématologie de l'UNESP Jaboticabal - SP, par le Prof. Jaime Maia dos Santos, 5 échantillons/parcelle de 100 ml de sol et 5 g de racines

Systèmes	Mars-2003		Mars-2004		Mars-2005		Mars-2006		Novembre-2007									
	G. Meloidogyne Sol	G. Pratylenchus Racines	G. Meloidogyne Sol	G. Pratylenchus Racines	G. Meloidogyne Sol	G. Pratylenchus Racines	G. Meloidogyne Sol	G. Pratylenchus Racines	G. Meloidogyne Sol	G. Pratylenchus Racines								
S ₁	0	0	3	0	12160	4240	0	800	0	0	24	44						
S ₃	770	0	4	0	-	0	256	505	28	68	8	12	0	8	0	0	24	72

■ Coton
 ■ Soja + (*Éleusine c.*)
 ■ Soja + (*Éleusine c.* + *Crotalaire sp.*)
 ■ Maïs

• **AU PLAN DE LA VIABILITE**, dans une période économique très instable entre 2001 et 2006, les performances économiques des systèmes sont étroitement liées aux performances agronomiques (*Fig. 79*) :

- Le pire des systèmes est celui de la Monoculture Coton x Travail du sol, T₁ qui conduit à des revenus nets/ha fortement négatifs = - 225,00 US \$/ha en moyenne ;
- Le système de "semi-direct" T₂ (TCS) offre des marges nettes/ha faiblement positives = + 123 US\$/ha avec la fumure standard et + 39 US \$/ha avec la fumure réduite ;
- Les SCV S₁ et S₃ en présence de la fumure réduite (*non pollué*) et S₃ dégagent les revenus les plus hauts en moyenne sur 4 ans, dans l'assolement ½ Coton - ½ Soja + Safrinhas :
 - S₁ = + 112 US \$/ha sur Coton et 323 US \$/ha sur Soja + Safrinha,
 - S₃ =
+297 US\$/ha sur Coton et +361 US\$/ha sur Soja + Safrinha sur fumure standard
+139 US\$/ha sur Coton et +392 US\$/ha sur Soja + Safrinha avec fumure réduitemalgré des coûts de production qui ont augmenté, en US \$/ha, entre 2005 et 2002, en moyenne de 38 à 49 % sur le coton et de 23 à 30 % sur soja ; l'augmentation relative des coûts est plus faible sur SCV que sur les systèmes T₁ et T₂ avec travail du sol.

• **CHANGEMENT D'ECHELLE D'APPLICATION** : de la « matrice des systèmes » à la grande culture commerciale sur la fazenda Mourão - 2004/2006 (*Fig.80 et 81*)

• Les rendements de soja et de coton obtenus sur la fazenda Mourão sur plus de 4.500 ha, sont élevés et en croissance depuis 2004/05, montrant un excellent niveau de maîtrise technique : sur une surface en coton comprise entre 3.100 et 3.370 ha entre 2004/05 et 2006/07, la productivité de coton graine est de, respectivement, 4.096 et 4.650 kg/ha, soit 1.593 à 1.815 kg/ha de rendement de fibre.

• Les parcelles SCV Coton en rotation avec la succession annuelle Soja + (Maïs IRAT 200 + *Brachiaria ruzi.*) conduites sur des surfaces comprises entre 80 et 120 ha sur la même période offrent des rendements de 4.425 kg/ha de coton graine en 2005/06 et 5.091 kg/ha en 2006/07, soit respectivement 5% et 10% de plus que la moyenne de la fazenda. Les productivités du maïs variété (IRAT 200), en association avec *Brachiaria ruzi.*, sont sur 480 ha en 2004/05 de 2.800 kg/ha et de 3.717 kg/ha sur 560 ha en 2005/06 pour des coûts de production voisins de 100 US\$/ha (*dessiccation légère avant semis direct du mélange Maïs + Brachiaria r., 1,5 à 2,0 kg/ha d'Atrazine sur dicotylédones en post-émergence et 50 kg/ha d'urée en couverture*). La production de matière sèche des compartiments « biomasses aérienne + racinaire » dépasse 25 t/ha ; ces résultats sont en bonne concordance avec ceux obtenus sur l'unité expérimentale "Matrice des systèmes de culture".

• Ce système SCV Coton/Soja + [Maïs (hybride ou variété) + *Brachiaria ruzi.*] est donc à diffuser²⁶ en urgence dans toute la zone cotonnière du Mato Grosso comme alternative durable au système de "semi-direct" actuellement le plus utilisé.

²⁶ Actuellement en cours : Projet de diffusion SCV FACUAL/CIRAD/Fazendas de références de Campo Verde 2006/08

FIG. 79

PERFORMANCES ÉCONOMIQUES DE SYSTÈMES DE CULTURE TRÈS CONTRASTÉS, SUR 4 ANS, À BASE DE COTON¹

Cerrados humides de moyenne altitude (600 à 700 m) du Sud-Est Mato Grosso- Campo Verde-MT – 2001/2005

Système de culture	Paramètres Économiques en US\$/ha	FUMURE ²	2001/02		2002/03		2003/04		2004/05	
			Coton	Soja + "Substituts"	Coton	Soja + "Substituts"	Coton	Soja + "Substituts"	Coton	Soja + "Substituts"
1. Monoculture Coton à l'Oréal - Système Conventuel	Cultes de production	Standard	1120	-	1150	-	1201	-	1624	-
		Modèle	964	-	994	-	1105	-	1443	-
T1	Moises rotatif	Standard	-17	-	152	-	33	-	-730	-
		Modèle	-180	-	56	-	-180	-	-534	-
2. Succession annuelle continue Maïs/Soja - Distage avant Maïs - Semis Direct sur Coton Système "Semis Direct"	Cultes de production	Standard	1025	-	1084	-	1195	-	1543	-
		Modèle	868	-	1025	-	1121	-	1434	-
T2	Moises rotatif	Standard	8	-	338	-	384	-	-227	-
		Modèle	278	-	343	-	-73	-	-292	-
3. Rotation en Semis Direct "Coton/Soja" (Fumure rot. + Couverture vert.)	Cultes de production	Standard	1165	369	1194	386	1246	395	1596	436
		Modèle	1102	314	1132	322	1184	361	1533	387
S1	Moises rotatif	Standard	-458	189	-407	335	-171	401	-438	343
		Modèle	-50	247	377	373	-128	440	238	227
4. Rotation en Semis Direct "Coton/Soja" (Barrage + Brachiaria viv.)	Cultes de production	Standard	1142	344	1176	376	1234	382	1576	424
		Modèle	1083	288	1111	306	1175	325	1510	372
S3 ¹	Moises rotatif	Standard	-144	330	421	408	547	434	368	376
		Modèle	-181	282	354	340	1	479	363	416

(1) DANS CE SYSTÈME S3, LE MAÏS VARIÉTÉ PEUT SUBSTITUER TRÈS AVANTAGEUSEMENT LE SORGHO, EN OFFRANT DES MARGES PLUS ÉLEVÉES ET PLUS SÛRES.

(2) FUMURE STANDARD = 82,4 N + 121,8 P₂O₅ + 127,8 K₂O en kg/ha
 - FUMURE RÉDUITE = 1/2 FUMURE STANDARD = 41,2 N + 60,9 P₂O₅ + 63,9 K₂O en kg/ha

(3) PRIX PAYÉS AU PRODUCTEUR POUR LE SOJA (en US \$/sac de 60 kg) ⇒ 2002 = 7,28 ; 2003 = 11,03 ; 2004 = 15,99 ; 2005 = 9,08.
 POUR LE COTON FIBRE (en US \$/kg de 15 kg) ⇒ 2002 = 14,99 ; 2003 = 21,37 ; 2004 = 18,89 ; 2005 = 17,33.
 POUR LES "SAFRINHAS" DE SORGHO ET ÉLEUSINE + CROTAÏRE, PRIX PAYÉS ESTIMÉS 3,00 US\$/SAC DE 60 kg.

SOURCE: Projet FACIAL/COODETEC/CIRAD/FAZ. MOURÃO - Equipe CIRAD: J. L. Belot, J. Martin, L. Séguy, S. Bouzinac; COODETEC: A. Marques, M. Rodrigo, Fazenda Mourão: G. Costa, L. Dalla Nora, Campo Verde, MT/2006

FIG. 80 Evolution de la productivité de la culture de COTON sur 6 ans en sol Argileux (42 à > 60%) du sud-est du Mato Grosso, en système de Semis Direct . Fazenda Mourão - 2002-2007- Campo Verde, MT

Année	COTON		
	ha	Coton-graine	Fibre
		kg/ha	kg/ha
2001/02	2939	4144	1584
2002/03	2957	4355	1637
2003/04	3525	3757	1421
2004/05	3187	4096	1566
2005/06	3217	4259	1593
*SCV	>80	4425	1725
2006/07	3369	4650	1815
*SCV	>120	5091	1935

*-SCV: Coton sur forte biomasse de Soja + (Maïs + Brachiaria) > 25t/ha

SOURCE: G. L. da Costa, P. Machado, L. Dalla Nora, Fazenda Mourão; L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA - Campo Verde - Mato Grosso, Brasil -2007

**FIG. 81 Performances de productivité du Soja et du Coton
Fazenda Mourão –Campo Verde –MT – 2005/06**

	Surface plantée (ha)		Productivité (kg/ha)		Fibre (kg/ha)	
	2004/05	2005/06	2004/05	2005/06	2004/05	2005/06
COTON	3187	3217	4095	4260	1566	1593
SOJA	1237	1285	2971	2926	-	-
MAÏS ¹ + Brachiaria	480	559	2800	3717	-	-
COTON SCV (forte biomasse)	-	80	-	4425	-	1725

1 - Coûts de production < 100 us dollars /ha

2.3.3 PREMIERS PAS VERS UNE GESTION PLUS ECOLOGIQUE DES CULTURES DANS LES SCV :

Il est possible de réduire rapidement et significativement la charge chimique des cultures (*nitrates, pesticides*)

En pratique, tous les scénarios SCV construits dans les exemples précédents de la ZTH, ont démontré l'efficacité de ces systèmes SCV sur le **contrôle total de l'érosion et la contention du ruissellement**. Cette propriété essentielle des SCV, permet ainsi, à l'évidence, de minimiser les flux d'eau superficiels, donc le transport vers l'aval des nutriments en solution, des colloïdes et des molécules xénobiotiques en général.

Il est évident que ces progrès majeurs apportés par les SCV dans la gestion durable des sols à l'échelle des unités de paysage n'ont de véritables sens agronomique et environnemental (*concepts et pratiques*) que si la gestion des cultures n'est pas « surchargée chimiquement » (*pesticides, nitrates, métaux lourds, etc...*).

Les **progrès enregistrés dans la gestion plus écologique des sols** doivent donc, à l'évidence, être **complétés par une gestion plus écologique des cultures**, compatible avec des rendements économiques aussi lucratifs et attractifs que les modes de «gestion chimique raisonnée» actuels.

Le CIRAD a engagé des travaux de recherches appliquées sur ce thème fondamental depuis 4 ans²⁷ qui visent d'abord à la mise au point d'itinéraires techniques SCV cotonniers, contenant de moins en moins des molécules chimiques les plus polluantes (*nitrates, pesticides*) dans une dynamique qui va de la gestion exclusivement chimique actuelle vers une gestion de plus en plus organique, tout en maintenant des coûts de production et des productivités comparables à ceux des itinéraires chimiques actuels. Un modèle conceptuel a été élaboré pour servir de support d'action à la recherche (*Fig. 82 à 86*), construit sur l'hypothèse de base suivante :

- **Dans les SCV**, contrairement au sol cultivé ou sous TCS, **le sol est toujours couvert, protégé des atteintes directes du climat et des molécules pesticides** ; ce couvert conséquent et permanent de surface qui peut être une couverture morte (*pluri - stratifiée ou non*)

²⁷ Les produits organiques sont fournis par la société ELVISEM AG à qui nous adressons nos plus vifs remerciements (Mr. Pierluigi Semenza et Matthew Gehring) pour son appui constant et son professionnalisme – Cf. Rapports d'activité CIRAD Brésil 2005 - 2006

suivant les conditions de minéralisation) ou vivante (*espèces mono spécifiques à stolons + rhizomes*), constitue une barrière de protection extrêmement efficace pour le sol. De plus, le profil cultural est le siège d'une activité biologique permanente et très intense en climat chaud et humide (*ZTH*) et les xénobiotiques que le sol intercepte en surface passent obligatoirement par une « Digestion-Minéralisation » très poussée avec leur propre support (*pailles ou couverture vivante*).

• Ce "biodigesteur" transforme les résidus végétaux (*pailles, mais aussi stolons et rhizomes empilés des couvertures vivantes*), mais également les molécules pesticides associées, en molécules de plus en plus simples ; le temps de digestion des couverts végétaux varie en fonction du climat (*P mm, t °C, H*), de la nature des couverts (*lignine, cellulose, cires poly-phénols, polysaccharides, etc....*) et de leur structure physique qui conditionne leur contact avec le sol et son activité biologique (*structures feuilletées ou non, denses ou non, attractives ou non pour la faune, etc....*) ; mais, même dans les situations les plus favorables à la vitesse de décomposition (*en ZTH*), le temps de décomposition, pour des couverts végétaux très importants (*> 15 - 20 t/ha de matière sèche*), dure plusieurs mois, soit un temps de séjour assez long dans le biodigesteur pour que les molécules xénobiotiques puissent être profondément transformées, simplifiées.

D'où l'hypothèse fondamentale : les SCV très forts pourvoyeurs d'inputs carbonés annuels diversifiés sont-ils des systèmes auto épurateurs ?

▪ Un modèle conceptuel simple est élaboré pour servir de support à l'action de recherche (*Fig. 82*)

▪ L'analyse principale porte dans cette première étape de mise au point et d'évaluation à la fois sur la productivité et les coûts comparés des divers itinéraires techniques SCV x modes de gestion différenciés des cultures [*chimique (C), chimique + organique (C + O), au plus près de l'organique (O)*] et sur l'état de « propreté globale des sols et des grains » en utilisant la méthode LUKE appliquée aux échantillons de sols et de grains (*Tableau 4*). (Séguy L. et al. 2005, 2007)

2.3.3.1) IMPACTS DES MODES DE GESTION DE LA CULTURE SUR LA PRODUCTIVITE DES SYSTEMES SCV

• Au Brésil, à Lucas do Rio Verde dans le Centre Nord Brésil, l'ajustement rapide du mode de gestion (C + O) conduit à des productivités des cultures, au moins égales à celles du mode tout chimique (C) : ce résultat s'applique aux cultures de riz, soja et coton en SCV, (*Fondation Rio Verde*) [*Fig. 87*].

Dans le Sud-est Mato Grosso, sur la matrice des systèmes de Campo Verde, le mode de gestion (C + O) est nettement plus productif que le mode chimique (C) sur la culture cotonnière de « safrinha » : sur les 2 années, les gains de productivités de (C + O) par rapport à (C) vont de 21% à 60%, en fonction des cultivars utilisés (*CD 409, FB 966*) ; les écarts de rendements sont les plus élevés entre (C + O) et (C) en SCV sur très forte biomasse de Sorgho + (*Brachiaria ruzi. + Cajanus cajan*) (*> 20 t/ha de M.S.*) = + 54% et + 59% pour les variétés CD 409 et FB 966 respectivement ; les rendements respectifs des 2 variétés sont de 3.667 kg/ha et 3.194 kg/ha de coton graine, en présence d'un niveau très faible de fumure minérale = 70 N + 31 P₂O₅ + 68 K₂O + oligo-éléments/ha (*Fig. 88*).

Sur soja en 2006, sur le même site, le mode de gestion (C + O) produit 4.147 kg/ha contre 3.282 kg/ha avec le mode tout chimique (C), soit un gain de rendement de + 26% en faveur de (C + O) [*Cultivar Monsoy 6101*] (*Fig. 89*).

- Sur la culture de soja à Sinop en 2005, dans l'écologie des sols ferrallitiques des forêts humides du Sud du bassin amazonien, l'itinéraire technique chimique allégé + complément organique, obtient un rendement de 4.278 kg/ha contre 3.583 kg/ha pour l'itinéraire chimique de référence, soit 19% de plus (Fig. 90)

FIG. 82

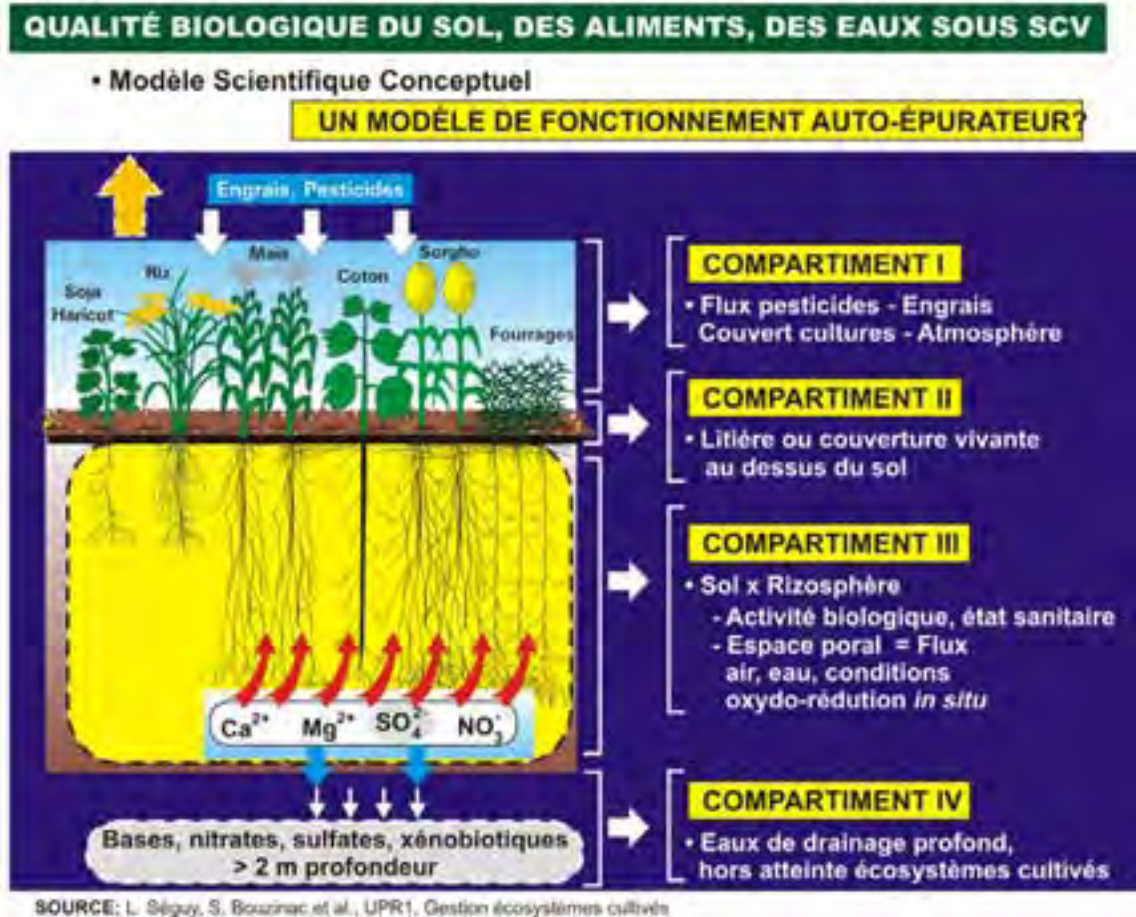


FIG. 83



FIG. 84

COMPARTIMENT II

LITIÈRES OU COUVERTURES VIVANTES

- **Dynamique interception - transformation: Pesticides, engrais, x**
Nature des couvertures végétales au
dessus du sol, au cours de leur
digestion - minéralisation.
(Climat x Faune x Microflore)

FIG. 85

COMPARTIMENT III

SOL - RIZOSPHERE DU PROFIL CULTURAL

- **Devenir pesticides et dérivés** — **Transformations**
↓
Adsorption
Lixiviation
- **Conséquences sur:**
 - **Métabolisme pesticides dans parties**
aériennes des cultures
 - **Qualité biologique des sols et eaux**
de percolation

FIG. 86

COMPARTIMENT IV

EAUX DE DRAINAGE PROFOND

- **Xénobiotiques**
- **Bases, Nitrates, Sulfates**

FIG. 87

PRODUCTIVITÉ DES CULTURES DE RIZ PLUVIAL, MAÏS ET SOJA, EN SEMIS DIRECT (SCV) ET TERRE DE VIEILLE CULTURE, SUR DIVERSES BIOMASSES DE COUVERTURE EN FONCTION DU MODE DE GESTION DES CULTURES: TOTALEMENT CHIMIQUE (C) OU MIXTE: CHIMIQUE + ORGANIQUE (C + O)

Écologie des sols ferrallitiques des cerrados du Centre Nord Mato Grosso - Lucas do Rio Verde - MT/2005

BIOMASSES DE COUVERTURE	CULTURE ET MODE DE GESTION ¹⁾						
	RIZ PLUVIAL ²⁾ (CIRAD 141)		MAÏS HYBRIDE (Tark)		SOJA (Conquista)		
	Gestion C		Gestion C + O	Gestion C		Gestion C + O	
	NPK	Mitsui ³⁾					
Mil	2112	2430	2124	6072	6036	2910	3790
Sorgho + <i>Brachiaria r.</i>	2238	2316	2442	5772	5844	2886 2790 ¹⁾	2862 2754 ¹⁾
Maïs + <i>Brachiaria r.</i>	2016	2766	2706	4212	4650	2916	2868
<i>Eleusine c.</i> + <i>Cajanus c.</i>	2406	2886	2778	6228	6366	3018	2772
<i>Eleusine c.</i>	2502	2784	2658	6492	6432	3150	3048
Moyenne \bar{X}	2294	2654	2682	5717	5886	2949	2988
CV %	(8,3)	(3,4)	(15,4)	(15,4)	(12,2)	(4,2)	(3,8)
Productivité Relative	100	118	112	100	102	100	97

(1) Très forte limitation de la productivité due à un contrôle difficile des adventices.

1 - Gestion (C), Totalement Chimique - Traitement chimique des semences + engrais minéraux + insecticides + herbicides sur toutes les cultures. Fongicides sur Soja et Riz; **Itinéraires de référence des agriculteurs de la région**

Gestion (C + O), Chimique + Organique - Traitement organique des semences, 1/3 Fumure de base PK de référence, sur toutes les cultures, 1/3 couverture azotée (N) de référence sur céréales Riz et Maïs, pas de fongicides. La moitié de la fumure minérale NPK, et fongicides de l'itinéraire (C) Chimique sont remplacés par des produits organiques: humus liquide (Bifa) et Éliciteur (4 à 4,5 kg/ha) appliqué aux stades physiologiques les plus importants de la culture; les insecticides sont substitués par des dérivés du Néem (complétés si nécessaires par des insecticides chimiques) et *Bacillus thuringiensis* (Bt)

2 - Engrais Mitsui; Thermophosphate Yocin Master 2 Bl, (contient de la Silice)

3 - Biomasse de Sorgho + *Brachiaria r.* + *Cajanus* à faible densité

SOURCE: Équipes Fondation Rio Verde et CIRAD/DEC - URJ - Lucas do Rio Verde - MT/2005

FIG. 88

PRODUCTIVITÉ DE 4 VARIÉTÉS DE COTON "SAFRINHA"¹⁾ (en kg/ha et @/ha), EN SEMIS DIRECT ET EN SUCCESSION DE SOJA CYCLE COURT, EN FONCTION DE 2 MODES DE GESTION²⁾ DE LA CULTURE - Fazenda Mourão - MT/2005

Modes de Gestion ²⁾ du Cotonnier		VARIÉTÉS			
		CD 409	CD 2239	CD 406	CD 407
Gestion Chimique (C)	Sans Temik	1889 (126)	2138 (143)	2027 (135)	1722 (115)
	CV %	8	12	8	8
	Avec Temik	2333 (156)	2445 (163)	2222 (148)	2056 (137)
	CV %	-	8	-	8
MOYENNE \bar{X}		2037 (136)	2241 (149)	2092 (139)	1833 (122)
Gestion Chimique + Organique (C + O)	Sans Temik	2778 (185)	3010 (201)	3009 (201)	2606 (174)
	CV %	14	18	23	21
	Avec Temik	3356 (224)	3819 (255)	3472 (231)	3588 (239)
	CV %	21	24	28	24
MOYENNE \bar{X}		2972 (198)	3278 (219)	3162 (211)	2931 (185)
Gain de productivité avec gestion Organique (%)		+ 46	+ 46	+ 51	+ 60

1 - Semis très tardif: 10/02/2005 - Année très sèche: 503 mm des pluies concentrées dans les 80 premiers jours du cycle du Coton (70 derniers jours sans aucune pluie)

2 - Modes de Gestion du Coton:

a) Chimique (C) - Traitement chimique des semences - Niveau bas de fumure: 65N + 73P D, +90K, O + oligos; herbicides + insecticides; **Gestion de la Fazenda**

b) Chimique + Organique (C + O) - Traitement organique des semences - Niveau bas de fumure: 65N + 73P D + 90K, O + oligos; herbicide; traitement Fazenda; application de produits organiques: Bifa d'humus + 4,5 kg de EP4 à différents stades, 1^{er} bouton, 1^{er} fleur et 100-110 JAS; contrôle des insectes avec Néem complétés par produits chimiques si nécessaire (punaises... *Anthonomus g.*)

c) Plus organique (O) - Idem b, mais sans aucune fertilisation minérale

SOURCE: Institut FAMIL/COODETECORAD/FAZ. MOURÃO - Équipe DRAD J. L. Bello, J. Marin, L. Nova, S. Bourne - COODETEC A. Marçal, M. Rêgo/2005

FIG. 89

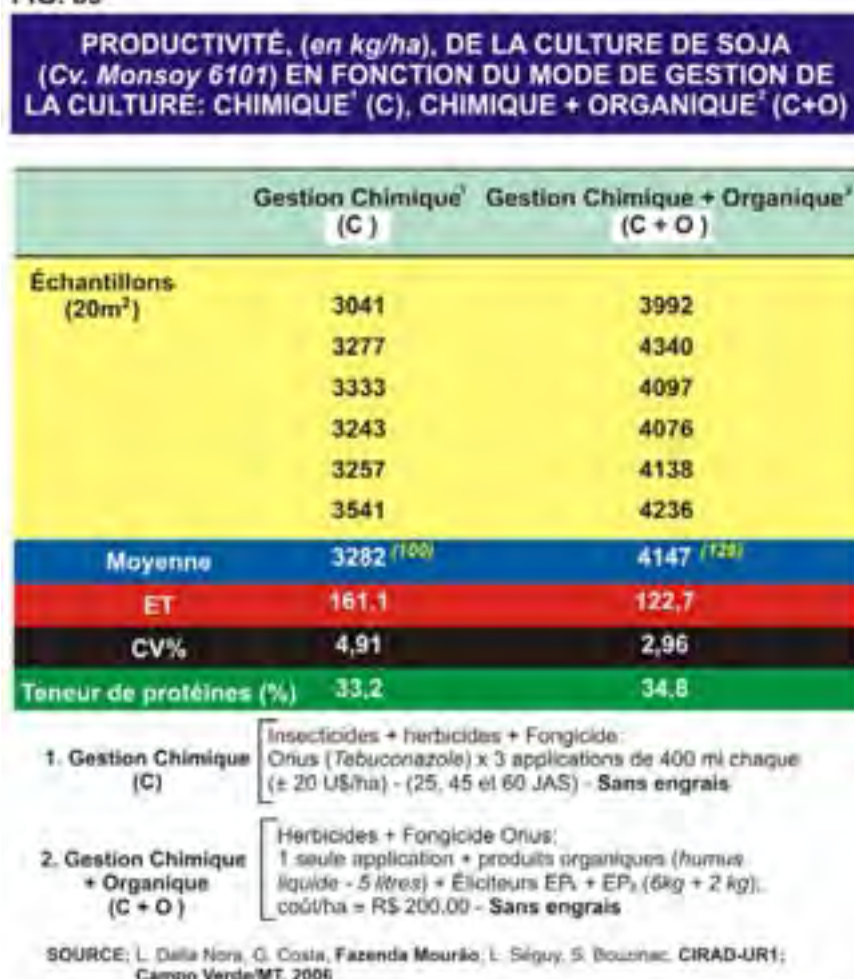


FIG. 90

PRODUCTIVITÉ DU SOJA SUR RECRÛ FORESTIER, EN FONCTION DU MODE DE GESTION DE LA CULTURE: TOTALEMENT CHIMIQUE (C) OU MIXTE: CHIMIQUE + ORGANIQUE (C + O)

Écologie des sols ferrallitiques des forêts humides du Centre Nord Mato Grosso - Sinop - MT/2005

	MODE DE GESTION ¹ DE LA CULTURE DE SOJA (Cv. Monsoy 8914)	
	Gestion totalement Chimique (C)	Gestion Mixte: Chimique + Organique (C + O)
Productivité Moyenne en kg/ha	3583 (100)	4276 (110)
E. T.	556	72,9
CV %	15,5	1,7
Teneur de protéines (%)	38,7	40,3

1 - Gestion C Totalement Chimique - Traitement chimique des semences + engrais minéraux + insecticides + herbicides sur toutes les cultures. Fongicides sur Soja et Riz: itinéraires de référence des agriculteurs de la région.

Gestion C + O. Chimique + Organique - Traitement organique des semences, N Fumant de base PK de référence, sur toutes les cultures, % couverture végétale (N) de référence sur céréales Riz et Maïs, pas de fongicides. La moitié de la fumure minérale NPK, et fongicides de référence (C) Chimique sont remplacés par des produits organiques: Humus liquide (6litres) et Éliciteur (4 à 4,5 kg/ha) appliqués aux stades physiologiques les plus importants de la culture; les insecticides sont substitués par des dérivés du neem (complétés si necessary par des insecticides chimiques) et *Bacillus thuringiensis* (BT).

SOURCE: Équipes Cereales/Riz/Soja et CIRAD/GEC - UR1 - Sinop - MT/2005

2.3.3.2) IMPACTS SUR LA GESTION OPERATIONNELLE DES SYSTEMES ET LE NIVEAU D'INTRANTS : moins de pesticides, moins de passages de machines, moins d'engrais

La **figure 91**, qui réunit les principaux résultats obtenus dans les divers agrosystèmes, met en évidence :

Une réduction toujours très importante de la charge chimique sur les modes (C + O) et (O) par rapport au mode actuel tout chimique (C), en toutes situations =

- **Sur le cotonnier de haute technologie**, qui est la culture la plus « chargée » en pesticides, le nombre de traitements et passages de pulvérisateur est passé de **18** pour le mode chimique (C) à **13** pour le mode « chimique allégé + organique » (C + O) ; **sur le cotonnier de « safrinha »** (*coton de succession avec moins d'intrants*), le nombre de traitements pesticides et de passages d'engin a été réduit à **6**. L'examen des **populations de ravageurs** évaluées sur divers SCV (*biomasses de couverture différentes*), conduits en mode (C) et (C + O), montre que la pression des ravageurs les plus nuisibles a tendance, en moyenne, à être **nettement plus faible sur le mode (C + O) que sur (C)**.

Sur culture de soja, le nombre de traitements fongicides obligatoires sur la rouille asiatique (*Phakopsora pachyrhizi*) est passé de 3 traitements sur le mode de gestion (C) (*Tebuconazole*) à 1 sur le mode (C + O) à Campo Verde (*Sud-est du Mato Grosso*) et à zéro sur ce même mode à Lucas do Rio Verde (*Centre Nord Mato Grosso*).

Les niveaux de fumure, et particulièrement les doses de **N et K** ont été **réduits de 30 à 50%** sur les cultures de coton, riz et maïs.

Au plan économique²⁸, sur les itinéraires SCV x (C + O), encore en voie d'amélioration, la **baisse des coûts de production** est régulière et accompagne le niveau de maîtrise technique : elle peut être estimée en moyenne **entre 5 et 20%**, en fonction des cultures, à l'échelle expérimentale.

2.3.3.3) IMPACTS SUR LA QUALITE BIOLOGIQUE DES GRAINS ET DES SOLS :

Les SCV sont toujours les systèmes les plus propres sur les cultures à forte charge chimique telle que le coton.

Au-delà des molécules chimiques employées dans les systèmes, plus de 150 molécules ont été recherchées dans des échantillons de grains et des sols issus des divers modes de gestion des sols et des cultures comparés.

Les analyses de résidus de pesticides, sont réunies dans la figure 92, et mettent en évidence :

- **Sur la culture de coton** de haute technologie la plus « chargée » en pesticides, à l'instar de l'impact sur la productivité, les systèmes de culture impriment des impacts différenciés sur la qualité biologique des sols et des grains de la matrice des systèmes de Campo Verde :
 - **Le système T1, labour x Monoculture coton** se révèle le plus touché par la pollution pesticide :
 - Sur grains et fibres : doses de 0,07, de 0,32 et de 1,90 mg/kg de Cyperméthrine ($LQ = 0,02$) sur les 3 échantillons analysés ;
 - Sur sols : doses de 0,03 mg/kg de Tetraconazol ($LQ = 0,01$), sur 2 des 3 échantillons analysés ;

²⁸ Les mêmes expérimentations conduites en France sur les grandes cultures céréalières de blé et orge pratiquées sur SCV conduisent à une réduction des doses d'azote et des pesticides de 50% dès la 3^e année. La productivité des itinéraires (C + O) est entre 15 et 20% plus faible qu'en gestion chimique (C), mais les coûts de production baissent de 27% et les revenus nets de seulement 12%

- **Le Système de semi-direct T2 (TCS)**, est également pollué, mais à un degré moindre, par les mêmes molécules :
 - Sur grains et fibres : doses de 0,03, de 0,20 et 0,22 mg/kg de Cyperméthrine ($LQ = 0,02$) sur les 3 échantillons analysés ;
 - Sur sols : dose de 0,02 mg/kg de Tetraconazol ($LQ = 0,01$)
- **Les systèmes SCV**, combinés aux modes de gestion de la culture cotonnière (C), (C + O) et (O), **sont totalement exempts de résidus de pesticides** dans les limites des capacités d'analyse (LQ).

Dans les SCV, le sol est protégé de l'impact direct des molécules par une épaisse couverture morte ou vivante, et la forte activité biologique, constamment entretenue dans ces systèmes, semble permettre une décomposition rapide et profonde des molécules pesticides recueillies par la couverture, car sols et grains sont exempts de résidus, ce qui renforce notre hypothèse sur le caractère « auto-épurateur » probable des SCV.

La comparaison des teneurs en protéines sur soja, aussi bien à Sinop (*écologie des forêts du Sud amazonien*) qu'à Campo Verde (*écologie des Cerrados*), sur SCV, entre mode de gestion tout chimique (C) et chimique allégé + organique (C + O), montre que le **mode (C + O)** permet de produire des **soja plus riches en protéines, de 1 à 3%** [*Résultat qui pourrait permettre de négocier un prix différencié au producteur*].

L'application de ce mode de gestion mixte = chimique + organique (C+O) en 2006/07 en grande culture, avec un coton de semis tardif du 15/01/2007 sur une surface de 30 ha de la Fazenda Mourão (*sols sableux de bas de pente*) ne produit que 3.450 kg/ha, en raison d'un peuplement végétal hétérogène et d'une forte phytotoxicité de l'Atrazine utilisée en post-émergence tardive ; mais cette expérience en grande culture reste très positive et montre que l'on peut **réduire** déjà de près de **30% la charge chimique pesticide et son coût** par l'adjonction de produits organiques (*Fig. 93*), malgré le maintien de doses encore trop élevées d'insecticides par peur du "bicudo" (*Anthonomus grandis*), mais qui peuvent être encore nettement diminuées et seront évaluées en 2007/08. Le niveau de fumure et les traitements herbicides du mode de gestion exclusivement chimique (C) ont été également maintenus dans le mode de gestion (C + O) ; de ce fait, le mode de gestion chimique + organique (C + O) est plus onéreux d'environ 100 US\$/ha que la gestion exclusivement chimique (C).

Mais, comme l'ont montré nos résultats issus de la matrice "systèmes de culture", la charge chimique peut être réduite jusqu'à 50%, les doses d'engrais N, K de 30 à 50%, de même que les doses et coûts d'herbicides ; dans ces conditions, les impacts environnementaux sont très fortement réduits et la qualité biologique du cotonnier est supérieure, exempte de résidus de pesticides, propriété qui devrait **conférer une valeur ajoutée** significative à cette production (C + O) et la rendre, au final, plus attractive économiquement que la gestion chimique massive, actuellement en vigueur : l'environnement, la qualité de la production et les producteurs en sortiraient tous gagnants.

FIG. 91

NOMBRE DE TRAITEMENTS CHIMIQUES, INSECTICIDES ET MATIÈRES ACTIVES UTILISÉES SUR COTON, EN FONCTION DU MODE DE GESTION DE LA CULTURE EN SEMIS DIRECT SUR COUVERTURE VÉGÉTALE PERMANENTE (SCV) - Fazenda Mourão - MT/2006

		MODES DE GESTION		
		COTON Culture principale Chimique (C)	COTON Culture principale Chimique + Organique (C + O)	COTON "Safrinha" ¹ Chimique + Organique (C + O)
Nombre de Traitements Chimiques		18	13	6
INSECTICIDES UTILISÉS ¹				
P. commercial	Matière active			
Saurus	Acetamiprid	+	+	
Match	Lufenuron	+	+	
Rimon	Novaluron	+	+	+
Dissulfan	Endosulfan	+	+	+
Mentox	Metil parathion	+		
Polo	Diafentiuon	+		+
Thiodan	Endosulfan	+		
Decis	Deltaméthrin	+	+	
Bulldock	Betacyfluthrin	+		
Marschal	Carbosulfan	+	+	+
Fury	Zetacyperméthrin	+	+	+
Cipertrin	Cyperméthrin	+		
Curacron	Profenofos	+		
Abamectin	Abamectin	+	+	

1. Du semis à la récolte; + indique que le produit est utilisé
2. Coton de succession avec intrants minimums

SOURCE: Project FACUAL/COODETEC/CIRAD/FAZ. MOURÃO - Equipe CIRAD: J. L. Bélot, J. Martin, L. Séguy, S. Bouzinec; COODETEC: A. Marques, M. Rodrigo; Fazenda Mourão: G. L. da Costa, L. Dalila Nora, Campo Verde, MT/2006

FIG. 92 RÉSULTATS D'ANALYSES¹ DE RÉSIDUS DE PESTICIDES DANS LES GRAINS ET LE SOL, EN FONCTION DU SYSTÈME DE CULTURE ET DU MODE DE GESTION² DE LA CULTURE COTONNIÈRE

Écologie des sols ferrallitiques des cerrados du Sud-Est Mato Grosso - Campo Verde, MT/2006

Système de culture	Mode de Gestion ² Coton	RÉSIDUS GRAINS-SOLS, (en mg/kg)					
		GRAINS			SOL		
		Multirésidus	Glyphosate	Paraquat	Multirésidus	Glyphosate	Paraquat
I - SEMIS DIRECT (SCV)							
• Coton/Soja + (<i>Eleusine c.</i> + <i>Crotalaria sp.</i>) (S.)	C	<LQ	<0,01	<0,02	<LQ	<0,01	<0,02
• Coton/Couverture vivante <i>Arachis p.</i>	C + O	<LQ	<0,01	<0,02	<LQ	<0,01	<0,02
II - SEMI-DIRECT - TCS							
• Mil + Coton annuel (Discage sur Mil) (T.)	C	• 0,20 • 0,22 • 0,03 Cipermetrinas	<0,01	<0,02	• 0,02 Tetraconazol	<0,01	<0,02
III - DISCAGES							
• Monoculture Coton (T.)	C	• 1,90 • 0,32 • 0,07 Cipermetrinas	<0,01	<0,02	• 0,03 Tetraconazol	<0,01	<0,02

1 - Analyses de résidus: réalisées par le laboratoire CTAEX - Barajoz Espagne

2 - Modes de Gestion du Coton:

a) Chimique (C) - Traitement chimique des semences - Niveau standard de fumure: 140N + 60P₂O₅ + 120K₂O + oligos; herbicides + insecticides; Gestion de la Fazenda

b) Chimique + Organique (C + O) - Traitement organique des semences - Niveau bas de fumure: 70N + 31P₂O₅ + 60K₂O + oligos; herbicide traitement Fazenda - application de produits organiques: Biha d'humus + 4,5 kg de EP4 à différents stades: 1^{er} bosson, 1^{er} fleur et 100-110 JAS; contrôle des insectes avec Neem complétés par produits chimiques si nécessité (punaises, Anthrenus sp.)

SOURCE: Project FACUAL/COODETEC/CIRAD/FAZ. MOURÃO - Equipe CIRAD: J. L. Bélot, J. Martin, L. Séguy, S. Bouzinec; COODETEC: A. Marques, M. Rodrigo; Fazenda Mourão: G. Costa, L. Dalila Nora, Campo Verde, MT/2006

FIG. 93

PESTICIDES UTILISÉS, DOSES/ha ET COÛTS, EN FONCTION DE 2 MODES DE GESTION¹ DE LA CULTURE COTONNIÈRE = GESTION CHIMIQUE (C) ET GESTION CHIMIQUE + ORGANIQUE (C + O)

Écologie des cerrados humides de moyenne altitude (600-700m) du Sud-Est du Mato Grosso Fazenda Mourão, Campo Verde/MT - 2001/2006				
Pesticides utilisés (Matière active)	Doses en l ou kg/ha de produit commercial		Coûts en US\$/ha	
	(C)	(C + O) ²	(C)	(C + O) ²
1. Herbicides				
2-4D	1,0	1,0	3,6	3,6
Glifosato	3,0	3,0	9,69	9,69
Pirithiobaque-na	0,133	0,133	18,75	18,75
Haloxifop	0,4	0,4	12,8	12,8
Sous total,	4,533	4,533	44,84	44,84
2. Insecticides				
Acetamiprido	0,4	0,2	32,0	16,0
Abamectin	1,05	0,75	24,0	18,0
Endosulfan	5,6	5,6	18,9	18,9
Cartape	1,0	0,15	7,0	1,5
Carbosulfan	1,2	0,4	14,4	4,8
Malathion	1,0	1,0	5,7	5,7
Diafentiuron	0,4	0,4	15,4	15,4
Metomil	0,8	0,4	4,88	2,44
Lufenuron	0,25	0,25	4,13	4,13
Paration	1,0	0,5	5,0	2,5
Estenvalerate	0,3	0,15	6,4	3,2
Zetacypermethrin	0,6	0,3	7,8	3,9
Cipermetrina	0,6	0,6	5,1	5,1
Sous Total,	14,2 (100)	10,7 (73)	150,71 (100)	101,57 (70)
3. Fongicides				
Tetraconazol	0,4	-	8,8	-
Azoxystrobin	0,9	0,6	38,7	25,8
Azoxystrobin + Ciproconazol	-	0,1	-	8,8
Sous Total,	1,3 (100)	0,7 (54)	47,5 (100)	34,6 (54)
4. Régulateur de Croissance				
Cloreto de cloromequat	0,15	0,15	2,10	2,10
5. Huile végétale	0,4	-	0,30	+ produits organiques = 167,0
6. Adhésif	0,05	-		
TOTAL	20,63	16,08	245,45	(C + O) = (183,11) + (167,0) = 350,11

1. Évaluée sur 1 bloc de culture de 40 ha

2. Charge chimique du mode de gestion (C + O) encore très forte par peur du Bicudo (*Anthonomus g.*), elle peut être encore nettement améliorée (-30%).

SOURCE: Projet FACUAL/COODETEC/CIRAD/FAZ. MOURÃO - Équipe CIRAD: J. L. Belot; J. Martin; L. Séguy; S. Bouznic - COODETEC: A. Marques, M. Rodrigo; J. C. Moraes de Sá, M. Machado Sá - UEPG - Ponta Grossa - Campo Verde/MT - 2005

Tableau 4 FICHE DES PESTICIDES ANALYSÉS par la méthode de Luke modifiée
Laboratoire CTAEX Vilafranca de Gadiano, Apdo Correos 435 - Badajoz - Espagne

Pesticide	Limite de Quantification (LQ)	Pesticide	Limite de Quantification (LQ)	Pesticide	Limite de Quantification (LQ)
Acefato	0.02	Dimetoato	0.02	Orto-fenilfenol	0.01
Acrinatrina	0.01	Diniconazol	0.01	Oxadixil	0.05
Alacloro	0.05	Disulfoton	0.02	Oxifluorfen	0.01
Aldrín	0.01	Endosulfan-alfa	0.01	Paclobutrazol	0.01
Antraquinona	0.01	Endosulfan-beta	0.01	Paration	0.01
Atrazina	0.10	Endosulfan-sulfato	0.01	Paration-metil	0.01
Azinfos- etil	0.05	Endrin	0.01	Penconazol	0.01
Azinfos-metil	0.05	Esfenvalerato	0.02	Pendimetalin	0.05
Azoxistrobin	0.01	Etion	0.10	Pentaclorobenceno	0.05
Benalaxil	0.05	Etofenprox	0.01	Permetrina	0.03
Benfluralina	0.01	Etoxiquina	0.01	Pirazofos	0.05
Bifentrin	0.01	Etridiazol	0.05	Piridaben	0.01
Bioaletrina	0.01	Fenamifos	0.02	Piridafention	0.05
Bitertanol	0.05	Fenarimol	0.01	Pirifenox	0.01
Bromacilo	0.05	Fenazaquin	0.01	Pirimetaniil	0.01
Bromopropilate	0.01	Fenbuconazol	0.01	Pirimicarb	0.01
Bupirimate	0.02	Fenhexamida	0.05	Pirimifos-etil	0.01
Buprofezin	0.01	Fenitrotrion	0.01	Pirimifos-metil	0.01
Butóxido de piperonilo	0.02	Fenotrina	0.01	Piriproxifen	0.01
Cadusafos	0.03	Fenpropatrina	0.02	Procimidona	0.01
Captan	0.10	Fention	0.01	Procloraz	0.05
Carbofenotión	0.02	Fenvalerate	0.02	Profenofos	0.05
carbofurano	0.01	Fipronil	0.01	Prometrina	0.05
Cihalotrina-lambda	0.01	Fludioxonil	0.01	Propargita	0.01
Ciflutrina	0.02	Fluquincozanol	0.01	Propazina	0.01
Cimoxanilo	0.05	Fluzilazol	0.01	Propiconazol	0.03
Cipermetrina	0.02	Fluvalinato-tau	0.01	Propizamida	0.01
Ciproconazol	0.01	Folpet	0.10	Protiofos	0.02
Ciprodinil	0.01	Fonofos	0.10	Quinalfos	0.05
Ciromazina	0.05	Forato	0.05	Quinometionate	0.02
Clofentezin	0.01	Formation	0.02	Quinoxifen	0.01
Clorbufan	0.05	Fosalone	0.10	Simazina	0.02
Clorfenvinfos	0.02	Fosmet	0.05	Tebuconazol	0.05
Clorpirifos-etil	0.01	HCH	0.02	Tebufenpirad	0.01
Clorpirifos-metil	0.01	HCH-gamma	0.01	Terbumetona	0.02
Clorprofam	0.05	Heptacloro	0.01	Terbutilazina	0.05
Clortal-dimetil	0.01	Heptenofos	0.02	Terbutrina	0.01
Clortalonil	0.01	Hexaclorobenceno	0.01	Tetraconazol	0.01
Clozolinato	0.05	Hexaconazol	0.02	Tetradifon	0.01
DDE	0.01	Hexitiazox	0.01	Tetrametrina	0.05
DDT	0.01	Imazalil	0.01	Tolclofos-metil	0.01
Deltametrin	0.02	Iprodiona	0.01	Tolilfluánida	0.03
Diazinón	0.01	Kresoxim-metil	0.01	Triadimefon	0.05
Diclobenil	0.05	Malathion	0.01	Triadimenol	0.05
Diclofluanid	0.05	Mecarbam	0.05	Triazofos	0.02
Dicloran	0.01	Metalaxil	0.01	Triclorfon	0.10
Diclorvos	0.01	Metamidofos	0.01	Trifloxistrobin	0.01
Dicofol	0.02	Metidation	0.02	Trifuralina	0.01
Dieldin	0.01	Metoxicloro	0.01	Vinclozolin	0.01
Difenoconazol	0.02	Miclobutanil	0.01		
		Monocrotofos	0.02		
		Nuarimol	0.01		
		Ometoato	0.05		

LA BIOMASSE MULTIFONCTIONNELLE, PROTECTRICE, REGENERATRICE ET NOURRICIERE



Retour de la nature dans les champs cultivés en SD



Retour de la nature dans les champs cultivés en SD



Mils, avec des productions de biomasse très différenciées en fonction des cultivars – ici Boboni : 16t/ha de Matière sèche en 50 jours –Lucas do Rio Verde /MT- 1994



Sorghos à qualité de grain supérieure (sans tanins, teneur élevée en protéines); productions de biomasse très différenciées en fonction des cultivars ; ici , sorgho Guinea : 16T/ha de matière sèche en 60 jours – Sud de Goias -1996



Sorghos à qualité de grain supérieure (sans tanins, teneur élevée en protéines); productions de biomasse très différenciées en fonction des cultivars ; ici , IRAT 321 : 9T/ha de matière sèche en 60 jours



Éleusine coracana: L' espèce la plus puissante au niveau racinaire (5 t. ha-1, sur 0-50 cm)- Forêts- Sinop/MT- 2001



Pâturage à *Panicum maximum* (*Tanzania*) en pleine saison sèche , installé en semis direct en succession de soja – Lucas do Rio Verde -1994 .



Pâturage à *Brachiaria brizantha* en pleine saison sèche installé en semis direct en succession de soja – Lucas do Rio Verde /MT-1994



***Coix lacryma jobi* (Adlai) :24 t.ha-1 de matière sèche totale en 5 mois
Forêts –Sinop/MT -2002**



***Stylosanthes g.* em pleine saison sèche, implanté par semis direct en
association avec Maïs –Forêts - Sinop/MT - 2001**



***Stylosanthes guyanensis* (CIAT 184) en pleine saison sèche , implanté par semis direct en association avec Maïs – Forêts – Sinop/MT- 2001**



SCV : Sorgho IRAT 202 + *Brachiaria ruzi.*, implanté em succession de soja

Forêts- Sinop/MT- 2001



**SCV : *Mil Nangagolo* + *Brachiaria ruzi.* , implanté em eussession de soja
Cerrados- Lucas do Rio Verde /MT- 1994**



**SCV: Sorgho IRAT 203 + Stylosanthès g. , installé en succession de soja
Forêts – Sinop/MT- 2002**



**SCV: Maïs var. IRAT 200 + *Brachiaria ruzizensis* installé
en succession de Soja – Cerrados – Campo Verde /MT- 2004**



SCV : Maïs var. IRAT 200 + *Brachiaria ruzi.* + *Cajanus c.*, installé en succession

de soja - Cerrados- sol sablo-argileux (SCV S3) -Campo Verde /MT- 2006



Eleusine coracana + Crotalaria spectabilis.- Cerrados



SCV: Eleusine Coracana + Cajanus c. , installée en succession de soja

Cerrados- Lucas do Rio Verde/MT- Fundação Rio Verde -2004



**SCV: Tournesol + Cajanus c., installé en succession de soja – Cerrados
Lucas do Rio verde/MT-Fundação Rio Verde- 2005**



**SCV: Maïs + cajanus c. + Brachiaria r. , installé en succession de soja
sol sablo-argileux (SCV: S3)– Cerrados- Campo Verde/MT-2006**



SCV ; sorgho BF80 + *Cajanus c.*, + *Brachiaria ruzi* . , installé en succession de soja –sol sablo-argileux- (SCV: S4)- Cerrados - Campo Verde/MT- 2006



SCV: Maïs en culture pure à gauche ; maïs + *éleusine c.* , 2/3 photo à droite – Cerrados- Campo Verde- -2008



**SCV: Sorgho + éleusine c., + sarrazin , installé en succession de soja
Cerrados – Campo Verde -2008**



**SCV: Sorgho + éleusine c., + Crotalaria spect. , installé en succession
de soja – Cerrados- Campo Verde - 2008**



***Brachiaria ruz.* à la fin de la saison sèche implanté par semis direct
en succession de soja –Forêts - Sinop/MT -2001**

**III) UNE COUVERTURE PERMANENTE DES SOLS SOUS CULTURE ET DE
PUISSANTS SYSTEMES RACINAIRES CONNECTES A L'EAU PROFONDE
(Injection de carbone en profondeur)**



Semis Direct sur 15 t/ha de biomasse sèche – Forêts- Sinop/MT- 2002



15 t/ha de biomasse sèche de sorgho + *Brachiaria ruz.* - Forêts – Sinop/MT- 2003



16 t/ha de biomasse sèche de *Stylosanthes g.*- Forêts- Sinop/MT- 2001



**15 t/ha de biomasse sèche de sorgho + *Brachiaria ruz.*-Sol sablo-argileux
Cerrados- Campo Verde /MT 2005**



**15 t/ha de biomasse sèche de sorgho + *Brachiaria ruz.*-Sol sablo-argileux
Cerrados - Campo Verde/MT-2005.**



***Semis direct* coton sur 15T/ha de paille (SCV: S3) –sol sablo-argileux
Cerrados-Campo verde/MT- 2005**



**Couverture de Maïs culture pure, 70 jours après dessication
Cerrados- Campo Verde/MT- 2007**



**Couverture de Maïs + *Brachiaria ruz.*, 70 jours après dessication
Cerrados- Campo Verde /MT- 2007**



**Couverture de Maïs + *Brachiaria ruz.*, 70 jours après dessication
Cerrados – Campo Verde/MT- 2007**



**Couverture de Sorgho + *Brachiaria ruz.*, 90 jours après dessication
Cerrados – Campo Verde/MT- 2008**



**Couverture de Sorgho + *Brachiaria ruz.* 90 jours après dessiccation
Cerrados- Campo Verde/MT - 2008**



**En Haut: Couverture de mil déjà minéralisé 70 jours après dessiccation – 1/2 bas :
couverture *Brachiaria* + Sorgho – Cerrados – Campo Verde/MT- 2008**



**Couverture de Sorgho +BF 80 à 90 jours après dessiccation
Cerrados – Campo Verde/MT - 2008**



Racines de *Brachiaria humidicola*, 2 ans



Racines d'*Eleusine coracana* à 60 jours après le semis - Forêts



Racines d'*Eleusine coracana* à 60 jours après le semis



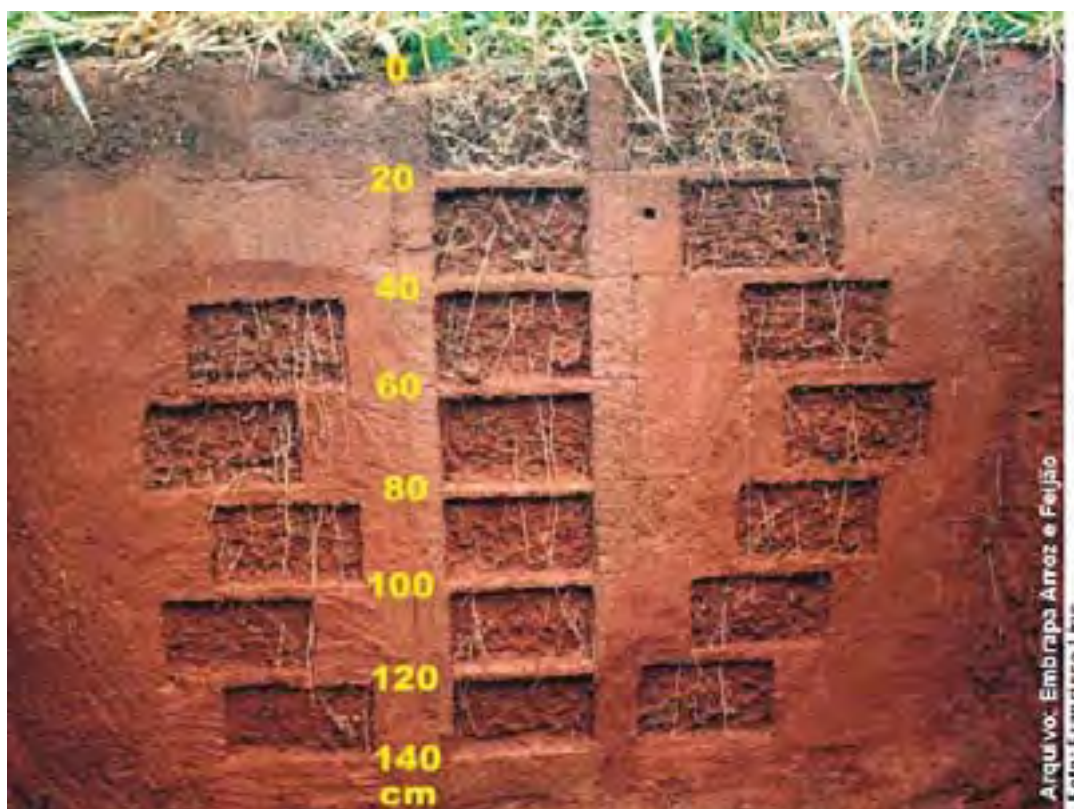
Profil et racines profondes sous *Stylosanthes g.*- Forêts- Sinop/MT- 2002



**Pompe biologique de Mil (*enracinement profond*)-
Forêts tropicales du sud de Goiás - 1999**



Profil de sol sous *Brachiaria Ruz.*: Injection de carbone à la surface et en profondeur - Cerrados



**Profil de sol sous *Brachiaria Ruz.*
Injection de carbone à la surface et en profondeur**



**Puissant système racinaire sous *Brachiaria ruziziensis*
>2m de profondeur après 60 jours -Cerrados**

IV - LES CULTURES EN SCV : SOL TOUJOURS COUVERT

1 - Coton



Coton sur couverture Maïs + Brachiaria r., 25 jours après semis direct Cerrados-2008 .



Coton sur couverture Maïs + Brachiaria r., 25 jours après semis direct Cerrados-2008



Semis Direct coton sur biomasse de Mil - Cerrados



Semis Direct Coton sur biomasse de Sorgho - Forêts



Semis Direct Direct sur biomasse de Sorgho - Cerrados



**Semis direct Coton sur *Eleusine cor.* –
Forêts tropicales sur basalte (*sud de Goiás*)**



Semis Direct coton sur pâturage dégradé – Forêts



Semis Direct coton parfait sur pâturage dégradé



Semis Direct parfait sur pâturage dégradé



Cotonnier de 50 jours sur pâturage dégradé – Forêts tropicales



**Coton "safrinha" sur SCV (SCV: S4) sans herbicide
Cerrados –Campo Verde/MT – 2005**



**Coton CD 409 sur couverture vivante d'*Arachis p.* - Cerrados -*Sol sablo-argileux*
Campo Verde/MT-2006**



**Coton CD 409 sur couverture vivante de Tifton - sol sablo-argileux
Cerrados – Campo Verde/MT- 2006**



**Coton CD 409 à gauche sur système “Semi-Direct”(TCS = T2)
sol sablo-argileux – cerrados- Campo Verde/MT- 2006**



**Coton CD 409 sur SCV S3(R=5T/ha) – sol sablo-argileux
Cerrados- Campo Verde/MT-2005**



**Coton en Semis Direct : Productivité > 4t/ha
Forêts tropicales – Sud de Goias- 1998**



Coton en Semis Direct: Productivité > 4t/ha- Cerrados



Coton en Semis Direct : Productivité > 4t/ha- Cerrados- Deciolândia/MT- 2003



La culture cotonnière s'installe dans la forêt amazonienne



La culture cotonnière s'installe dans la forêt amazonienne



Récolte = Productivité > 4t/ha – Forêt amazonienne- Sinop/MT- 2001



Récolte = Productivité > 4t/ha – Forêt amazonienne



Récolte = Productivité > 4t/ha

SOJA



Soja en Semis Direct sur pailles de sorgho – Forêts tropicales – Sud de Goiás - 2000



Soja en Semis Direct sur *Brachiaria ruziziensis* – Forêts – Sinop/MT- 2003



Soja en Semis Direct sur pailles de mil – Cerrados- Lucas do Rio Verde/MT- 1992



**Soja semis direct sur 15T/ha de Brachiaria ruzi.- Cerrados
Deciolândia/MT- 2002**



Nouveau phénotype de soja adapté au Semis Direct (R>5t/ha)



**Soja en Semis Direct sur couverture vivante d' *Arachis p.*
Forêts – Sinop/MT- 2004**



**Soja en Semis Direct sur couverture vivante d' *Arachis p.*
Forêts- Sinop/MT- 2004**

RIZ AROMATIQUES EN SCV (niches économiques)



**Riz en Semis Direct sur couverture vivante d'*Arachis P.*
Forêts – Sinop/MT- 2001**



Riz en Semis Direct sur *Stylosanthes g.* – Forêts – Sinop/MT- 2002



Riz en Semis Direct sur *Stylosanthes g.* - Forêts



Riz pluvial à haute productivité (6-9 t/ha) en SD - Forêts



**Riz pluvial à haute productivité (6-9 t/ha) en SD
Cerrados – Campo Verde/MT - 2004**



**Riz pluvial aromatique à haute productivité (6-9 t/ha) en SD
Cerrados – Campo Verde/MT- 2005**



**Riz pluvial à haute productivité (6-9 t/ha) en SD
Cerrados - Campo Verde/MT- 2005**



**Riz pluvial à haute productivité (6-9 t/ha) en SD
Cerrados – Campo Verde/MT-2004**



**Riz pluvial aromatique à haute productivité (6-9 t/ha) en SD
Cerrados – Campo Verde/MT - 2005**



Riz pluvial à haute productivité (6-9 t/ha) en SD - Cerrados



Beauté du grain



III) ESSAI DE SYNTHÈSE ET PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION DES SCV



3.1 ETAPES CHRONOLOGIQUES DE LA CONSTRUCTION - ELABORATION DES TECHNOLOGIES SCV : OUTILS, APPLICATIONS ET SYNTHESE DES RESULTATS

• Entre 1986 et 2007, le CIRAD et ses partenaires brésiliens de la recherche et du développement, jettent les bases de l'agriculture durable gérée le plus possible en harmonie avec la nature. Ils mettent en évidence les lois de fonctionnement agronomique qui président à la création - élaboration progressive de scénarios diversifiés d'agriculture durable dans des écosystèmes particulièrement contraignants par leurs excès climatiques et leurs sols ferrallitiques fortement désaturés, «vide chimiquement» ; ils évaluent dans le même temps les conséquences techniques et économiques de leur application à grande échelle (*conditions d'appropriation*), leurs impacts sur l'environnement et la qualité des productions (*visant la propreté, exempts de résidus agrottoxiques*).

• La construction conceptuelle, scientifique et technique d'une agriculture durable de plus en plus performante aux plans agronomique, technique et économique en conditions adverses, a pu se faire, grâce, simultanément, à des outils méthodologiques systémiques performants :

- **Les matrices pérennisées des systèmes de culture** conduites en conditions d'exploitation réelles et implantées au cœur des réalités agricoles (*pour, avec et chez les agriculteurs, dans leurs unités de production*) (*Fig. 94 à 99*),
- **Le profil culturel** qui précise, en continu, la dynamique des relations Sols-Cultures, hiérarchise et oriente les décisions agronomiques,
- **L'ingénierie écologique** qui désigne la gestion de milieux et la conception d'aménagements durables, adaptatifs, multifonctionnels inspirés des mécanismes qui gouvernent les systèmes écologiques (*auto-organisation, diversité élevée, structures hétérogènes, efficacité de l'utilisation de l'énergie*).

• **L'ingénierie écologique** a puisé continuellement son inspiration dans le fonctionnement remarquablement stable de l'écosystème forestier, pour conférer des caractéristiques similaires aux systèmes de Semis Direct SCV en création, qui se traduisent par les règles de base suivantes :

- Laisser le sol toujours protégé sous une couverture végétale permanente (*milieu tamponné, biologiquement très actif, coefficient de minéralisation de la M.O., K_2 , maintenu faible*) ;
- La possibilité d'assurer et d'entretenir une productivité primaire très importante de phytomasse, même sur sol très pauvre chimiquement et très acide ;
- La capacité à retenir la majeure partie du stock des éléments nutritifs non pas dans le sol, mais dans la phytomasse (*minimiser les pertes de nutriments, fermer le cycle du système Sol-Plante*) ;
- Créer un horizon de surface 0 - 5 cm, protégé, siège d'une activité biologique intense, qui, comme sous la forêt, assure l'essentiel du prélèvement des éléments nutritifs par les racines des cultures, les micorhizes et la biomasse microbienne (*Stark N. M. et al., 1978*) ; faire en sorte que ce recyclage biologique affecte, comme sous la forêt, non seulement les éléments nutritifs tels que Ca, Mg et K dont le sol est quasiment dépourvu, mais aussi les minéraux tels que Si et Al qui jouent **un rôle déterminant dans l'évolution de la composition minérale du sol** (*Lucas Y. et al., 1993*) [*Rôle majeur également de Si dans la résistance des cultures aux maladies*].

En réalité, dans la pratique, il s'agissait de recréer à partir d'un état de dégradation avancée, une dynamique de transformations fondamentales sur et dans le sol sous culture, qui le ramène

progressivement à ses modes de fonctionnement originels sous forêt (*résilience*), tout en construisant une agriculture plus productive et rentable, diversifiée, durable et propre.

• **Avec l'utilisation de l'ingénierie écologique**, il a été ainsi possible de construire des couverts végétaux de plus en plus complexes, multifonctionnels qui sont le lit nourricier des cultures et du sol en Semis Direct ; les règles qui président à l'élaboration et à la maîtrise des couverts multifonctionnels, les fonctions agronomiques identifiées et attendues dans les SCV sont réunies dans les **Figures 100 à 103**.

La chronologie de l'évolution de la nature des couverts à multifonctionnalité croissante peut être résumée comme suit :

<p>1987/1995²⁹ Systèmes SCV à 1 culture/an :</p>	<p>Soja d'abord sur couvertures d'adventices dominantes dont en particulier <i>Cenchrus echinatus</i> + <i>Eleusine indica</i>, puis sur Mils ou Sorghos africains à forte biomasse</p>
<p>Systèmes SCV à 2 cultures/an en succession :</p>	<p>Soja et Riz cycle court en rotation avec en succession annuelle : Maïs, ou Mil ou Sorghos africains à forte biomasse</p>
<p>1995/2002³⁰ Systèmes SCV à 2-3 cultures/an en succession :</p>	<p>Soja, Riz et Coton en rotation, avec, en succession annuelle du soja ou du riz cycle court :</p> <p>⇒ Maïs, ou Mil ou Sorghos africains ou <i>Eleusine coracana</i>. ⇒ Puis Maïs ou Mil ou Sorghos africains + <i>Brachiaria r.</i> associé pour maximiser la production de soja et offrir une 3^e culture : le pâturage pour embouche élevage en saison sèche, ou <i>Eleusine coracana</i> + <i>Crotalaria spect.</i> ⇒ Maïs, Mil ou Sorgho + <i>Stylosanthes guyanensis</i> pour maximiser la production de Riz (<i>fixation N gratuite avec légumineuses incorporées</i>), et embouche élevage en saison sèche.</p> <p>⇒ couvertures vivantes permanentes :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Soja ou Coton sur <i>Cynodon d.</i> (Tifton, Bermuda Grass), - Coton, Riz, Maïs sur <i>Arachis p.</i>
<p>2001/2008³¹ Systèmes SCV à 2-3 cultures/an en succession :</p>	<p>Soja, Riz et Coton en rotation, avec, en succession annuelle du soja ou du riz cycle court :</p> <p>⇒ Coton « safrinha » ⇒ Maïs, ou Mil ou Sorghos associés à <i>Brachiaria ruzi</i> + <i>Cajanus cajan</i> ou à <i>Brachiaria ruzi.</i> + <i>Crotalaria spect.</i> ⇒ <i>Eleusine coracana</i> + <i>Crotalaria spectabilis</i> Puis ⇒ Maïs + <i>Eleusine coracana</i> + <i>Crotalaria spectabilis</i> e <i>tmélanges d'espèces plus complexes</i> (*) <i>L'incorporation des légumineuses dans les couverts visant la fixation gratuite d'azote ou cains</i></p> <p>⇒ couvertures vivantes permanentes :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Soja ou Coton sur <i>Cynodon d.</i> (Tifton 85, Bermuda Grass), - Coton, Riz, Maïs sur <i>Arachis p.</i>

²⁹ Fazenda Progresso, puis Cooperlucas à Lucas do Rio Verde- MT

³⁰ Agronorte – Sinop - MT Groupe Maeda Deciolândia - MT

³¹ Groupe Maeda – Deciolândia – MT et Fazenda Mourão Campo Verde - MT

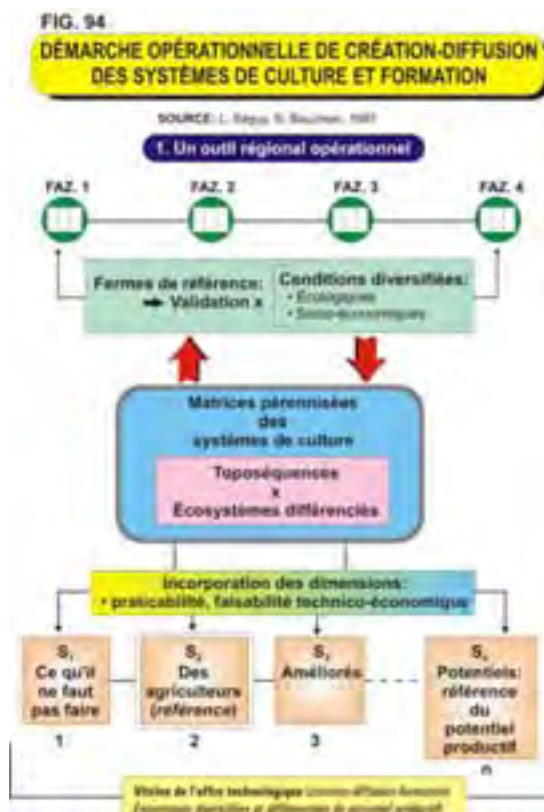


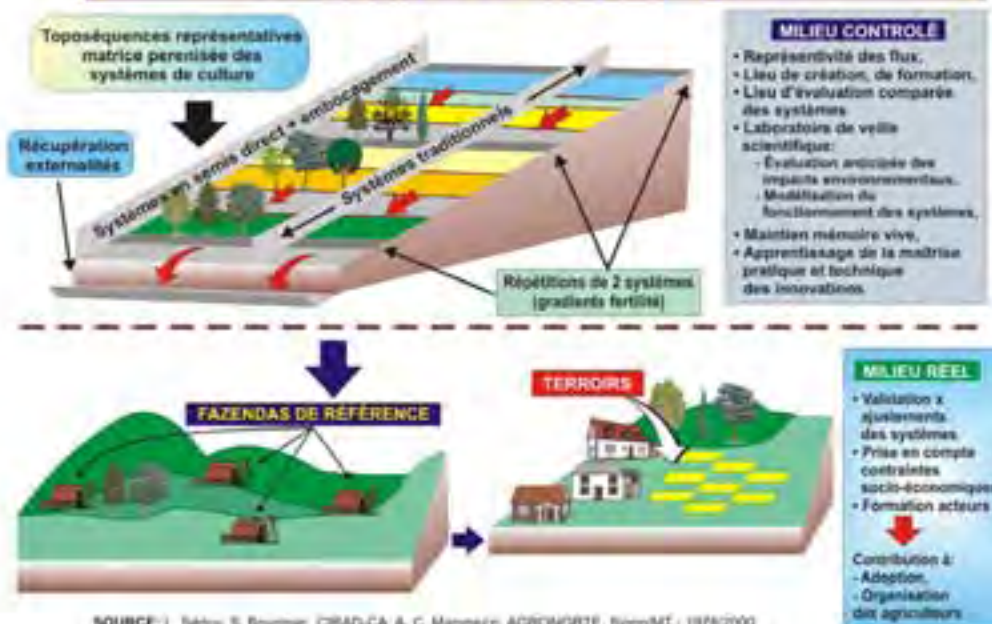
FIG. 96

ÉCHELLES D'INTERVENTION ET FONCTIONS DE LA RECHERCHE-ACTION, ADAPTATIVE DES SCV

SOURCE: L. Séguy, S. Boumeau, CIRAD-CA - 1978/2000



FIG. 97 DÉMARCHE DE LA RECHERCHE-ACTION, POUR, AVEC ET CHEZ AGRICULTEURS - NIVEAUX D'ÉCHELLES ET FONCTIONS -



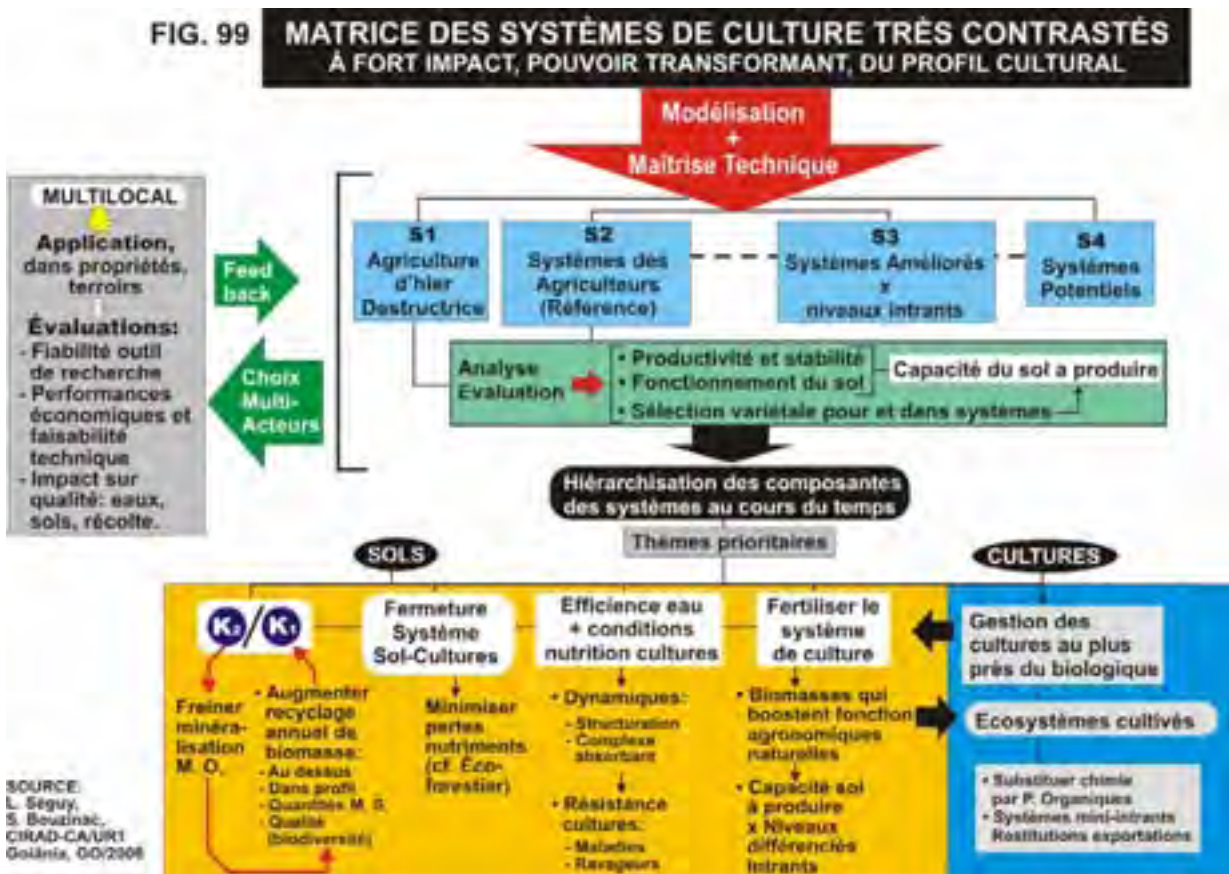
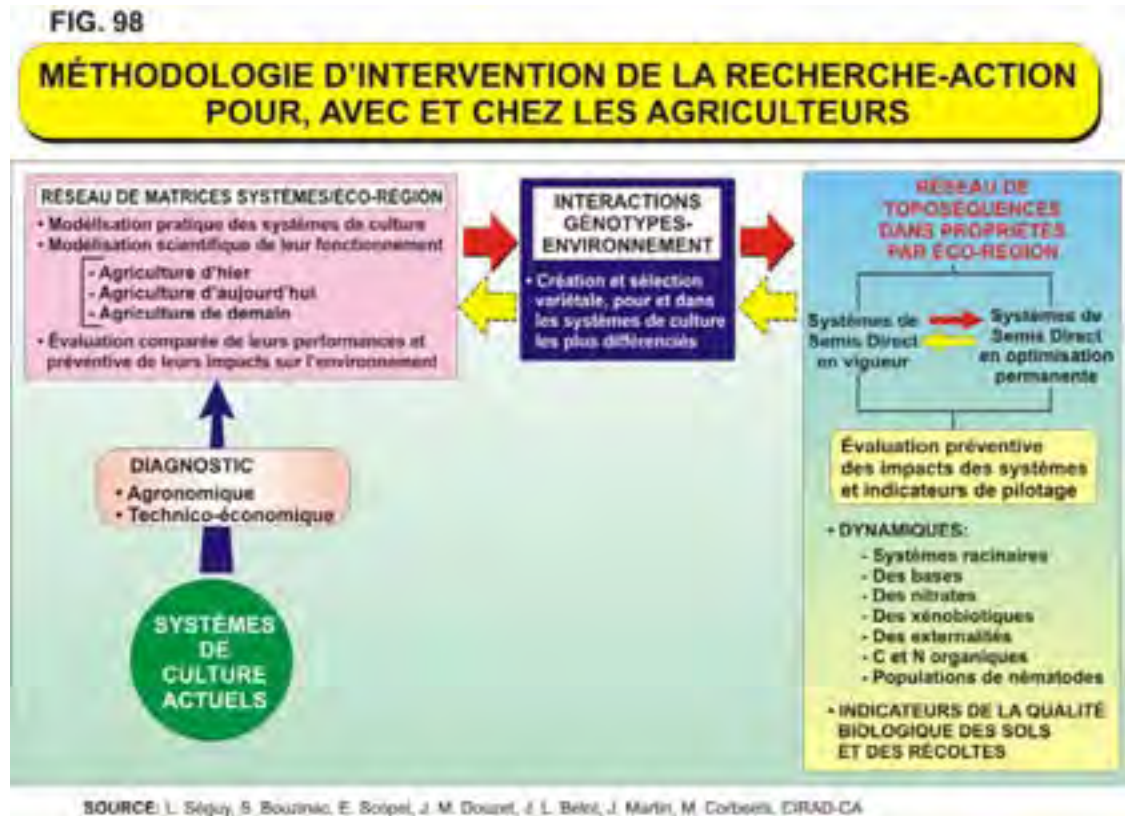


FIG. 100

PROGRÈS DES PERFORMANCES DES SYSTÈMES DE CULTURE EN SEMIS DIRECT SUR COUVERTURE PERMANENTE DU SOL¹ (SCV)
Écologie des sols ferrallitiques des savanes et forêts de la zone tropicale humide (ZTH)

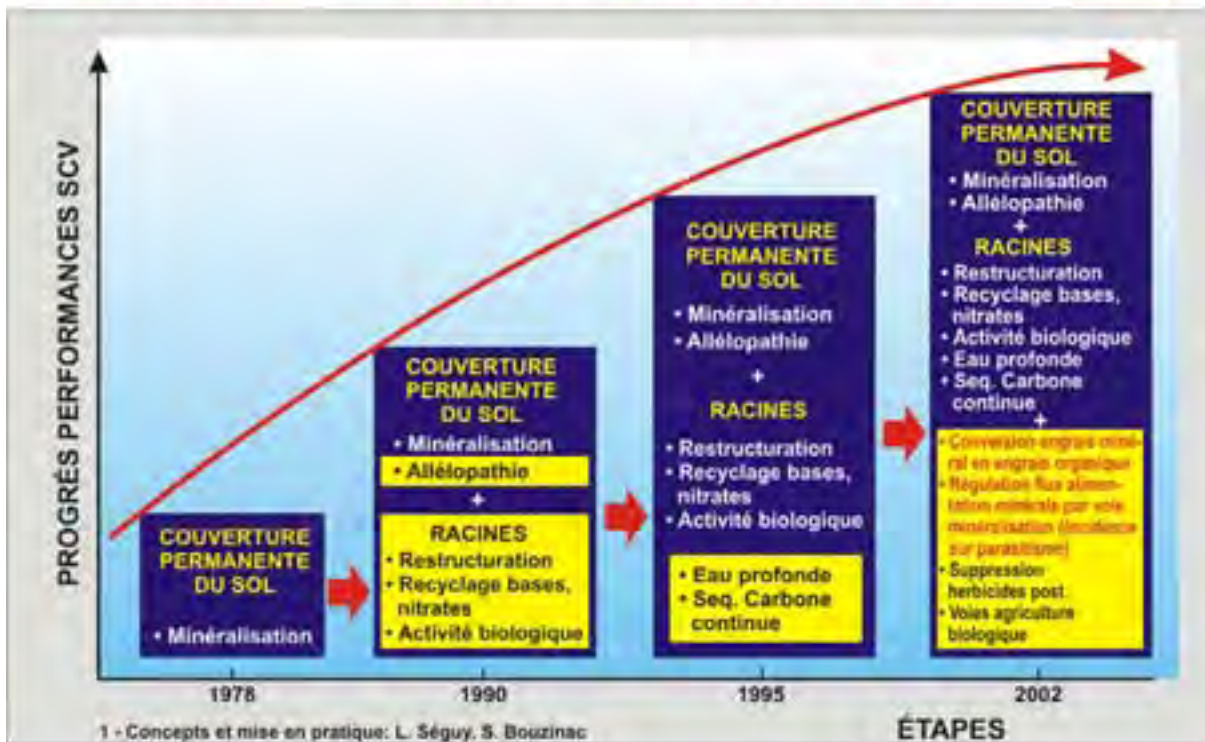


FIG. 101

ÉVOLUTION DE L'AMÉLIORATION DES PERFORMANCES AGRONOMIQUES DES BIOMASSES DE COUVERTURE DU SOL. "POMPES BIOLOGIQUES", DANS LES SYSTÈMES DE CULTURE EN SEMIS DIRECT DE PRODUCTION DE GRAINS ET INTÉGRANT AGRICULTURE ET ÉLEVAGE

- Écologie des sols ferrallitiques des savanes et forêts de la zone tropicale humide - (ZTH)

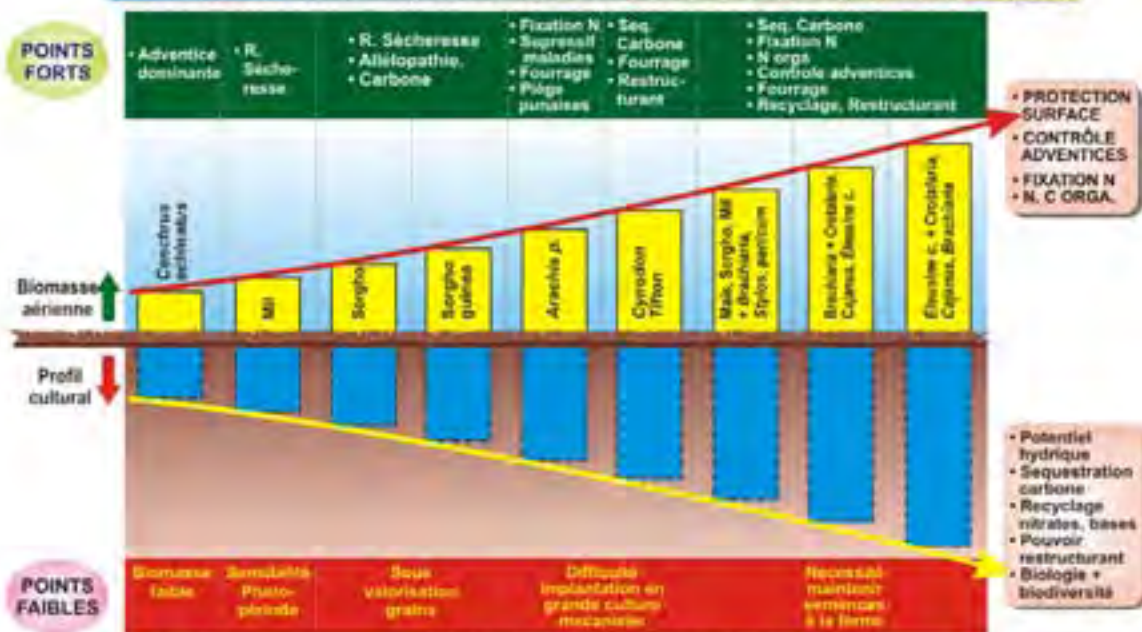


FIG. 102

CONSTRUCTION DES SYSTEMES DE CULTURE EN SEMIS DIRECT SUR COUVERTURE VÉGÉTALE PERMANENTE (3CV)
- Étapes et progrès sur 20 ans, en zone tropicale humide (ZTH)

Soils ferrallitiques des savanes et forêts du Mato Grosso - Brésil

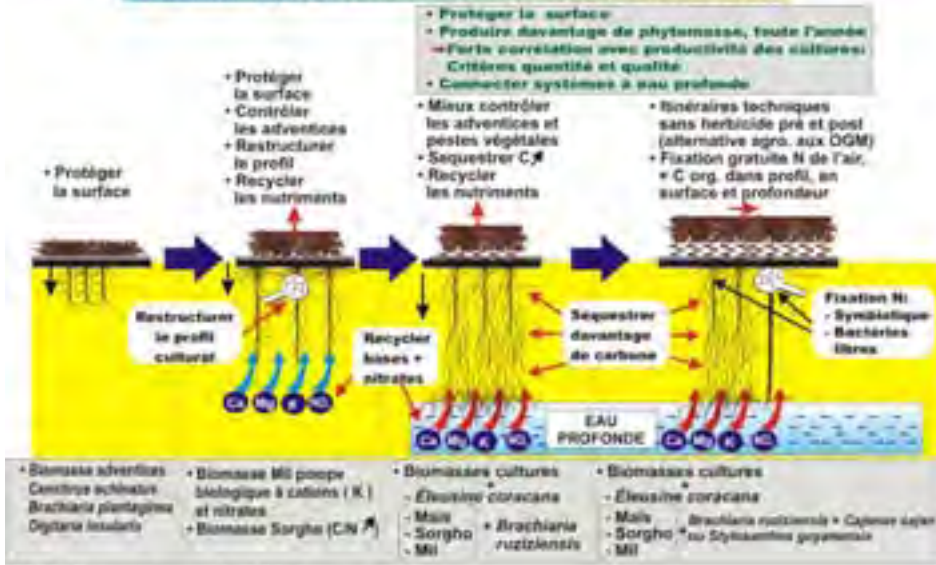
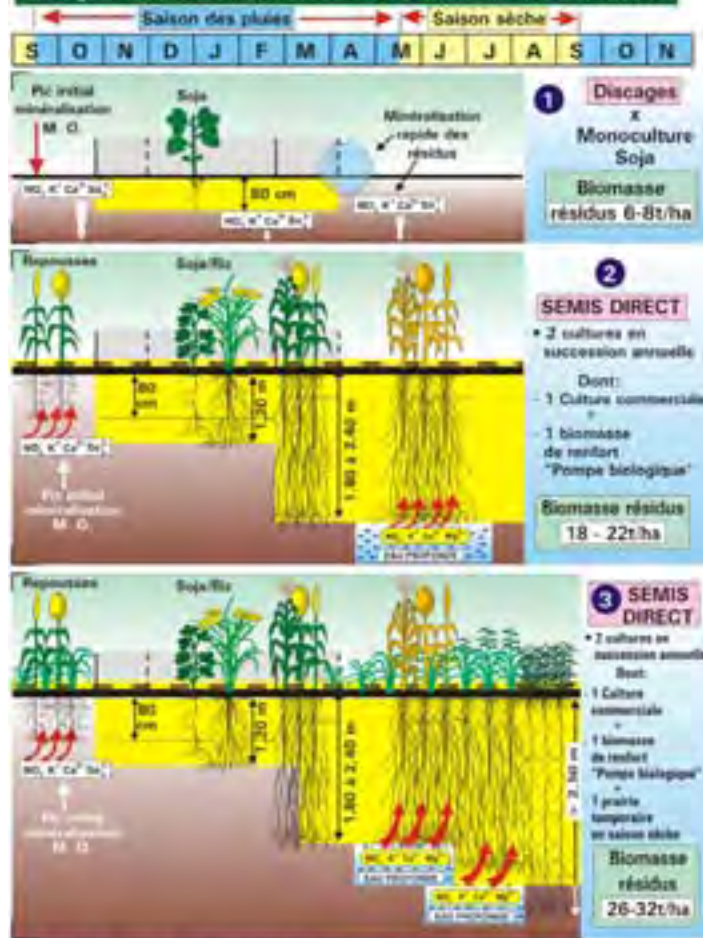


FIG. 103

ÉVOLUTION DES SYSTEMES DE CULTURE, DE LA BIOMASSE DE RÉSIDUS ET DE L'UTILISATION DES RESSOURCES HYDRIQUES
Écologie des cerrado et forêts humides du Centre Nord Mato Grosso - 1996/2000



• Divers concepts successifs ont été formulés pour assurer la progression des performances des systèmes, puis traduits dans la pratique en systèmes SCV reproductibles, durables et appropriables :

▪ **Le concept du fonctionnement de l'écosystème forestier** comme source permanente d'inspiration, les systèmes de fonctionnement du sol : "ouvert" et "fermé" (*Fig. 104 à 106*).

▪ **Le premier concept : de "Pompe Biologique"** qui réunissait les premières grandes fonctions biologiques que devaient exercer les biomasses de couverture pour substituer le travail du sol (*Fig. 107*).

▪ **Le second concept : de «mainteneur de fertilité»** qui a assuré, avec succès, la transition "Travail du sol - Semis Direct sur couvert végétal", et a stoppé l'érosion, à la fin des années 1980 avec des biomasses de mils et sorghos africains (*Lucas do Rio Verde*) (*Fig.108*).

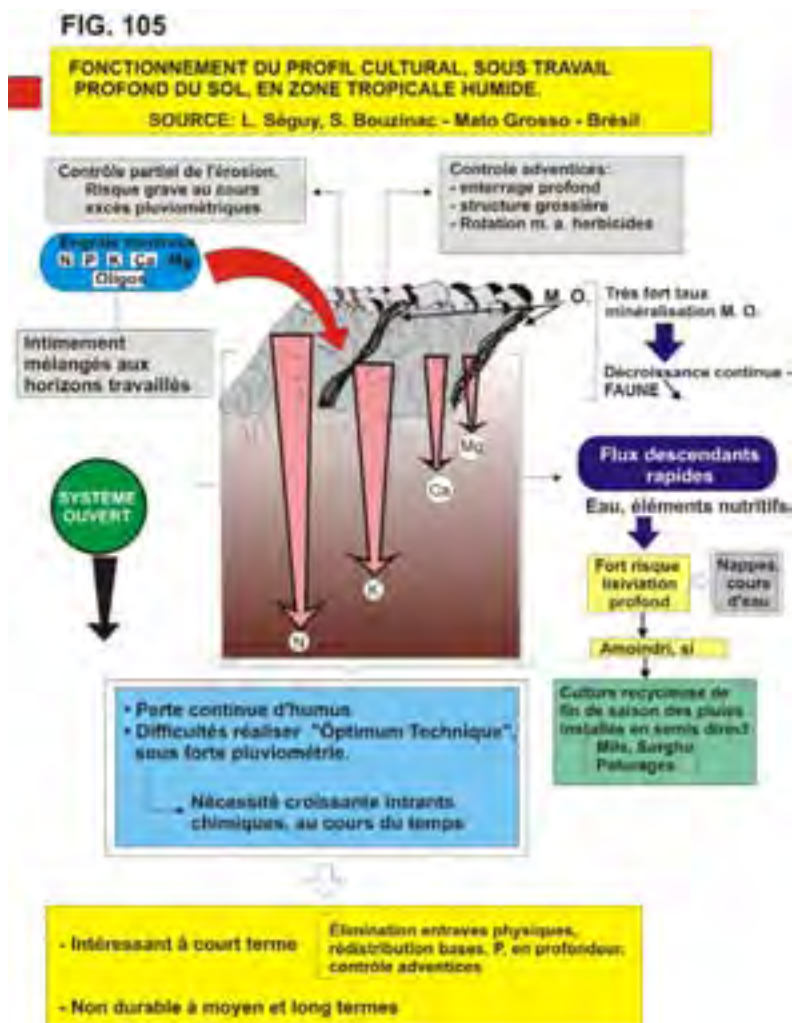
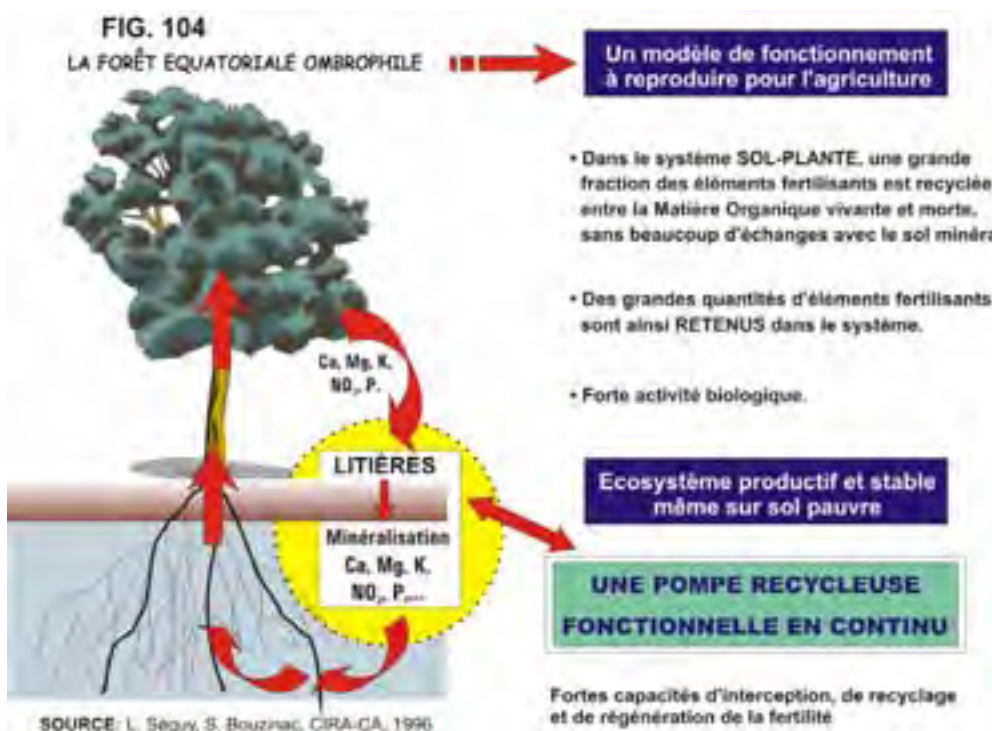
▪ **Le troisième concept : de "multifonctionnalité des couverts végétaux"** ouvrant la voie à l'association de plusieurs espèces composant ces couverts pour élargir leur capacité à améliorer gratuitement des fonctions essentielles bénéfiques et gratuites pour la production de grains et le sol (*Fig. 109*). Ces grandes fonctions complémentaires ont été progressivement définies de même que le matériel végétal (*Husson O. et al., 2006 ; Séguy L. et al., 2001, a ; 2004, b ; 2004, c*) adapté pour y répondre a été identifié dès la fin des années 90 (*Fig. 110 à 125*).

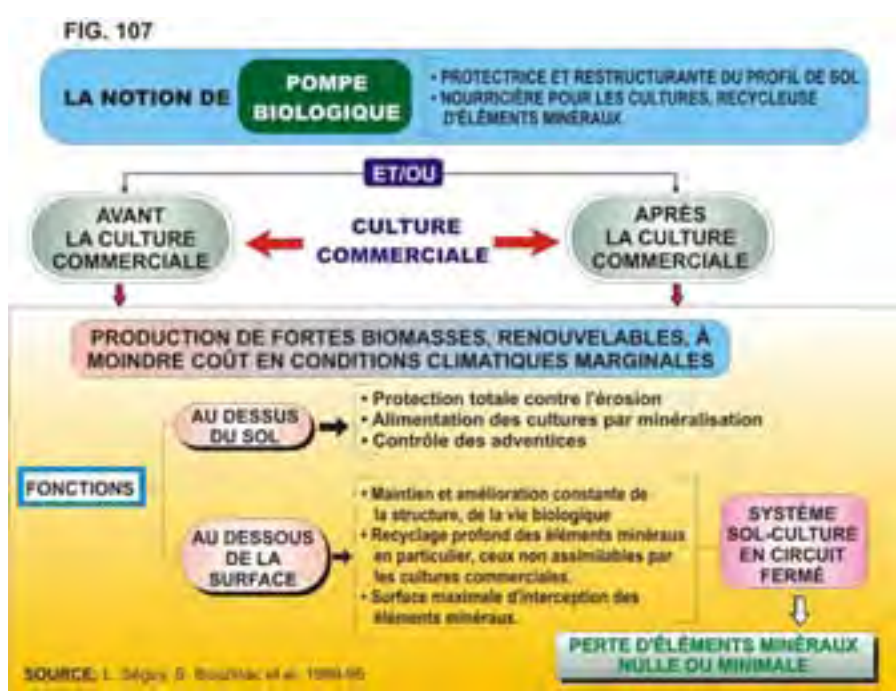
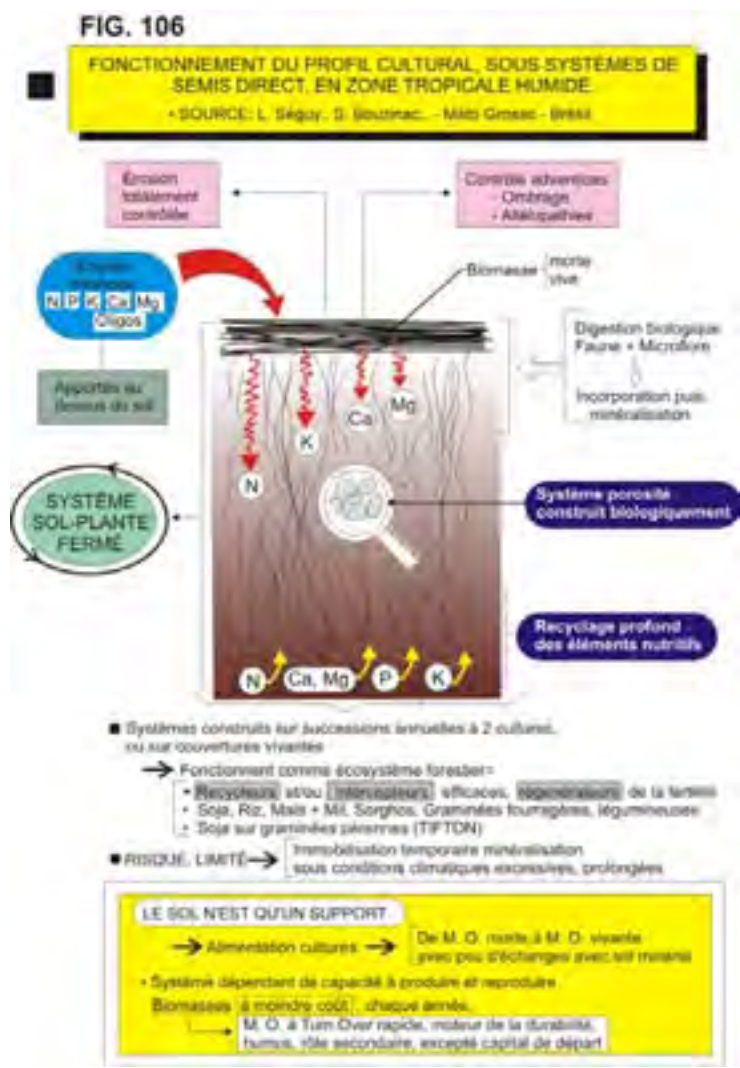
▪ **Le quatrième concept : "Les SCV : un modèle de fonctionnement auto-épurateur ?"** dans lequel sont définis 4 compartiments préférentiels dans le système Atmosphère - Cultures - Sols pour suivre - expliquer le devenir des pesticides, nitrates, xénobiotiques en général (*pouvoir de biorémédiation, dynamique de l'azote*) (*Fig. 126*).

▪ **Le cinquième concept :** fertiliser le système de culture plutôt que les cultures individuellement dans les SCV ou comment amplifier la production des inputs carbonés annuels en fertilisant préférentiellement les biomasses de couverture plus efficaces que les cultures pour transformer l'engrais minéral en Matière Organique (*Fig. 127 et 128*).

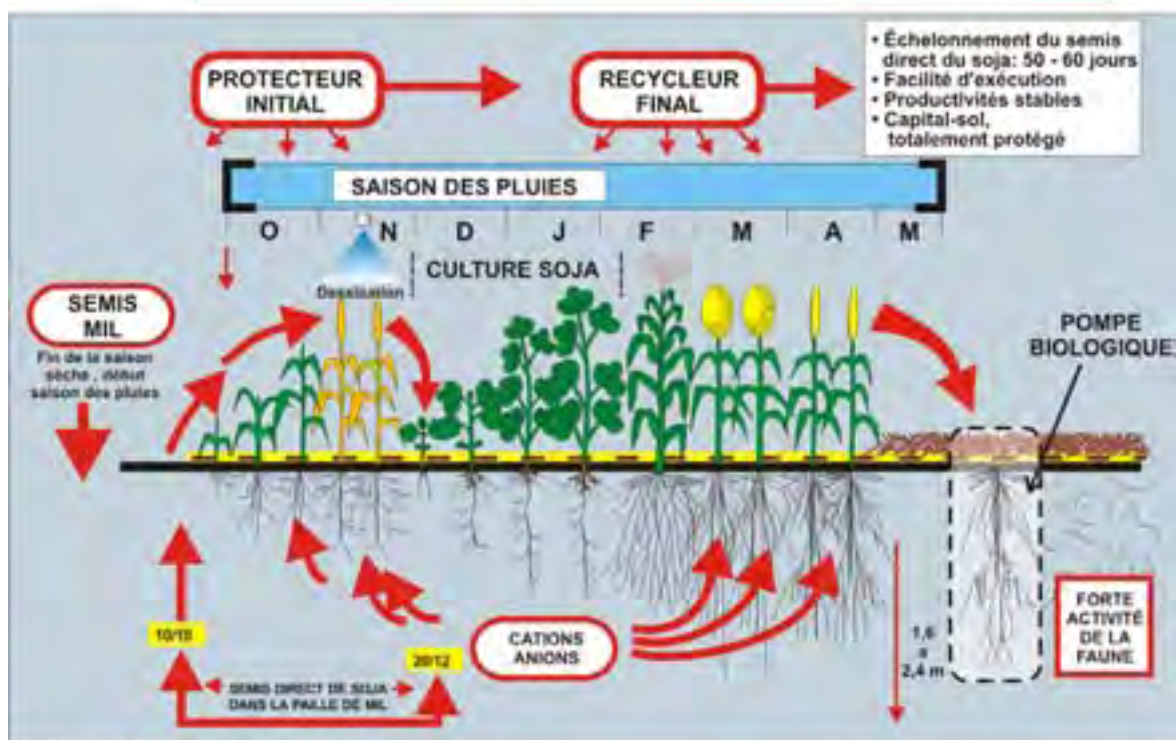
▪ **Le sixième concept :** les SCV comme alternative aux OGM RR pour une gestion plus écologique des systèmes, avec minimum d'herbicides, voire sans herbicide (*couverts plus efficaces en SCV contrôlés par roulage mécanique avant Semis Direct*) (*Fig. 129*).

▪ **Le septième concept :** après la maîtrise de la gestion organo-biologique des sols (*scénarios SCV diversifiés de développement*), celle des cultures : eaux, sols et productions doivent être propres, exempts de produits agrottoxiques - Stratégies de production toujours plus près du "biologique" (*Fig. 130*).



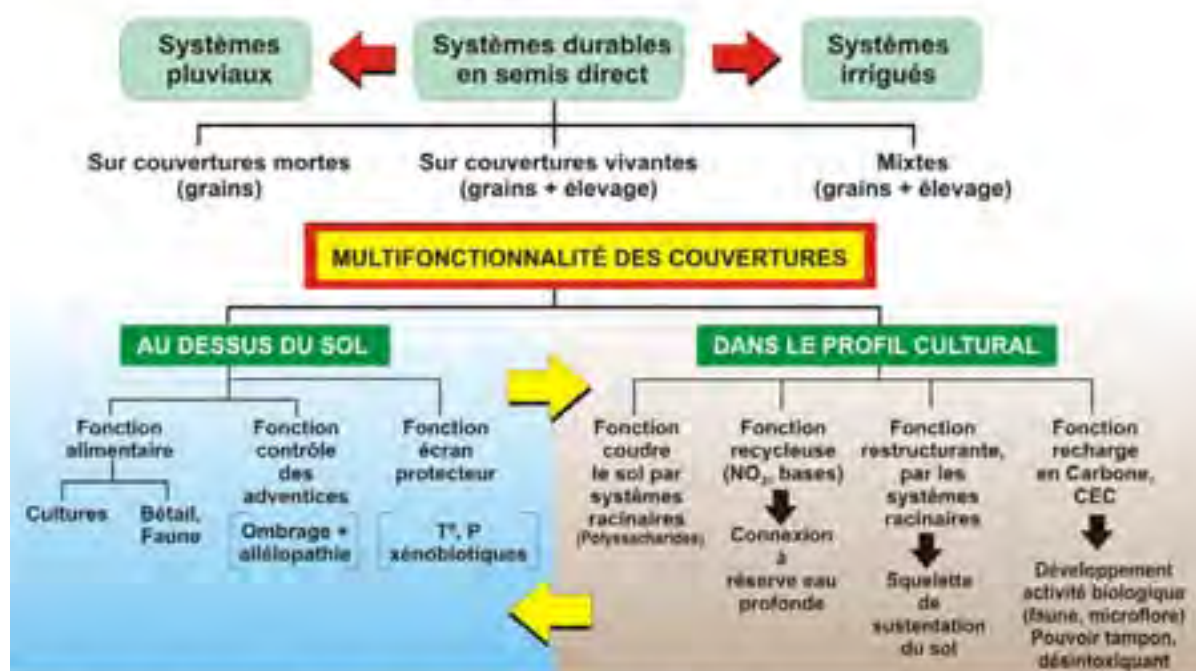


**FIG. 108 "SYSTÈME MAINTENEUR DE FERTILITÉ" POUR LA CULTURE DE SOJA
LE DÉPART DU SEMIS DIRECT - 1987**



L. Séguy, S. Bouzinac - MT/1993

**FIG. 109 LE CONCEPT DE MULTIFONCTIONNalité
DES BIOMASSES DE COUVERTURE, EN SEMIS DIRECT**



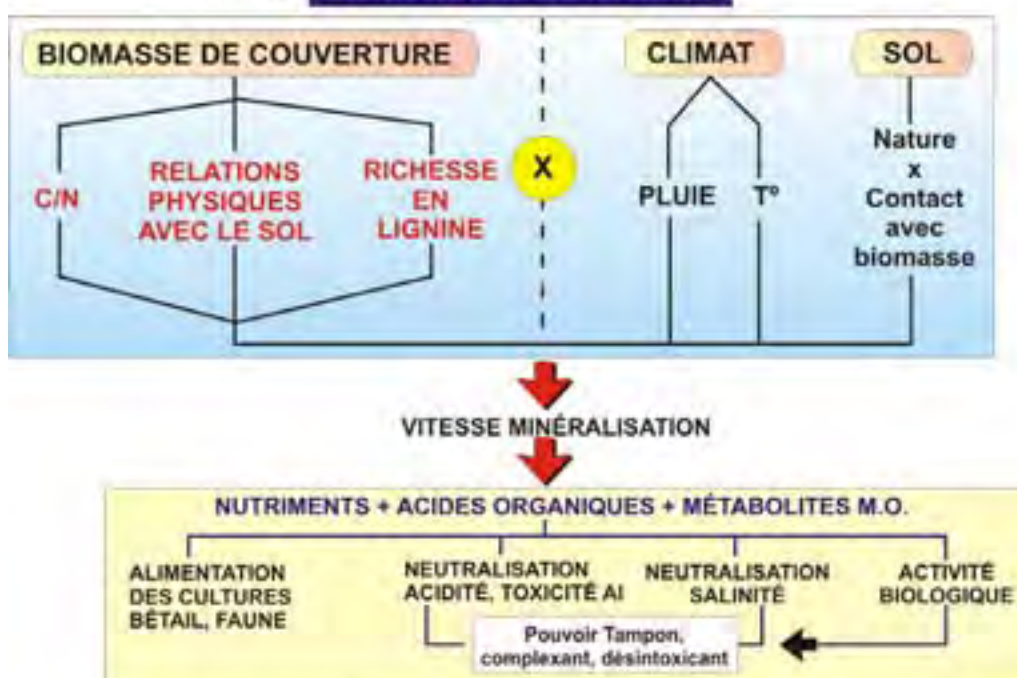
SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA, A. C. Maronezzi, AGRONORTE, Sinop/MT - 1978/2000

FIG. 110

LA FONCTION ALIMENTAIRE DÉPEND:

- ➔ D'abord, de la capacité de la plante de couverture, à produire une très forte biomasse instantanée en conditions climatiques aléatoires
 - [Début et fin de saison des pluies, la biomasse remplace le travail du sol]
- ➔ Ensuite, de la vitesse de minéralisation de la couverture dans les conditions pédoclimatiques locales - La vitesse de minéralisation est réglée par:
 - La teneur en lignine
 - La teneur en C
 - La rapport C/N
 - L'activité biologique.
- ➔ De la dynamique des ions fortement influencée par la nature des couvertures (acides organiques ⇒ Pouvoir neutralisant de l'acidité, détoxiquant, migrations des sels, dont ceux de NO_3 , K, Ca, Mg)

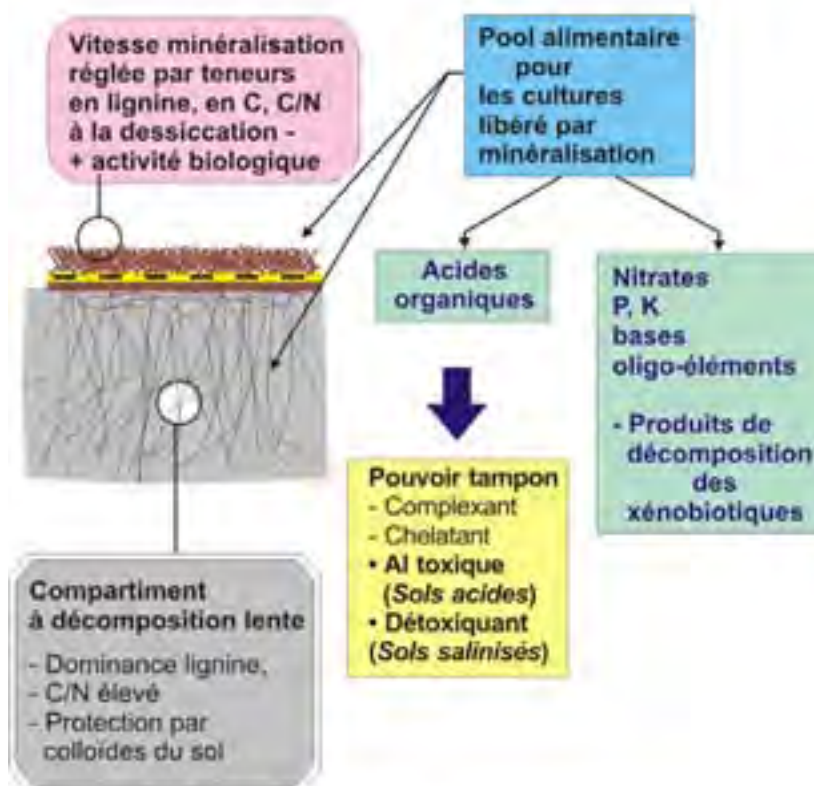
FIG. 111 FONCTION ALIMENTAIRE



SOURCE: L. Sedoy, S. Bouzinar, CIRAD-CA, A. C. Mironozzi, AGRONORTE, Sinop/MT - 19/09/2000

FIG. 112

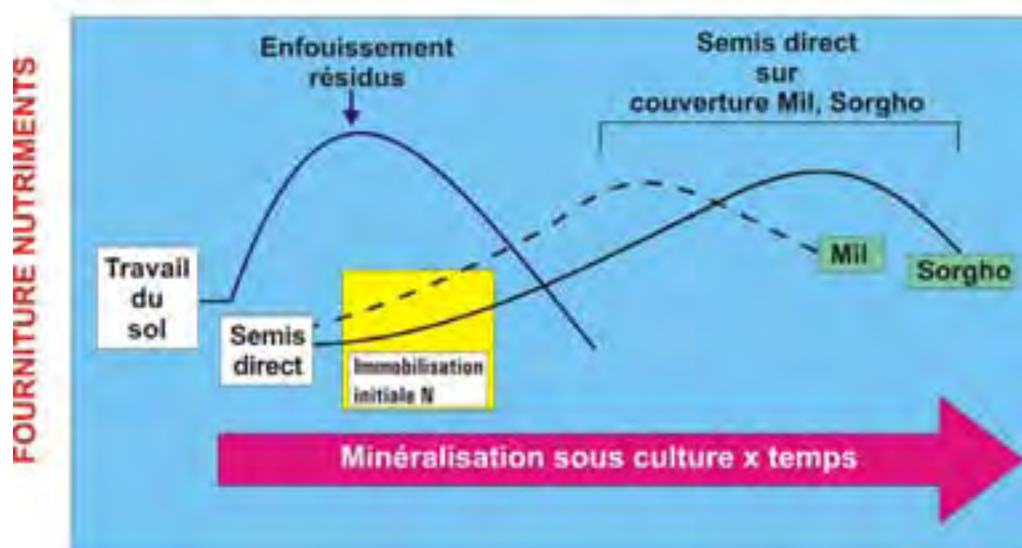
FONCTIONS ALIMENTAIRE, COMPLEXANTE, DES POMPES BIOLOGIQUES - (Cas des graminées)



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

FIG. 113

FONCTION ALIMENTAIRE (Tendances) DES MATIÈRES ORGANIQUES À TURN OVER RAPIDE, EN FONCTION DU MODE DE GESTION DU SOL



SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD CA-GEC - Goiânia - GO, 1999

FIG. 114

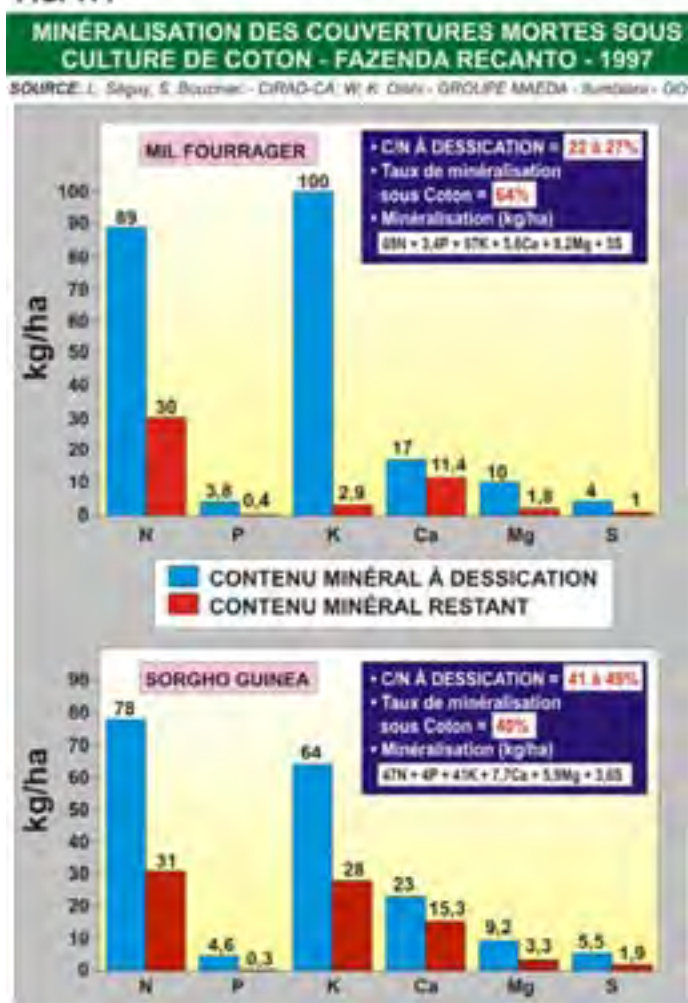


FIG. 115 FONCTIONS= ALIMENTAIRE, NEUTRALISATION DE L'ACIDITÉ

	Vitesse de décomposition après dessiccation	Immobilisation N en début de cycle ²	Neutralisation acidité	Valeur fourragère
Millets ⁽¹⁾	Rapide	Faible (C/N = 22 à 27) (10-15N/ha semis, localisés)	-	Bonne (pâturation, ensilage)
Sorghos ⁽¹⁾	Lente	Forte (C/N = 41 à 49) (30N/ha semis, localisés)	-	Bonne (pâturation après 40 jours, ensilage)
Eleusine C. ⁽¹⁾	Moyenne	Moyenne (C/N = 35) (15-20N/ha semis, localisés)	Forte	excellente (Pâturation)
Maïs, Millets, Sorghos + Brachiaria R. Stylosanthes G.	Moyenne	Moyenne (C/N = 37) (15-20N/ha semis, localisés)	Forte	excellente (Pâturation)
Cynodon D. Tifton 85	Lente	Moyenne (20-25N/ha semis, localisés)	-	excellente (Pâturation)
Arachis P. Amarillo	Rapide	Très faible -	Forte	excellente (Pâturation)

(1) Millets, Sorghos, Eleusine C., d'alimentation humaine - Farines à haute valeur nutritive, sans tanins, riches en protéines (11-14%)
 • Millets CIRAD, Indans
 • Sorghos Africains, CIRAD (Semences disponibles) (GROUPE MAEDA - Sumatra - SP / AGRONORTE - Sorgho, MT / EMOORA - Goiania, GO)

(2) Recommandations fertilisation N sur semis direct de céréales et Coton

SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA - GEC, Agronomie, 1998

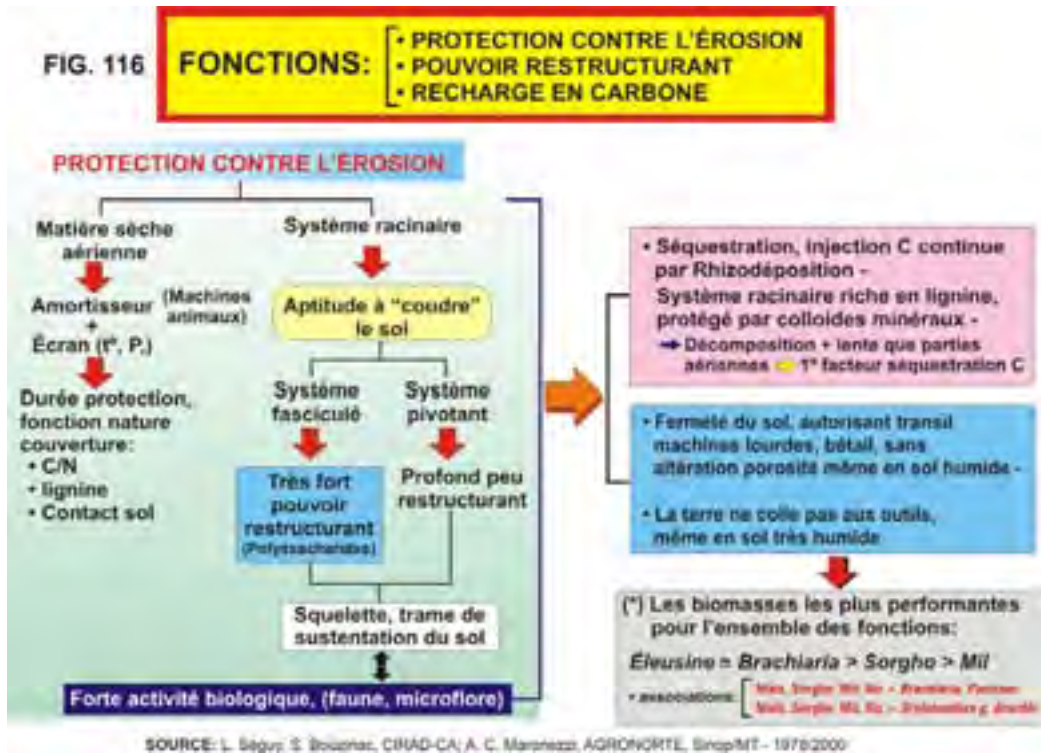


FIG. 117

CARBONE, CEC, V%, PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET HYDRODYNAMIQUES DU PROFIL CULTURAL EN SEMIS DIRECT



- CEC AUGMENTE, DE MÊME QUE CAPACITÉ DE RÉTENTION DES CATIONS (Bases)
- ACTIVITÉ BIOLOGIQUE AUGMENTE (Activation des cycles biologiques, décomposition xénobiotiques)
- PROPRIÉTÉS HYDRODYNAMIQUES DES SOLS SONT AMÉLIORÉES
 - Fermeté du sol. (Trafic des machines, capacité)
 - Espace poral → Ressuyage très rapide, forte capacité de rétention de l'eau

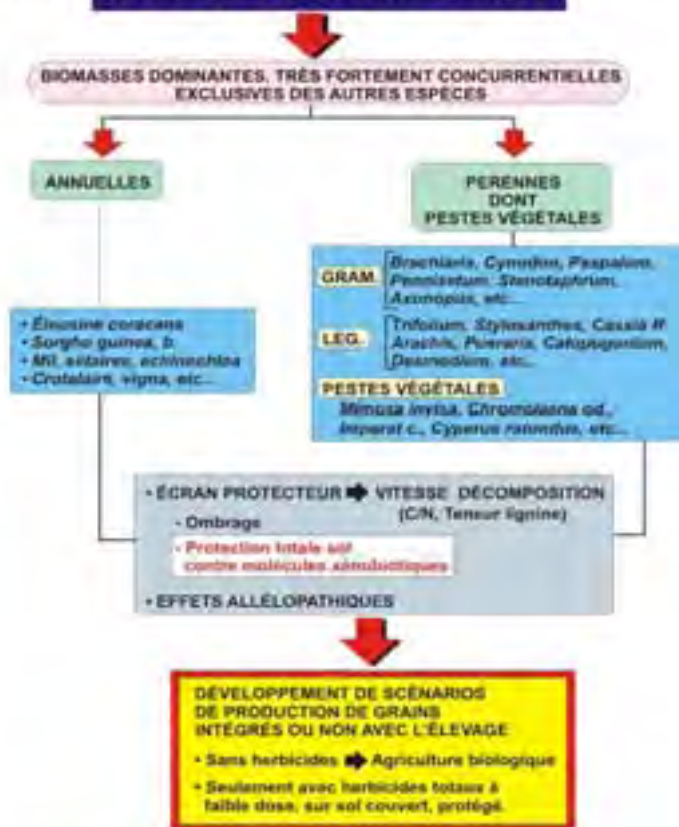
FIG. 118

FONCTION = CONTRÔLE DES ADVENTICES

- **MÉCANISMES MIS EN JEU**
 - Allélopathie
 - Ombrage
 - Durée de la couverture et capacité de reprise
- **OBJECTIFS**
 - Réduction maximum de l'utilisation des herbicides, du coût - (molécules les moins polluantes pour la ressource sol)
 - Répondre au feu accidentel (capacités de reprise et de dominance sur adventices)
 - Contrôle des pestes végétales
 - + *Cyperus rotundus* (sols tropicaux riches en M. O.)
 - + *Striga* (sols tropicaux érodés, pauvres en M. O.)
- **FAISABILITÉ TECHNIQUE** → Dans les systèmes de semis direct (évolutive) -
 - Les successions annuelles de production de grains = 1 culture commerciale + Safrinha,
 - Les successions annuelles de grains = 1 culture commerciale + safrinha associée à *Brachiaria R.*,
 - Les successions annuelles sur tapis vivant = 1 culture commerciale + pâturage, (ou engrais vert), en succession -

FIG. 119

FONCTION: CONTRÔLE DES ADVENTICES



SOURCE: L. Séguy, S. Blazquez, CIRAD-CA, A. C. Marinacci, AGRONORTE, SimpMT - 10782000

FIG. 120

FONCTION: CONTROLE DES ADVENTICES ANNUELLES ET VIVACES

	Capacité de contrôle dicotylédones	Capacité de contrôle Graminées	Capacité de contrôle des pestes végétales (<i>Cyperus rotundus</i>)	Pouvoir d'infestation de la culture par la couverture après dessiccation	Dessiccation couverture avant semis	Nécessité herbicide dans la culture
Milis ⁽¹⁾	Moyenne	Moyenne	Faible	Moyen (grains)	Facile Roundup 2.4D	Moyenne à Élevée
Sorghos ⁽¹⁾	Élevée EFFETS D'OMBRAGE + ALLÉLOPATHIQUES			Fort (grains + repousse)	Facile Roundup	Faible ⁽²⁾ à très faible
Eleusine C. ⁽¹⁾	Élevée	Élevée	-	Fort (grains)	Facile Roundup + 2.4D	Moyenne
Maïs, Milis, Sorghos + <i>Brachiaria R.</i> , <i>Stylosanthes G.</i>	Très élevée EFFETS D'OMBRAGE + ALLÉLOPATHIQUES			Très faible à nul	Facile Roundup	Faible ⁽²⁾ à nulle
<i>Cynodon D. Tifton 85</i>	Très élevée EFFETS D'OMBRAGE + ALLÉLOPATHIQUES			Très fort	Facile Paraquat séquentiel	Très faible
<i>Arachis P. Amarillo</i>	Très élevée EFFETS D'OMBRAGE			Très fort	Facile Diquat séquentiel	Très faible

(1) Milis, Sorghos, Eleusine C., d'alimentation humaine - Farines à haute valeur nutritive, sans tanins, riches en protéines (11-14%)

• Milis CIRAD, Indiens
• Sorghos Africains, CIRAD { Semences disponibles { GROUPE MAEDA - Ituverava - SP
AGRONORTE - Sorriso, MT
EMGOPA - Goiânia, GO

(2) Les cultures implantées sur couvertures mortes de sorgho, et sur Mil, Sorgho associés au *Brachiaria R.*, bénéficient d'une gestion facile des adventices et très peu onéreuse (Soja, Coton)

SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD CA - GEC, Agronorte, 1998

FIG. 121

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 Cotonnier (nb plantes/m ²)	
Avant semis direct du Cotonnier	À la récolte du Cotonnier	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, débilisé			
(2) Réinfestation uniforme ➔ <i>Cyperus</i> vert foncé, très vigoureux.			

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

FIG. 122

FONCTION RECYCLEUSE

➔ **FONCTIONNEMENT: Système Sol-Plante en circuit fermé** ⇔ **Pertes minimums de nutriments:**

- Nécessité d'une forte capacité recycleuse des plantes de couverture = Recyclage annuel des ions lixiviés en profondeur (*puissance du système racinaire: en surface d'interception, en profondeur, capacité à mobiliser des nutriments considérés comme non assimilables pour les cultures commerciales*).
- Capacité de séquestration du carbone et recharge du profil cultural
 - Dessus
 - Dessous
 - Impacts sur la CEC (*nature, évolution*), V%, propriétés physiques et hydrodynamiques du sol, activité biologique -
- Liaison rapide avec l'eau profonde du sol en fin de cycle des pluies, à l'image de l'écosystème forestier, pour production de biomasse en saison sèche -

FIG. 123

FONCTION RECYCLEUSE



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

FIG. 124 FONCTION RECYCLEUSE DES RACINES

	Vitesse enracinement	Biomasse racinaire (90J)	Pouvoir restructurant	Recharge en carbone du profil cultural
Mils ⁽¹⁾	Rapide 2,0-3,0 cm/Jour	Moyenne (C/N = 41)	Moyen	Moyenne (90J)
Sorghos ⁽¹⁾	Rapide 2,0-3,0 cm/Jour	Élevée (C/N = 50)	Élevé	Forte (90-110J)
Eleusine C. ⁽¹⁾	Très rapide 3,0-5,0 cm/Jour	Très Élevée (C/N = 51)	Exceptionnel	Très Forte (90-100J)
Mais, Mils, Sorghos + Brachiaria R. Stylosanthes G.	Rapide	Très Élevée ⁽²⁾ (Activité racinaire continue de <i>Brachiaria R.</i>) (C/N = 35-38)	Très Élevé	Forte (90-100J) à très forte (150-210 jours)
Cynodon D. Tifton 85	Rapide	Très Élevée (Rhizomes + Stolons)	Très Élevé	Forte (continue)
Arachis P. Amarillo	Rapide	Moyenne (Stolons)	Moyen	Moyenne (continue)

(1) Mils, Sorghos, Eleusine C., d'alimentation humaine - Farines à haute valeur nutritive, sans tanins, riches en protéines (11-14%)
 - Mils CIRAD, Indiens
 - Sorghos Africains, CIRAD { + Semences disponibles { GROUPE MAEDA - Ilhéus/Brasília - SP
 AGRONORTE - Sorocaba, MT
 EMGOPA - Goiânia, GO

(2) Plus riche en azote - (1,3 à 1,5% N)

SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD CA - GEC; Agronorte, 1998

FIG. 125

CONDITIONS D'INSTALLATION, PRODUCTION DE MATIÈRE SÈCHE

	Conditions d'installation	Mode de Semis (kg/ha)	PRODUCTION DE MATIÈRE SÈCHE ⁽²⁾			Possibilités de reprise, après saison sèche dans la culture au début des pluies
			Début des pluies		Fin des pluies	
			Pailles (après 45-60J) (t/ha)	Pailles (t/ha)	Grains (kg/ha)	
Mils ⁽¹⁾	Très facile	• SD(7-10) • Volée(20)	4 - 6	SP = 4 - 6 ST = 3 - 4	1300 - 2100 800 - 1500	Forte (par grains)
Sorghos ⁽¹⁾	Très facile	• SD(7-10) • Volée(20)	4 - 6	SP = 6 - 10 ST = 4,5 - 6	1500 - 4000 700 - 1500	Forte (repousses + grains)
Eleusine C. ⁽¹⁾	Très facile	• SD(5 - 8) • Volée(8-10)	5 - 8	SP = 8 - 12 ⁽³⁾ ST = 4 - 6	1800 - 3200 1000 - 1300	Forte (par grains)
Mais, Mils, Sorghos + Brachiaria R. Stylosanthes G.	Très facile	• SD(7 - 10) • Brachiaria R. (8 - 10)	Reprise Brachiaria total > 10	SP = 7 à > 10t ST = 6 à 8t	1500 - 4000 400 - 1200	Brachiaria Reste verte en saison sèche - reprise rapide après feu accidentel, pâture
Cynodon D. Tifton 85	Difficile coûteuse	Boutures	Estimations Fin-saison sèche > 8t/ha			• Biomasses vertes en saison sèche
Arachis P. Amarillo	Difficile coûteuse	Semences Boutures	Estimations Fin saison sèche > 6t/ha			• Reprise rapide après feu accidentel, pâture • Verte en saison sèche

SD = Semis Direct, SP = Semis Précocité, ST = Semis Tardif

(1) Mils, Sorghos, Eleusine C., d'alimentation humaine - Farines à haute valeur nutritive, sans tanins, riches en protéines (11-14%)
 - Mils CIRAD, Indiens
 - Sorghos Africains, CIRAD { + Semences disponibles { GROUPE MAEDA - Ilhéus/Brasília - SP
 AGRONORTE - Sorocaba, MT
 EMGOPA - Goiânia, GO

(2) Fonction du niveau de fertilité à cultiver

(3) Les pailles de Eleusine sont très riches en K (2,3%), Ca (1,2%), Mg (0,34%), S = (0,18%)
 Celles de Mils riches en K (2,6%)

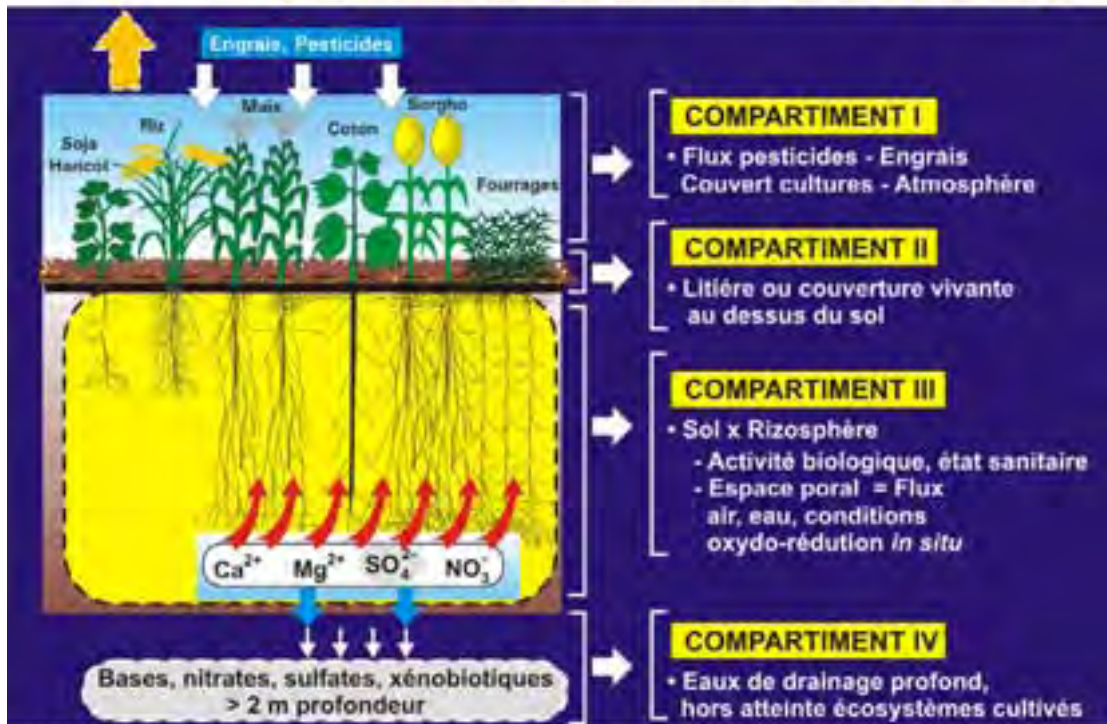
SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD CA - GEC; Agronorte, 1998

FIG. 126

QUALITÉ BIOLOGIQUE DU SOL, DES ALIMENTS, DES EAUX SOUS SCV

• **Modèle Scientifique Conceptuel**

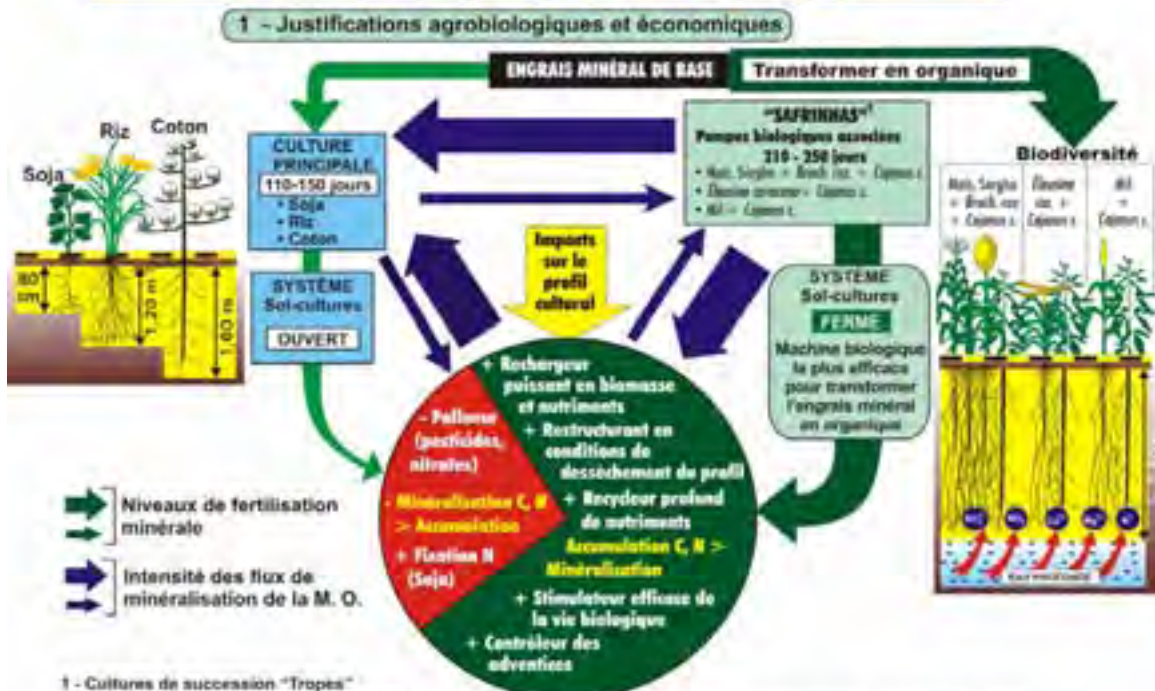
UN MODÈLE DE FONCTIONNEMENT AUTO-ÉPURATEUR?



SOURCE: L. Ségué, S. Bouzinac et al., UPR1, Gestion écosystèmes cultivés

FIG. 127

COMMENT FERTILISER LES SYSTÈMES DE CULTURE EN SEMIS DIRECT Sur couverture végétale permanente du sol (SCV)



1 - Cultures de succession "Tropes" avec minimum intrants ou sans intrants

SOURCE: L. Ségué, S. Bouzinac, CIRAD-CA/GEG - CODETEC, FAZENDA MOURÃO, GROUPE MAEDA, Goiânia-GO - 2003

FIG. 128

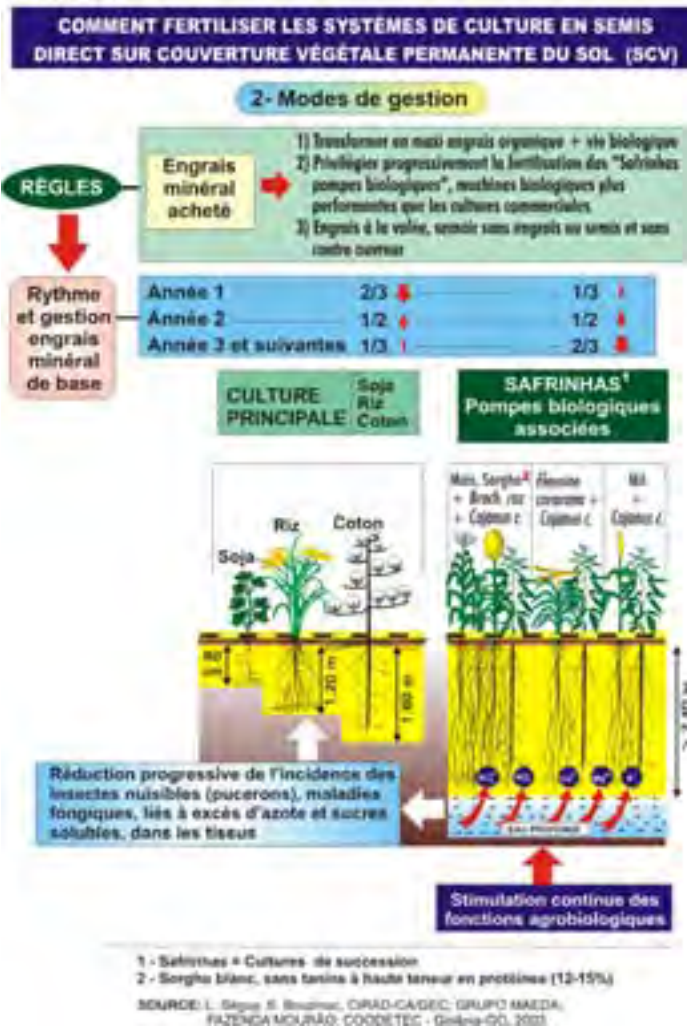


FIG. 129

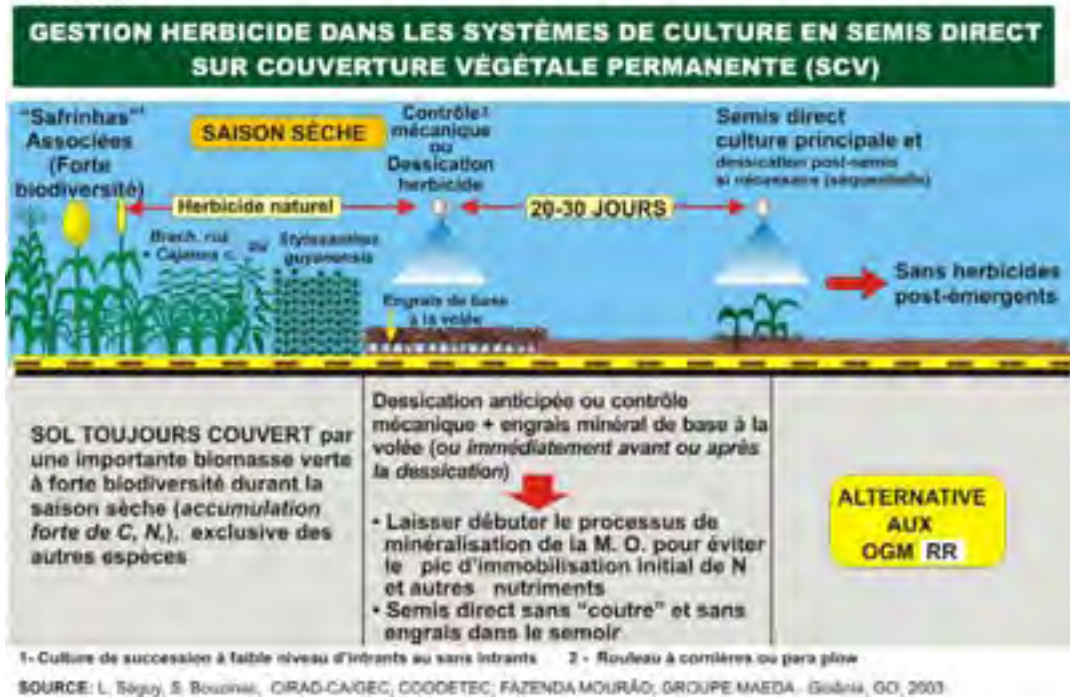
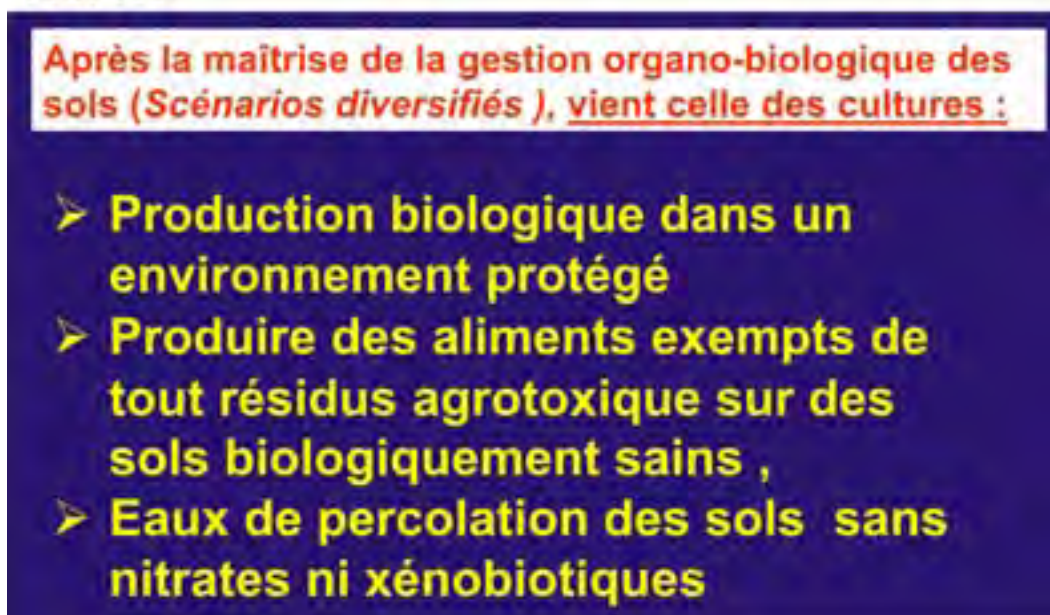


FIG. 130



3.2 SYNTHÈSE DES PRINCIPAUX RESULTATS

3.2.1 Sur la dynamique de dégradation et de résilience du patrimoine sol en ZTH³²

- **La dégradation des sols ferrallitiques sur roche acide** peut être très rapide en ZTH dès lors qu'un travail intensif du sol est pratiqué de manière continue et associé à des systèmes de culture très faibles pourvoyeurs de résidus annuels (*monoculture de soja*) : les pertes atteignent entre 40 et 60% du stock de carbone sur 10 ans ; sous TCS (*système "semi-direct"*), les pertes de carbone vont de - **0,6 à - 1,5 t/ha/an** en fonction du niveau de fumure : plus les résidus annuels sont faibles, le travail du sol intensif (*discages*) et le sol fragile (*sableux, sablo-argileux*), plus les pertes sont rapides et élevées.

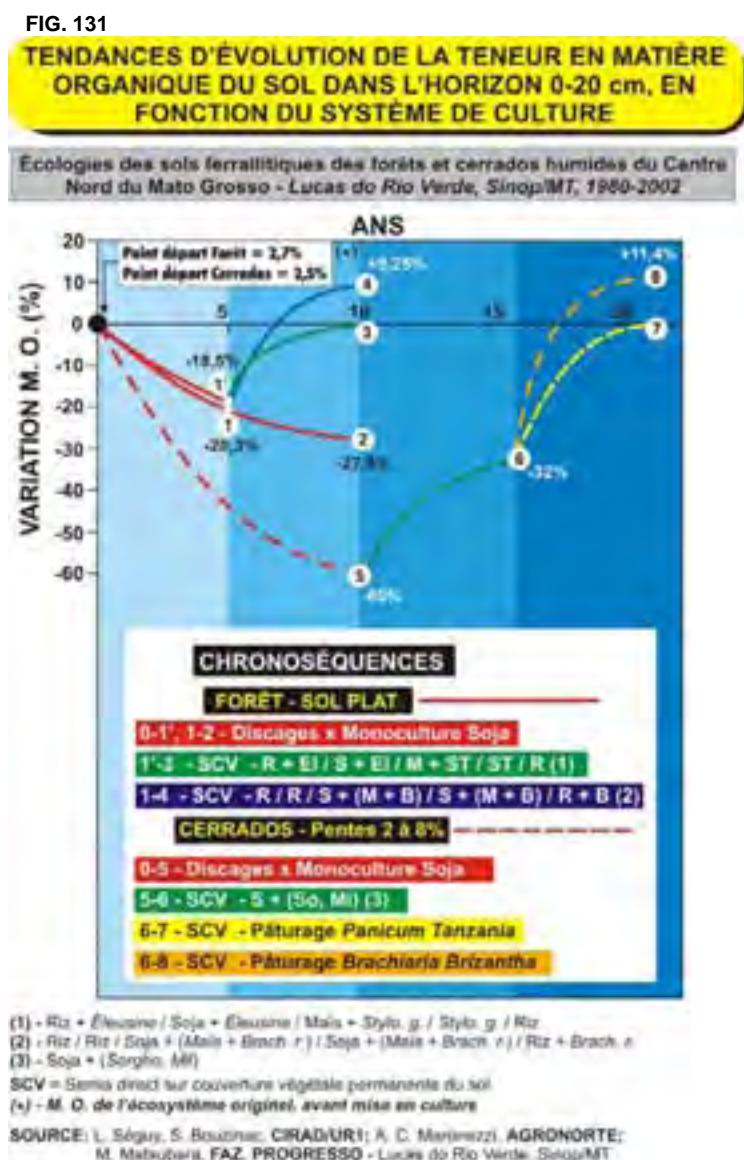
- **La récupération-régénération de la Matière Organique (M.O.)** et des propriétés physiques et biologiques (*agrégation*) peut être aussi rapide et importante que les pertes occasionnées par le travail intensif continu du sol, mais seulement dans le cadre de systèmes SCV très forts pourvoyeurs d'inputs carbonés annuels : il faut entre 10 et 15 t/ha/an d'entrées de résidus de matière sèche dans le système chaque année, en fonction du niveau de fumure minérale, pour maintenir un équilibre stable en carbone (*Fig.131 à 133*) ; comme sous forêt, la fertilité réside plus dans le fonctionnement du cycle biologique annuel de la phytomasse des SCV que dans le sol (*on peut donc s'affranchir ainsi rapidement de la fertilité initiale des sols*), comme l'ont montré les résultats obtenus aussi bien en écologies des Cerrados que des Forêts humides, quelle que soit la texture des sols (*entre 15% et plus de 60% de colloïdes*).

- **La dynamique d'évolution de la CEC suit strictement celle de la Matière Organique:** de forts inputs de matière sèche annuels, supérieurs à 20-25 t/ha/an dans les SCV les plus performants, augmentent rapidement la CEC, agrandissant ainsi la taille du "garde-manger" du complexe absorbant, son pouvoir de rétention des nutriments et sa fonction alimentaire.

³² ZTH = Zone Tropicale Humide.

- Les couverts végétaux qui utilisent de puissantes légumineuses telles que *Stylosanthes g.* (CIAT 184) et *Arachis p.* (couverture vivante du Riz, Maïs, Coton) sur une période de 18 à 24 mois dans les rotations SCV, favorisent un recyclage significativement plus efficace que les autres couverts, en P et K assimilables et en oligo-éléments : Mn, Zn et Cu, probablement, grâce à une mycorhization très active de leurs systèmes racinaires sous SCV qui pourrait expliquer aussi leur capacité de biorémédiation observée vis-à-vis des nématodes et des xénobiotiques (Doss D.D. et al., 1989).

- Ces lois de fonctionnement agronomiques relatives à l'impact des systèmes SCV sur la résilience des sols ferrallitiques dérivés de roches acides s'appliquent sans restriction aux sols ferrallitiques rouge foncés formés sur roche basique basaltique, très riches en colloïdes (> 60%), quoique avec une amplitude plus faible due à leur moindre susceptibilité à l'érosion, comme le montrent les résultats réunis dans les figures 134 à 135, obtenues dans l'écologie des Forêts tropicales du Sud de l'Etat du Goiás³³.



³³ Dans le cadre de la convention Groupe MAEDA/CIRAD entre 1994 et 2003.

FIG. 132

SIMULATION DU BILAN ANNUEL DE CARBONE (C) SUR 2 ROTATIONS EN SEMIS DIRECT (SCV), DANS L'ÉCOLOGIE DES SOLS FERRALLITIQUES DES FORÊTS HUMIDES DU CENTRE NORD DU MATO GROSSO - SINOP/MT - 1998/2002

1 - Succession annuelle continue: Soja + (Serges + Brachiaria ruzizensis)



Additions (A)	t ₀ (t ₀)		
	Niveau bas ¹	Niveau moyen ²	Niveau élevé ³
Matière Sèche (MS) annuelle (t/ha)	14,5 - 19,2	20,2 - 25,6	23,2 - 28,9
Addition C (t/ha)	6,55 - 8,64	9,08 - 11,52	9,99 - 13,9
$R_1 \times A$ ($R_1 = 0,29$)	+ 1,73 - 2,29	+ 2,41 - 3,02	+ 2,88 - 3,48
Stock C (t/ha)	27,5	27,5	27,5
$R_2 \times C^2$ ($R_2 = 2%$)	- 0,55	- 0,55	- 0,55
doit annuel	1,73 - 1,74	1,94 - 2,00	2,09 - 2,09
* doit réel mesuré sur 3 ans même succession	-	2,71	-
doit = 0			
Quantité minimum de résidu pour maintenir un équilibre stable (t/ha)	11,89 - 15,33	16,06 - 20,04	17,35 - 22,47

1 - $R_1 = 0,295$ (Sá et al., 2001)
 2 - $R_2 = 2%$ (adapté de Van Veen et Pardo, 1991 et Bégin, 1998) - Sol ferrallitique
 3 - Addition de C - doit: transformation E en M. S. $\Rightarrow C \times 100$
 4 - Niveau Bas: $230 \times 100 \text{ t}_0 + 120 \text{ t}_0$ sur Soja / $100 \times 100 \text{ t}_0 + 200 \text{ t}_0$ sur Soja
 Niveau Moyen: $150 \times 100 \text{ t}_0 + 150 \text{ t}_0$ sur Soja / $100 \times 100 \text{ t}_0 + 150 \text{ t}_0$ sur Soja
 Niveau Élevé: $85 \times 100 \text{ t}_0 + 150 \text{ t}_0$ sur Soja / $100 \times 100 \text{ t}_0 + 150 \text{ t}_0$ sur Soja
 Protection fongicide sur Riz
 SOURCE: L. Bégin, S. Rouhier, CIRAD-CAUR L. A. C. Mémorat. AGRONORTE, J. C. Moreau de SA. LEPO - Dourine-GD, Brésil, 2006.

FIG. 133

SIMULATION DU BILAN ANNUEL DE CARBONE (C) SUR 2 ROTATIONS EN SEMIS DIRECT (SCV), DANS L'ÉCOLOGIE DES SOLS FERRALLITIQUES DES FORÊTS HUMIDES DU CENTRE NORD DU MATO GROSSO - SINOP/MT - 1998/2002

2 - Rotation: Soja + (Éleusine + Cristalaria) / Riz + (Éleusine + Cristalaria)



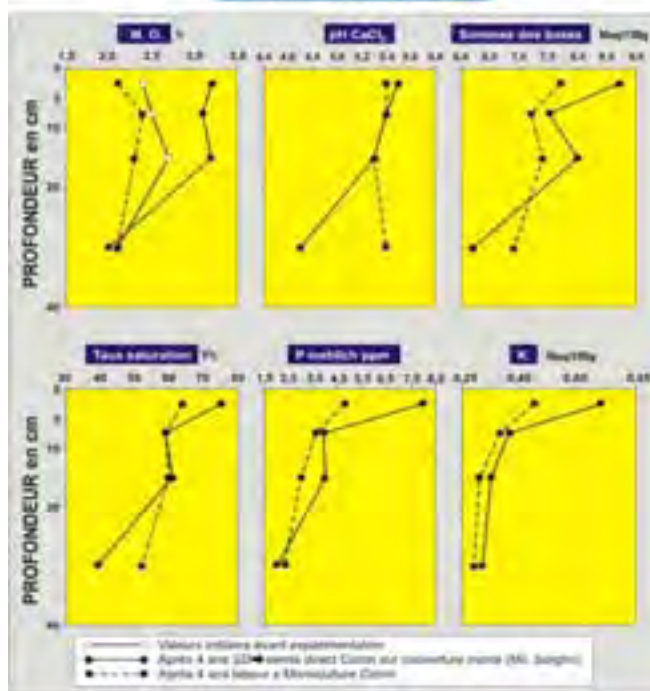
Additions (A)	t ₀ (t ₀)		
	Niveau bas ¹	Niveau moyen ²	Niveau élevé ³
Matière Sèche (MS) annuelle (t/ha)	12,1 - 17,1	16,7 - 23,6	21,6 - 27,1
Addition C (t/ha)	5,44 - 7,69	6,41 - 10,82	8,72 - 12,20
$R_1 \times A$ ($R_1 = 0,29$)	1,44 - 2,04	2,22 - 2,81	2,67 - 3,23
Stock C (t/ha)	27,5	27,5	27,5
$R_2 \times C^2$ ($R_2 = 2%$)	- 0,55	- 0,55	- 0,55
doit annuel	0,89 - 1,40	1,88 - 2,29	2,62 - 2,88
* doit réel mesuré sur 3 ans Sur 2 Riz + 1 Soja	-	-	3,5
doit = 0			
Quantité minimum de résidu pour maintenir un équilibre stable (t/ha)	10,11 à 13,77	14,99 à 16,57	17,11 à 21,15

1 - $R_1 = 0,295$ (Sá et al., 2001)
 2 - $R_2 = 2%$ (adapté de Van Veen et Pardo, 1991 et Bégin, 1998) - Sol ferrallitique
 3 - Addition de C - doit: transformation E en M. S. $\Rightarrow C \times 100$
 4 - Niveau Bas: $230 \times 100 \text{ t}_0 + 120 \text{ t}_0$ sur Riz / $100 \times 100 \text{ t}_0 + 200 \text{ t}_0$ sur Soja
 Niveau Moyen: $150 \times 100 \text{ t}_0 + 150 \text{ t}_0$ sur Riz / $100 \times 100 \text{ t}_0 + 150 \text{ t}_0$ sur Soja
 Niveau Élevé: $85 \times 100 \text{ t}_0 + 150 \text{ t}_0$ sur Riz / $100 \times 100 \text{ t}_0 + 150 \text{ t}_0$ sur Soja
 Protection fongicide sur Riz
 SOURCE: L. Bégin, S. Rouhier, CIRAD-CAUR L. A. C. Mémorat. AGRONORTE, J. C. Moreau de SA. LEPO - Dourine-GD, Brésil, 2006.

FIG. 134

ÉVOLUTION DES PROPRIÉTÉS CHIMIQUES DES SOLS FERRALLITIQUES ROUGE - FONCE SUR BASALTE SOUMIS À DIFFÉRENTS SYSTÈMES DE CULTURE À BASE DE COTON PENDANT 4 ANS - Fazenda Canadá - Portairão, GO - 1995/99

SOLS ÉRODÉS DE BAS DE PENTE

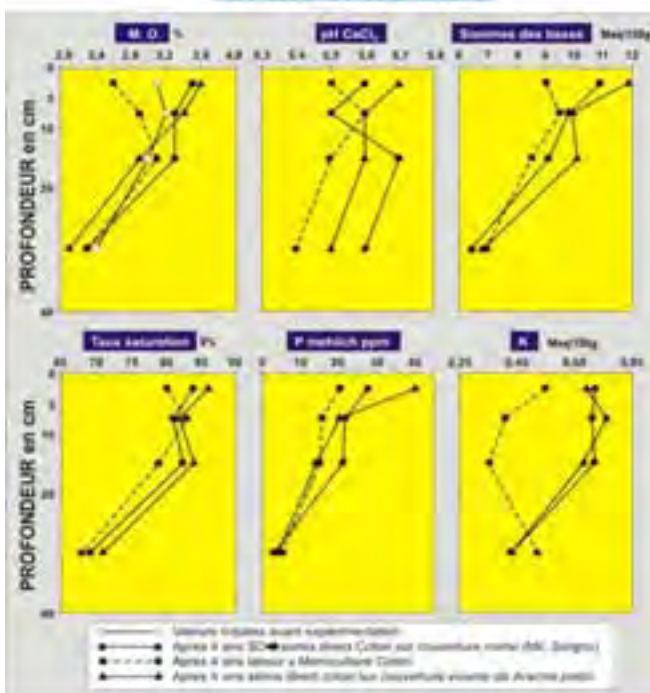


SOURCE: L. Jilgus, E. Bruchini, CIRAD/CA, (Groupe Matière) 1999.

FIG. 135

ÉVOLUTION DES PROPRIÉTÉS CHIMIQUES DES SOLS FERRALLITIQUES ROUGE - FONCE SUR BASALTE SOUMIS À DIFFÉRENTS SYSTÈMES DE CULTURE À BASE DE COTON PENDANT 4 ANS - Fazenda Canadá - Portairão, GO - 1995/99

SOLS PEU ÉRODÉS DE MI - PENTE



SOURCE: L. Jilgus, E. Bruchini, CIRAD/CA, (Groupe Matière) 1999.

3.2.2 Sur la productivité de phytomasse annuelle et l'optimisation du fonctionnement des relations Sols-Cultures : Les voies de la production propre dans un environnement protégé

- **La synthèse de l'évolution des performances de productivité des systèmes en phytomasse** qui intègre les différentes étapes de transformation des systèmes de culture en partant des sols dégradés de la ZTH entre 1987 et 2002, est réunie dans les **figures 136 à 146**, qui montrent comment la productivité de phytomasse totale annuelle a été progressivement **multipliée par 3** en moins de 20 ans sous l'effet combiné de niveaux de fumure minérale différenciées (*correction massive ou immédiate de la fertilité et niveaux de correction progressive*) et de l'intensification des systèmes : modes de travail du sol évolutifs croisés avec des systèmes à une seule culture annuelle au départ, puis à 2 cultures en succession annuelle alternées avec une seule culture l'année suivante, puis à 2 cultures et à 3 cultures en succession annuelle à partir de l'introduction de *Brachiaria ruziziensis* en association avec des cultures de "safrinhas" : Maïs, Sorgho ou Mil pratiquées en succession annuelle des cultures principales Soja ou Riz.
- **Le niveau des inputs de matière sèche annuelle**, qui n'a cessé d'augmenter (*biomasses végétative aérienne hors grains + racinaire*), est compris, dans les meilleurs SCV, entre 15 et 28 t/ha/an en fonction de la nature du système et du niveau de fumure minérale, et se situe dans tous les cas très nettement au-dessus du seuil minimal pour maintenir un équilibre stable en carbone dans un profil de sol toujours couvert en surface (*entre 10 et 15 t/ha de matière sèche en fonction du niveau de fumure*), ce qui permet de conserver des conditions de température modérées et stables qui entraînent un faible taux annuel de minéralisation de la M.O. (K_2 voisin de 2%).
- **La productivité de grains est étroitement corrélée à la quantité de phytomasse sèche recyclée** tous les ans sous SCV dans tous les compartiments : biomasses totale, végétative, aérienne et racinaire et par voie de conséquence au stock de carbone des horizons de surface (0 - 20 cm et 20 - 40 cm) (**Fig. 141 à 146**).
- **La productivité maximum de soja** est toujours obtenue sur les plus puissants couverts végétaux à dominance de graminées ; ce sont les SCV : Soja ou Riz + (Sorgho ou Maïs + *Brachiaria ruzi.*) en succession, Soja ou Riz + (*Eleusine coracana*) et Soja ou Riz + (*Eleusine cor.* + *Crotalaria spectabilis* ou *Cajanus cajan*)
Pour le riz pluvial, les rendements maximums sont enregistrés sur les plus puissants couverts incluant des légumineuses fixatrices d'azote (*Crotalaria spect.*, *Cajanus c.*, *Stylosanthes g.*) associées à des graminées à système racinaire fortement restructurant (*création d'une forte macroporosité*) et également fixatrices d'azote (*bactéries libres*) telle que l'*Eleusine coracana*.
- **Les rendements de soja sur ces meilleurs SCV** sont régulièrement compris **entre 3.600 et 4.400 kg/ha** depuis le début des années 1990 en fonction du cycle des variétés et sans utilisation de fongicides jusqu'en 2002. Ceux du **riz pluvial** à qualité de grain supérieure (*niches économiques*), **entre 4.000 et plus de 8.000 kg/ha**, les années climatiques les plus favorables (**Fig. 147 à 152**).
- **La productivité du Coton de haute technologie** se situe **entre 4.000 et Plus de 5.000 kg/ha** sur les SCV les plus performants qui réunissent quantité de phytomasse annuelle et biodiversité fonctionnelle élevée.
- **La preuve est faite**, dans toutes les écologies de la ZTH du Brésil Central que les SCV les plus forts pourvoyeurs de biomasse qui possèdent une forte multifonctionnalité efficace, transforment et régénèrent rapidement les sols par voie organo-biologique en leur conférant

une grande capacité à produire en présence de faibles niveaux de fumure minérale (*Cas du soja et du coton sur sols de textures variables*) ; ce résultat permet de réduire progressivement et significativement la fumure annuelle pour maintenir des niveaux de rendement élevés ; en outre, ces SCV les plus performants conduisent à une utilisation beaucoup plus modérée des herbicides, le couvert permanent du sol constituant l' "herbicide naturel" le plus efficace (*couvert de Sorgho + Brachiaria ruzi., couvertures vivantes, par exemple*). La réduction significative et rapide de l'incidence des nématodes phytophages (*genres Meloidogyne et Pratylenchus en particulier*) alliée à une capacité de phytoremédiation élevée vis-à-vis des pollutions par les xénobiotiques sont également des fonctions naturelles à mettre à l'actif de ces SCV les plus performants (*association Eleusine cor. + Crotalaria spect., par exemple*) qui garantissent un fonctionnement sain des relations Sols-Cultures.

Au total, cette multifonctionnalité biologique, gratuite et cumulative des SCV permet de réduire progressivement très significativement les coûts de production des cultures principales et des cultures de succession de "safrinhas".

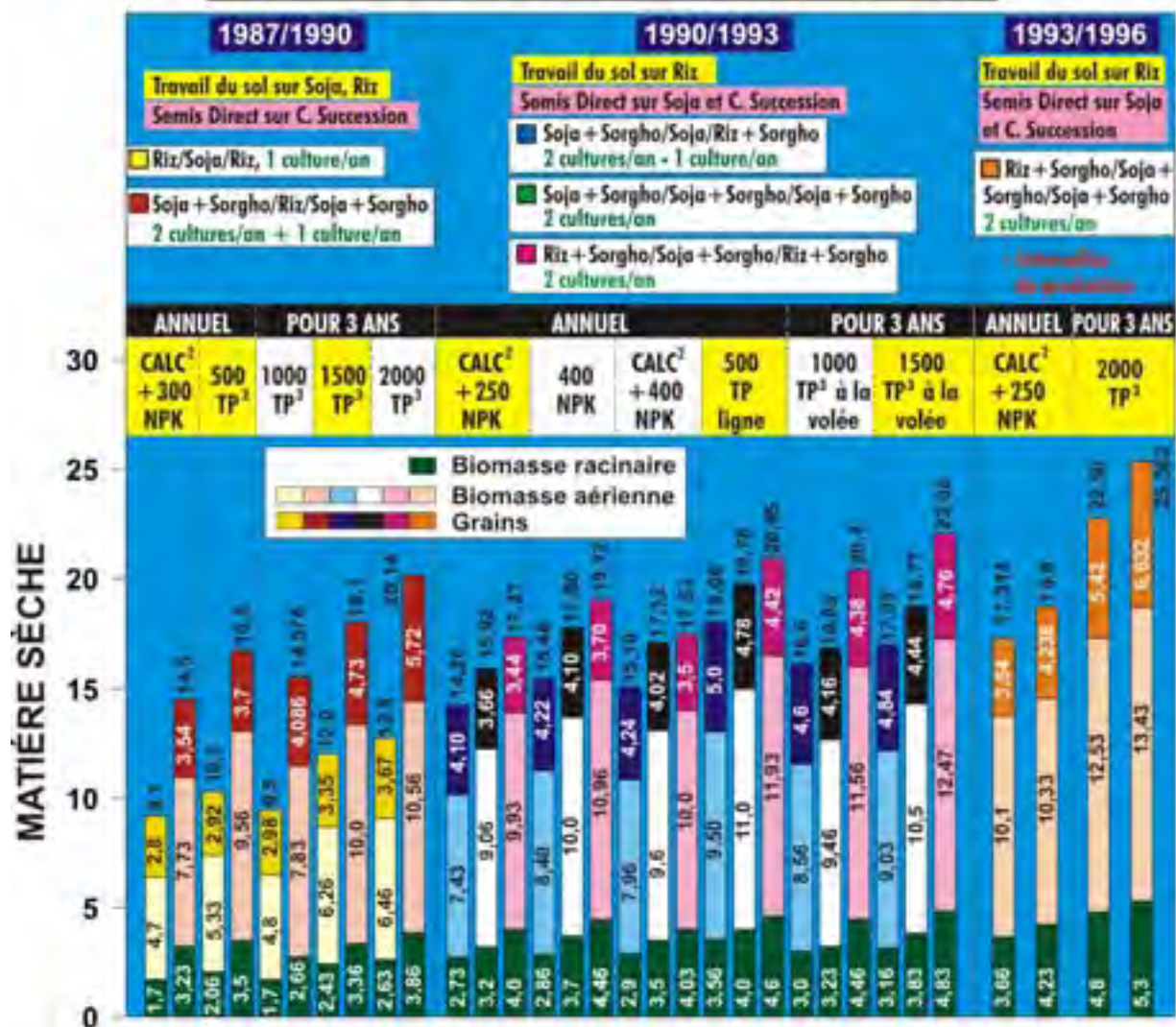
Enfin, ces systèmes SCV les plus performants sont les seuls qui, dans l'état actuel de nos connaissances, garantissent des productions (*grains, fibres*) et des sols «propres », exempts de résidus agrottoxiques (*dans la limite des capacités d'analyse*), ouvrant la voie à une gestion allégée en molécules chimiques de synthèse, qui pourraient être substituées progressivement par des molécules organiques³⁴ moins polluantes pour l'environnement et les productions, conférant ainsi à ces dernières une forte valeur ajoutée, exploitable sur les marchés intérieur et international (*Fig. 153 et 154*).

³⁴ **Produits organiques ELVISEM**- Ils comprennent : Un activateur de microflore avant semis, un traitement organique de semences, de l'Humus liquide, un insecticide à base de Neem et un éliciteur.

FIG. 136

PRODUCTION¹ DE BIOMASSE MOYENNE ANNUELLE (aérienne, racinaire et grains) EN FONCTION DE L'ÉVOLUTION, PAR ÉTAPE DE 3 ANS, DES SYSTÈMES DE CULTURE - 1987/1996

Écologie des sols ferrallitiques des cerrados humides du Centre Nord Mato Grosso - Lucas do Rio Verde - MT



1 - Dispositif conduit en conditions d'exploitation réelles mécanisées

- 6ha/niveau de fumure - Traitement Principal: Niveau de fumure - Sous parcelles: Rotations
- Composantes du rendements, incidence des maladies, des ravageurs, des adventives, analyses de fertilité des sols, sont réalisés sur les diagonales des parcelles: 6 à 8 échantillons tirés au hasard/système de culture et niveau de fumure

(*) $\left[\begin{array}{l} \text{Biomasse aérienne mesurée sur 3 échantillons de } 10\text{m}^2 \\ \text{Biomasse racinaire: moyenne de 3 échantillons } 0,4 \times 0,4 \times 0,4\text{m} \end{array} \right] / \left[\begin{array}{l} \text{Système x} \\ \text{niveau fumure} \end{array} \right] \text{ à la floraison des cultures}$

2 - CALC = Calcaire dolomitique pour maintenir V% > 40 - NPK (Soja: 02-20-20; Riz: 04-20-20)

N couverture sur Riz: 65 à 85N/ha - Sorgho sans engrais

3 - TP = Thermophosphate Yoorin BZ + Gypse (600 kg/ha/3ans)

SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA; M. Matsubara, Fazenda Progresso; Cooperlucas - Lucas do Rio Verde/MT, 1987/1996

FIG. 137

ÉVOLUTION DE LA PRODUCTIVITÉ MOYENNE ANNUELLE DE BIOMASSE (aérienne, racinaire et grains) EN FONCTION DES PROGRÈS AGRONOMIQUES DES SYSTÈMES DE CULTURE, SOUMIS À 3 NIVEAUX DIFFÉRENCIÉS D'INTENSIFICATION

Écologie des sols fertilités des semenciers et terres humides du Centre Nord Mato Grosso-Lucas do Rio Verde, Sinop/MT, 1987/2002

I - NIVEAU BAS

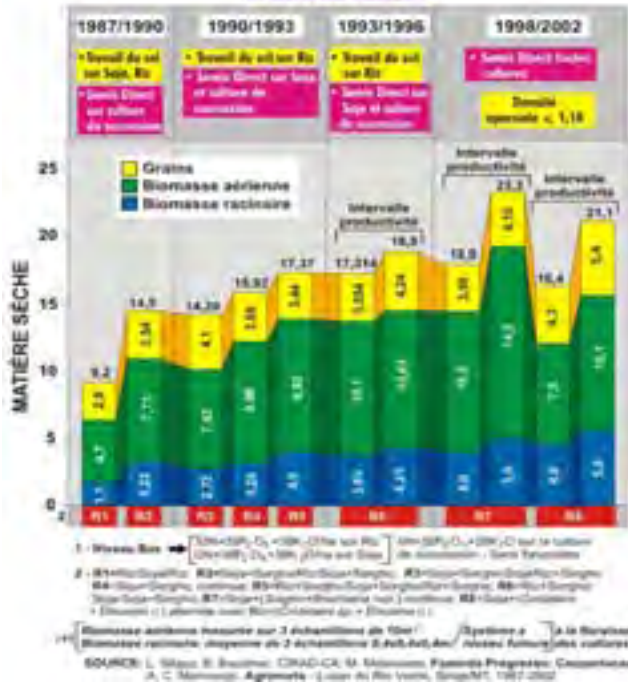


FIG. 138

ÉVOLUTION DE LA PRODUCTIVITÉ MOYENNE ANNUELLE DE BIOMASSE (aérienne, racinaire et grains) EN FONCTION DES PROGRÈS AGRONOMIQUES DES SYSTÈMES DE CULTURE, SOUMIS À 3 NIVEAUX DIFFÉRENCIÉS D'INTENSIFICATION

Écologie des sols fertilités des semenciers et terres humides du Centre Nord Mato Grosso-Lucas do Rio Verde, Sinop/MT, 1987/2002

II - NIVEAU MOYEN

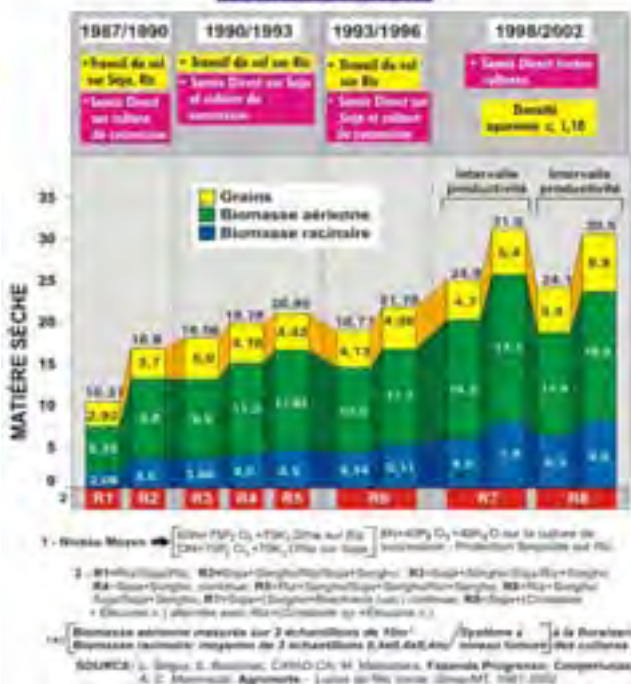


FIG. 139

EVOLUTION DE LA PRODUCTIVITE MOYENNE ANNUELLE DE BIOMASSE (aérienne, racinaire et grains) EN FONCTION DES PROGRES AGRONOMIQUES DES SYSTEMES DE CULTURE, SOUMIS A 3 NIVEAUX DIFFERENCIÉS D'INTENSIFICATION

Écologie des sols ferrallitiques des savanes et forêts humides du Centre Nord Mato Grosso - Lucas do Rio Verde et Sinop/MT, 1987/2002

III - NIVEAU ELEVE¹

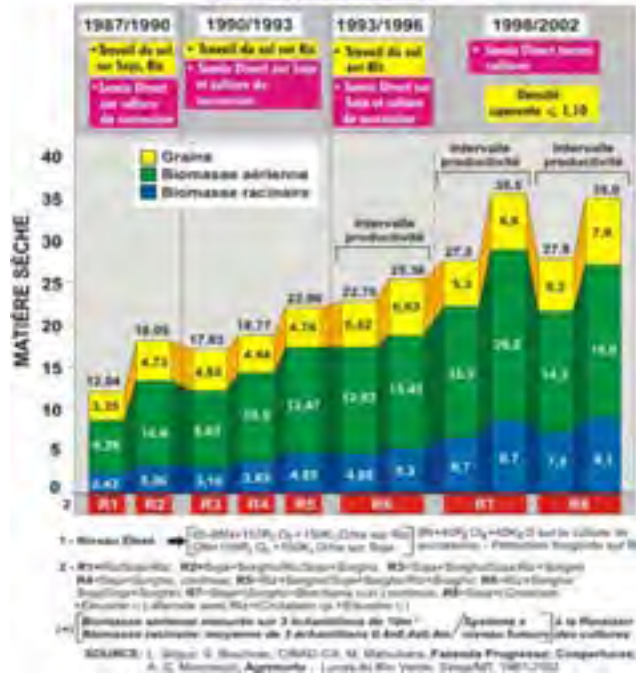


FIG. 140

INTERVALLES DE PRODUCTIVITE MOYENNE ANNUELLE DE GRAINS, BIOMASSE TOTALE (aérienne + racinaire), SUR 4 ANS, DANS LES MEILLEURS SYSTEMES SCV EN FONCTION DU NIVEAU D'INTENSIFICATION

Écologie des sols ferrallitiques des forêts humides du Centre Nord Mato Grosso - Sinop/MT, 1998-2002

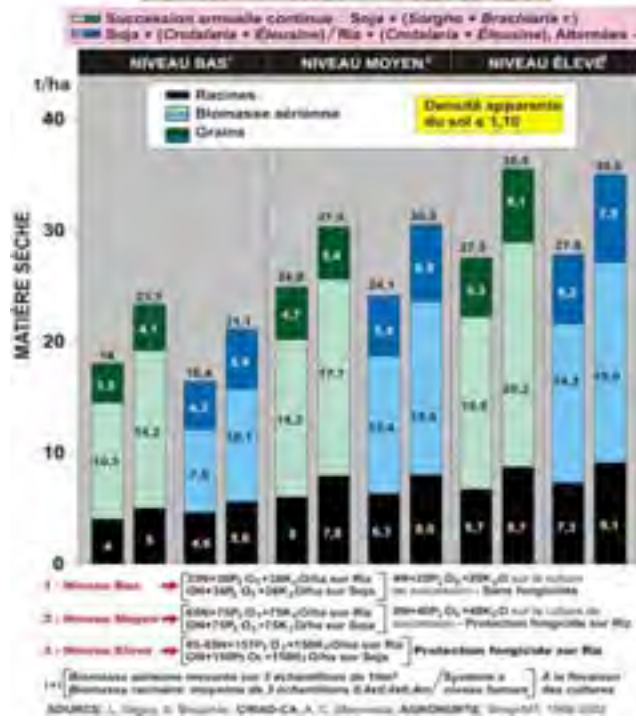


FIG. 141

RÉGRESSIONS "PRODUCTIVITÉ MOYENNE ANNUELLE DE GRAINS x BIOMASSE TOTALE (B_T)", EN FONCTION DES PROGRÈS AGRONOMIQUES DES SYSTÈMES DE CULTURE SOUMIS À 3 NIVEAUX D'INTENSIFICATION

Écologie des sols ferrallitiques des cerrado et forêts humides du Centre Nord Mato Grosso- Lucas do Rio Verde et Sinop/MT, 1990/2002

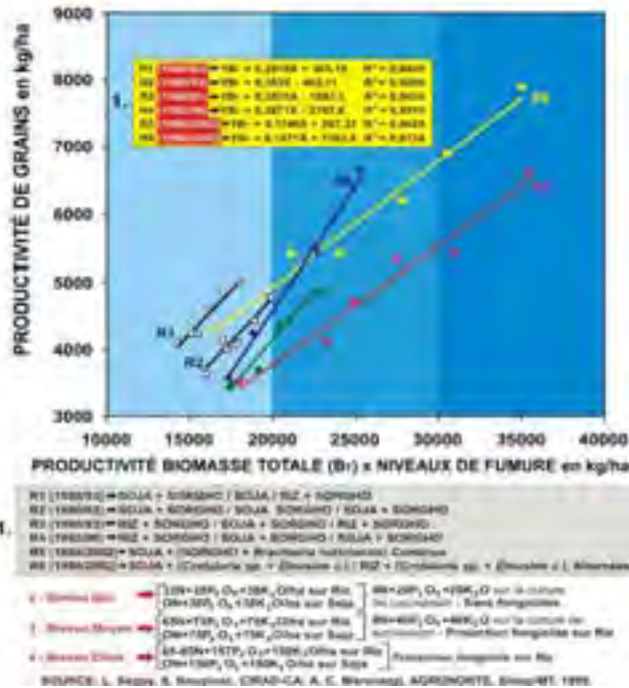


FIG. 142

RÉGRESSIONS "PRODUCTIVITÉ MOYENNE ANNUELLE DE GRAINS x BIOMASSE AÉRIENNE (B_A)", EN FONCTION DES PROGRÈS AGRONOMIQUES DES SYSTÈMES DE CULTURE SOUMIS À 3 NIVEAUX D'INTENSIFICATION

Écologie des sols ferrallitiques des cerrado et forêts humides du Centre Nord Mato Grosso- Lucas do Rio Verde et Sinop/MT, 1990/2002

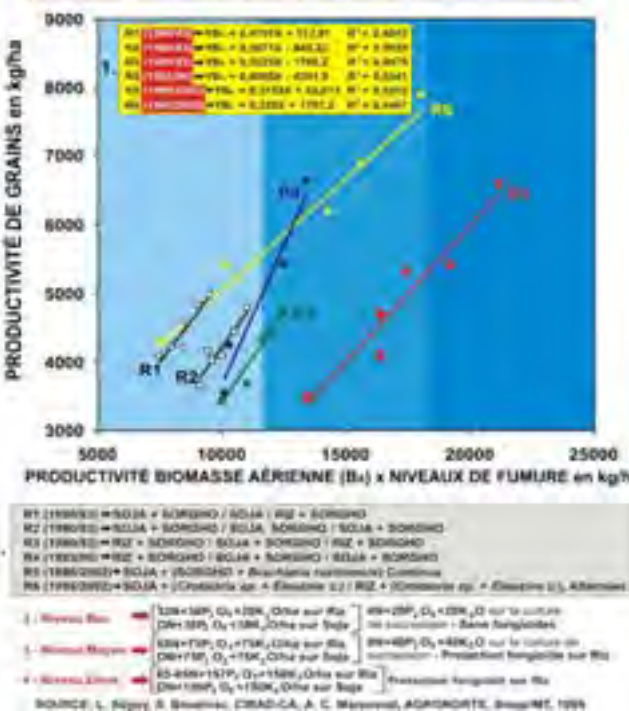


FIG. 143

RÉGRESSIONS "PRODUCTIVITÉ MOYENNE ANNUELLE DE GRAINS x BIOMASSE RACINAIRE (B_{rac})", EN FONCTION DES PROGRÈS AGRONOMIQUES DES SYSTÈMES DE CULTURE SOUMIS À 3 NIVEAUX D'INTENSIFICATION

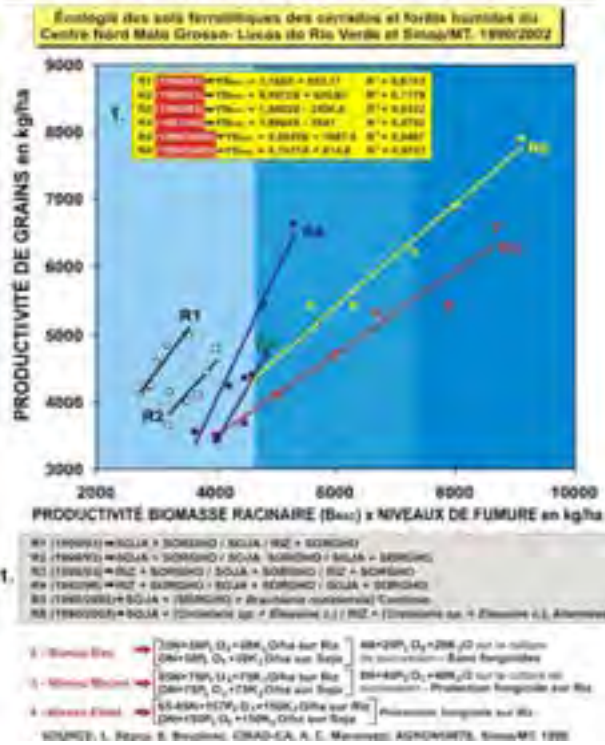


FIG. 144

RÉGRESSIONS "PRODUCTIVITÉ MOYENNE ANNUELLE DE GRAINS x BIOMASSE AÉRIENNE + RACINAIRE (B_{a+rac})", EN FONCTION DES PROGRÈS AGRONOMIQUES DES SYSTÈMES DE CULTURE SOUMIS À 3 NIVEAUX D'INTENSIFICATION

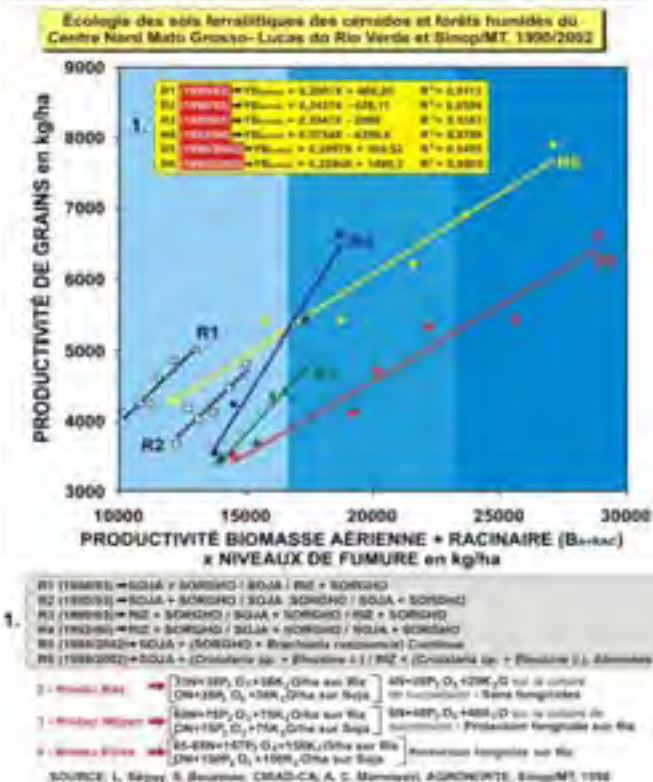


FIG. 145

SYNTHÈSE DE L'ÉVOLUTION DE LA PRODUCTION DE BIOMASSE SÈCHE ANNUELLE SUR 20 ANS, EN FONCTION DE LA NATURE DES SYSTÈMES DE CULTURE: BIOMASSE TOTALE, GRAINS, BIOMASSE AÉRIENNE HORS GRAINS, BIOMASSE RACINAIRE

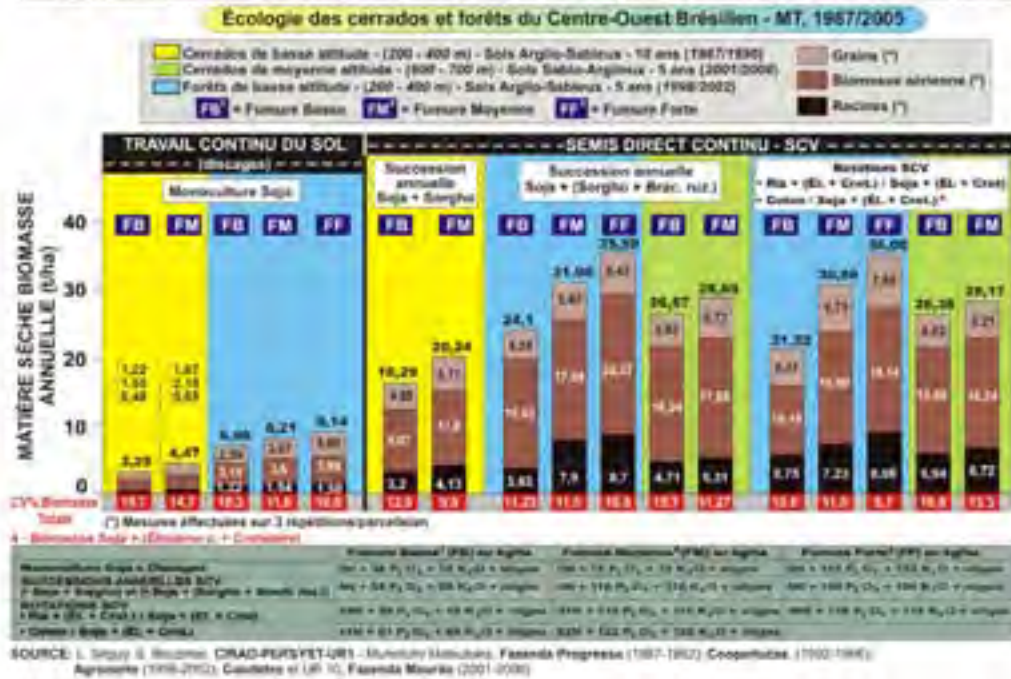


FIG. 146

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)

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

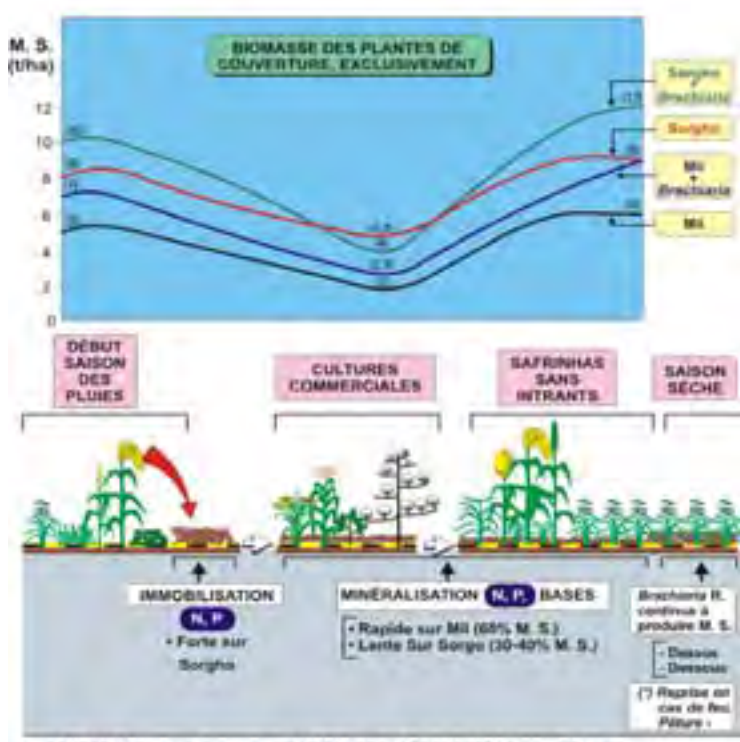


FIG. 147 SYNTHÈSE DES ESSAIS MULTI-RÉGIONAUX D'ÉVALUATION VARIÉTALE RIZ DE CYCLE COURT (90-110 jours) POUR ET DANS DIVERS SYSTÈMES DE CULTURE, ENTRE 1998 et 2002 - (Nord et Centre Brésil)

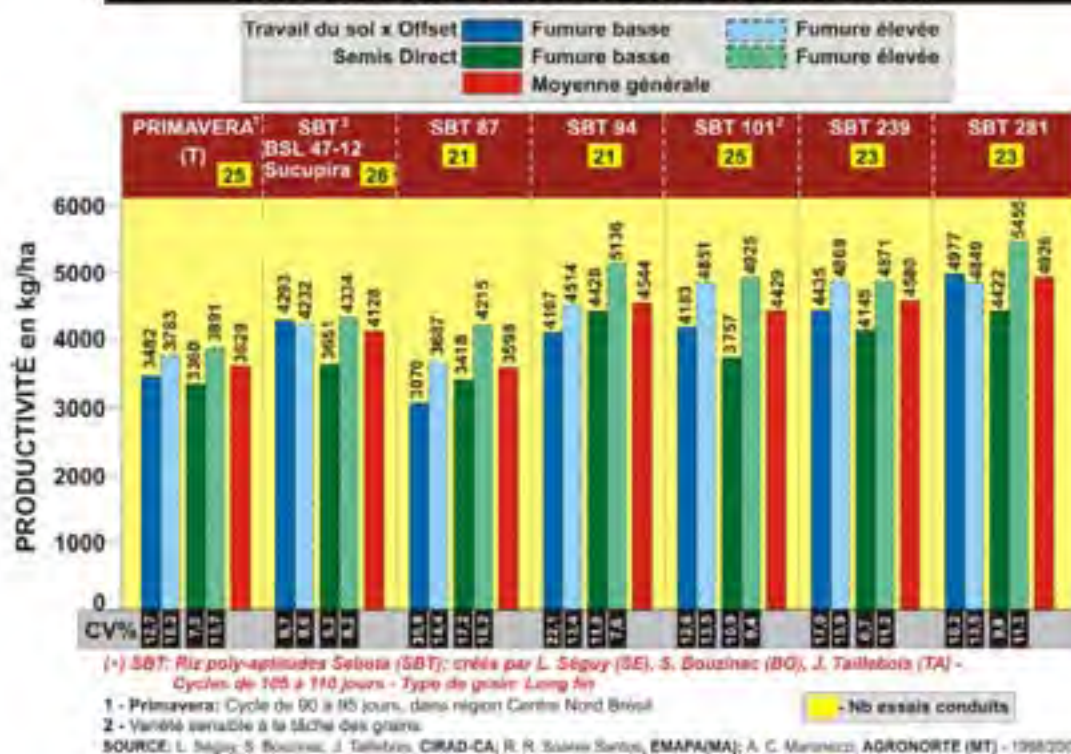


FIG. 148 SYNTHÈSE DES ESSAIS MULTI-RÉGIONAUX D'ÉVALUATION VARIÉTALE RIZ DE CYCLE MOYEN (120-130 jours) POUR ET DANS DIVERS SYSTÈMES DE CULTURE, ENTRE 1998 ET 2002 - (Nord et Centre Brésil)

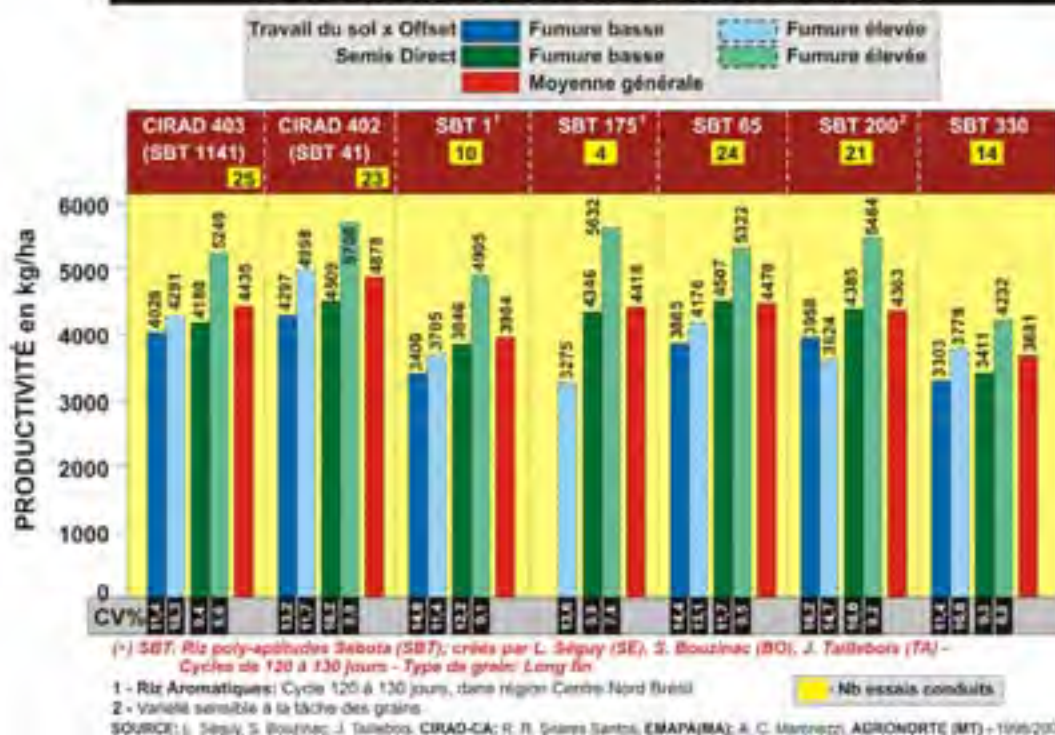
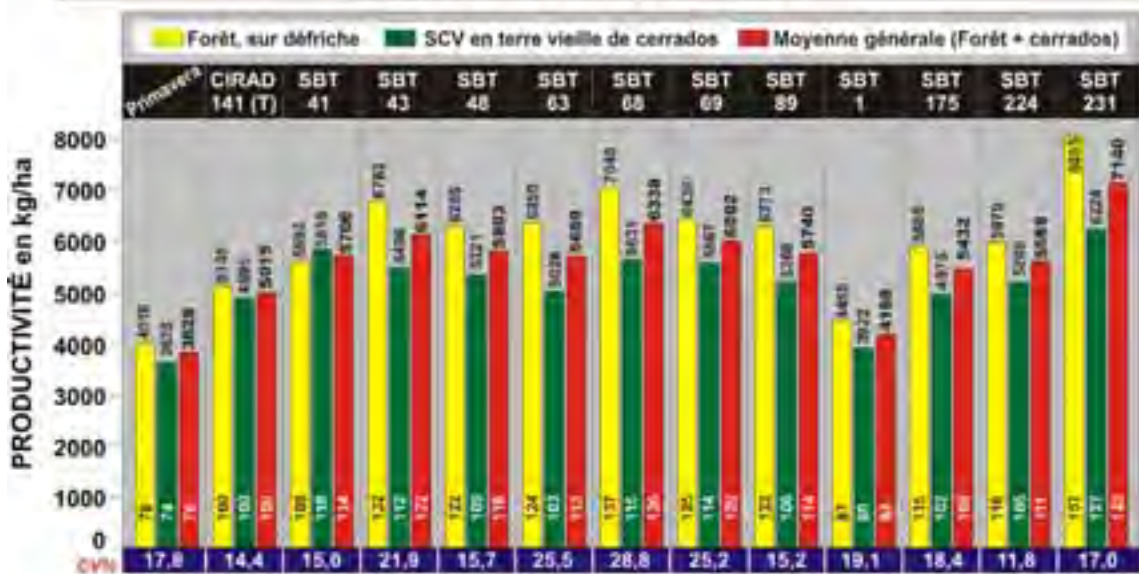


FIG. 149

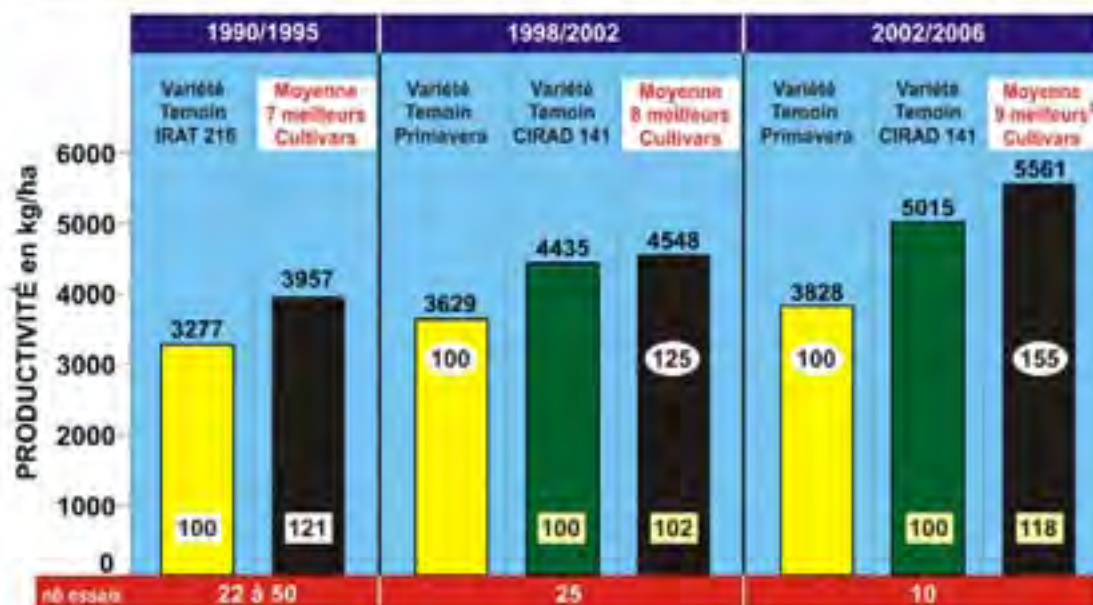
PRODUCTIVITÉS MOYENNE¹ ET RELATIVE DES 13 MEILLEURES VARIÉTÉS DE RIZ POLY-APTITUDES EN ZONES DE FORÊT SUR DÉFRICHE (Sol travaillé) ET DES CERRADOS SUR TERRE DE VIEILLE CULTURE EN SEMIS DIRECT (SCV) - Sinop et Campo Verde - 2004/2006 -MT



1. Moyenne générale de tous les essais variétaux (5) et des évaluations en grande culture (5) = 5501 kg/ha
 - Niveaux de fertilisation minérale: 40 à 80N + 80P, C₂ + 80K, C₃ + cagão E/ha
 - Sans herbicide ni fongicide sur défriche de forêt, herbicides, sans fongicide, sur SCV en terre vieille.
 SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, J. Taillebois - UR1 et UR6 du CIRAD; G. L. da Costa, L. Dalvi Nira, Fazenda Mourão, J. Saucedo, Cerealisnet, Sinop et Campo Verde - MT, 2004/2006

FIG. 150

ÉVOLUTION DES PERFORMANCES DU RIZ PLUVIAL¹ DANS LES SYSTÈMES DE CULTURE MÉCANISÉS DU BRÉSIL CENTRAL² ET DU NORD³ ENTRE 1990 ET 2006



Productivités relatives
 1. Créations du CIRAD-CA (L. Séguy, S. Bouzinac, J. Taillebois), dont Riz Sebotas Poly-Aptitudes à partir de 1998
 2. États du Mato Grosso, Goiás, Piauí et Maranhão
 3. Dominance phénotypes indicas à partir de 1998
 SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, J. Taillebois, CIRAD-CA/UR1 et UR6; Partenaires Brésiliens: M. Matsubara, Cooperfucos, Conselho Agrário, Prefeitura Sinop, Cerealisnet, Emapa (R. R. Soares Santos), Sulentr - 1000/2006 - Goiânia, GO

FIG. 151

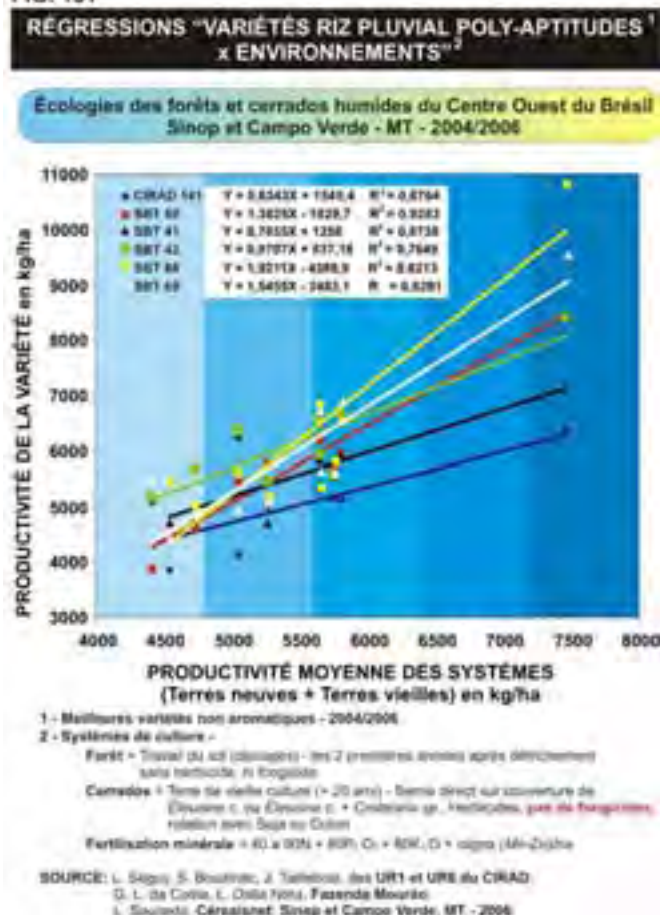


FIG. 152

RENDEMENTS À L'USINAGE DE VARIÉTÉS DE RIZ POLY-APTITUDES SEBOTAS ISSUES DE SEMIS DIRECT SCV SUR COUVERTURE MORTE DE *Elysiene coracana*, EN CONDITIONS PLUVIALES ET EN TERRE DE VIEILLE CULTURE

Écologie des sols ferrallitiques des cerrados humides du Sud-Est du Mato Grosso - (700 m d'altitude) - Campo Verde-MT/2006

VARIÉTÉS	Rendement Grain (%)			Balles (%)	Son (%)	Ventre Blanc ¹	Apparence ² grain après usinage
	Total	Cassés	Entiers (CV %)				
1. Variétés aromatiques							
SBT 26	71,7	21,7	50,0 (6,9)	24,7	3,6	2-3	+
SBT 175	71,5	8,9	62,5 (1,9)	25,3	3,2	0-1	++
SBT 224	72,5	5,2	67,3 (1,3)	23,5	4,0	0	++++ ³
SBT 265	71,6	14,7	56,9 (1,7)	25,4	3,0	2	+
SBT 270	70,6	14,0	56,6 (5,0)	26,2	3,2	0	++++ ⁴
2. Variétés non aromatiques							
SBT 43	71,8	9,5	62,3 (2,1)	26,0	2,5	0	+++
SBT 48	71,7	11,9	59,8 (1,7)	25,2	3,1	0	+++
SBT 63	70,6	13,4	57,2 (1,4)	26,0	3,4	0	+++
SBT 70	69,7	4,6	65,1 (1,9)	27,0	3,3	0	+++
SBT 89	74,9	3,7	71,2 (1,7)	22,0	3,1	0	++++ ¹
SBT 134	69,5	7,8	61,7 (1,4)	27,5	3,0	0	++
SBT 334	71,3	8,8	62,5 (0,6)	25,0	2,7	2-3	+
INT. 84	71,1	3,6	67,5 (1,0)	26,5	2,4	1-2	++
INT. 223	73,2	9,2	64,0 (1,8)	23,3	3,5	0	+++
INT. 231 (mutant SBT)	74,1	14,0	60,1 (3,8)	23,6	2,3	1-2	++
CIRAD 141 (Témoin - T)	72,8	16,0	57,6 (3,8)	24,2	3,0	0	+++

1. Notes de 0 (jaune) à 5 (80-100% des grains) - CV%: 5 à 6 répétitions/culture, excepté CIRAD 141 avec 23 répétitions.
 2. ++++: exceptionnelle; +++: Très belle; ++: belle; +: moyenne.
 3. Rendement à l'usinage très élevé; très beau grain long fin, translucide. 4. Riz très fin (aiguille) rare, avec très bon arôme.
 SOURCE: Projet FACUAL/CIRAD/FAZ. MOURÃO - Équipe CIRAD: J. L. Séguy, J. Martin, L. Séguy, S. Bouchnac
 Fazenda Mourão: G. L. da Costa, L. Dalla Nora, Campo Verde, MT/2006

FIG. 153 SYSTÈMES DE CULTURE DIVERSIFIÉS DE LA ZTH, EN SEMIS DIRECT
 → Intégration: Productions alimentaires, industrielles et élevage

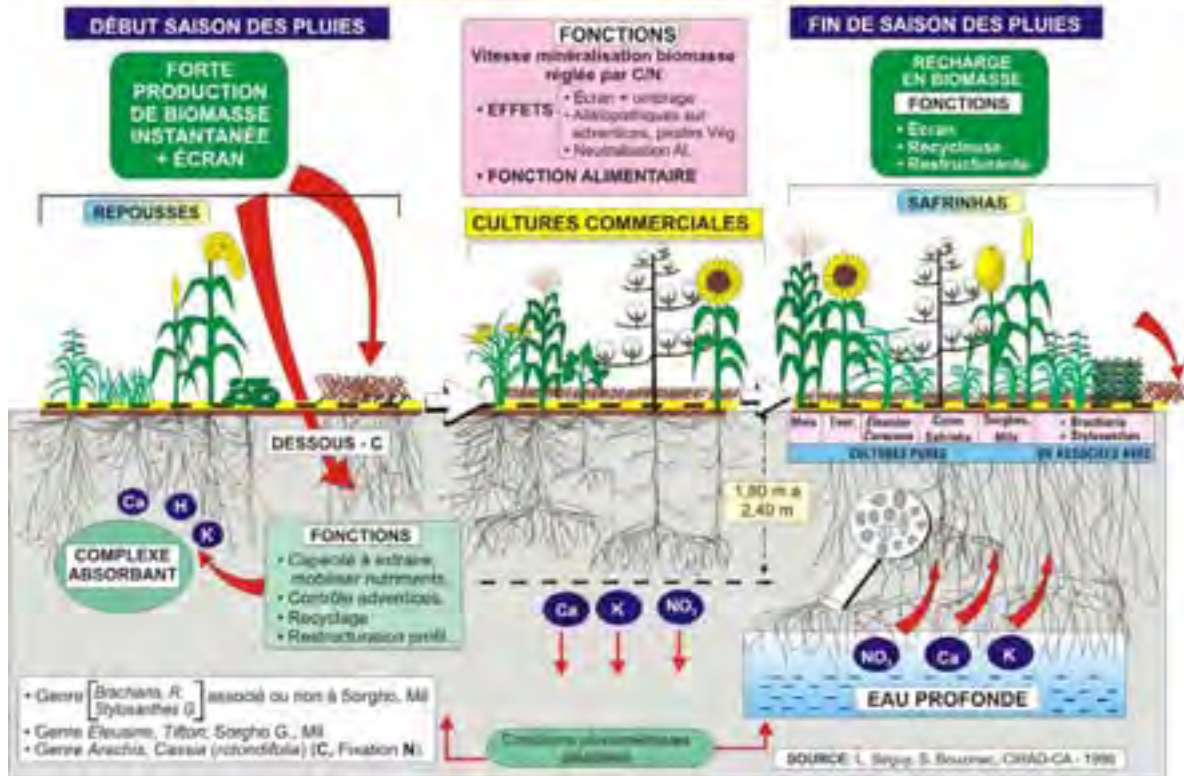


FIG. 154

MEILLEURES BIOMASSES COMME PRÉCÉDENTS POUR TOUTES LES CULTURES EN SEMIS DIRECT: SOJA, RIZ, MAÏS, COTON, etc... IMPLANTÉES EN SEMIS DIRECT APRÈS SOJA DE CYCLE COURT (95-105 jours) OU INTERMÉDIAIRE (105-115 jours)

	Maïs ¹ + Brach. r.	Sorgho ¹ + Brach. r.	Eleusine ¹ coracana	Eleusine ¹ coracana + Cajanus cajan	Eleusine ¹ coracana + Crof. sp.	Brach. r. + Cajanus cajan	Maïs, Sorgho, Mil associés avec Brach. r. + Cajanus c.	Maïs, Sorgho, + Brach. r. + Stylosanthes	Sorgho, + Brach. r. + Crof. sp. + Sesamum l. + Sarrasin	Maïs, Sorgho, + Eleusine c. + Crof. sp. + Sesamum l. + Sarrasin
EFEITOS PRINCIPAIS²										
• Porosité	++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
• Carbone	++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
• Contrôle adventices	++	+++	++	++	+	+++	+++	+++	+++	+++
• Fixation N	-	-	+	+++	+++	++	++	++	++	+++
• Intégration Grains-Elevage	+++	+++	++	+++	-	+++	+++	+++	++	++
• Activité de la biomasse durant la saison sèche	++	++	-	++	+	+++	+++	+++	+++	+++
• Contrôle des Nématodes	+	+	+	+++	+++	++	++	++	+++	+++
• Phytore-médiation	+	+	+	+++	+++	+++	+++	++	+++	+++

Brach. r. = Brachiaria ruzizensis
 Crof. sp. = Cratichneum species

1 - Variétés CIRAD
 2 - ++ = bon, +++ = très bon, ++++ = excellent

SOURCE: AGRONORTE - CODETEC - CIRAD/CA - Goiânia, 2007

3.3 PERSPECTIVES

3.3.1 LES ENJEUX POUR UNE RECHERCHE SCIENTIFIQUE SOUCIEUSE DE S'ENGAGER et d'être acteur à part entière dans le développement avec l'ambition de répondre effectivement aux énormes défis posés par les grandes urgences : lutte contre la pauvreté, changement climatique, produire plus, dans un monde où les ressources naturelles se raréfient et où se profile déjà une pénurie alimentaire.

Diverses leçons peuvent être tirées de nos expériences de Recherche-Action au cœur des fronts pionniers du Sud du bassin amazonien et sur le réseau mondial tropical agro-écologie du CIRAD (*Réseau AFD/FFEM/CIRAD/Partenaires du Sud*) :

1. **Redonner toute l'importance qu'elle mérite à l'approche scientifique holistique, systémique et à la Recherche-Action**³⁵ comme démarche intégrée essentielle et efficace pour transformer rapidement les agricultures, en répondant simultanément à :
 - **La création des innovations systèmes de culture et de production**, de scénarios de développement durable appropriables, **au cœur des réalités** des agricultures dans une démarche multi-acteurs, et à des niveaux d'échelle convaincants (*unités de paysage, pour évaluer l'économie de l'environnement, mise au point d'indicateurs de durabilité*),
 - **L'optimisation continue des performances des systèmes** par une hiérarchisation continue et efficace de leurs composantes et contraintes les plus limitantes pour agir en temps réel sur leurs transformations au profit d'une agriculture diversifiée, durable et propre, respectueuse de l'environnement.
 - **La prévention agronomique et environnementale** en évaluant préalablement à leur diffusion à grande échelle, les impacts de ces scénarios de développement créés, sur l'environnement et la qualité des productions (*mise en pratique du principe de précaution*) ;
 - **La mise à la disposition de la Recherche scientifique thématique plus fondamentale** de dispositifs expérimentaux systématisés, pérennisés et bien maîtrisés, réunissant des scénarios très contrastés de développement au sein des réalités agricoles, véritables "laboratoires de veille scientifique", qui doivent servir à la fois la production continue de systèmes de culture toujours plus performants et appropriables par les agriculteurs et la production de connaissances scientifiques (*Mots-clefs : ingénierie écologique, écologie microbienne, fonctionnement agronomique, modélisation, optimisation des relations Génotype x Modes de gestion des sols et des cultures, etc. ...*).
2. **Rééquilibrer les investissements, les ressources financières** et humaines de la recherche **au profit des sciences de la nature** engagées dans l'action, pour, et dans le développement

³⁵ La Recherche-Action (RA) est une nouvelle forme de création du savoir dans laquelle les relations entre théorie et pratique, et entre recherche et action sont significativement étroites. La RA permet aux acteurs de construire des théories et hypothèses qui émergent du terrain, sont testées ensuite sur le terrain et entraînent les changements souhaités de la situation.

Selon Joël de Rosnay (1975) : l'approche systémique doit être perçue comme une nouvelle méthodologie permettant de rassembler et d'organiser les connaissances en vue d'une plus grande efficacité dans l'action. Elle favorise l'étude des problèmes dans leur totalité, leur complexité et leur propre dynamique.

« Deux approches possibles du monde : **L'approche réductionniste** (ou analytique, cartésienne) est une attitude qui consiste à réduire un système ou des phénomènes complexes à leurs composants plus simples et à considérer ces derniers comme plus fondamentaux que la totalité complexe (Schwartz, 1997). **L'approche réductionniste s'oppose à l'approche holistique** (ou systémique, synthétique). Celle-ci est une attitude qui consiste à considérer qu'un système complexe est une entité qui possède des caractéristiques émergentes liées à sa totalité, propriétés qui ne sont pas réductibles à une simple addition de celle de ces éléments (d'après Schwartz, 1997). »

• Génie génétique, biologie moléculaire sont aujourd'hui très largement privilégiés, mais de plus en plus déconnectés des réalités de la nature et du développement Pourquoi ne pas aussi essayer d'imiter la nature concrète dans sa complexité et multifonctionnalité avant qu'elle ne disparaisse ?....

• Pourquoi aussi ne pas considérer que l'action engagée directement dans la nature est source prolifique de création scientifique car elle bénéficie de l'appui du partenaire le plus prestigieux, complet et abouti qui soit : la nature elle-même ?

• Il est également urgent pour la recherche scientifique de concilier le discours OGM et défense de la biodiversité : il est plus facile (*et les SCV le démontrent*) et plus accessible à tous les acteurs de créer une multifonctionnalité durable à partir de l'association intelligente de plusieurs espèces végétales (*exemple des SCV et de la forêt dont ils s'inspirent*) que de vouloir transférer à une seule espèce cette multifonctionnalité (*encore bien limitée et avec ses effets collatéraux et ses coûts exorbitants*), qui favorise le retour des grandes monocultures : l'exemple des sojas RR est éloquent à cet égard, au Brésil et en Argentine qui montre que la productivité n'a pas augmenté depuis leur adoption massive et que les doses d'herbicide sont plutôt en croissance pour contrôler les dicotylédones devenues résistantes au glyphosate (*Euphorbia heterophylla, Commelina b., Borreria alata, etc. ...*) ; l'exemple des cotons Bt montre déjà aussi des limites préoccupantes, avec l'économie de seulement un à trois traitements insecticides sur 16 à 18 au total, et surtout l'impuissance à contrôler des espèces devenues résistantes à la plupart des molécules chimiques : cas de *Besimia t.* et *Spodoptera f.* et des espèces endémiques très préjudiciables à la culture cotonnière comme *Anthonomus g.* , en attendant l'émergence rapide de nouvelles résistances.

• Dans l'état actuel de nos connaissances sur les performances des systèmes de culture et de production (*agronomiques, techniques et économiques*), il nous semble que ces 2 voies (*SCV et OGM*) ne s'excluent pas mais peuvent être complémentaires : les SCV offrent une biodiversité fonctionnelle très efficace qui exerce de nombreuses fonctions naturelles gratuites : contrôle des adventices et nématodes, phytoremédiation, attirent les auxiliaires prédateurs des ennemis des cultures par leur biodiversité, tout en augmentant la fertilité du sol d'origine organo-biologique sous culture et sa capacité à produire , permettant de réduire significativement les intrants chimiques (*donc les coûts de production*) ; dans un tel contexte, les OGM pourraient être des auxiliaires précieux, légitimes et incontestablement valorisés (*sous réserve de bien vérifier au préalable leur innocuité sur la santé et l'environnement*) pour seulement compléter les services écosystémiques majeurs des SCV. Dans un tel scénario, les coûts de production et les impacts environnementaux imputables aux modes de gestion des sols et des cultures seraient certainement encore plus fortement et durablement réduits, tout en préservant une forte biodiversité (*minimiser l'apparition des résistances aux OGM*).

3. **En pratique, il nous paraît très important que la recherche scientifique s'investisse vraiment dans l'ingénierie écologique et dans l'action, pour et dans le développement,** pour répondre aux urgences qui concernent la réhabilitation des écosystèmes dégradés, ce qui freinerait efficacement d'autant la déforestation (*les terres dégradées, abandonnées ou laissées à la jachère couvrent plus de 20 millions d'hectares au Brésil dont plus de 16 millions en Amazonie*) (*Dixon J. et al. 2001* ;

Pasquis R. et al. 2007), pour poursuivre la création de nouveaux écosystèmes durables en particulier avec l'ambition concrète de passer des agrosystèmes actuels gérés par voie chimique exclusive aux écosystèmes cultivés à forte biodiversité fonctionnelle, et mettre au point des outils biologiques pour prévenir-résoudre les problèmes de pollution, rétablir-maximiser des services écosystémiques (*Fig. 167*).

• Un sol qui perd du carbone inexorablement tous les ans, est voué à une stérilisation progressive (*sol "minéral"*), d'où est de plus en plus absente l'activité biologique efficace, condamné à une gestion chimique de plus en plus coûteuse et polluante (*ex.: le système "semi-direct"*) ; à l'image des affectations humaines, ces sols mal "nourris", deviennent de plus en plus "anémiques, parfois obèses" (*excès de chimie, déséquilibres physiologiques*) qui nécessitent d'une perfusion chimique permanente, adaptée et coûteuse pour survivre.

• A contrario, les sols qui s'enrichissent en carbone sous culture à partir de couverts multifonctionnels (*mini-forêts au sens du fonctionnement, placées au cœur des systèmes de culture annuel qui ont un impact biologique bien supérieur à celui des cultures*), rétablissent par le développement d'une intense activité biologique pluri-fonctionnelle, les grands équilibres fondamentaux dans les chaînes trophiques ; de même, la biodiversité des couverts attire efficacement les insectes pollinisateurs et les auxiliaires prédateurs des ravageurs des cultures. La réhabilitation des sols qui séquestrent activement le carbone sous culture, biologiquement très actifs, de manière entretenue et durable (SCV), va permettre également d'élargir la panoplie des outils biologiques précieux pour améliorer encore les performances des systèmes de culture : **l'écologie microbienne** encore peu efficace dans ses applications pour la production agricole, car utilisée le plus souvent sur des sols "exsangues", peu actifs et peu diversifiés dans leur fonctions biologiques, va trouver des supports "sols vivants" (SCV) pourvus de tous les ingrédients nécessaires à leur développement et à l'efficacité durable de ces outils (*exemples : mycorhizes, Beauveria, Metarhizium a., Trichoderma, Azospirillum, Pasteuria p., Arthrotrix ir., Beijerinckia, Azotobacter c., Pseudomonas f., etc. ...*)

• A l'instar des OGMs, la valorisation de l'écologie microbienne ne peut trouver sa pleine mesure que si les sols ont été au préalable restaurés - régénérés dans leur multifonctionnalité biologique. Les SCV constituent donc bien à notre sens, une priorité absolue, autant pour leurs impacts positifs sur la production agricole et l'environnement que pour une meilleure valorisation des outils biologiques issus de la science, car replacés dans des systèmes qui leur permettent d'exprimer leur potentiel réel (*Fig. 155 à 160*).

• **La recherche doit également investir dans la qualité qui confère une forte valeur ajoutée à la riziculture pluviale**, qui est encore absente des systèmes de culture et de production en terre de vieille culture, alors qu'elle constitue une option de diversification de valeur inestimable, parfaitement adaptée aux conditions pédoclimatiques de la ZTH. Les travaux du CIRAD³⁶ des 5 dernières années montrent tout le potentiel de cette culture qui peut produire en Semis Direct entre 4 et 8 t/ha, avec une réduction systématique et drastique des maladies

³⁶ Plus de 300 variétés nouvelles ont été créées, qui peuvent substituer très avantageusement Primavera et CIRAD 141 ; dans ce nouveau germoplasme, de nombreuses options diversifiées de qualité sont disponibles : riz aromatiques, riz noirs longs aromatiques, riz à taux variables d'amylose, riz à grains ronds aromatiques ou non, etc. ...

cryptogamiques³⁷ (*Pyricularia o.*, complexe fongique des tâches de grains) (Fig. 161). Les coûts de production du riz pluvial de qualité dans les SCV sont du même ordre que ceux du soja, voire inférieurs car ils n'utilisent aucun fongicide ni sur les semences, ni en fin de cycle sur les panicules (*résistance génétique stable du matériel*). La condition essentielle incontournable pour que cette culture intègre de manière définitive les systèmes de culture en ZTH (SCV à base de soja et coton + safrinhas, succession de riz cycle court + coton de safrinha) est qu'il offre **des prix payés élevés et stables** au producteur : ce n'est que par une production de qualité à haute valeur ajoutée, différenciée et supérieure à celle payée pour le riz irrigué du Sud, que cette culture sera intégrée durablement dans les systèmes de culture pluviale.

• La recherche devrait également continuer à investir dans les options de "safrinhas" à haute valeur ajoutée et à coûts de production minimums ; les travaux du CIRAD de ces 20 dernières années ont mis en évidence l'intérêt que pourraient avoir pour l'agro-industrie les sorghos blancs sans tanins à haute teneur en protéines (*entre 12 et plus de 15%*) qui peuvent trouver des utilisations très rémunératrices dans la chaîne alimentaire humaine (*farines, pâtes alimentaires, bière, alcools fins : vodka, whisky, éthanol*), dans l'industrie du papier (*sorghos papetiers*), la production d'amylose, etc. Comme autres exemples, des safrinhas telles que le sésame qui contient de 50 à 55% d'huile de qualité exceptionnelle, très prisée sur le marché mondial (*cosmétiques, lubrifiants pour l'aviation*), le sarrasin (*exempt de gluten*), qui a des propriétés herbicides efficaces et qui peut entrer dans la fabrication du pain, de crêpes, etc. sont des espèces ubiquistes à cycle court, qui peuvent offrir des revenus élevés avec des coûts de production très bas, inférieurs à 100 US \$/ha.

• Enfin, il nous paraît maintenant très opportun pour la recherche scientifique Brésilienne de **revisiter, préciser la notion de fertilité des sols, les lois agronomiques qui commandent les relations Sols - Cultures et la production dans le cadre des SCV**. En effet, tout au long du processus d'élaboration de SCV de plus en plus performants, nos travaux ont montré dans diverses écologies (*Deciolândia, Porteirão*) , les limites des recommandations pratiques élaborées scientifiquement dans le strict cadre des sols travaillés. Le paramètre "saturation des bases" par exemple, n'a ainsi aucune valeur indicatrice pour la recommandation de doses d'amendements calco-magnésiens dès lors que le taux de Matière Organique est égal ou supérieur à 3% dans un sol ferrallitique argilo-sableux sur roche acide ou dans un sol argileux rouge-foncé sur roche basique basaltique (Fig. 162 à 164). De manière générale, les lois de fonctionnement agronomiques des relations Sols - Cultures et les recommandations qui en découlent doivent être précisées dans les sols sous SCV continus, biologiquement très actifs, qui se rechargent en carbone, dans lesquels la capacité du sol à produire est étroitement dépendante de la fertilité d'origine organo-biologique (Cf. *M. Nicolodi et al. ; 2007*).

³⁷ Divers couverts végétaux en SCV, constitués de mélanges complexes, contrôlent parfaitement la pyriculariose indépendamment de l'importance et de la nature de la résistance génétique des cultivars. La variété Primavera, plutôt sensible à très sensible à la pyriculariose en sols travaillés, est toujours pratiquement immune sur ce type de SCV et peut être ainsi beaucoup mieux valorisée, au moindre coût.

FIG. 155

-Biodiversité fonctionnelle : les couverts à partir de mélanges complexes et raisonnés (*additivité des fonctions agronomiques « gratuites »*):

- Contrôle naturel des pestes végétales et adventices de difficile contrôle ,
- Contrôle naturel des insectes du sol ravageurs des cultures (*riz pluvial en particulier*):
 - . Nature des couverts ,
 - . X souches de Métharizium , Beauveria, trichoderma, (*conditions de maintien et de propagation des souches*)
- SCV suppressifs de la Pyriculariose
- Contrôle mécanique des couverts associé ou non à l'utilisation d'herbicides naturels (*substitution du glyphosate → SCV biologiques , écologiques sans produits chimiques de synthèse*)
- Vie biologique des sols : indicateurs discriminants globaux de portée générale
- Capacité de digestion biologique des Xénobiotiques

FIG. 156

Multi-fonctionnalité des couverts à mélange d'espèces (*biodiversité fonctionnelle*)

* d'après les travaux de notre équipe entre 1987 et 2005

- . Règle 1 : dans la composition des mélanges :
- Intégrer 1 culture d'intérêt commercial qui couvre les coûts d'implantation du couvert jusqu'à sa dessiccation avant semis de la culture commerciale
- . Règle N° 2 : la composition des mélanges est construite sur la complémentarité des fonctions agronomiques efficaces gratuites à fort impact sur la fertilité du sol et sur les performances du système de culture ; simultanément :
 - Baisser les coûts de production
 - obtenir des productivités élevées et stables
- . Règle N°3 : optimiser la faisabilité technico-économique des couverts en mélange ,
 - Petites graines préférentiellement :
 - . Faible quantité /ha grande surface ensemencée avec peu de graines ,
 - . Faible surface productive nécessaire à leur reproduction à la ferme

FIG. 157

FONCTIONS AGRONOMIQUES

- . **Intensité de fixation gratuite de l'Azote et recyclage efficace, rapide des reliquats azotés** (légumineuses : stylo., *Cajanus*, Crotalaires, vesces, *Alysicarpus*, *Arachis*, etc.,...crucifères : radis f.)
- . **Contrôle des adventices de difficile contrôle** (*Cyperus r.*, *Borreria al.*, *Commelina b.*, *Euphorbia het.*) pestes végétales (*Imperata cyl.*, *Chromolaena l.*, *Mimosa in.*, *Cynodon d.*, *Stenotaphrum se.*) :
 - Sorghos, couverts à fort pouvoir de dominance (genres *Brachiaria*, *Cynodon*, *Pennisetum*, *Arachis*, *Cassia*, *desmodium*, etc.,)
- . **Contrôle naturel des insectes du sol ravageurs des cultures** (larves coléoptères, punaises, termites, fourmis) :
 - Vesce velue, Radis fourrager, *Cajanus*, Sésame.
- . **Puissant pouvoir restructurant du profil cultural** :
 - Graminées : Genres *Brachiaria*, *Cynodon*, *Paspalum*, Eleusine, sorghos, etc.,
 - Plantes à pivots : Genres *Crotalaria*, *Cajanus*, *Amaranthus*, *Raphanus*, etc.,
- . **Forte capacité de séquestration du Carbone** (Graminées des genres *Brachiaria*, *Pennisetum*, *Panicum*, *Paspalum*, *Cynodon*, *Chloris*, *Setaria*, *Cenchrus*, etc.,)
- . **Couverture durable du sol sous culture** : sorghos, stylo., etc.,
- . **Forte capacité de désintoxication du sol** (polluants chimiques, nématodes) : Eleusine cor., + Crotalaires, *Cajanus*, *Sesamum*, *Tagetes*, etc.,
- . **Fonctions spécifiques** : recyclage préférentiel de K : Mils ; complexation de AL toxique : *Brachiarias* ; suppressivité maladies cryptogamiques (ex: *Pyriculariose du riz* → mélange Eleusine cor.+ *Crotalaria sp.*) et ..autres fonctions à découvrir comme la capacité à biodégrader les molécules xénobiotiques

FIG. 158

Exemples de mélanges d'espèces à forte multi-fonctionnalité :

I/ Semis à la volée sous couvert de Soja (petites graines)

- 1/ Mils ou Sorghos + Crotalaires (mélange de 3 variétés)
- 2/ Mils ou Sorghos + Crotalaires + Radis fourrager (5espèces)
- 3/ Mils ou Sorghos + Crotalaires + Radis F. + Stylosanthes ,
- 4/ Mils ou Sorghos + Crotalaires + Radis F. + Stylo. + *Amaranthus*
- 5/ Mils ou Sorghos + Crotalaires + Radis F. + Stylo. + *Amaranthus* + Sarrazin + Sésame (9 espèces)
- etc.,

FIG. 159

2/ semis direct en séquence avec la récolte de soja (20/01-10/03)

- 1/ Maïs hybride + Stylosanthes
- 2/ Maïs hybride + Stylosanthes + Brach.r.
- 3/ Maïs hybride + Stylosanthes + Brach.r.+ Crotalaires
- 4/ Maïs hybride + Stylosanthes + Brach.r.+ Crotalaires + Radis F.
- 5/ Maïs hybride + Stylosanthes + Brach.r.+ Crotalaires + Radis F.+ Amaranthes + sésame

OU/ET

- 6/ Maïs hybride + Eleusine c. + Crotalaires
- 7/ Maïs hybride + Eleusine c. + Crotalaires + Stylosanthes
- 8/ Maïs hybride + Eleusine c. + Crotalaires + Stylosanthes + Radis F.
- 9/ Maïs hybride + Eleusine c. + Crotalaires + Stylosanthes + Radis F.+ Amaranthus + Sésame ,

**à partir du 10/03 et jusqu'au 30/03 , le Maïs hybride doit être remplacé par 1 Maïs variété (moindre risque économique) ou par 1 sorgho , avec les mêmes espèces associées que ci-dessus .*

FIG. 160

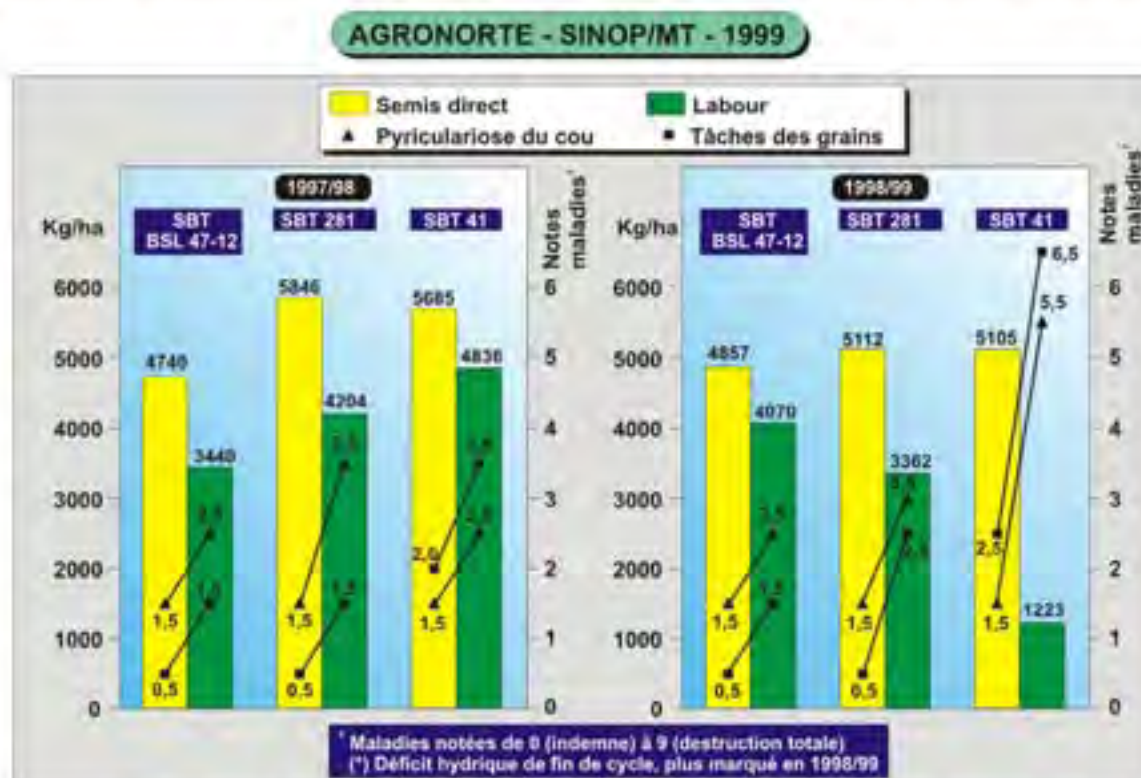
3/ Couverts en mélange comme précédents de la culture cotonnière (entre septembre et décembre)

- 1/ Mils ou Sorghos (BF80)
- 2/ Mils ou Sorghos (BF80) + Crotalaires (3 en mélange)
- 3/ Mils ou Sorghos (BF80) + Crotalaires + Radis F.
- 4/ Mils ou Sorghos (BF80) + Crotalaires + Radis F. + Amaranthes +Sésame ,
- 5/ Mils ou Sorghos (BF80) + Crotalaires + Radis F. + Amaranthes + Sésame + Sarrazin

- **Objectifs:**- maximum de biomasse à décomposition lente (Sorgho)
 - Fixation N et recyclage rapide reliquats
 - Contrôle naturel adventices et insectes ravageurs
 - Restructuration profil cultural
 - Contrôle naturel nématodes et maladies cryptogamiques

FIG. 161

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

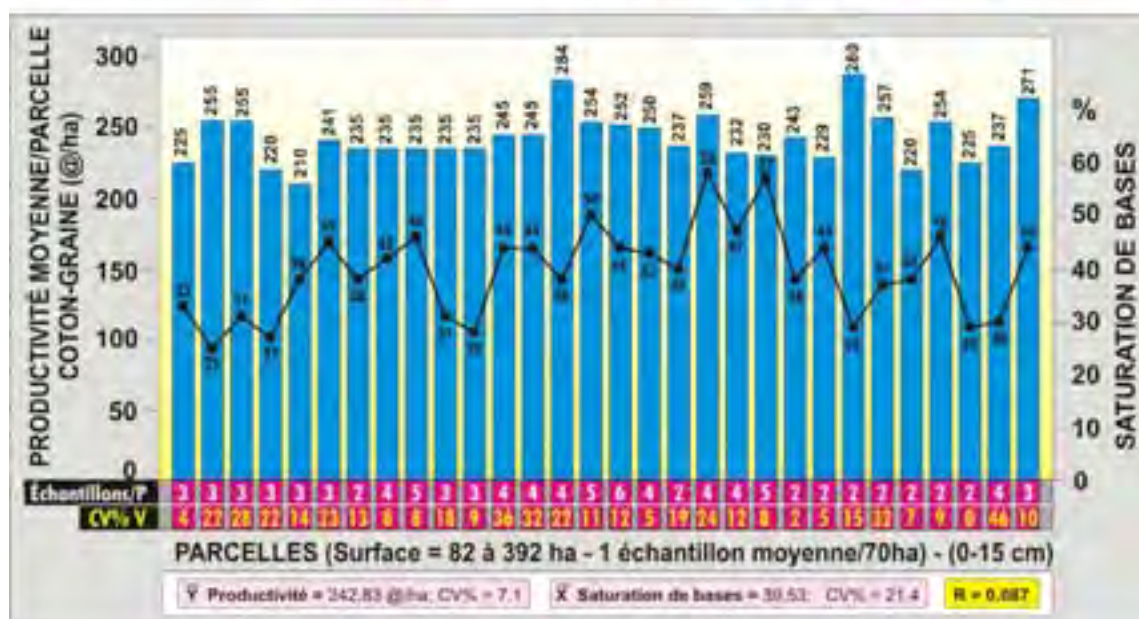


SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD CA-GEC; A. C. Maronezzi, E. Trevisan, M. Bianchi, AGRONORTE - SINOP/MT - 1999

FIG. 162

GRAFIQUE 1 - REGRESSIONS LINÉAIRES ENTRE PRODUCTIVITÉ DU COTONNIER ET RÉSULTATS D'ANALYSES DE SOL - FAZENDA GUAPIRAMA - DECIOLÂNDIA - MT

1. PRODUCTIVITÉ x SATURATION DE BASES - (V%)

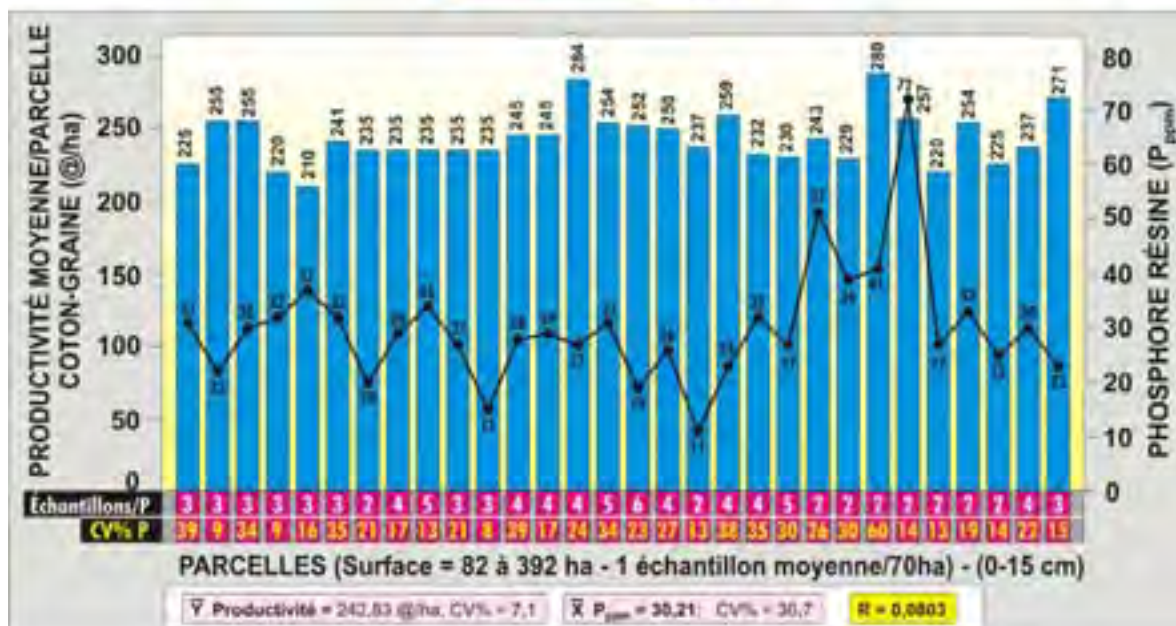


SOURCE: O. Martins, Laboratoire Suroil Natividade - Pôrto Alegre/RS - 2000; Adapté par L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD/CA

FIG. 163

GRAFIQUE 2 - REGRESSIONS LINÉAIRES ENTRE PRODUCTIVITÉ DU COTONNIER ET RÉSULTATS D'ANALYSES DE SOL - FAZENDA GUAPIRAMA - DECIOLÂNDIA - MT

2. PRODUCTIVITÉ x P_{ppm}

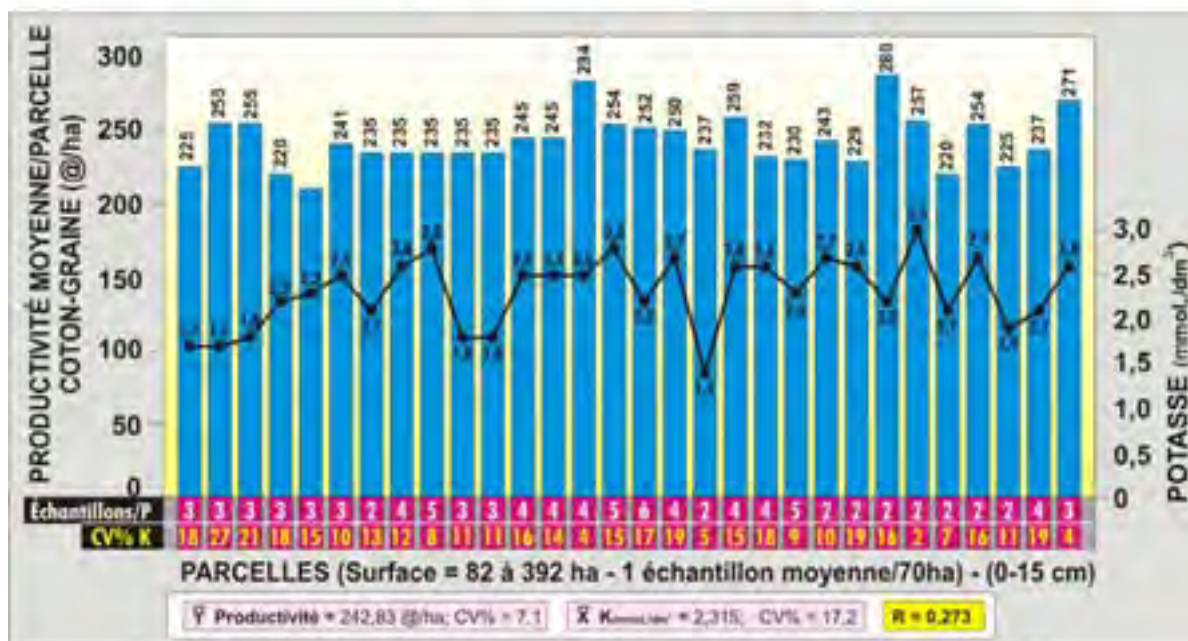


SOURCE: O. Martins, Laboratório Sargi Nutrimura - Pompéia/SP - 2000; Adapté par L. Séguin, S. Bourzais; CIRAD/CA

FIG. 164

GRAFIQUE 3 - REGRESSIONS LINÉAIRES ENTRE PRODUCTIVITÉ DU COTONNIER ET RÉSULTATS D'ANALYSES DE SOL - FAZENDA GUAPIRAMA - DECIOLÂNDIA - MT

3. PRODUCTIVITÉ x K_{mmol/dm³}



SOURCE: O. Martins, Laboratório Sargi Nutrimura - Pompéia/SP - 2000; Adapté par L. Séguin, S. Bourzais; CIRAD/CA

3.3.2 RECOMMANDATIONS ET ENJEUX POUR LE DEVELOPPEMENT

➤ ETAT DES LIEUX DU SEMIS DIRECT (2007)

• L'agriculture de conservation pratiquée sous le vocable générique de "Semis Direct" est pratiquée par 95% des agriculteurs dans la région du Brésil Central qui regroupe tout l'état du Mato Grosso (*très largement dominant en surface*), le Nord de l'état du Mato Grosso du Sud, le Sud de l'état du Goiás, le « triangle mineiro » et le Nord de l'état de São Paulo (*Cf. Tableau 5 Rally da safra - 2007*) ; les principaux motifs de l'adoption du "Semis Direct" sont, dans l'ordre décroissant, en % des réponses exprimées : d'abord la conservation du sol (94%) et ensuite l'augmentation de productivité (63%) ; pour ce qui concerne le temps de pratique du Semis Direct : 47% des agriculteurs répondent entre 6 et 10 ans, 24% entre 11 et 15 ans, 10% entre 16 et 20 ans et seulement 15% entre 1 et 5 ans. Parmi les couverts de pailles qui servent de lit au Semis Direct : le mil est nettement dominant avec 32% de fréquence, suivi du maïs avec 26%, puis du Brachiaria (17%) et du Sorgho (15%) ; l'estimation du pourcentage de couverture du sol sous cultures de soja et maïs est en moyenne respectivement de 29% et 15%, soit faible à très faible, caractérisant la dominance d'un semis direct, en moyenne, faible pourvoyeur de résidus annuels associé à l'utilisation de discages légers pour implanter le couvert de mil ou autre couvert (*système dit de "semi-direct" TCS*).

Tableau 5 Caractérisation du Semis Direct (SD) dans la région qui englobe l'état du Mato Grosso, le nord des états du Mato Grosso du Sud et de São Paulo, le Sud de Goiás et le "triangle mineiro" – 2007

% D'ADOPTION DU SEMIS DIRECT		SURFACE EN SEMIS DIRECT		PRINCIPAUX MOTIFS D'ADOPTION DU SD		DISTRIBUTION FREQUENCE AGRICULTEURS SELON TEMPS D'ADOPTION		DISTRIBUTION FREQUENCE DES PRINCIPAUX COUVERTS		ESTIMATION DE LA COUVERTURE DU SOL SOUS CULTURES					
		% SURFACE TOTALE	%	MOTIFS	%	TEMPS(an)	%	COUVERT	%		SOJA	MAÏS			
Oui	95%	< 25%	0	Augmentation Productivité	63	1-5	15	Avoine	01	Nombre échantillons	403	78			
Non	5%	≈ 50%	4												
Nombre de réponses	238	≈ 75%	19	Conservation Sol	94	6-10	47	Maïs	26				% couverture de sol	29	15
		≈ 100%	77					Autres	20						
			225		227	11-15	24			Autres	08				
						Nombre de réponses	221	Blé	01						
								Nombre de réponses	238						

Source : Rally da safra 2007 – Fondation AGRISUS – 8 équipes d'enquêteurs formées d'agronomes, techniciens, journalistes, photographes, coordonnées par Agroconsult.

Enquêtes sur :

Propriétés > 1000 ha, dont surface pâturage < 500 ha et nombre de têtes < 500 ;

12 états, 198 municipes, parcours total d'environ 29.000 km

In Revista Plantio Direto – n° 101 – Septembre/Octobre 2007 – p. 14 – p. 17

- Le semis direct sous couverture végétale permanente comme nous l'avons construit (SCV) n'est pratiqué en réalité que dans la succession annuelle Soja + Maïs, dont la région de Lucas do Rio Verde, berceau du Semis Direct en ZTH, est un exemple démonstratif et dans certains systèmes intégrant agriculture et élevage bien représentés dans la région de Sinop, dans le Centre-Nord Mato Grosso, dans certaines régions du Mato Grosso du Sud et de l'état du Minas Gerais.

➤ **LES SYSTEMES SCV A DIFFUSER EN URGENCE, ou comment passer du système dominant actuel de "semi-direct" (TCS) aux SCV diversifiés sur couverture permanente du sol à forte multifonctionnalité**

• **Règles de base, de très large applicabilité**

- **Sol toujours totalement couvert** : protection contre l'agression climatique, système tampon pour maintenir humidité en saison sèche et une température basse, constante toute l'année (*comme sous forêt*) pour freiner la minéralisation de la Matière Organique ($K_2 \leq 2\%$) et maintenir une forte activité biologique ;
- **Sol jamais travaillé** : utiliser les outils biologiques des safrinhas puissantes à systèmes racinaires fortement restructurants = Sorghos, *Brachiaria ruzi.*, *Eleusine cor.* associées à légumineuses à pivots telles que *Crotalaria spec.*, *Cajanus cajan*.
- **Rotation obligatoire des cultures ou des successions de cultures annuelles, en conservant toujours une forte biodiversité fonctionnelle** dans la composition des safrinhas (*culture commerciale : Maïs, Sorgho, associés à un mélange d'espèces, multifonctionnel* ⇒ "*mini-forêts*" à impact dominant sur le sol dans le système de culture).
- **Plus les biomasses de couverture sont performantes en quantité de matière verte, plus le délai à respecter entre dessiccation et semis direct doit être important** = de 15 à 20 jours pour les mils, sorghos, eleusines, très développés après 45 jours à 2 mois de croissance, jusqu'à 30-40 jours pour *Brachiaria ruzi.* en culture pure ou associé à des légumineuses³⁸ ou à des céréales comme les sorghos guineas ; pour accélérer la minéralisation des très fortes biomasses avant semis direct et faciliter ainsi l'opération de semis, dès que la biomasse est desséchée (8 jours), elle peut être roulée ou couchée au câble.
- **Pour les agriculteurs qui utilisent des OGMs RR, le rouleau à cornières ou des modèles très efficaces plus perfectionnés (Cf. Photos en fin de chapitre III) devrait être réhabilité** pour substituer l'emploi du glyphosate sur les espèces annuelles composant les biomasses de couverture qui seraient roulées efficacement au stade gonflement - épiaison ; cette mesure permettrait d'éviter l'emploi massif du glyphosate, générateur de résistances rapides chez les dicotylédones (*genres Commelina, Desmodium, Euphorbia, etc. ...*) et de pollution de l'environnement, en particulier de la rhizosphère des cultures (*désordres dans les équilibres microbiens : diminution drastique des populations bactériennes qui réduisent le manganèse, augmentation des fusarioses, etc. ...*) (*Fig. 165 et 166*) (*Yamada T. et al., 2007*).

• **Systemes de culture SCV recommandés**

- a) **Systemes SCV à base de Soja + Safrinhas** : pour un objectif visant un maximum de production de soja ⇒ nécessité d'un maximum de biomasse sèche à base de graminées
- En partant des systèmes **Soja + Maïs**, passer à ⇒ **Soja + (Maïs + *Brachiaria ruzi.*)**, puis **Soja + (Maïs + *Brachiaria ruzi.* + *Stylosanthes g.*³⁹ Campo Grande ou mieux CIAT 184)** ; le maïs hybride doit être semé en direct en succession du soja entre 15/01 et 20/02 ; à partir du 20/02 et jusqu'au 10/03, semis de maïs variété (*IRAT 200, autres*) ou/et de Sorgho blanc à haute valeur ajoutée (*à développer auprès de l'agro-industrie alimentaire*), et/ou de tournesol, mais associé seulement à *Crotalaria sp.*, ou *Cajanus c.* ou encore *Stylosanthes g.*

³⁸ Lorsque des légumineuses sont présentes dans les mélanges d'espèces et des dicotylédones de difficile contrôle comme *Commelina b.*, *Borreria al.*, *Euphorbia h.*, *Richardia b.*, *Alternanthera f.*, il est recommandé d'utiliser les molécules Flumioxazin ou Carfentrazone (*doses de 25-30 g p. a. /ha*) en mélange avec le glyphosate pour une dessiccation efficace.

³⁹ Le *Stylosanthes guyanensis*, CIAT 184, est beaucoup plus puissant en production de biomasse et en multifonctionnalité que le *Stylosanthes Campo Grande* ; la seule limitation à son utilisation réside dans la faible disponibilité de semences sur le marché, qui sont de ce fait très chères. Cette variété est mieux adaptée aux régions chaudes et devrait être multipliée rapidement à grande échelle.

FIG. 165

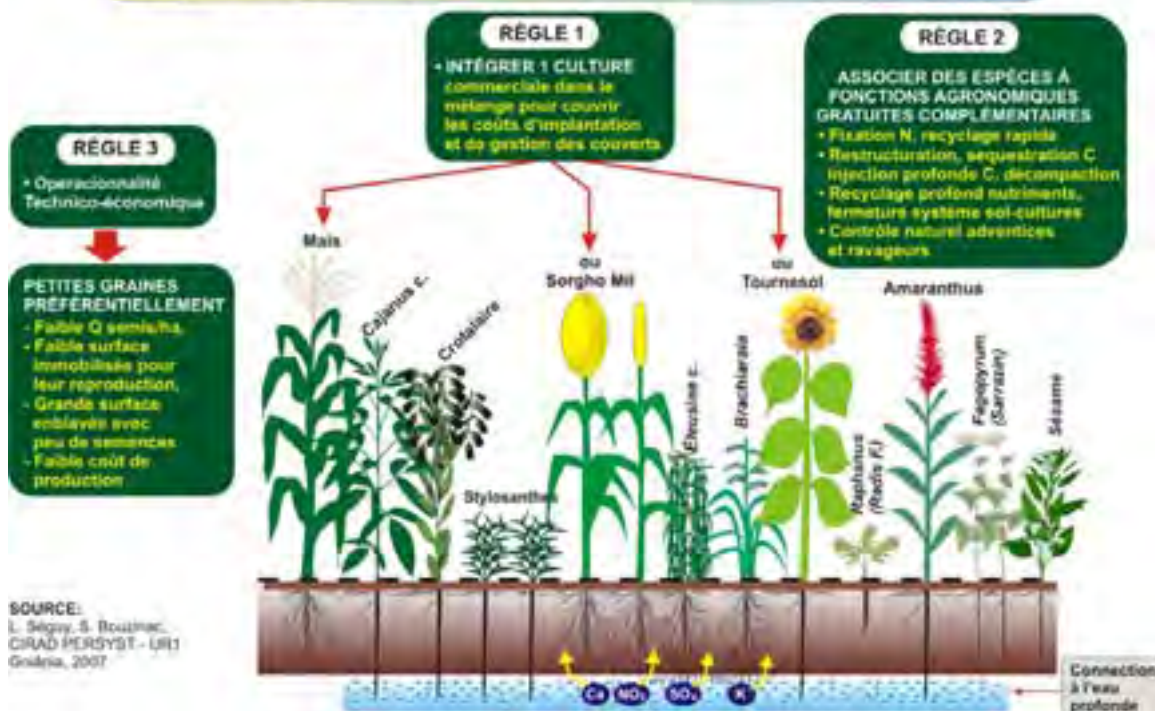


1 - Riz de octobre ou novembre-décembre
 2- Culture principale de décembre ou culture de succession du Soja (safrinha)
 SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinao, CIRAD-CA; AGRONORTE; GROUPE MAEDA; FAZENDA MOURÃO/COODETEC; Goiânia, 2003.

FIG. 166

RÈGLES DE CONSTRUCTION DES COUVERTS MULTI-FONCTIONNELS DANS LES SCV

Exemple de la zone tropicale humide du Brésil Central - Forêts et Cerrados



SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinao, CIRAD PERSYST - IRII Goiânia, 2007

Ces systèmes SCV permettent l'intégration de l'élevage (embouche en saison sèche) avec un revenu supplémentaire de 10 à 15€/ha de viande en saison sèche, soit 3 revenus successifs dans l'année (Cf. *Séguy L et al. 1996 ; 1998, d*).

- Dans le cas des safrinhas à base de sorgho blanc, **si l'option embouche de saison sèche n'est pas visée**, *Crotalaria spectabilis* peut être associé au sorgho + *Brachiaria ruziziensis* ; ce mélange peut être semé, soit en Semis Direct en succession du soja entre le 20/02 et 10/03, ou à la volée vers le 20/02 sous couvert dans des sojas de semis tardif ou de cycle plus long, 15-20 jours avant la récolte, après 20 à 30% de défoliation.

- **A partir du 10 mars**, avec des disponibilités hydriques déjà nettement plus réduites, **semis direct de sésame et/ou sarrasin** ou encore semis anticipé de ces 2 espèces **à la volée sous couvert de soja en voie de défoliation vers le 01/03**. Ces 2 cultures sont très peu exigeantes en eau, n'occupent le sol que 80 jours environ, offrent une très forte valeur ajoutée (*sésame = 50 à 55% d'huile pour cosmétique, aviation ; Sarrasin = succédané du blé, sans gluten, subventionné en Europe*) et possèdent des fonctions agronomiques très utiles : le sarrasin est un herbicide naturel puissant (*par ses exsudats racinaires*) et attire les insectes pollinisateurs et auxiliaires, et le sésame contrôle efficacement divers genres de nématodes phytophages (*également par ses exsudats racinaires*).

b) Systèmes SCV à base de coton, riz pluvial de haute technologie (niche économique) : pour un objectif visant un maximum de production de coton - graine et de riz ⇒ nécessité d'un maximum de biomasse sèche à base de graminées + légumineuses fixatrices d'azote et efficaces dans le contrôle des nématodes (*genres Meloidogyne, Pratylenchus*)

- Coton et Riz doivent être pratiqués en rotation avec Soja + Safrinhas, un an sur deux ; les mêmes couverts multifonctionnels que dans le cas des SCV à base de Soja sont recommandés avec les mêmes techniques d'implantation (*Semis Direct pour le Maïs, et/ou à la volée sous couvert pour le sorgho*) : Maïs et/ou Sorgho + (*Brachiaria + Légumineuses : Crotalaria s., Cajanus c., Stylosanthes g.*) et aussi les options maïs et/ou Sorgho + (*Eleusine c. + légumineuses = Stylosanthes* dans le cas du maïs, *Crotalaria s., Cajanus c. et Stylosanthes g.* dans le cas du Sorgho).

- Dans le cas extrême d'avoir à reconduire une partie des surfaces en monoculture de coton (*investissements obligent !!*) :

- Substituer le mil par le Sorgho BF 80 qui assure une meilleure couverture du sol, permanente et très efficace pour le contrôle naturel des adventices, et permet de séquestrer davantage de carbone que le mil, en succession du soja ;
- Associer le Sorgho BF 80 à *Crotalaria spectabilis* pour fixer une quantité significative d'azote (*entre 40 et 80 kg de N/ha suivant la durée de la croissance*) et contrôler les nématodes phytophages avant le semis direct du coton en décembre

• FAISABILITE DES SYSTEMES SCV RECOMMANDES ET LIMITATIONS

• Les systèmes SCV proposés obéissent aux critères essentiels exigés pour leur appropriation rapide en grande culture : ils sont simples à pratiquer sans équipements⁴⁰ additionnels obligatoires et plus lucratifs que les systèmes actuellement en vigueur. Les espèces annuelles qui servent à composer la biomasse sont simplement multipliées comme «safrinhas», en semis direct et culture pure, en succession du soja. Les quantités de semences/ha utilisées dans la composition finale des couverts sont faibles :

- Maïs + (*Brachiaria ruzi.* + *Stylosanthes g.*) = 15 kg + 10 kg + 2 kg/ha,
- Sorgho + (*Brachiaria ruzi.* + *Stylosanthes g.*) = 10 kg + 7 à 10 kg + 2 kg/ha,
- Sorgho + (*Brachiaria ruzi.* + *Crotalaria spec.*) = 10 kg + 7 à 10 kg + 10 kg/ha,
- Sorgho + (*Brachiaria ruzi.* + *Cajanus caj.*) = 10 kg + 7 à 10 kg + 20 kg/ha.

• Le sésame et le sarrasin nécessitent, pour leur multiplication en culture pure comme safrinha de fin de saison des pluies (01/03 à la volée sous couvert de soja ou 10-15 /03 en Semis Direct en succession du soja), de, respectivement 3 et 20 kg/ha. Lorsque ces 2 espèces sont employées dans les mélanges d'espèces en association avec le (*Brachiaria ruzi.* + *Crotalaria spec.* ou *Stylosanthes g.*) pour renforcer à la fois le contrôle naturel des nématodes avec le sésame et des adventices avec le sarrasin, elles sont employées aux doses respectives de 2 et 10 kg :

Deux exemples de couverts complexes multifonctionnels⁴¹ :

- Maïs + (*Brachiaria ruzi.* + *Stylosanthes g.* + Sésame + Sarrasin) :
15 kg + (7 à 10 kg + 2 kg + 2 kg + 10 kg)/ha
- Sorgho + (*Brachiaria ruzi.* + *Crotalaria spec.* + Sésame + Sarrasin) :
10 kg + (7 à 10 kg + 10 kg + 2 kg + 10 kg)/ha

• Du fait que ces couverts multifonctionnels sont constitués d'un mélange d'espèces à très petites graines (excepté le *Cajanus cajan* et le sarrasin), les surfaces immobilisées pour leur multiplication en culture pure comme safrinha en succession du soja, sont faibles ; en outre, dans une hypothèse d'appropriation rapide de ces techniques, la demande en semences peut devenir très vite importante et va conférer de ce fait une haute valeur ajoutée à ces espèces : il est plus lucratif de produire 800 kg/ha de sésame, ou 600 kg/ha de *Crotalaria spec.* payés entre 4 et 6 R\$/kg que de produire des grains de soja ou des fibres de coton.

• LIMITATIONS POSSIBLES DANS L'APPLICATION DES SCV

• Lorsqu'elles existent, elles sont d'ordre opérationnel : la quantité de biomasse sèche maximum sur le sol par exemple peut constituer un obstacle majeur à la qualité du semis direct et à sa vitesse d'exécution, dès lors qu'elle dépasse 15-17 t/ha ; c'est le cas par exemple de la biomasse sèche de *Brachiaria ruzi.* accumulée sur 2-3 ans en parcelles de fertilité élevée, exploitées pour la production de semences ; la biomasse sèche peut alors avoisiner 24 à 26 t/ha⁴² sur le sol et compromettre le semis direct (*bourrages fréquents, étiolement des plants à la levée, risque accru de dumping-off*).

Dans ce cas spécifique, il est recommandé de brûler⁴³ la biomasse après la récolte des graines en saison sèche pour pouvoir réaliser un semis direct parfait sur la repousse tendre desséchée.

⁴⁰ Toutefois, pour les couverts multi-espèces, le montage d'une troisième trémie réservée au semis des petites graines sur les semoirs (*fabrication Semeato*), facilite un semis plus régulier que lorsque les semences sont simplement mélangées à l'engrais au moment du semis dans la trémie réservée à l'engrais, dont sont équipés tous les semoirs de semis direct.

⁴¹ Consulter les fiches techniques du CIRAD – Dossier : meilleures phytomasses – 2008.

⁴² Résultats CIRAD – 2007, 2008 – Campo Verde - MT

⁴³ Le brûlis en saison sèche consomme surtout les organes peu lignifiés (*feuilles et tiges fines*), et provoque une forte reprise d'activité du système racinaire qui ré-injecte un carbone compensateur dans le sol (*technique ancestrale des éleveurs*).

• La deuxième limitation réside dans le choix d'herbicides efficaces lorsque nécessaire, qui soient sélectifs des diverses espèces composant les mélanges :

- **En pré-émergence**, les matières actives Métolachlore et Alachlore sont sélectives des cultures de Maïs et Sorgho associées à des légumineuses : *Arachis pintoï*, *Crotalaria spectabilis*, *Stylosanthes guyanensis*, *Cajanus cajan*.

- **En post-émergence précoce**, la matière active Bentazone est sélective des cultures de Maïs et Sorgho associées aux espèces de graminées et légumineuses en mélange : *Brachiaria ruziziensis* ou *Eleusine coracana*, + légumineuses associées *Crotalaria spectabilis* ou/et *Stylosanthes guyanensis* ou *Cajanus cajan*.

Cependant, si la culture de soja qui précède les safrinhas est bien maîtrisée techniquement, une dessiccation immédiatement en post-semis direct des safrinhas en mélange, est en général suffisante pour que les adventices ne soient pas un facteur limitant pour la croissance de la biomasse ; la technique de semis à la volée sous couvert de soja, de mélanges de petites graines (*ex. : Sorgho + Brachiaria r. + Crotalaria s. ou Stylosanthes g. et Sorgho + Eleusine c. + Stylosanthes g.*) permet également d'éviter efficacement la compétition ultérieure des adventices dans les mélanges d'espèces.

➤ RECONCILIER AGRONEGOCE ET ECOLOGIE : un enjeu majeur et urgent

Malgré son poids déjà très significatif et croissant sur le marché agricole mondialisé, le Brésil est encore un pays neuf, à mettre en valeur : il peut encore plus que doubler ses surfaces de production actuelles sans avoir à détruire ses immenses réserves forestières amazoniennes ; les seuls Cerrados offrent un potentiel de mise en valeur très largement supérieur à 50 millions d'hectares (*Goedert et al. 1989*). Le territoire brésilien, selon l'IBGE, comporte 16 millions d'hectares de terres abandonnées et dégradées ; si l'on y rajoute les terres non utilisées, en jachère, cette surface immobilisée passe à 24,5 millions d'hectares. En Amazonie, les terres abandonnées, occupent environ 21% de la surface défrichée, soit 16,5 millions d'hectares (*Dixon J. et al. 2001; Pasquis R. et al. , 2007*).

• Les SCV construits sur une forte diversification des cultures et qui intègrent l'élevage (*cultures principales de Soja, Coton, Riz pluvial + safrinhas de Maïs, Sorgho, Tournesol associés à des couverts fourragers de Brachiaria r. + légumineuses exploités pour l'embouche en saison sèche*), ont montré leur capacité à restaurer - régénérer (*résilience*) rapidement la fertilité des sols dégradés sous culture et de produire des hauts niveaux de rendements plus proprement avec moins d'engrais minéraux et d'intrants chimiques au cours du temps ; ils constituent de ce fait des options de choix pour récupérer très vite ce vaste réservoir de terres dégradées, aussi bien par la grande agriculture mécanisée (*agronégoce*) que par la petite agriculture familiale ; cette dernière pouvant exploiter, en plus, des cultures arbustives pérennes de rapport (*cupuaçu, noix du Pará, açaí, etc. ...*), l'ensemble vivriers + pérennes + élevage étant organisé en "jardins tropicaux"⁴⁴ d'agriculture durable à revenu diversifié et stable.

• Les expériences du CIRAD-CA, menées entre 1998 et 2003, sur la récupération des pâturages dégradés du Sud de l'état du Goiás (*Porteirão*) et du Sud-Ouest Mato Grosso (*Deciolândia*)⁴⁵ confirment qu'il est possible de passer avec succès, et immédiatement, de la situation pâturage "dégradé" au semis direct de Coton, en se servant de la couverture végétale du pâturage en l'état. La productivité de Coton graine dépasse 3.300 kg/ha dès la 1^o année avec des coûts de production faibles de l'ordre de 800 à 900 US\$/ha (2000 -

⁴⁴ Cf. Dossier Agro-écologie AFD/MAE/FFEM/CIRAD – Le semis direct sur couverture végétale permanente (SCV) – (*AFD Nov. 2006*).

⁴⁵ Dans le cadre du partenariat Groupe MAEDA/CIRAD (1994/2004)

2002) ; de la même façon, les SCV à base de Soja et Riz + safrinhas peuvent être directement implantés sur la couverture de pâturage dégradé et constituent des options lucratives à faible coût de production (*Résultats CIRAD/Préfecture de Sinop 1996/98*).

• **La récupération de ce vaste patrimoine sols dégradés**, abandonnés, est donc non seulement possible mais **prioritaire, pour préserver la forêt amazonienne**, stopper sa déforestation qui est proportionnelle à celle des prix payés pour le soja : plus ils sont élevés, comme en 2007-2008, plus la déforestation augmente .

• **Des mesures incitatives de la part des autorités gouvernementales** devraient être mises en œuvre rapidement dans ce sens auprès des secteurs publics et privés.

De telles initiatives hautement souhaitables permettraient aussi, sans aucun doute, **d'apaiser les tensions de plus en plus vives entre l'agronégoce et les écologistes** qui peuvent devenir vite fortement préjudiciables tant à la dynamique de développement intérieur du Brésil qu'à son image à l'extérieur dans un monde globalisé de plus en plus sensibilisé et conscient de la nécessité de préserver la biodiversité (*réduction de l'émission des gaz à effet de serre, systèmes tampons pour minimiser le changement climatique*).

• Le Brésil a montré au monde sa capacité à développer en moins de 30 ans une agriculture de conservation que le monde entier admire et lui envie, même si elle est largement encore perfectible comme l'ont démontré nos travaux sur les innovations SCV inspirées du fonctionnement de l'écosystème forestier.

Ce "bon exemple", unique au monde, à contrario des dégâts majeurs et souvent irréversibles qu'ont occasionné sur l'environnement et les ressources naturelles en Afrique et en Asie les grands mouvements de colonisation venus d'Europe, doit parfaire encore son image de gestionnaire exemplaire de ses ressources naturelles, compatibles avec la croissance d'une des plus puissantes et performantes agriculture durable et propre de la planète, non seulement pour réconcilier l'agronégoce et l'écologie sur le plan intérieur, mais aussi pour servir d'exemple et de guide à la récupération de l'énorme potentiel des terres dégradées tropicales et subtropicales du Sud, qui reste à mettre en valeur (*rôle de leader du Brésil*).

• **La grande agriculture mécanisée** devrait également intervenir sur un sujet majeur : **la forme géométrique du défrichement**⁴⁶, trop peu prise en compte jusque là, et qui, en adoptant dans la grande majorité des cas, des défrichements massifs d'un seul tenant sur de très grandes surfaces, parsemés d'îlots concentrés de forêts, modifie significativement la répartition des pluies (*effet de poêle surchauffée qui engendre des courants ascendants d'air chaud qui rejettent les pluies vers les forêts galeries à la périphérie*).

Un défrichement qui laisse, autour de blocs de culture de 200 à 300 ha, un encadrement continu de végétation native de 20 à 50 m de large, permet à la fois la préservation parfaite de l'habitat de la faune en lui offrant des couloirs continus vierges, et la conservation de la distribution des pluies en maintenant une maille très serrée de forêt originelle dont les effets sont prépondérants dans son rôle régulateur de l'humidité (*Cf. photos en fin de chapitre III*).

• **La grande agriculture mécanisée (agronégoce)** pourrait également **négocier régionalement (dans les grandes écologies)** par l'intermédiaire des associations de producteurs (*APDC, associations locales*), **avec les institutions et fondations de Recherche**, la mise en place **d'unités expérimentales pérennes de recherches systémiques , holistiques** installées sur les grandes unités de sols représentatives de la variabilité pédoclimatique de la ZTH ; c'est ce

⁴⁶ Cf. Défrichement ingénieux réalisé par la Fazenda Cabana, à 120 km au Nord Ouest de Sinop par l'entreprise privée Agronorte (A. C. Maronezzi) entre 1998 et 2002 et voir le travail publié (*Séguy L. et al. , 2000*).

type d'unités qui a permis de construire les bases du semis direct à Lucas do Rio Verde à partir des années 1985 ; dans une démarche de recherche -action , elles auraient pour objectifs principaux :

- Produire des innovations systèmes de culture en faisant progresser, en continu, les performances agronomiques, techniques et économiques des systèmes conduits en agriculture commerciale (*vraie grandeur*), avec, pour et chez les producteurs. Ces dispositifs matriciels permettraient la hiérarchisation de manière continue et efficace pour l'action, des composantes des systèmes les plus limitantes au cours du temps, et leur résolution, dans une démarche agronomique préventive.
- Replacer, orienter le choix des inputs commerciaux (*variétés, engrais, pesticides*) efficacement au cœur du fonctionnement réel des systèmes de culture pour améliorer, au moindre coût, leurs performances.
- Produire des connaissances scientifiques inédites (*unités expérimentales pérennisées: laboratoire de veille scientifique*), notamment en poursuivant et en amplifiant nos travaux CIRAD sur l'ingénierie écologique au service du développement, thématique majeure sans aucun doute pour assurer, dans les années qui viennent, les progrès de l'agriculture durable et propre, maîtrisée avec toujours moins d'intrants chimiques polluants dans un environnement et des productions totalement protégés ; la sélection variétale mériterait aussi d'être conduite pour et dans les systèmes de culture qui permettent d'exprimer le mieux leur potentiel.
- Former les acteurs de la Recherche-Développement

Plus le monde se complexifie et plus l'approche systémique – holistique, multi-acteurs, se fait nécessaire pour optimiser en permanence, et dans l'action, les performances des systèmes de culture et de production qui doivent intégrer des progrès et outils technologiques de plus en plus nombreux.

Enfin, comment les autorités gouvernementales et l'agronégoce pourraient-ils, en harmonie avec **la demande expresse de la société civile, encourager, stimuler les puissantes multinationales** travaillant sur son territoire à **s'engager dans la production, aussi, de molécules organiques propres, issues de la biomasse renouvelable**, aujourd'hui confinées à la seule agriculture biologique ? L'enjeu économique et sanitaire est planétaire et constitue sans aucun doute un des défis majeurs du 21^{ème} siècle.

IV – QUELQUES OUTILS PRECIEUX POUR LE SEMIS DIRECT (SCV)



Semoirs pneumatiques pour semis simultané des petites graines (Biomasses) avec la récolte de soja ou Riz



Semoirs pneumatiques pour semis simultané des petites graines (Biomasses) avec la récolte de soja ou riz



Diviser par 2 les doses de glyphosate à la dessication



Diviser par 2 les doses de glyphosate à la dessication



Diviser par 2 les doses de glyphosate à la dessication



Réhabiliter le rouleau pour diminuer la charge de glyphosate dans les cultures OGM RR (*supprimer la dessication chimique*)



Réhabiliter le rouleau pour diminuer la charge de glyphosate dans les cultures OGM RR (*supprimer la dessiccation chimique*)



Réhabiliter le rouleau pour diminuer la charge de glyphosate dans les cultures OGM RR (*supprimer la dessiccation chimique*)



Réhabiliter le rouleau pour diminuer la charge de glyphosate dans les cultures OGM RR (*supprimer la dessiccation chimique*)

VI – LES MATRICES PERENNISEES DES SYSTEME DE CULTURE:

**Scénarios expérimentaux de développement durable-
Un outil précieux pour la science et le développement**



**Vue aérienne de la Matrice “intégration agriculture – élevage”
Sinop, MT-2001**



**Vue aérienne de la Matrice
“Système de Culture”, Sinop, MT-2001**



**Vue aérienne de la Matrice
“Système de Culture”, Sinop, MT-2002**



**Vue aérienne de la Matrice
“Système de Culture”, Sinop, MT-2001**



**Vue aérienne de la Matrice
“Système de Culture”, Sinop, MT-2001**



**Vue aérienne de la Matrice
“Système de Culture”, Sinop, MT-2001**

**VII – DES FORMES DE DEFRIQUEMENT A IMPACT MINIMUM SUR LA FAUNE
ET LA PLUVIOMETRIE**



Conservation de couloirs continus de forêt native autour des lots défrichés

IV) CONCLUSIONS

La gestion des écosystèmes cultivés en semis direct sur couverture permanente du sol (SCV) dans la Zone Tropicale Humide (ZTH) du Brésil Central (*Mato Grosso*), a permis de convertir un cycle de dégradation accélérée des sols dû aux techniques de travail intensif du sol transférées des pays du Nord, en un cycle de reconstruction de la fertilité.

Ce mode de gestion, qui fonctionne à l'image de l'écosystème forestier dont il s'est inspiré, peut être qualifié de véritablement écologique :

- le sol est totalement protégé contre l'érosion et les xénobiotiques, même sous les climats les plus agressifs,
- par sa puissance de recyclage, les éléments nutritifs comme les nitrates et les bases telles que le calcium, le magnésium, la potasse, ne sont pas entraînés vers la nappe phréatique, mais au contraire, remontés en surface et toujours recyclés.
- La production de phytomasse est continue toute l'année, par l'utilisation des réserves d'eau en profondeur ; cette connexion se fait par l'intermédiaire de systèmes racinaires très puissants qui injectent du carbone en profondeur, protégé des actions anthropiques.

Les scénarios d'agriculture durable, qui ont été créés grâce au semis direct sur couverture végétale permanente en Zone Tropicale Humide (ZTH), sont tous construits sur une reconquête de la biodiversité: rotations diversifiées de cultures, intégration agriculture-élevage, sols toujours protégés sous couvertures mortes ou vivantes qui séquestrent activement le carbone (*entre 0,9 et plus de 2,0 t/ha/an*) et qui favorisent ainsi le développement de la faune du sol et de l'activité biologique en général (*macro, méso et microfaunes, microflore*), sont autant de facteurs de cette reconquête qui ramènent l'évolution des systèmes cultivés vers celle des écosystèmes naturels (*Résilience*) (*Fig. 167 à 172*).

L'évolution des performances agronomiques et technico-économiques des systèmes de culture accompagne strictement, dans toutes les grandes éco-régions du Mato Grosso, l'évolution du statut organique du sol, mettant clairement en évidence que la gestion de la Matière Organique (M.O.) renouvelable chaque année au moindre coût est au cœur de la construction agro-économique des systèmes de culture et production durables en Semis Direct, dans lesquels les outils biologiques ont remplacé les outils mécaniques.

Les systèmes de culture SCV les plus productifs, les plus stables, les plus attractifs économiquement et de moindre risque, sont ainsi ceux qui séquestrent le plus de carbone. Dans ces systèmes, la part de la fertilité gratuite construite en Semis Direct par voies physique et organo-biologique prend de plus en plus d'importance au cours du temps dans la capacité de production du sol : la productivité augmente avec moins d'intrants chimiques (*engrais, pesticides*), le potentiel du sol s'accroît, les coûts de production baissent et les impacts de l'activité agricole sur l'environnement sont mieux contrôlés (*Fig. 171*).

Les sols ferrallitiques de la ZTH, qui sont vides chimiquement au départ, révèlent ainsi sous Semis Direct des capacités de production durables, nulle part ailleurs égalées, en présence de fumure minérale faible à moyenne: sur la même année agricole, il est ainsi possible de produire (*et de reproduire*) 4 à 8 t/ha de riz pluvial (*qualité supérieure de grain*) ou plus de 4 t/ha de soja, puis en succession 3 à 6 t/ha de céréales en "safrinhas", associées à des espèces fourragères qui formeront un pâturage durant la saison sèche, pouvant supporter 1,5 à 2 têtes de bétail à l'hectare sur 4-5 mois; les résultats de production

de ces 3 cultures annuelles successives qui couvrent les 12 mois de l'année, sont obtenus en semis direct, et consomment pour atteindre ces niveaux de productivité, au total, de 50N à 115N.ha⁻¹.an⁻¹, suivant que la culture en tête de succession est respectivement du soja ou du riz, de 100 à 110 P₂O₅.ha⁻¹.an⁻¹, et de 100 à 130 K₂O.ha⁻¹.an⁻¹.

- Il est également possible de produire plus de 5.000 kg/ha de coton graine en Semis Direct sur puissantes biomasses de couverture, en rotation avec les successions précédentes et des cultures de succession "safrinhas" à haute valeur ajoutée en présence d'un minimum d'intrants (*Coton, Maïs, Sorghos blancs sans tanins, Tournesol, Sésame et Sarrasin, etc.*).

- Les meilleurs systèmes en Semis Direct imitent le fonctionnement de l'écosystème forestier et produisent entre 23 et 32 t de résidus de matière sèche par hectare et par an (*biomasses végétative + racinaire*), soit entre 12 et 15 t/ha/an de carbone, donc très largement au-dessus des niveaux d'équilibre qui sont évalués entre 5 et 7 t/ha/an de carbone en fonction du niveau de fumure minérale utilisé, conférant ainsi au sol une capacité élevée de séquestration du carbone, estimée entre 0,9 et plus de 2,0 t/ha/an en fonction du niveau d'inputs carbonés produits dans le système de culture (*Fig.168 à 170*).

Ce que cette étude révèle de majeur dans sa démarche de Recherche - Action, c'est sans aucun doute le rôle décisif et prédominant de **l'ingénierie écologique comme outil d'élection** pour la construction des SCV de plus en plus performants et écologiques, même si elle en est encore à ses premiers balbutiements ; elle montre comment des associations d'espèces à fonctions agronomiques complémentaires peuvent tirer parti de la nature tout en la nourrissant dans sa diversité et sa stabilité ; elle montre ainsi, très concrètement, comment des associations intelligentes d'espèces peuvent transformer rapidement et profondément le milieu au profit de l'agriculture durable. Si, dans l'immense complexité biologique de la nature, on perçoit assez mal comment une plante, aussi perfectionnée soit-elle (OGM), pourrait, à elle seule, transformer positivement et surtout durablement cette complexité biologique, on voit par contre très bien comment des associations d'espèces sont réellement capables de le faire en agissant sur de très nombreuses fonctions biologiques du milieu au profit de l'agriculture durable et du patrimoine - sol, comme le met en évidence cette étude. On voit également très clairement comment les OGMs, nouvelles "vedettes à la mode" de la génétique, pourraient, dans des milieux sols biologiquement reconstruits et entretenus (*avec la pratique continue des SCV*), apporter des écoservices complémentaires et efficaces, avec beaucoup plus de chances de conserver leurs fonctions de manière durable, sans favoriser la création de résistances : par exemple, une variété RR sur SCV bénéficierait d'un sol vivant aux fonctions biologiques actives, et d'une couverture de sol déjà très efficace contrôlant naturellement plus de 90% des espèces adventices ; la fonction essentielle de l'OGM RR serait alors de compléter, au moindres coût et impact sur l'environnement, cet écoservice de contrôle des adventices restants nuisibles aux cultures ; de même, les couverts végétaux multifonctionnels des SCV ("*mini-forêts*") attirent par leur composition floristique les insectes auxiliaires qui contrôlent naturellement les ravageurs des cultures et induisent des conditions nutritionnelles des cultures qui limitent les teneurs excessives en N et sucres solubles, très attractives pour les ravageurs : dans ce cas encore, des variétés OGM auraient d'abord pour fonction essentielle et efficace de compléter, et au moindre coût, cet écoservice fourni par les SCV.

Comme le démontre cette étude, c'est bien d'abord le retour à la biodiversité fonctionnelle, elle seule capable de restaurer rapidement les fonctions biologiques du sol, qui est la première priorité, car elle permet de régénérer très vite et d'entretenir la capacité des sols à produire en reconstituant le statut organique des sols et une activité biologique efficace

associée qui agissent sur de nombreuses fonctions agronomiques essentielles et complexes des sols, favorables à l'agriculture durable (*Fig. 167*).

La diffusion massive de ces systèmes SCV pourrait permettre au Brésil, à travers aussi bien de son puissant agronégoce que de sa petite agriculture familiale de :

- Récupérer rapidement son vaste réservoir de terres dégradées (*plus de 16 millions d'ha en Amazonie*), soit d'économiser d'autant les réserves forestières de biodiversité,
- Retrouver une forte biodiversité utile dans les systèmes de production et d'exploitation tout en produisant plus, de manière durable et plus écologique, avec moins d'intrants chimiques, plus efficaces et mieux contrôlés,

soit "redorer le blason" de l'agronégoce à l'extérieur en gommant son image de «soja mangeur de forêt» et conduire à une réconciliation rapide avec l'écologie, indispensable maintenant au développement harmonieux du Brésil.

Le dernier enseignement de cette étude réalisée en prise directe et permanente dans les réalités agricoles, est que les SCV ne pourront encore progresser au bénéfice de la production agricole et de l'environnement que si la recherche a l'humilité de retourner dans la nature, en force, pour voir, apprécier, comprendre comment s'exerce le génie de la vie *in situ*, et comment cette nature si riche et si admirable dans sa complexité (*systémique, holistique*) peut servir toujours mieux l'agriculture durable, pour passer graduellement et de manière viable des agrosystèmes actuels aux écosystèmes cultivés (*Fig. 167*). La fonction essentielle de l'agronome de demain devrait être celle de "généticien de l'environnement" ou comment sélectionner les espèces possédant des fonctions qui servent gratuitement l'agriculture, comment les maîtriser au sein de systèmes viables, facilement appropriables qui optimisent les relations «Géotypes x Systèmes de culture» et garantissent la reproductibilité environnementale des écosystèmes.

On ne peut qu'encourager le Brésil à mettre en œuvre rapidement et à grande échelle la diffusion de ces scénarios SCV d'agriculture durable, pour franchir un nouveau palier décisif de développement qui servira d'exemple et de guide au monde.

On ne peut que souhaiter aussi que la puissance intellectuelle et financière des grandes multinationales puisse réellement se mettre au service de la production propre, exempte de résidus agrottoxiques, en concevant des OGMs qui viendraient uniquement compléter efficacement les écoservices de large et durable impact sur les sols (*et ses fonctions*) créés et entretenus par les SCV, et en produisant des molécules organiques pour diminuer petit à petit la charge chimique et ses nuisances qui pèsent négativement sur l'environnement, la nourriture et la santé humaine.

Le semis direct sur couverture permanente du sol (SCV) 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, de plus en plus, "au plus près de l'écologique". Essayons d'associer toutes les forces disponibles pour poursuivre cette œuvre et faire face plus efficacement aux grands défis de ce siècle qui sont la lutte contre la pauvreté (*nourrir la planète et proprement*), et contre le changement climatique (*systèmes de culture tampons*) dans un monde où les ressources naturelles se raréfient (*eau, biodiversité*) et où se dessine déjà une pénurie alimentaire sans précédent.

FIG. 167

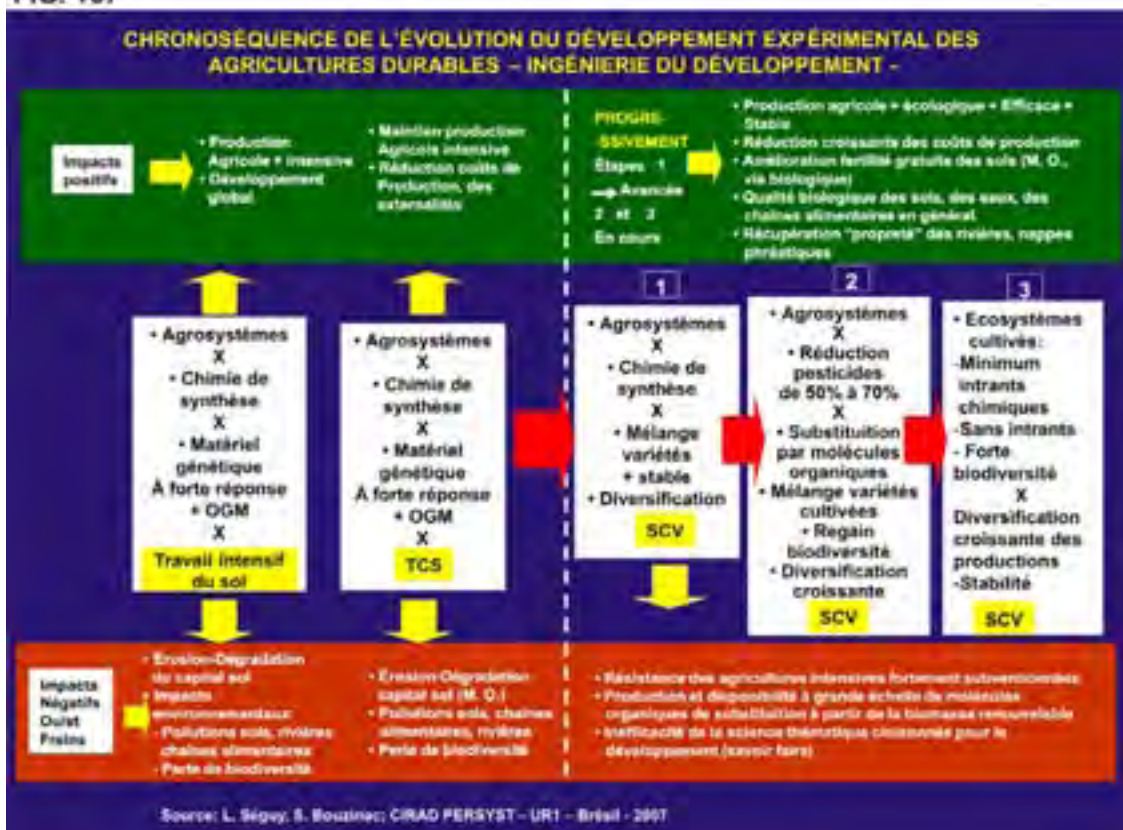
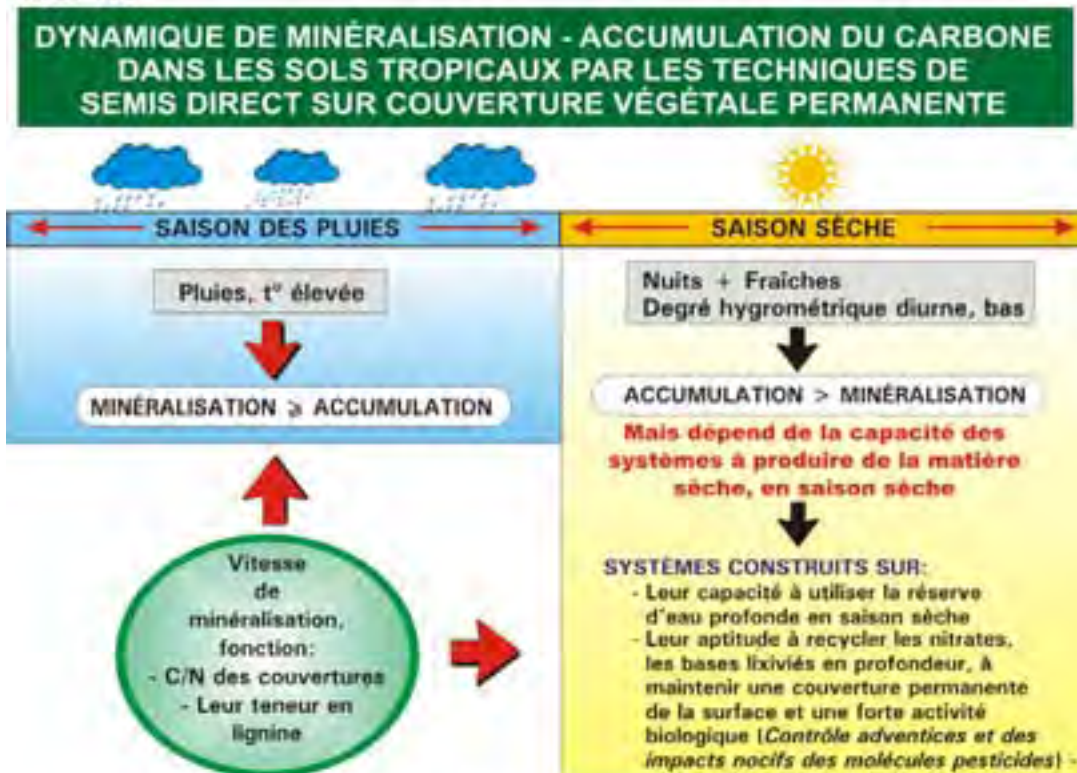


FIG. 168



SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD/GEC; J. C. Quillet, Agriculteur Français, C. Bourguignon, LAMS - France

FIG. 169 ÉCOSYSTÈME FORESTIER AMAZONIEN ET MEILLEURS SYSTÈMES DE SEMIS DIRECT
 • Sols ferrallitiques du sud du bassin amazonien - Sinop/MT, 1999

	FORÊT	MEILLEURS SYSTÈMES DE SEMIS DIRECT
M. O. (0 - 20 cm)	18 t/ha C → litières + racines ⁶ 55 t/ha humus dont 44t/ha fortement liée matière minérale	14 - 20 t/ha litières + racines ¹⁰ > 40 à 50 t/ha humus
Porosité	Macropores dominants ⁷ (0,1 - 100 μm) ressuyage rapide MWD entre 4 et 5	Idem restructuration profil > 2 m ¹⁰ par racines graminées MWD entre 4 et 5
Utilisation eau par les plantes	Utilisation eau profonde ⁸ en saison sèche > 1,7 m	Utilisation eau profonde ¹⁰ fin saison pluies et saison sèche > 2m - Coton, Sorgho, Mil, Tournesol, pâturage temporaire
Cycle des éléments nutritifs	Majeure partie prélèvement ⁹ nutriments → entre 0 et 5 cm de profondeur	Reconstitution horizon 0 - 5 cm ¹⁰ Nourricier - systèmes racinaires en chandelier Important recyclage profond
← Nutrition entre M. O. Vivante et morte → Peu d'échanges avec sol minéral		

SOURCE: 6. Cerni et al., 1992; 7. Cabral, 1991; Leopoldo et al., 1987; 8. Pimentel da Silva et al., 1992;
 9. Stark et Jordan, 1978; Lucas et al., 1993; Luizão et al., 1992; 10. Séguy L. et Bouzinac S., CIRAD/GEC - 1990-99

FIG. 170 ÉCOSYSTÈME FORESTIER AMAZONIEN ET MEILLEURS SYSTÈMES DE SEMIS DIRECT
 • Sols ferrallitiques du sud du bassin amazonien - Sinop/MT, 1999

	FORÊT	MEILLEURS SYSTÈMES DE SEMIS DIRECT
Biomasse litière	8,4 t/ha ¹	10 - 15 t/ha ¹⁰ (Grains + <i>Brachiaria R.</i>)
Vitesse décomposition litière	50% poids en 37 jours, ² saison des pluies 50% poids en 216 jours, saison sèche	50% poids en 30 jours, ¹⁰ (Maïs, Riz)
Biomasse racinaire	± 5 t/ha ³ 60% 0 - 20cm 80% 0 - 40 cm	5 - 7 t/ha ¹⁰ (Grains + <i>Brachiaria R.</i>)
Biomasse microbienne	1,9 à 3,3% C ⁴ (0 - 5 cm)	À chiffrer
Biodiversité P. Aérienne	175 à 235 espèces ⁵ 43 à 49 familles + animaux	3 espèces ha/an ¹⁰ + bovins

SOURCE: 1. Luizão, 1989; 2. Luizão et Schubert, 1987; 3. Chauvel et al., 1987; 4. Lavelle et al., 1991;
 5. France et al., 1976; Barbosa, 1988; 10. Séguy L. et Bouzinac S., CIRAD/GEC - 1990-99

FIG. 171

CE QUI A CHANGÉ AVEC LA MAÎTRISE DES SCV DANS LES GRANDES RÉPONSES DES ÉCOSYSTÈMES CULTIVÉS⁽¹⁾ TROPICAUX
 Vision synthétique des tendances majeures

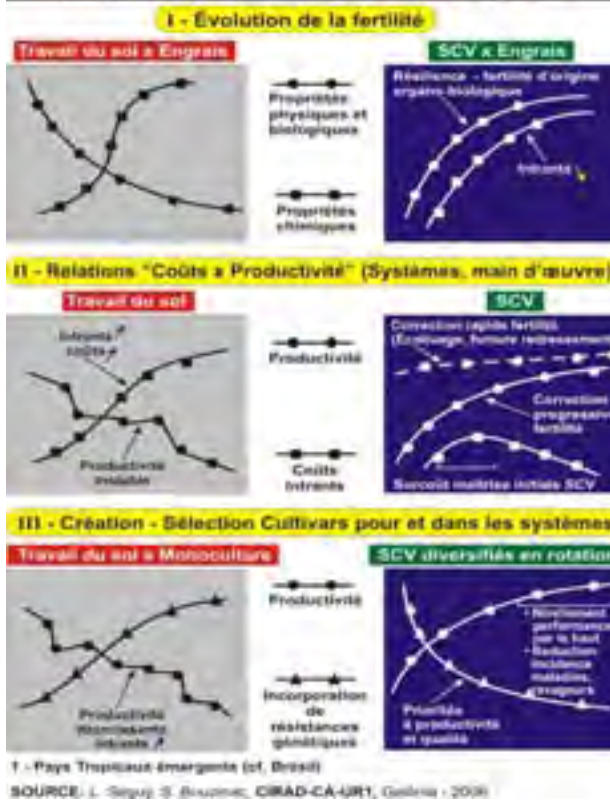


FIG. 172 **LE SEMIS DIRECT SUR COUVERTURE VÉGÉTALE**

DÉFINITION

Le semis direct sur couvertures végétales est un système conservatoire de gestion des sols et des cultures, dans lequel la semence est placée directement dans le sol qui n'est jamais travaillé - Seul un petit trou ou sillon est ouvert, de profondeur et largeur suffisantes, avec des outils spécialement conçus à cet effet, pour garantir une bonne couverture et un bon contact de la semence avec le sol - Aucune autre préparation du sol n'est effectuée - l'élimination des mauvaises herbes, avant et après le semis est faite avec des herbicides les moins polluants possibles pour le sol qui doit toujours rester couvert -

REPRÉSENTATION



V) REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **AFD/MAE/FFEM/CIRAD - 2006** Le semis direct sur couverture végétale permanente (SCV)
- Traduit en anglais en Sept. 2007 : Direct seeding mulch-based cropping systems (DMC) - 64 p.
- **Bernoux M., Cerri C. C., Cerri C. E. P., Siqueira Neto M., Metay A., Perrin A.S., Scopel E., Razafimbelo T., Blavet D., Piccolo M. de C., Pavei M., Milne E. 2006:** - Cropping systems, Carbon sequestration and erosion in Brazil, a review . 8 p. In *Agron. Sustain. Dev.* 26(2006)1-8
- **Carvalho Dores E. F. G. de , Monnerat R. G. 2006.** - Capítulo 15 : Algodão e proteção ambiental - In Doc FACUAL “Algodão - Pesquisas e resultados para o campo Chapitre 15 pag 361- 389.
- **Cerri C. C. , Moraes J. F. L. , Volkoff B. 1992.** - Dinâmica do carbono orgânico em solos vinculados a pastagem da Amazônia brasileira ; In *revista INIA, inv. Agr., n° a*, t. 1, pp 95-102.
- **Corraza E. J. , Silva J. E. , Resck D. V. S. , Gomes A. C. 1999.** - Comportamento de diversos modos de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação a vegetação de Cerrado. In *Revista Brasileira Ciência do Solo* 23 pag 425-432.
- **Direto no Cerrado - Ano 5 N° 18 (APDC) Outubro/Novembro 2000** - Alerta á agricultura do Brasil Central - O PD está em perigo (L. Séguy - S. Bouzinac) p. 6.
- **Dixon J., Gulliver A., Gilbon D. 2001 .** - In systèmes d’exploitation agricole et pauvreté - FAO & BM - Rome et Washington -DC
- **Doss, D.D. , Bagyaraj D.J. , Syamasundar, J. 1989.** - Morphological and histochemical changes in the roots of finger millet *Eleusine coracana* colonized by VA mycorrhiza. *Proc. India Natl. Sci. Acad.* 54 :pp 291-293.
- **FACUAL Relatório final- 2003 - Projeto:** Sistema de plantio direto e pacotes tecnológicos para cultivares de algodão da Coodetec e demais no Mato Grosso - Safra 2002/2003 - Contrato : FACUAL/Unicotton n° 41/2002 - Equipe = Séguy L., Bouzinac S., Martin J., Belot J.L., Vilela P.A., Guedes H., Márquez A., Rodrigo M. - Dezembro 2003 -110 pages + annexes. FACUAL Cuiabá -MT /Brésil.
- **FACUAL Relatório final- 2004 - Projeto:** Sistema de plantio direto e pacotes tecnológicos para cultivares de algodão da Coodetec e demais no Mato Grosso - Safra 2003/2004 - Contrato : FACUAL/Unicotton n° 41/2003 - Equipe = Séguy L., Bouzinac S., Martin J., Belot J.L., Vilela P.A., Ferreira D. da S., Donin C. E., Silva M. R. P. da . Junho 2005 -149 pages. FACUAL Cuiabá.
- **FACUAL Relatório final- 2005 - Projeto:** Sistema de plantio direto e pacotes tecnológicos para cultivares de algodão da Coodetec e demais no Mato Grosso - Safra 2004/2005 - Contrato : FACUAL/Unicotton n° 41/2004 - Equipe = Séguy L., Bouzinac S., Martin J., Belot J.L., Vilela P.A., Donin C. E., Silva M. R. P. da . Junho 2006 -122 pages. FACUAL Cuiabá.
- **FACUAL Relatório final- 2006 - Projeto:** Sistema de plantio direto e pacotes tecnológicos para cultivares de algodão da Coodetec e demais no Mato Grosso - Safra 2005/2006 - Contrato : FACUAL/Unicotton n° 21/2005 - Equipe = Séguy L., Bouzinac S., Martin J., Belot J.L., Salvado A., Vilela P.A., Abadia R., Silva M. R. P. da . Março 2007 -111 pages. FACUAL Cuiabá.
- **Goedert W.J. , 1989** - Região dos cerrados : potencial agrícola e política para seu desenvolvimento. In *Pesquisa Agropecuária Brasileira - Brasília* 24:1- 17.
- **Husson O., Séguy L. ; Michellon R., Boulakia S. 2006** - Chapter 23: Restoration of Acid Soil System through Agroecological Management. In *Biological Approaches to Sustainable Soil Systems* pp. 343 - 356 (Uphoff et al., 2006 ; CRC press, New York, 764 p. ISBN -10 : 1-57444-583-9, ISBN 13 : 978-1-57444-583-1)

- **Lucas Y. , Luizão F. J. , Chauvel A. , Rouiller J. , Nathon D. 1993 .** - The relation between biological activity of the rain forest and mineral composition of soils. In *Science*, vol. 260 pp 521-523.
- **Maronezzi A.C. , Belot J. L. , Martin J., Séguy L. , Bouzinac S. , 2001.** - A safrinha de algodão = opção de cultura arriscada ou alternativa lucrativa dos sistemas de plantio direto nos trópicos úmidos - *Boletim técnico n° 37 da COODETEC CP 301 85806-970 Cascavel - PR / Brésil (traduite en français Doc. Interne CIRAD-CA).*
- **Nicolodi M., Gianello C. et Anghinoni I., 2007** - Repensando o conceito da fertilidade do solo no Sistema Plantio Direto. In *Revista do Plantio Direto* Ano XVII - N° 101 Setembro/outubro 2007 p 24-32
- **Pasquis R., Oliveira Machado L. de, 2007.** - La récupération des terres : un enjeu socio - environnemental prioritaire en Amazonie brésilienne.
- **Perrin A.S. 2004.** - Thèse de Master of science : « Effets de différents modes de gestion des terres sur la matière organique et la biomasse microbienne en zone tropicale humide » - Université de Lausanne - Suisse.
- **Sá J.C.M.; Cerri C.C.; Piccolo M.C., Feigl B.E.; Buckner J.; Fornari A.; Sá M.F.M.; Séguy L. , Bouzinac S.; Venkze-Filho S.P., Paulleti V.; Neto M.S. 2004** - O plantio direto como base do sistema de produção visando o seqüestro do carbono In *Revista Plantio Direto* Ano XIV n° 84 Novembro/Dezembro 2004 pp 45 - 61
- **Sá J.C.M.; Séguy L. , Bouzinac S. et al. 2008 (proposé en 2007)** - Carbon pools and balance in no-tillage soils under intensive cropping systems in tropical and subtropical agroecozones - In *Soil Science Society American Journal (en révision finale).*
- **Séguy L. - 1994.** Contribution à l'étude et à la mise au point des systèmes de culture en milieu réel : - petit guide d'initiation à la méthode de création-diffusion de technologies en milieu réel, - résumés de quelques exemples significatifs d'application. Doc. CIRAD, Octobre 1994, 191 p.
- **Séguy L. , Bouzinac S. , Trentini A. , Cortez N.A. 1996.** - L'agriculture brésilienne des fronts pionniers. In *Agriculture et développement n°12, décembre 1996.* pp;2-61. - 34398 Montpellier cedex 5 - France.
- **Séguy L. , Bouzinac S. , Maeda E. , Maeda N. 1998,a.** - Brésil : semis direct du cotonnier en grande culture motorisée. In *Agriculture et développement n°17, Mars 1998.* pp.3-23. - 34398 Montpellier cedex 5 - France.
- **Séguy L. , Bouzinac S. , Maronezzi A.C. 1998,b.** - 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'état du Mato Grosso. Doc. Interne CIRAD/ Agronorte, 4 pages - 34398 Montpellier cedex 5 - France.
- **Séguy L. , Bouzinac S. , Maronezzi A.C. 1998,c.** - Semis direct et résistance des cultures aux maladies. Doc. interne CIRAD, 1998, 4p. -34398 Montpellier cedex 5 - France.
- **Séguy L. ; Bouzinac S. ; Trentini A. ; Cortes N.A. - 1998,d.** - Brazilian frontier agriculture. In *Agriculture et Développement, spécial issue, november 1998,* 63 pages. ISSN 1249-9951
- **Séguy L. , Bouzinac S. , Maeda E. , Ide M.A. , Trentini A. 1999.** - La maîtrise de *Cyperus rotundus* par le semis direct en culture cotonnière au Brésil. In *Agriculture et développement n° 21, mars 1999.* pp.87-97 - 34398 Montpellier cedex 5 - France .
- **Séguy L. , Bouzinac S. , Taffarel W. , Taffarel J. 2000.** - Méthode de défrichement préservant la fertilité du sol. In: *Bois et forêts des tropiques - n° 263 - 1^o trimestre 2000* - p.75-79. CIRAD - 34398 Montpellier cedex 5 - France.

- **Séguy L. , Bouzinac S. , Maronezzi A.C. 2001,a.** - Un dossier du semis direct : Systèmes de culture et dynamique de la matière organique - 203p. (*existe en français et portugais*). Doc. Interne et CD-Rom CIRAD-CA/GEC 34398 Montpellier Cedex 5 - France.
- **Séguy L., Bouzinac S. 2001,b.** - Semis direct et couverture végétale : comment cultiver durablement les sols de la planète. In *World Congress on conservation agriculture, Madrid, 1-5 october 2001*.
- **Séguy L. ; Bouzinac S. 2001,c.** - Cropping systems and organic matter dynamics. 5 p. - In *World Congress on conservation agriculture, Madrid, 1-5 october 2001*.
- **Séguy L. ; Bouzinac S. - 2001,d.** Systèmes de culture sur couverture végétale : - stratégies et méthodologies de la recherche-action ; - concepts novateurs de gestion durable de la ressource sol ; - suivi-évaluation et analyses d'impacts. Document CIRAD-CA/GEC, 2001, 21 pages + 37 figures.
- **Séguy L. ; Bouzinac S. 2002, a** - Alternativas para coberturas do solo viáveis para o Cerrado. In *VI Encontro de Plantio Direto no Cerrado - 2º Encontro de Plantio Direto do Oeste da Bahia, Döwich I.* - pp 109- 131 - Luis Eduardo Magalhães - Bahia/ Brésil junho 2002.
- **Séguy L. , Bouzinac S. , Maronezzi A.C. , Belot J. L. , Martin J. 2002, b.** - Systèmes de production durable de coton pour les savanes humides du Brésil Central - 9 pages In Congrès Mondial Recherche Cotonnière - Le Cap - Mars 2003.
- **Séguy L. ; Bouzinac S. 2003,a** - CD édité par CIRAD : « AGRICULTURE DURABLE - 20 ans de Recherche du CIRAD-CA et de ses partenaires brésiliens en zone tropicale humide (Centre Ouest du Brésil) - Avril 2003 - 105 pages- CIRAD PERSYST /UR 1 - Montpellier - France (traduit en portugais).
- **Séguy L. ; Bouzinac S. 2003,b** - Alternativas para formação de palhadas Conseqüências agrônômicas e técnico-econômica. In *VII Encontro de Plantio Direto no Cerrado* pp 157 - 198 - Sorriso MT 04 a 06 de junho 2003 (ISSN: 1678-8303).
- **Séguy L. ; Bouzinac S., Belot J.L., Martin J. 2004, a** Capítulo 15 : Sistemas de Produção Sustentáveis de Algodão para os Cerrados Úmidos do Brasil Central - In *Manejo Integrado: Integração Agricultura-Pecuária editores Zambolim L. et al. Universidade Federal de Viçosa MG* pp 385 - 420 - De 11 a 13/05/2004.
- **Séguy L. ; Bouzinac S., Maronezzi A.C., Scopel E., Belot J.L., Martin J. 2004, b** Capítulo 15: Da Agricultura Destruidora com Preparo do Solo para a Agricultura Sustentável e Diversificada em Plantio Direto - In *Manejo Integrado: Integração Agricultura-Pecuária editores Zambolim L. et al. Universidade Federal de Viçosa MG* pp 421 - 473 - De 11 a 13/05/2004.
- **Séguy L. ; Bouzinac S., Scopel E., Ribeiro F. 2004, c** capítulo 16 : Conceitos Inovadores na Gestão Sustentável do Recurso Solo: o Plantio Direto sobre Cobertura Vegetal permanente (SCV) - In *Manejo Integrado: Integração Agricultura-Pecuária editores Zambolim L. et al. Universidade Federal de Viçosa MG* pp 475 - 510- De 11 a 13/05/2004.
- **Séguy L. ; Bouzinac S. 2004, d** - De la Monoculture Cotonnière avec Travail du Sol au Semis Direct sur Couverture Végétale (SCV): une Conversion Complète, effectuée en 9 ans, par le Groupe agro-industriel Maeda dans le Brésil Central - Doc interne CIRAD (en CD, traduit aussi en portugais):
- **Séguy L. ; Bouzinac S. et partenaires brésiliens 2005,** Rapport annuel d'activités 2005 - UR1/ CIRAD-CA - 158 pages - Document interne CIRAD (en CD, traduit en portugais)
- **Séguy L. ; Bouzinac S., Husson O. 2006, a** - . Direct-seeded tropical soil systems with permanent soil cover: learning from Brazilian experience. In: "biological approaches to sustainable soil systems" (Uphoff N.; Ball A.S.; Fernandes E.; Herren H.; Husson O.; Laing M.; Palm C.; Pretty J.; Sanchez P.; Sanginga N.; Thies J. Eds.). CRC Press Taylor and Francis Group, New York USA. ISBN -10:1-57444-583-9; ISBN -13: 978-1-57444-583-1. Chap. 22. Pp. 323-342.

- **Séguy L. ; Bouzinac S. 2006, b** - Capítulo 5 : Gestão dos Solos Tropicais - In *1° Encontro Técnico do PAS* - pp 21 - 32 Faz. Mizote IV - São Desidério - BA/ Brésil - 07/06/2006.
- **Séguy L. ; Bouzinac S. et partenaires brésiliens 2007**, Rapport annuel d'activités 2006 - UR1/ CIRAD-CA BRESIL - 166 pages - Document interne CIRAD (en CD, traduit en portugais = Relatório anual de atividades 2006 UR1/CIRAD CA BRASIL)
- **Stark N. M. , Jordan C. F. ; 1978** . Nutrients retention by the root mat of an amazonian rain forest. In *Ecology*, 59 (3) pp 434-437.
- **Yamada T., et al. 2007**. GTD IPNI – ESALQ Sustainable agricultural system with maximum economic yield – March, 17 2007