



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, CEREAISNET 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*).

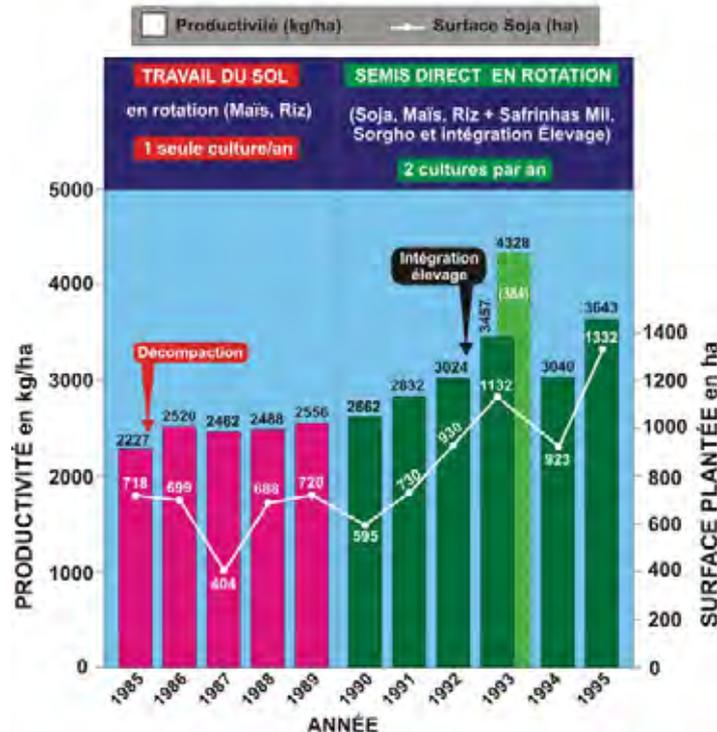
▪ Ces performances agronomiques différenciées des systèmes de culture se répercutent de la même manière sur leur viabilité économique et conduisent à un classement des systèmes similaire à celui établi pour la production de biomasse = le système SCV continu Soja + Sorgho est le plus attractif et le plus 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

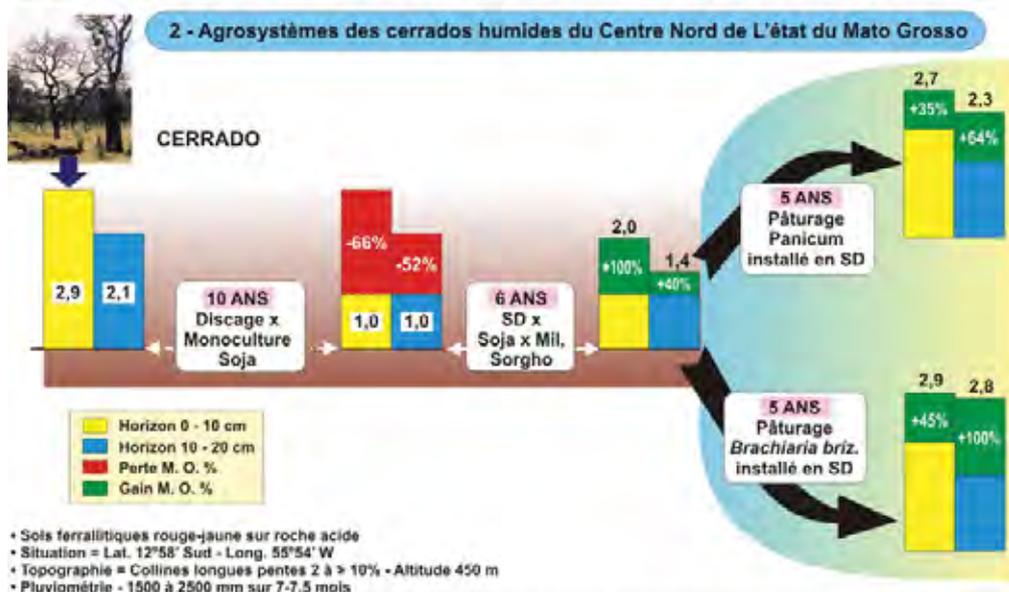
Écologie des sols ferrallitiques des cerrados humides du Centre Nord Mato Grosso - Lucas do Rio Verde - MT



SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, M. Matsubara et partenaires Brésiliens. Fazenda Progresso, Lucas do Rio Verde/MT, 1995

FIG. 17

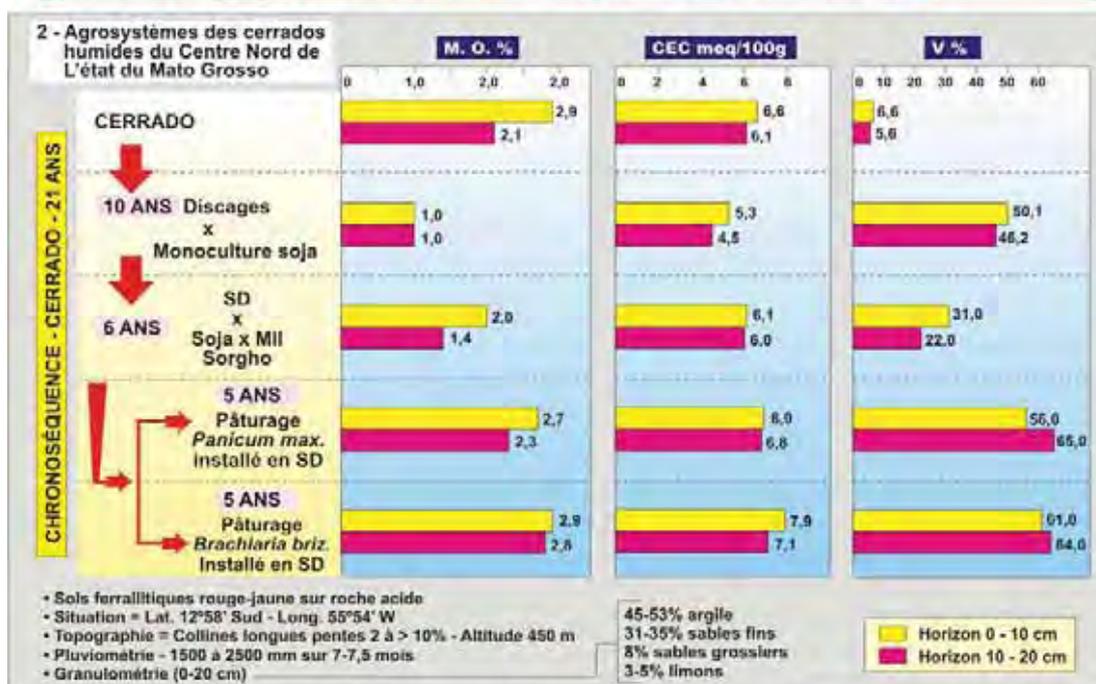
TENDANCES D'ÉVOLUTION DU TAUX DE MATIÈRE ORGANIQUE (EN %), EN FONCTION DE LA NATURE DES SYSTÈMES DE CULTURE PRATIQUÉS DANS DIVERS AGROSYSTÈMES CONTRASTÉS, TROPICAUX ET SUBTROPICAUX -



SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA/SCV; Munefumi Matsubara, 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 -

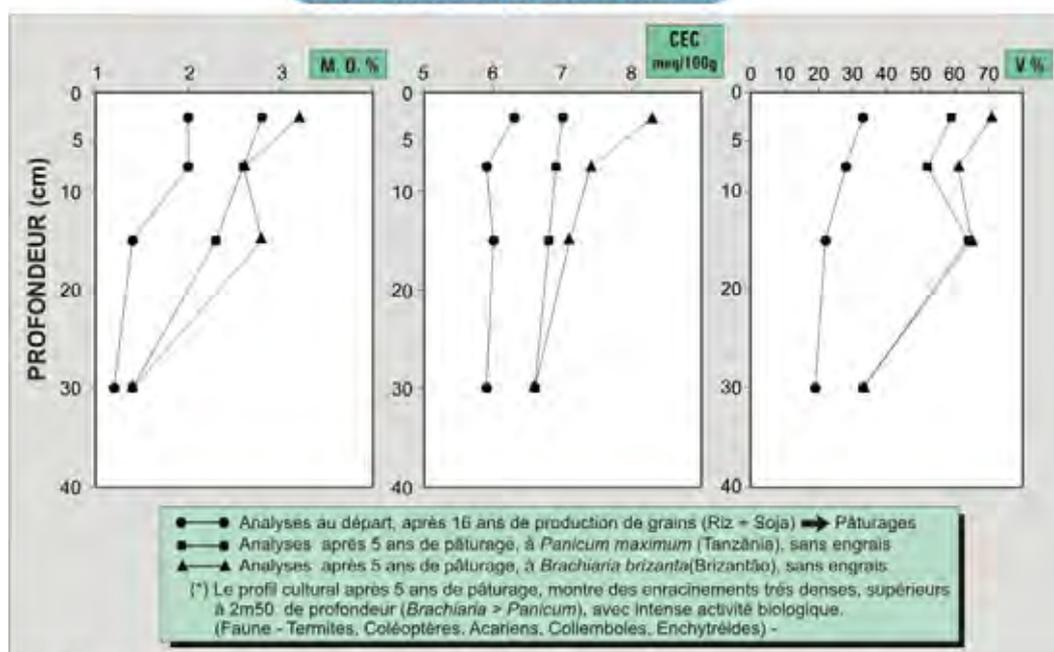


SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA/SCV; Munefumi Matsubara, Fazenda Progresso - Lucas do Rio Verde/MT - 1978/1998

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 *Brachiaria 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



SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD CA - GEC; - Munefumi Matsubara, Fazenda Progresso - MT - 1998

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

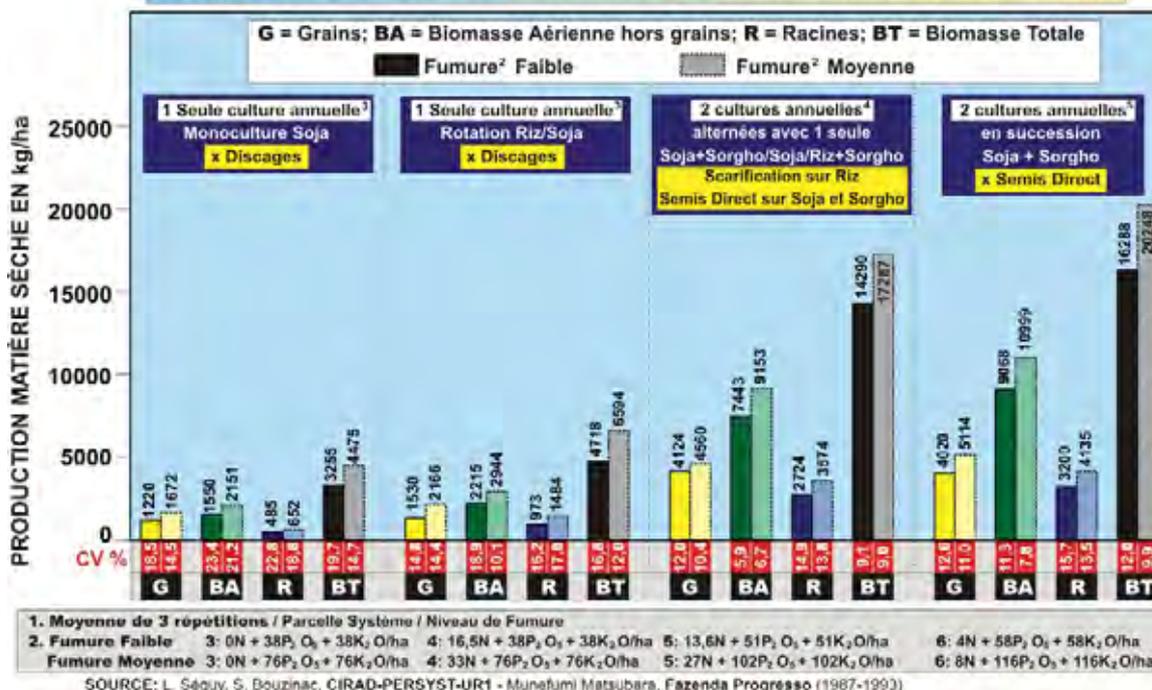


FIG. 21

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 FUMURE MINÉRALE² SUR 6 ANS

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

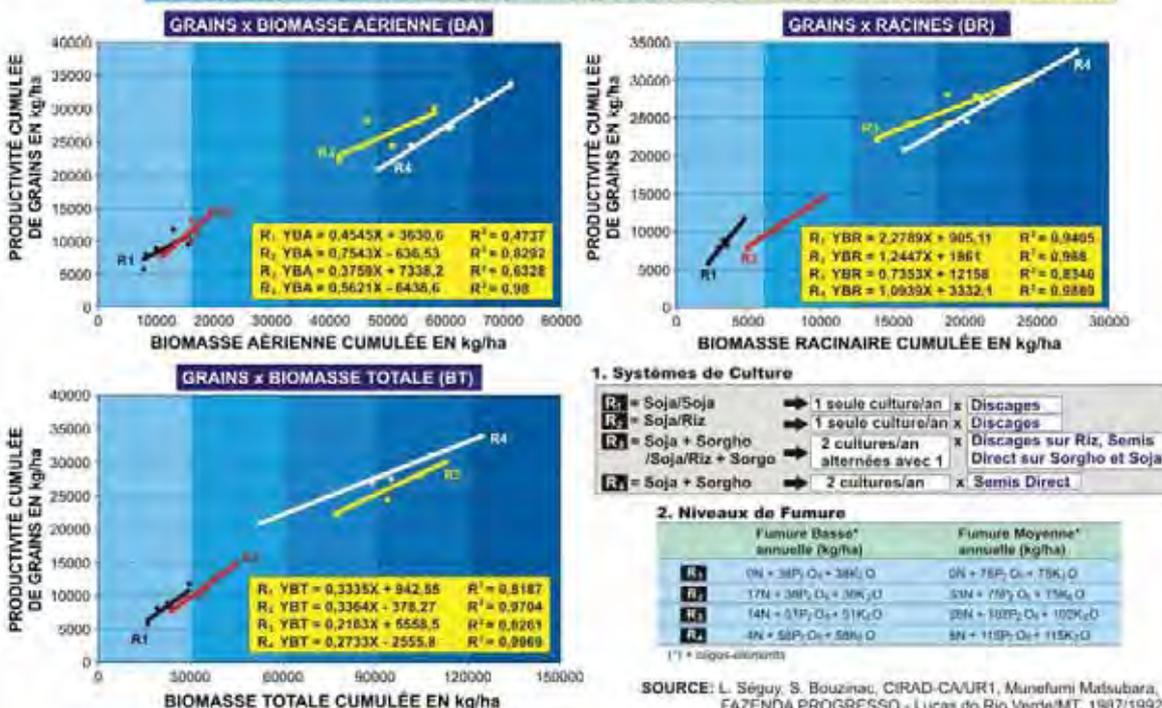


FIG. 22 PERFORMANCES ECONOMIQUES¹ DE SYSTEMES DE CULTURE TRÈS CONTRASTÉS, SUR 5 ANS À BASE DE SOJA ET RIZ + "SAFRINHAS"

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	ANNÉES				
		1987	1988	1989	1990	1991
Monoculture Soja x Discages	Coûts de production	290	272	364	255	362
• 1 seule culture annuelle	Marges Nettes ²	60	-87	-45	-98	-142
Rotation Riz / Soja x Discages	Coûts de production	235	261	315	252	435
• 1 seule culture annuelle	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	Coûts de production	440	247	465	453	324
• 2 cultures/ an, alternées avec 1 seule culture annuelle	Marges Nettes ²	50	160	128	119	170
Succession annuelle continue Soja + Sorgho x Semis Direct (SD)	Coûts de production	400	336	471	408	396
• 2 cultures / an	Marges Nettes ²	151	208	112	125	98

1. Evaluées en conditions de culture commerciale, en présence du niveau moyen de fumure minérale.

2. Prix payés au producteur pour le SOJA (sac de 60 kg), en US \$/sc : 1987 = 6,49 ; 1988 = 9,78 ; 1989 = 12,00 ; 1990 = 10,00 ; 1991 = 9,15.

Prix payés au producteur pour le RIZ (sac de 60 kg), en US \$/sc : 1987 = 6,68 ; 1988 = 7,60 ; 1989 = 7,61 ; 1990 = 9,51 ; 1991 = 10,33.

Les prix payés pour le SORGHO blanc sans tanins et à haute teneur en protéines (*12%) sont estimés à 3,00 US\$/ sac de 60 kg.

SOURCE: L. Séauv, S. Bouzinac, CIRAD-PERSYST-UR1 - Munefumi Matsubara, 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 créé 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

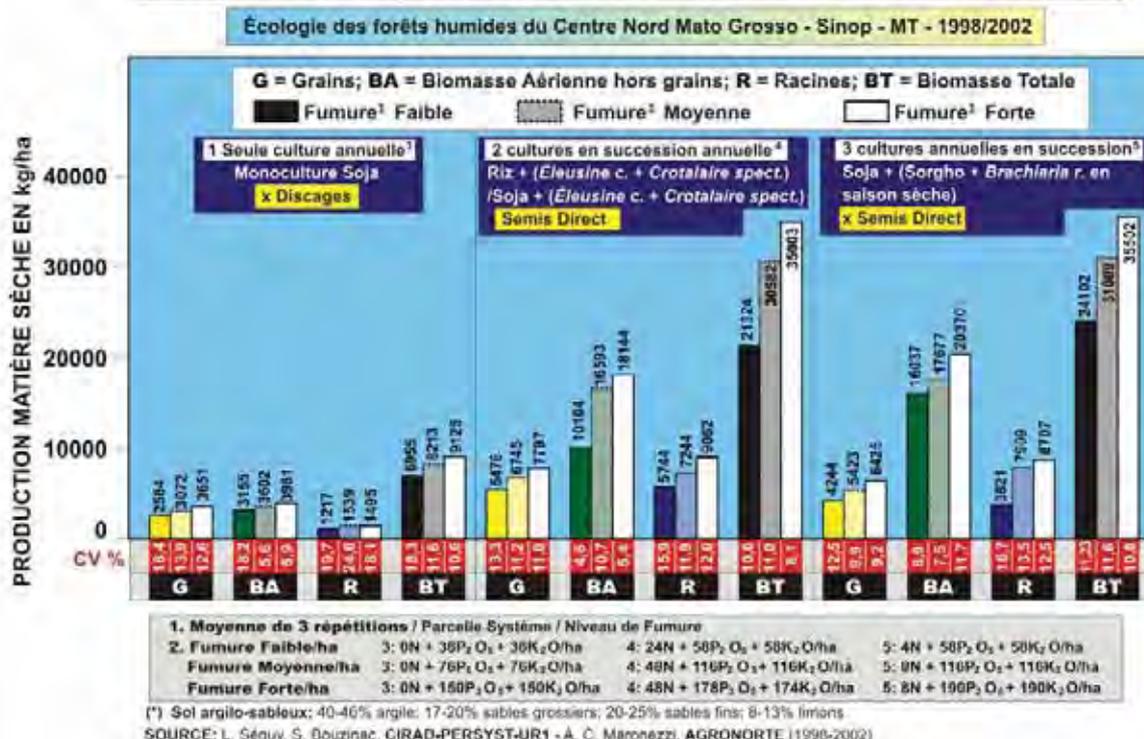


FIG. 24

RÉGRESSIONS: PRODUCTIVITÉ CUMULÉE DE GRAINS x BIOMASSE CUMULÉE TOTALE (BT), BIOMASSE AÉRIENNE VÉGÉTATIVE (BA), BIOMASSE RACINAIRE (BR), EN FONCTION DE LA NATURE DE DIVERS SYSTÈMES¹ DE CULTURE CONTRASTÉS SOUMIS À 2 NIVEAUX DE FUMURE MINÉRALE² SUR 5 ANS

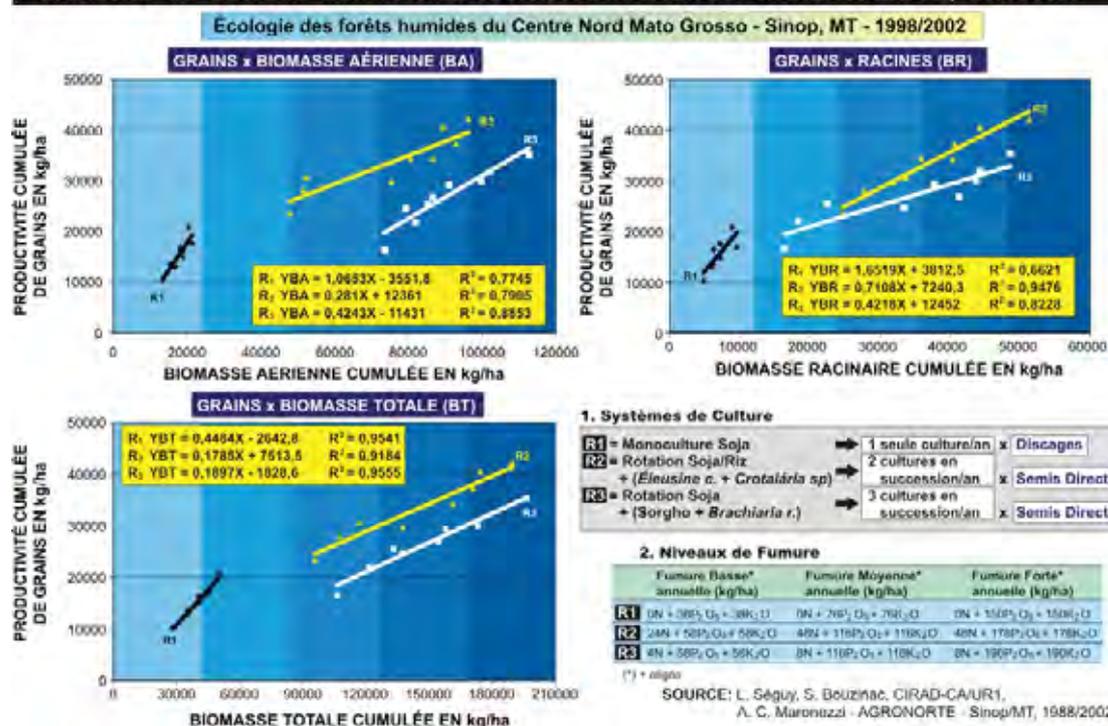


FIG. 25

PRODUCTIVITÉ¹ DU RIZ PLUVIAL EN SEMIS DIRECT EN FONCTION DE LA NATURE DES BIOMASSES DE COUVERTURE ET DE 3 NIVEAUX DIFFÉRENCIÉS D'INTENSIFICATION (NB, NM, NE²)

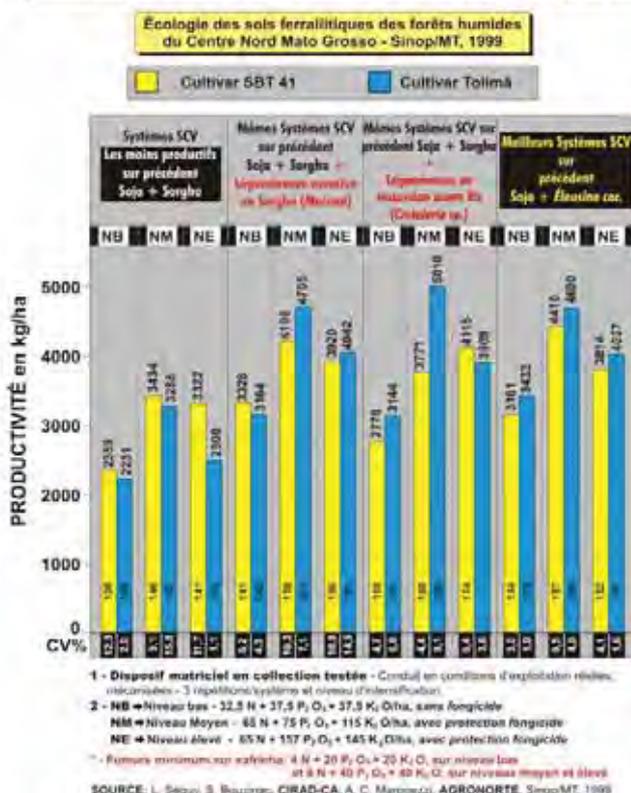


FIG. 26

PRODUCTIVITÉ¹ DU RIZ PLUVIAL EN SEMIS DIRECT EN FONCTION DE LA NATURE DES BIOMASSES DE COUVERTURE ET DE 3 NIVEAUX DIFFÉRENCIÉS D'INTENSIFICATION (NB, NM, NE²)

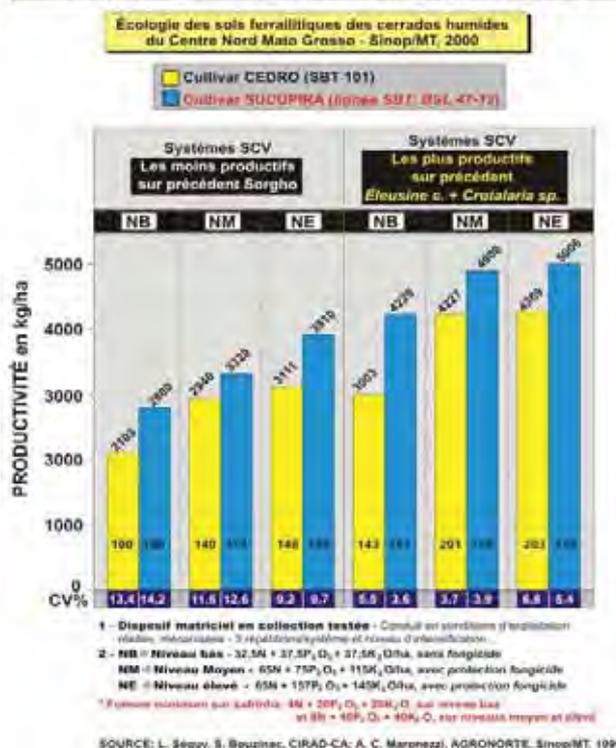
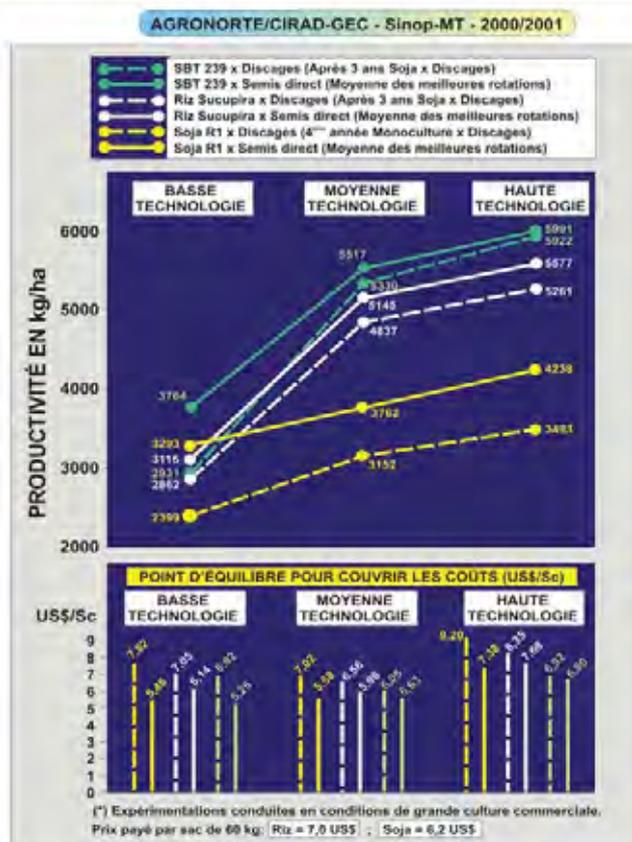


FIG. 27

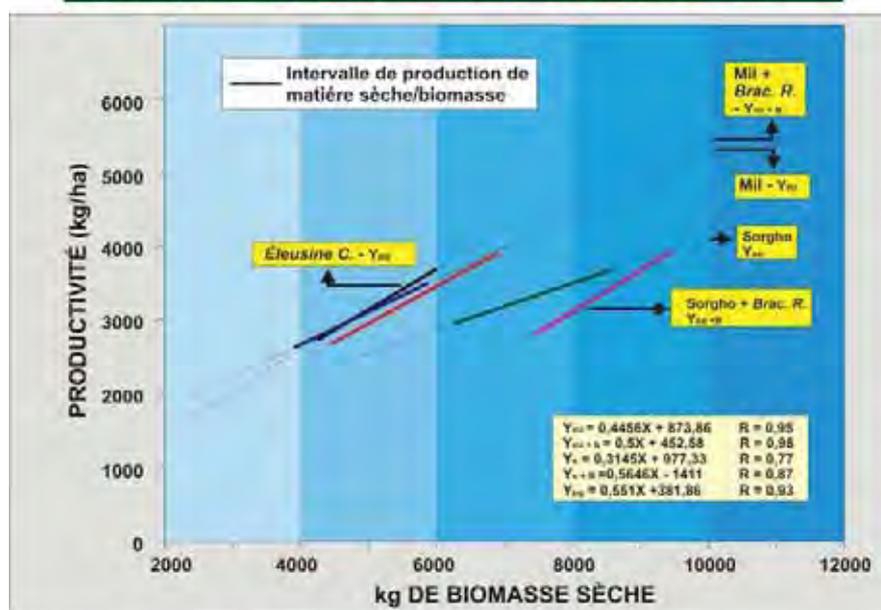
RÉPONSE DES CULTURES DE SOJA ET RIZ GRAIN LONG FIN EN FONCTION DU SYSTÈME DE CULTURE ET DU NIVEAU TECHNOLOGIQUE
Sols ferrallitiques de l'écologie des forêts humides du Centre Nord du Mato Grosso



SOURCE: L. Séguin, S. Bouzinac, CIRAD-CA/DEC, A. C. Maroncelli, L. Saucedo, 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. Conquista) SUR 3 ANS DE SEMIS DIRECT - (1997/2000) - AGRONORTE - SINOP/MT, 2000

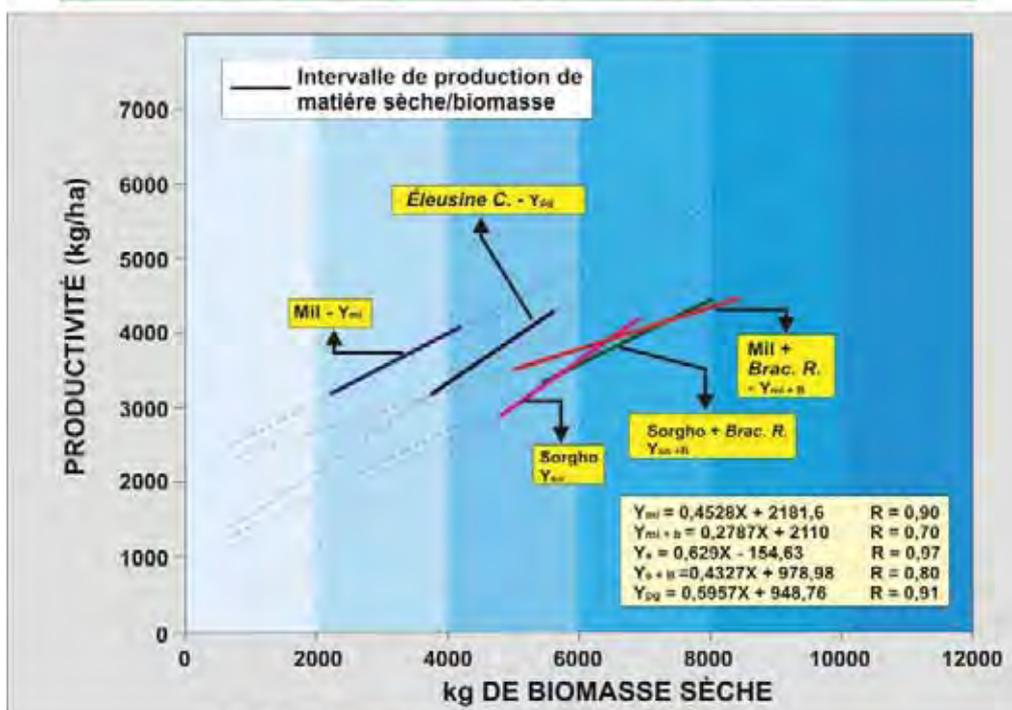


(1) 6 Répétitions/niveau de fumure/an

SOURCE: Séguin L., Bouzinac S., CIRAD-CA; Maroncelli A., Lucas G. L., Bianchi 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; Maronezzi 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

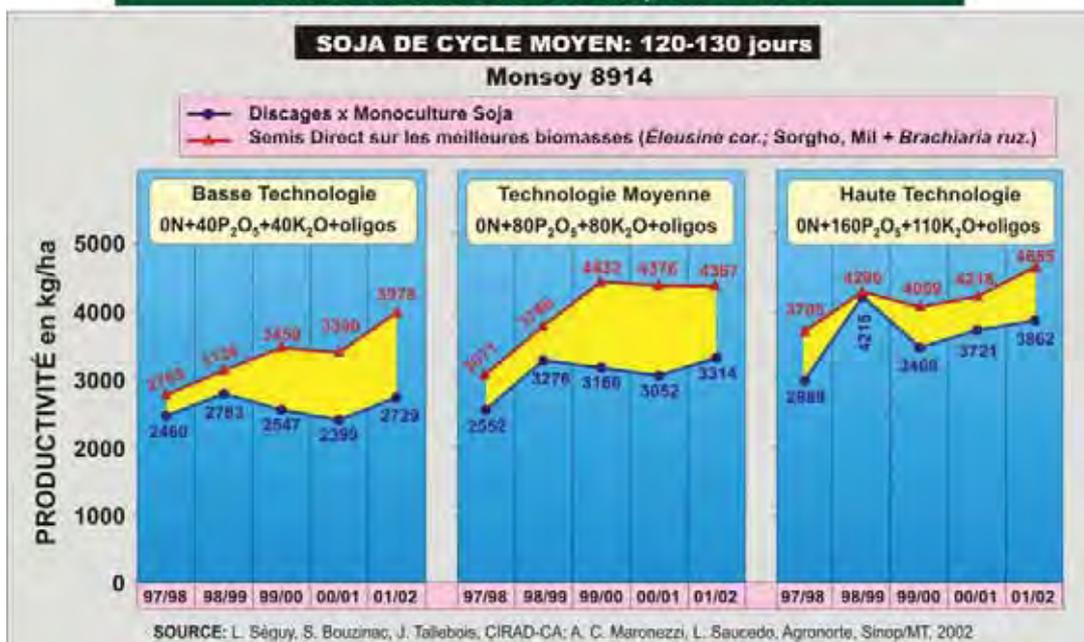


FIG. 31 ÉVOLUTION SUR 5 ANS DE LA PRODUCTIVITÉ DE SOJA, EN FONCTION DU SYSTÈME DE CULTURE
Sols ferrallitiques de l'écologie des forêts humides du Centre Nord Mato Grosso - Sinop/MT - 1997/2002

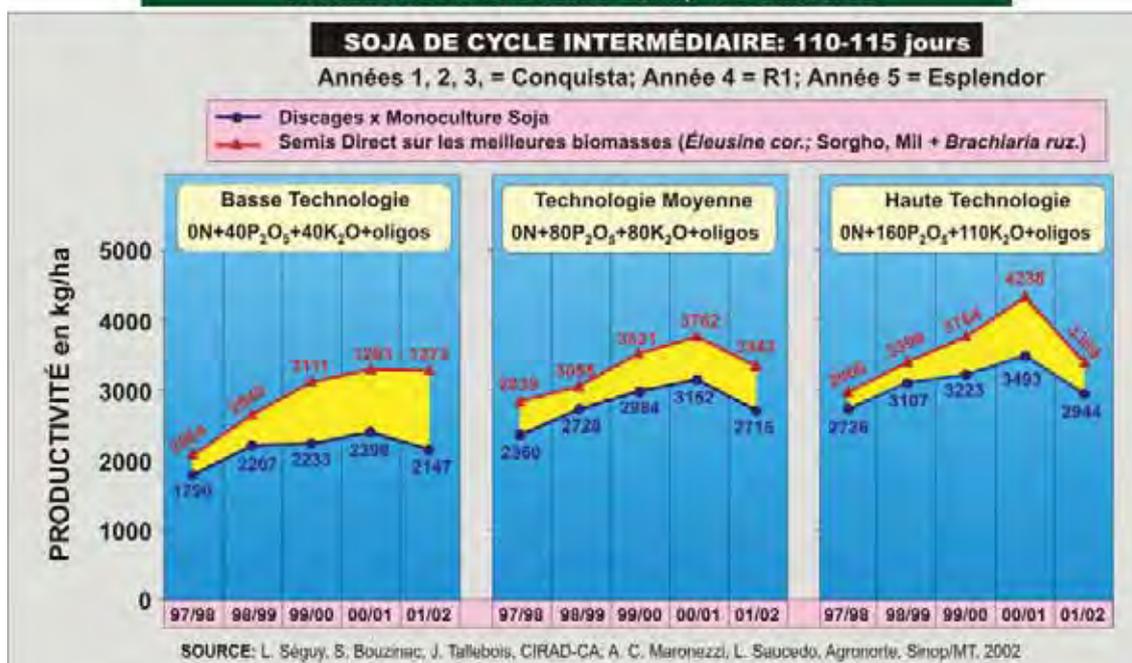


FIG. 32 ÉVOLUTION DES GAINS DE PRODUCTIVITÉ DU SOJA⁽¹⁾, EN FONCTION DU SYSTÈME DE CULTURE ET DU NIVEAU TECHNOLOGIQUE
Sols ferrallitiques de l'écologie des forêts humides du sud de l'Amazonie - Sinop/MT - 2002

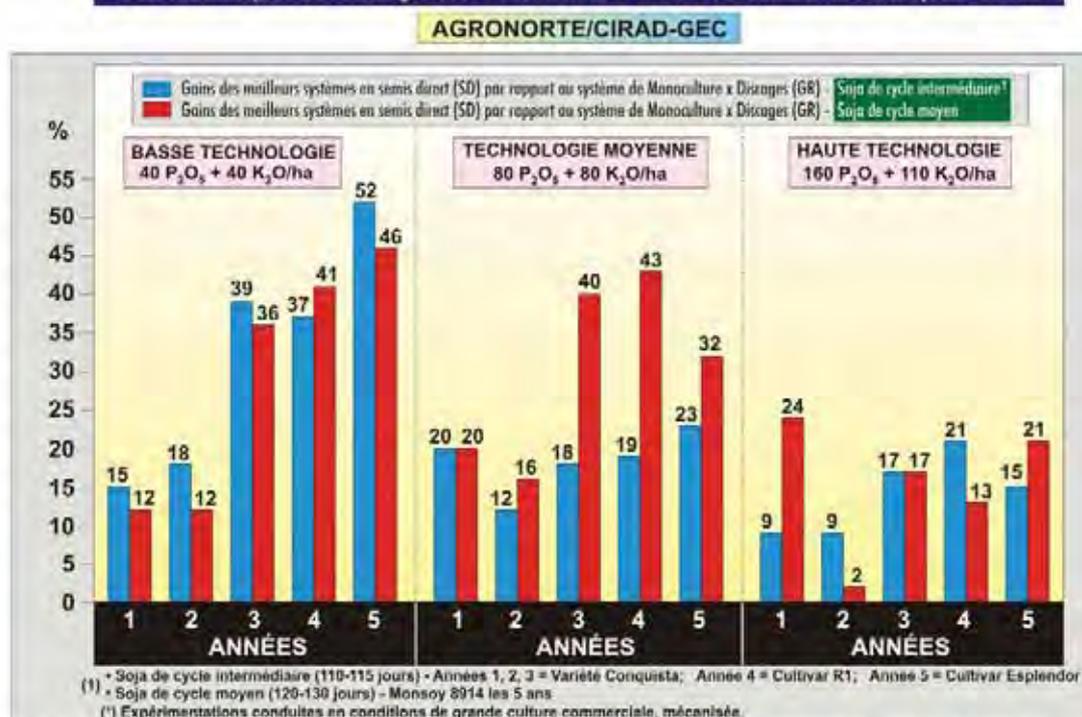


FIG. 33

SUR 5 ANS: RENDEMENTS MOYENS, GAINS DE RENDEMENTS CUMULÉS ET MOYENS EN FAVEUR DU SEMIS DIRECT SUR SOJA DE CYCLES INTERMÉDIAIRE ET MOYEN
Écologie des forêts humides et sols ferrallitiques du Centre Nord du Mato Grosso

CIRAD-CA/AGRONORTE - Sinop/MT - 2000

SOJA DE CYCLE INTERMÉDIAIRE 110-115 jours

Années 1, 2, 3, = Conquista; Année 4 = R1; Année 5 = Esplendor

Semis Direct sur les meilleures biomasses
(*Eleusine cor.*; Sorgho, Mil + *Brachiaria ruz.*)
Discages x Monoculture Soja

SUR 5 ANS	Basse Technologie	Technologie Moyenne	Haute Technologie
Rendements moyens (kg/ha)	2878	3304	3551
Gains cumulés de rendement en faveur du semis direct (kg/ha)	2155	2788	3099
Gain moyen annuel de rendement en faveur du semis direct (kg/ha)	3613	2581	2263
Gain moyen annuel de rendement en faveur du semis direct (kg/ha)	723	516	453
Sacs 60 kg	12	8,6	7,6

SOJA DE CYCLE MOYEN: 120-130 jours - MONSOY 8914

Semis Direct sur les meilleures biomasses
(*Eleusine cor.*; Sorgho, Mil + *Brachiaria ruz.*)
Discages x Monoculture Soja

SUR 5 ANS	Basse Technologie	Technologie Moyenne	Haute Technologie
Rendements moyens (kg/ha)	3344	4006	4185
Gains cumulés de rendement en faveur du semis direct (kg/ha)	2584	3072	3651
Gain moyen annuel de rendement en faveur du semis direct (kg/ha)	3800	4672	2668
Gain moyen annuel de rendement en faveur du semis direct (kg/ha)	760	934	534
Sacs 60 kg	12,7	15,6	8,9

SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinas, CIRAD-CA/SCV; A. C. Maronezzi, AGRONORTE - 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 ym 1500 kg/ha/3 ans
■ 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
• <i>Eleusine C.</i> (PG 5352)	1200 - 1500	1500 - 1800	1800 - 3000
• <i>Eleusine C.</i> (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 faible ²			
• <i>Eleusine C.</i> (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
• <i>Eleusine C.</i> (PG 6240)	700 - 900	900 - 1200	1200 - 1800

1 - Engrais formulé - 6-16-16 + oligos pour le Riz; 0-16-16 + oligos sur le Soja

2 - Engrais formulé { Sur niveau 250 kg/ha appliqué sur la culture principale ➡ 100 kg/ha 6-16-16
Sur niveaux 500 kg/ha et 500 kg/ha + thermophosphate ➡ 200 kg/ha 6-16-16

SOURCE: Séguy L., Bouzinac S., CIRAD-CA; Maronezo 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

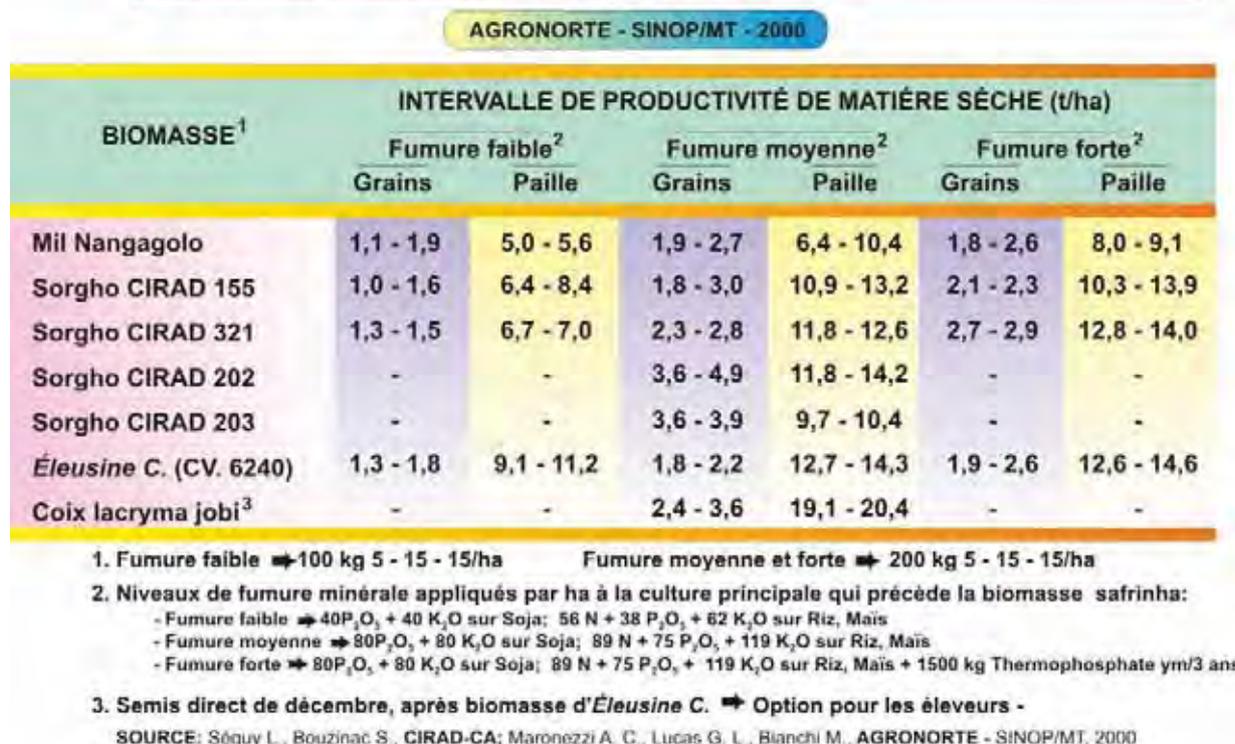


FIG. 36 TENDANCES D'ÉVOLUTION DU TAUX DE MATIÈRE ORGANIQUE (en %), EN FONCTION DE LA NATURE DES SYSTÈMES DE CULTURE PRATIQUÉS DANS DIVERS AGROSYSTÈMES CONTRASTÉS, TROPICAUX ET SUBTROPICAUX - 2002

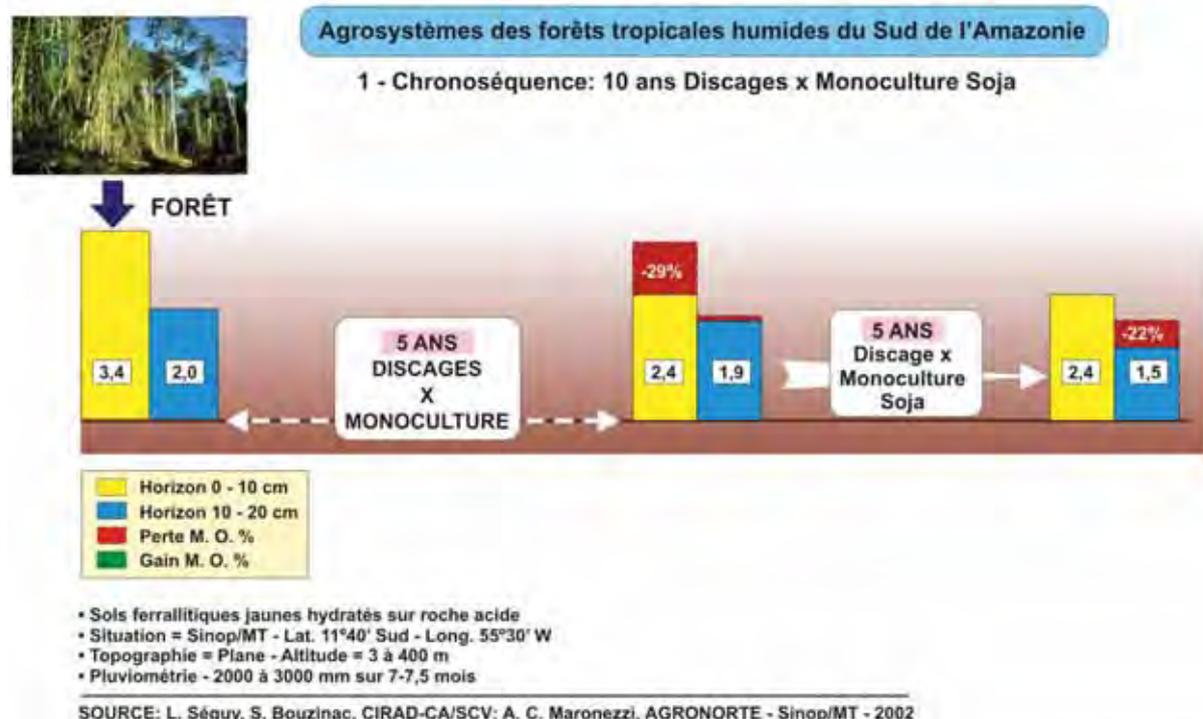
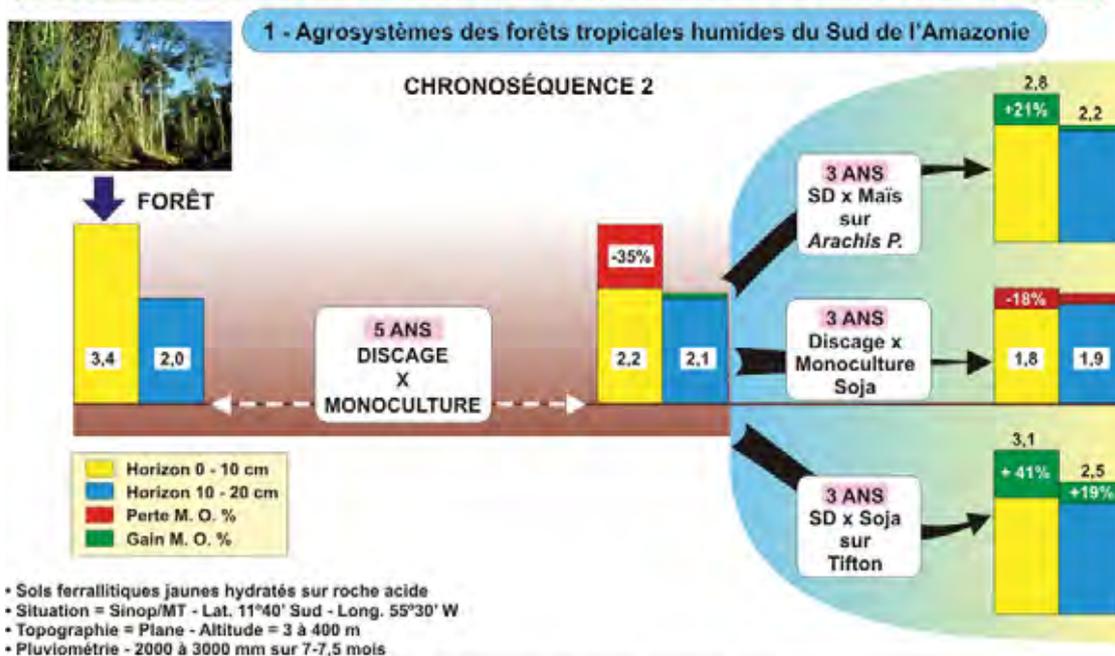


FIG. 37

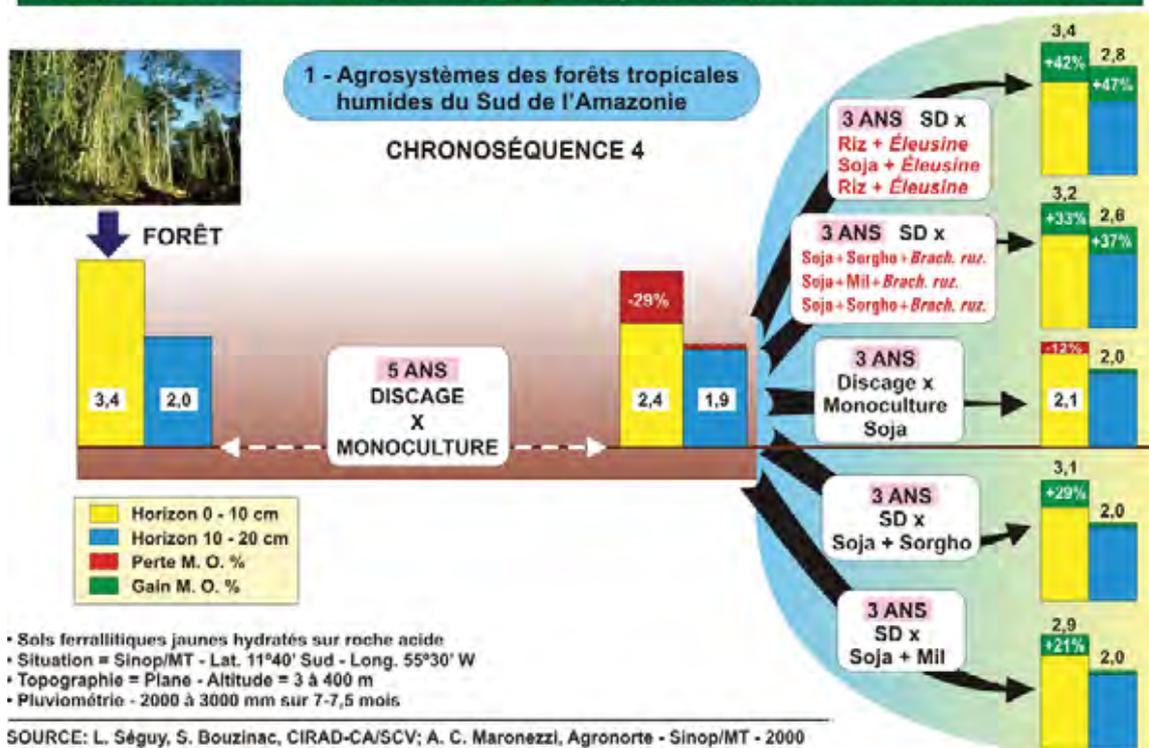
TENDANCES D'ÉVOLUTION DU TAUX DE MATIÈRE ORGANIQUE (EN %), EN FONCTION DE LA NATURE DES SYSTÈMES DE CULTURE PRATIQUÉS DANS DIVERS AGROSYSTÈMES CONTRASTÉS, TROPICAUX ET SUBTROPICAUX -



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

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 -



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

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		Granulométrie				M. O. ¹ (%)	Agréats > 2 mm (%)	Agréats > 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 g. Stylosanthes g. 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 Echantillon 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. 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

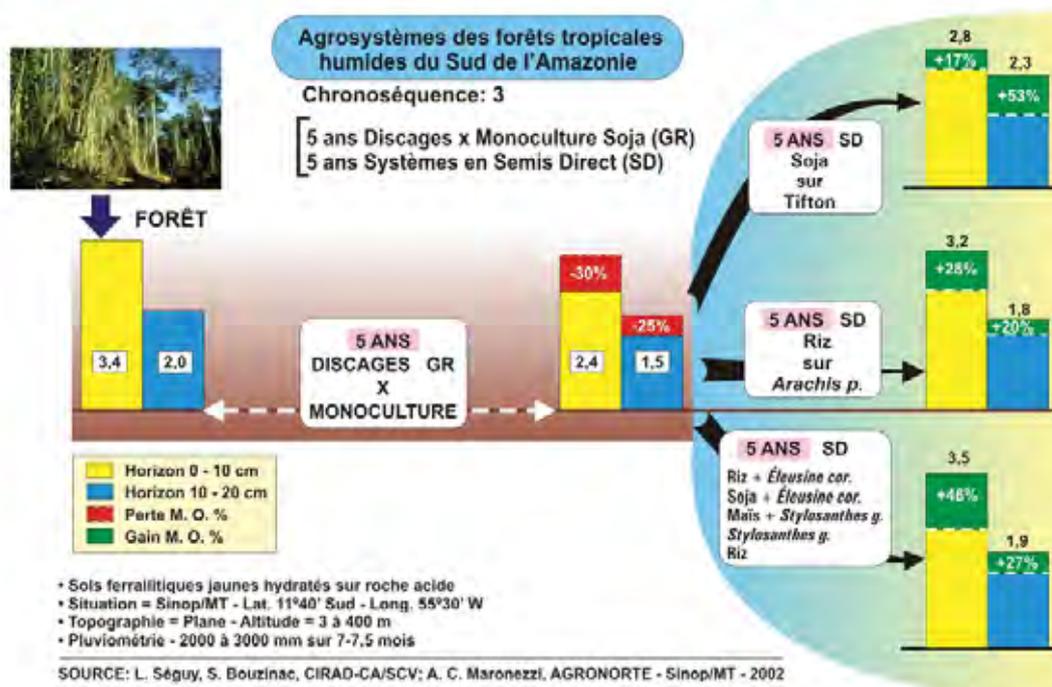
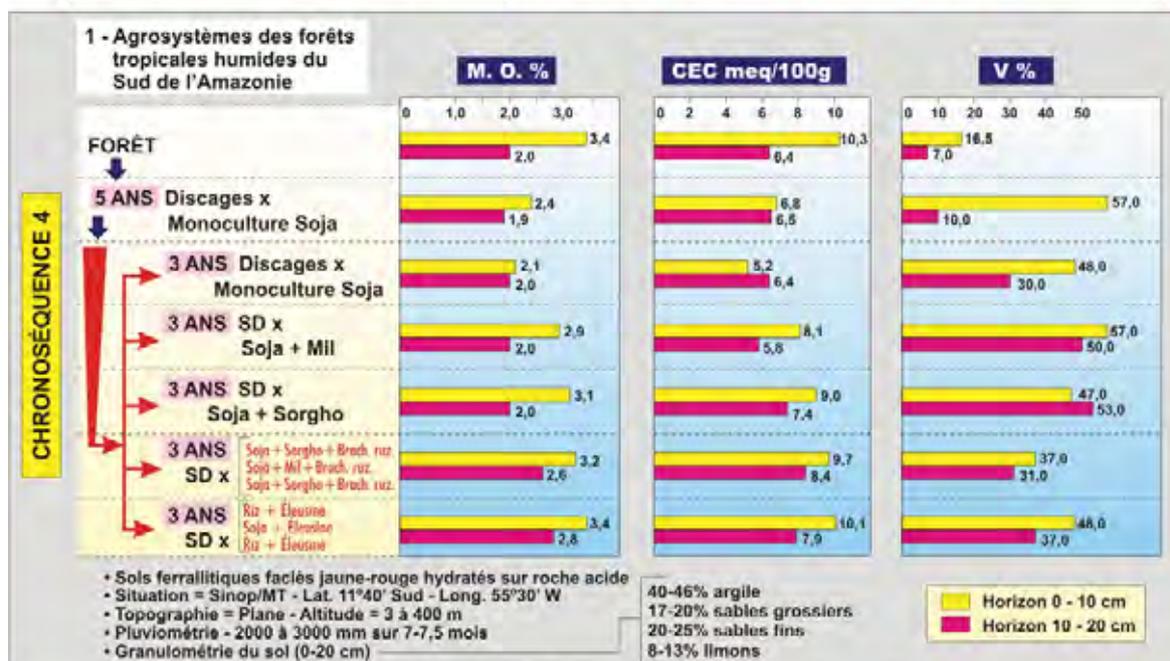


FIG. 41

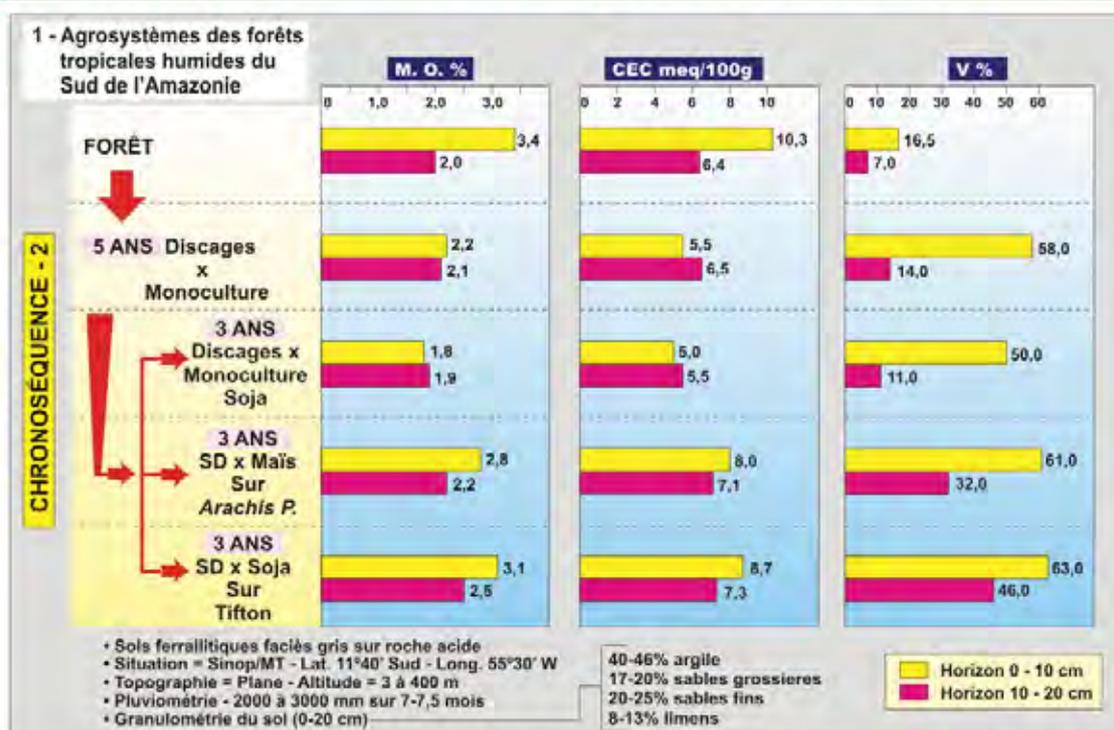
TENDANCES D'ÉVOLUTION DU TAUX DE MATIÈRE ORGANIQUE (M. O. en %), DE LA CEC (en meq/100g) ET DU TAUX DE SATURATION (V en %), EN FONCTION DE LA NATURE DES SYSTÈMES DE CULTURE PRATIQUÉS DANS DIVERS AGROSYSTÈMES CONTRASTÉS, TROPICAUX ET SUBTROPICAUX -



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

FIG. 42

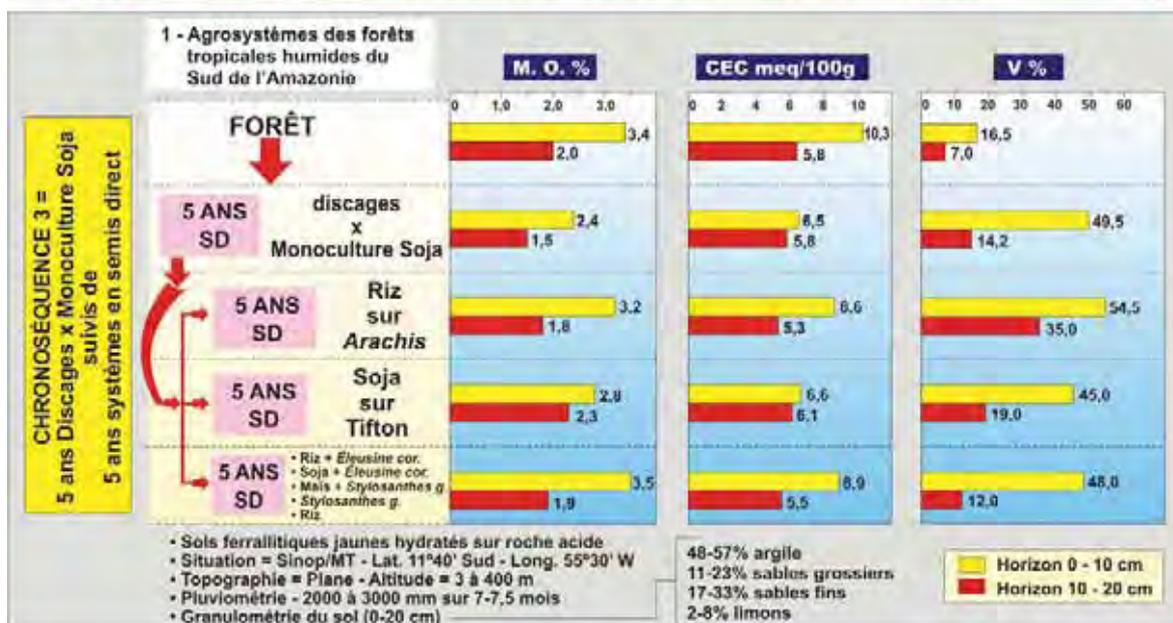
TENDANCES D'ÉVOLUTION DU TAUX DE MATIÈRE ORGANIQUE (M. O. en %), DE LA CEC (en meq/100g) ET DU TAUX DE SATURATION (V en %), EN FONCTION DE LA NATURE DES SYSTÈMES DE CULTURE PRATIQUÉS DANS DIVERS AGROSYSTÈMES CONTRASTÉS, TROPICAUX ET SUBTROPICAUX -



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

FIG. 43

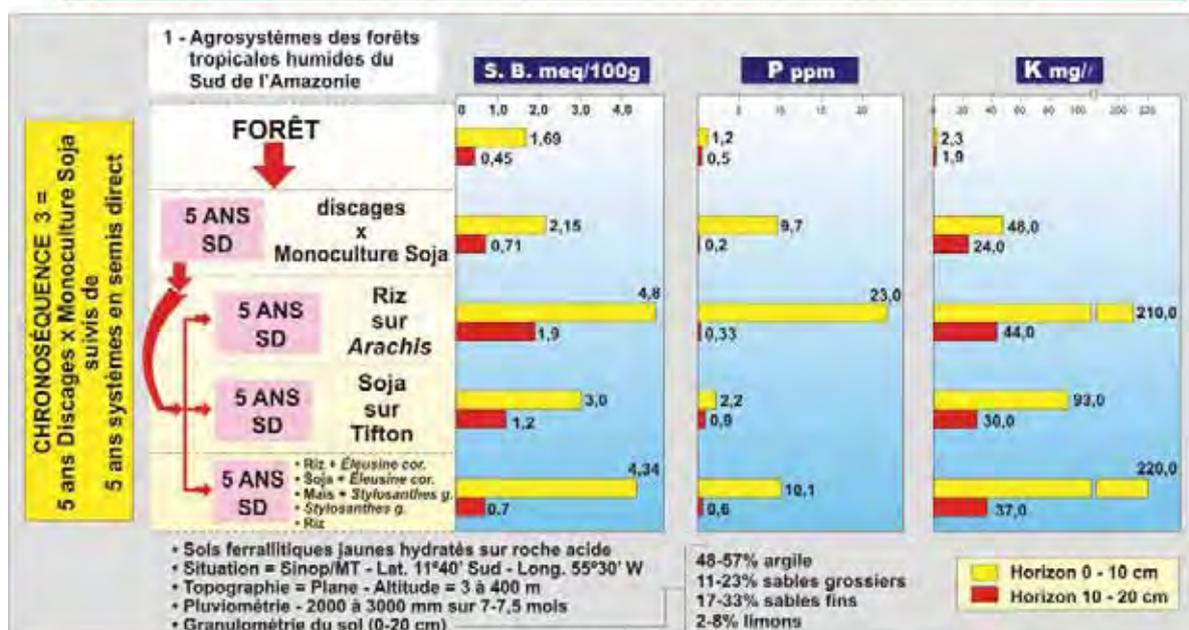
TENDANCES D'ÉVOLUTION DU TAUX DE MATIÈRE ORGANIQUE (M. O. en %), DE LA CEC (en meq/100g) ET DU TAUX DE SATURATION (V en %), EN FONCTION DE LA NATURE DES SYSTÈMES DE CULTURE PRATIQUÉS DANS DIVERS AGROSYSTÈMES CONTRASTÉS, TROPICAUX ET SUBTROPICAUX -



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

FIG. 45

TENEURS DES SOLS^(*) 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

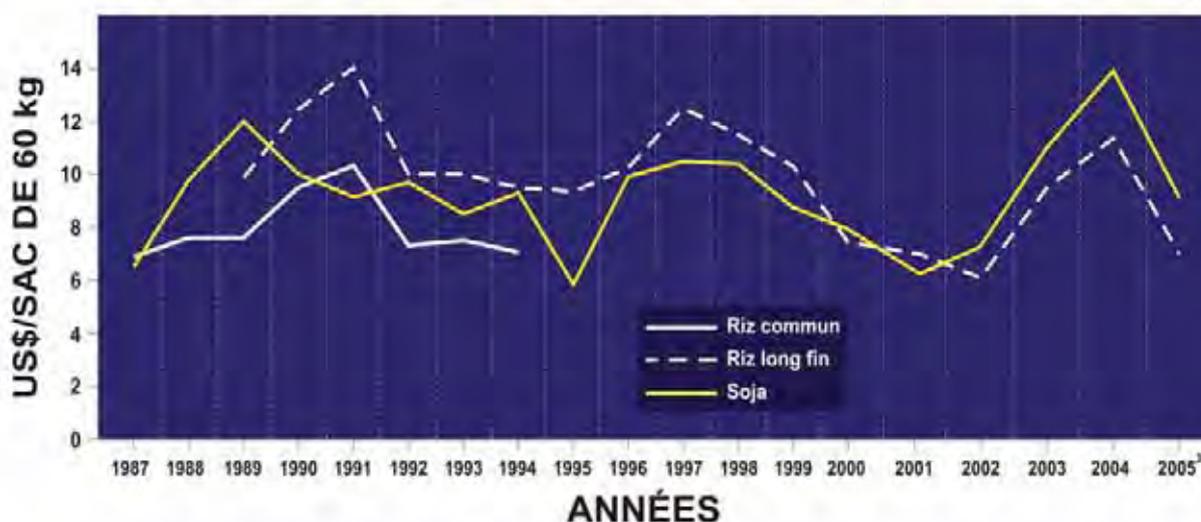
SYSTÈMES DE CULTURE		Manganèse mg/l	Cuivre mg/l	Zinc mg/l
5 ANS (GR) Discages x Monoculture Soja	0-5 cm	9,70	0,80	6,00
	5-10 cm	7,80	0,40	3,70
	10-20 cm	2,90	0,10	3,00
5 ANS (SD) Riz sur Arachis p.	0-5 cm	22,60	1,60	20,80
	5-10 cm	10,00	0,70	5,70
	10-20 cm	2,60	0,20	0,40
5 ANS (SD) Soja sur Tifton ¹	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. Ségué, 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. Ségué, S. Bouzinac, CIRAD-CA/SCV - A. C. Maronezzi, Agronorte; Cooperlucas; Coosol; Comigel; 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"

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

SYSTEMES DE CULTURE	PARAMETRES ECONOMIQUES EN US\$/ha ²	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	64	120	114	144	126
	(MN) MN TOTALE	112	228	269	239	310
3/Successions annuelles: Soja +(Éleusine c.+Crotalaire s.) /Riz + (Éleusine + Crotalaire) 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 niveau moyen de fumure minérale.

Dans les systèmes 2/ et 3/, les biomasses de succession: *Brachiaria ruziziensis* et *Crotalaire 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 = 8,75 ; 2000 = 7,02 ; 2001 = 6,16 ; 2002 = 7,28 .

Prix payés au producteur pour le RIZ (sac de 60 kg), en US\$: 1998 = 11,50 ; 1999 = 10,30 ; 2000 = 7,43 ; 2001 = 8,95 ; 2002 = 6,08 .

Les prix payés pour le SORGHO blanc sans tanins et à haute teneur en protéines (>12%) sont estimés à 3,00 US\$/ sac de 60 kg. Idem pour l'Éleusine corcaens + Crotalaire spectabilis.

SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-PERSYST-UR1 - Agronorte (1998-2002); Coodetec e 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 maîtrisé [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.

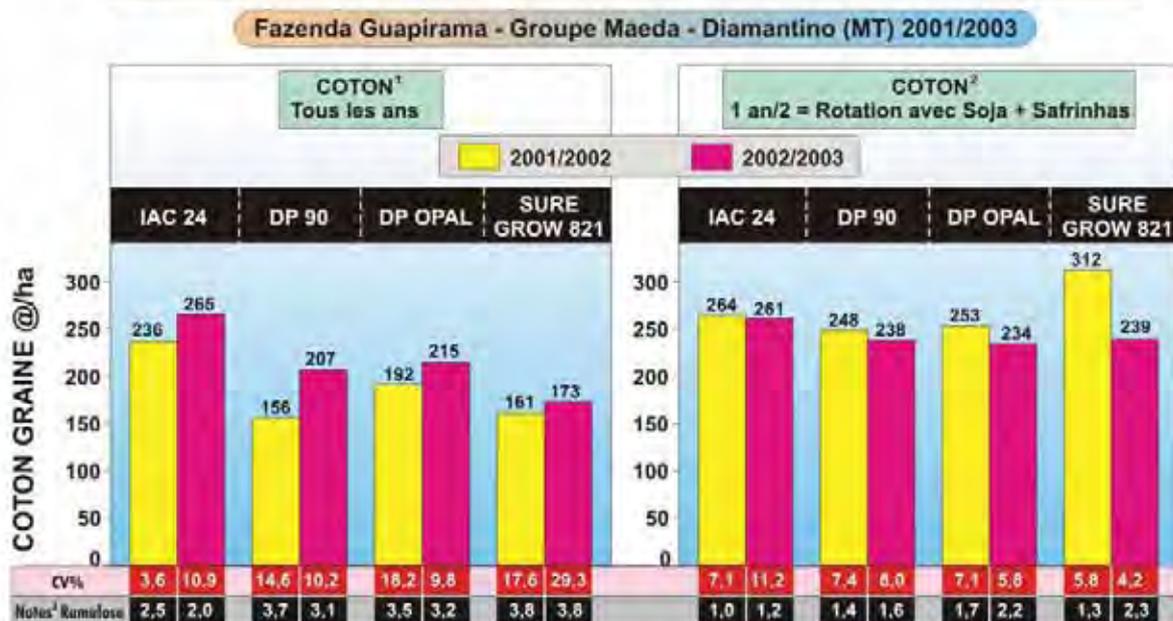
- Sur soja, les marges nettes et le taux de rentabilité, hors safrinhas de sorgho, ont été multipliés respectivement par 3,4 et 3,6 entre les 3 premières et les 3 dernières années de la période 1994-2003. Avec une maîtrise technique toujours plus performante, une fertilité des sols en amélioration constante 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

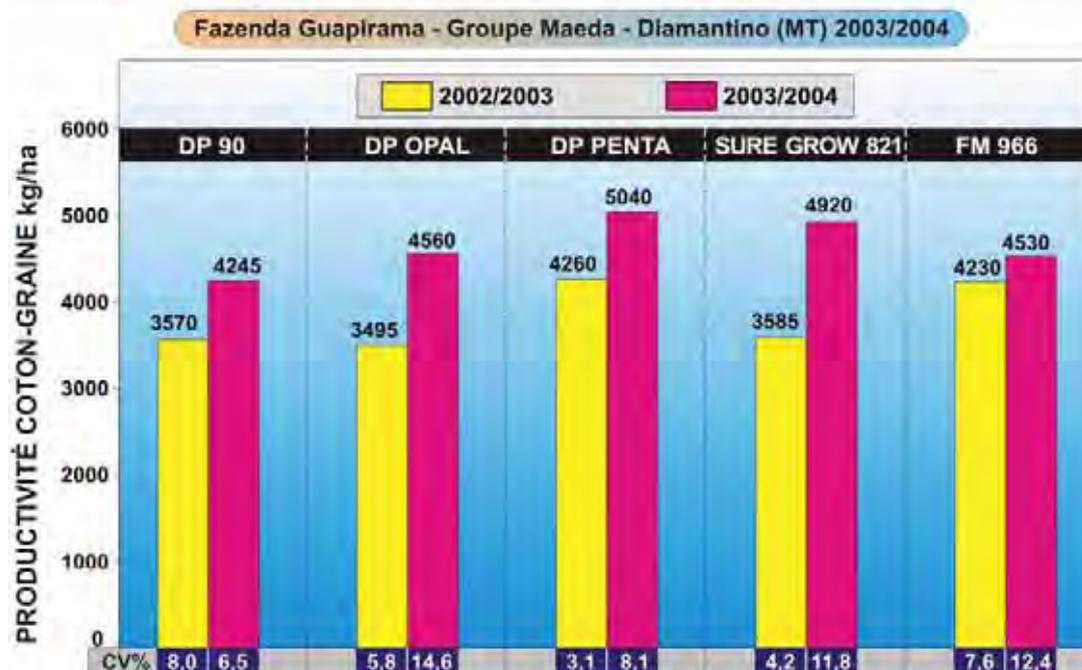
FIG. 48 ÉVOLUTION DE LA PRODUCTIVITÉ DE 4 CULTIVARS DE COTON EN FONCTION DU SYSTÈME DE CULTURE EN SEMIS DIRECT



1 - Moyenne des rendements de Coton en semis direct sur biomasses faibles de Sorgho et Mil (< 3 t/ha)
 2 - Moyenne des rendements de coton en semis direct sur biomasses de Sorgho, Mil, *Brachiaria r.*, *Eleusine c.* (entre 3 et 5 t/ha)
 3 - Échelle de 0 à 5: 0 = Sans incidence; 5 = Incidence maximum

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



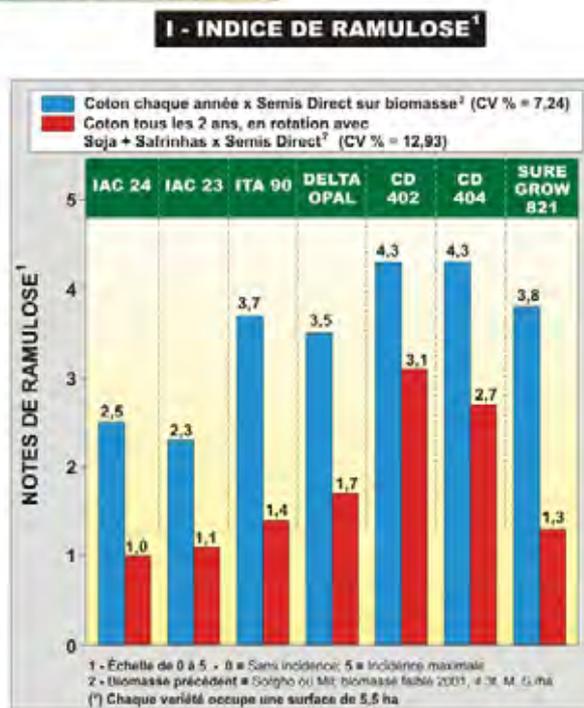
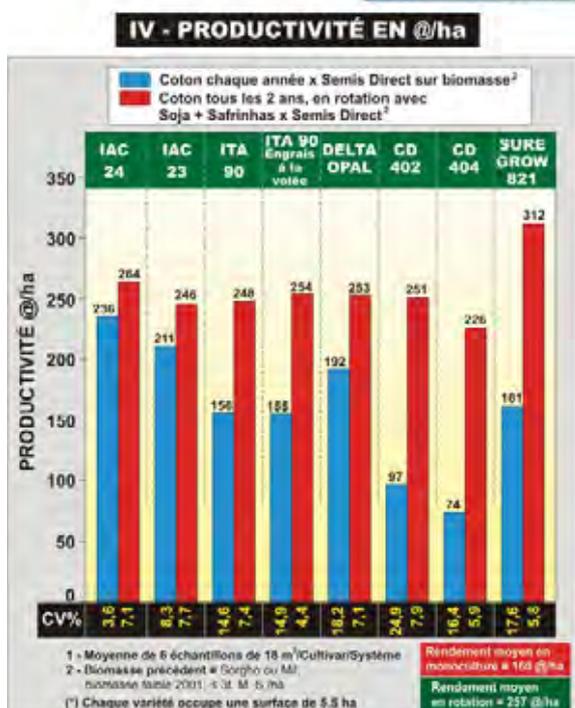
1 - Rotation: Coton un an sur deux, alterné avec la succession Soja + "Safrinhas"
 • En 2002/2003 → Moyenne de productivité sur les Safrinhas: Mil, Sorgho, *Brachiaria ruziziensis*, *Eleusine coracana*
 • En 2003/2004 → Moyenne de productivité sur les Safrinhas: *Eleusine cor.*, Mil + *Brach. ruzi.*, Sorgho + *Brach. ruzi.*
 • Fumure minérale: 126N + 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 - Deciolândia/MT



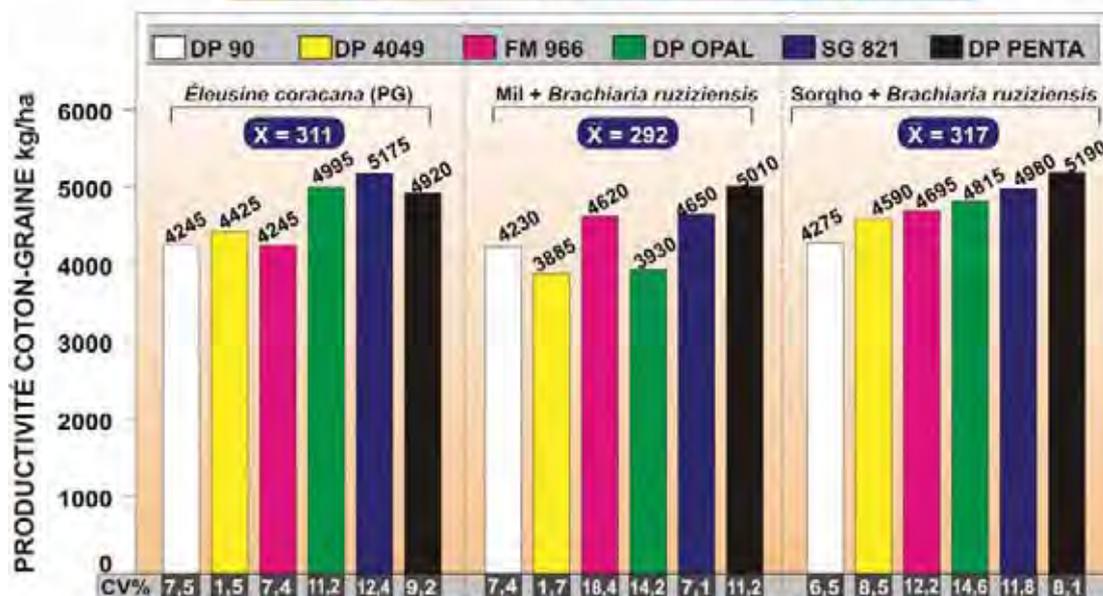
SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA; A. Maeda, M. A. Ide, M. Yamamoto, GROUPE MAEDA - Deciolândia/MT

SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA; A. Maeda, M. A. Ide, M. Yamamoto, GROUPE MAEDA - Deciolândia/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

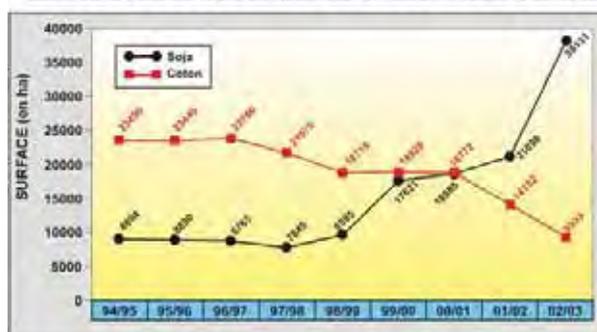
Fazenda Guapirama - Groupe Maeda - Diamantino (MT) 2003/2004



1 - Fumure minérale: 126 N + 120 P₂O₅ + 180 K₂O + oligo-éléments/ha
2 - Rotation: Coton/Soja + "Safrinhas", alternées
Fortes biomasses sèches en 2003/2004 (hors masse racinaire) ➔ Eleusine coracana: 12 t/ha; Mil + Brachiaria ruziziensis: 13 t/ha; Sorgho + Brachiaria ruziziensis: 17 t/ha
SOURCE: Projet GROUPE MAEDA/CIRAD CA-GEC - CIRAD CA; L. Séguy, S. Bouzinac; GROUPE MAEDA; E. et A. Maeda, A. Luiz

FIG. 52

ÉVOLUTION DE LA SURFACE PLANTÉE EN SOJA ET COTON



SOURCE: GROUPE MAEDA - Burkina, GO - 1994/2003

ÉVOLUTION DE LA PRODUCTIVITÉ DE SOJA ET COTON



SOURCE: GROUPE MAEDA - Burkina, GO - 1994/2003

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



SOURCE: GROUPE MAEDA - Burkina, GO - 1994/2003

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



SOURCE: GROUPE MAEDA - Burkina, GO - 1994/2003

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



SOURCE: GROUPE MAEDA - Burkina. GO - 1994/2003

ÉVOLUTION DU TAUX DE RENTABILITÉ DU SOJA ET DU COTON



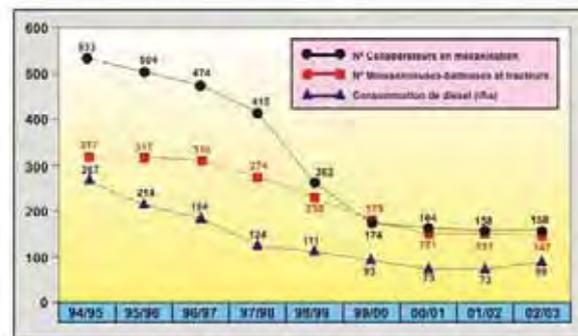
SOURCE: GROUPE MAEDA - Burkina. GO - 1994/2003

ÉVOLUTION DES MARGES NETTES DU SOJA ET DU COTON



SOURCE: GROUPE MAEDA - Burkina. GO - 1994/2003

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



SOURCE: GROUPE MAEDA - Burkina. GO - 1994/2003

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 Sorgho + Coton Sorgho + Coton Tous les ans	Soja + Safr./ Coton/ Soja + Saf. 2 fortes biomass. sur 3 ans	Coton / Soja + Saf./ Coton 1 forte biomasse sur 3 ans	Soja + Safr./ Soja + Saf. / Coton 2 fortes biomass. sur 3 ans	“semi-direct”
Année 2					Mil + Coton
Année 3					Mil + Coton Mil + Coton 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**.

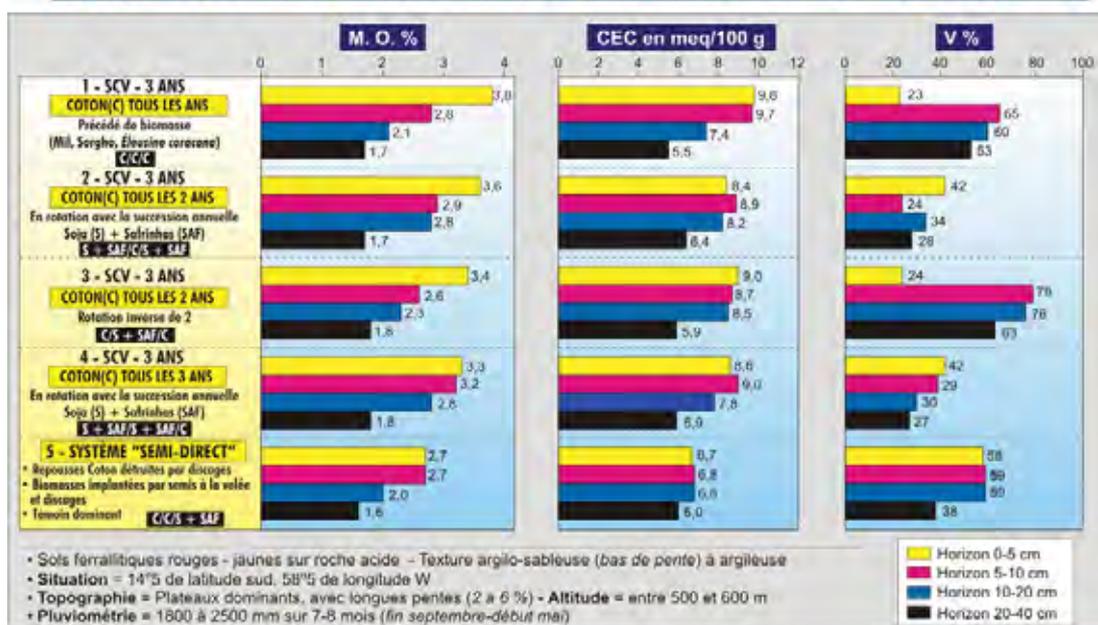
La CEC suit, comme dans les exemples de Lucas do Rio Verde et de Sinop, **les mêmes variations que la Matière Organique (Fig. 55)**.

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 hmides 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. Ségué, S. Bouzinac - 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 «Génotypes *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.**

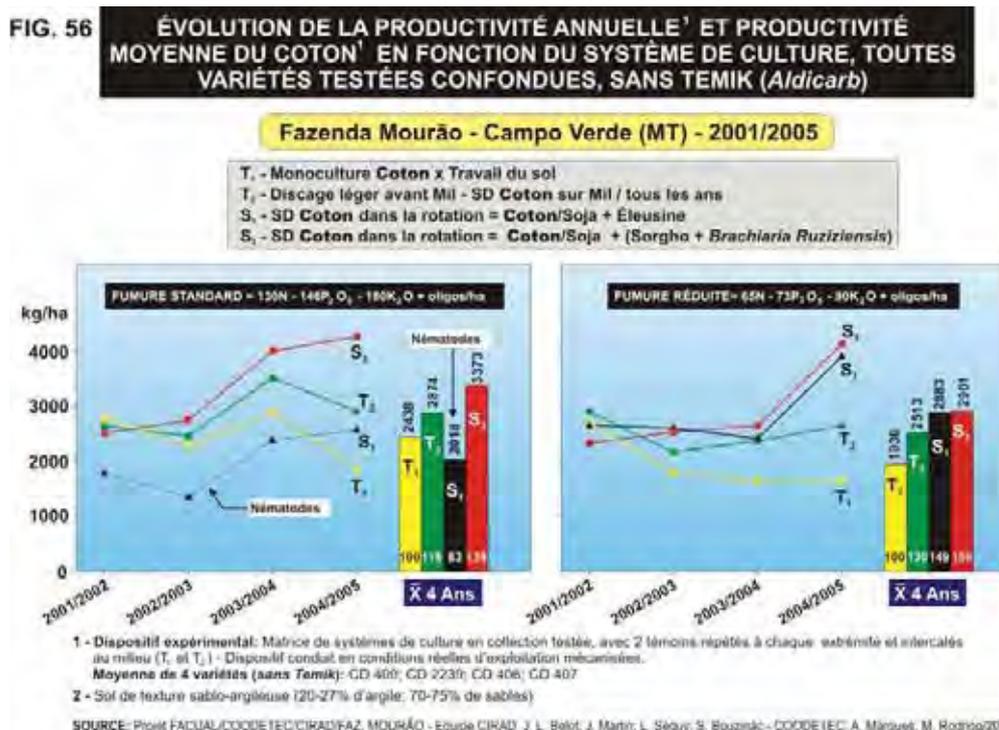


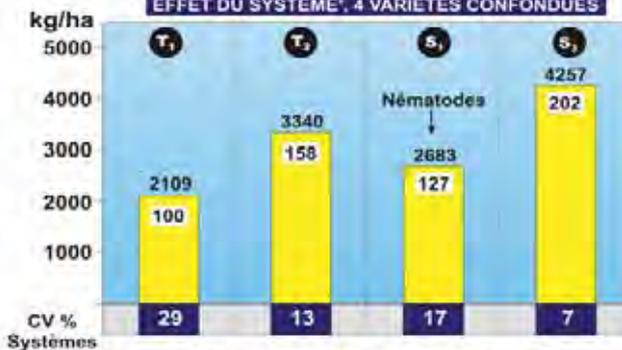
FIG. 57

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

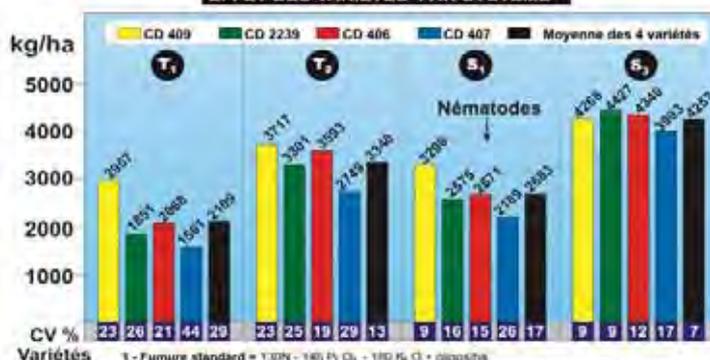
I FUMURE STANDARD¹ DE LA FAZENDA

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

EFFET DU SYSTÈME², 4 VARIÉTÉS CONFONDUES



EFFET DES VARIÉTÉS³ PAR SYSTÈME



1 - Fumure standard = 120N - 140 P₂O₅ - 180 K₂O + digestate
 2 - Dispositif expérimental: Harrows de systèmes de culture en rotation testés avec 4 variétés répétées à chaque traitement et intégrées au milieu (T₁ et T₂).
 - Dispositif conduit en conditions réelles d'exploitation mécanisées.
 - Effet du système: Moyenne de 4 variétés, sans Terril.
 3 - Variétés testées = CD 409; CD 2239; CD 406; CD 407
 SOURCE: Projet FICRALECODETEC/CIAD/FAZ. MOURÃO - Equipe CIAD: J. J. Bact, J. Martin, L. Siqueira, S. Bouzinac - COCOTEC, A. Marques, M. Rodolfo 2005.

FIG. 58

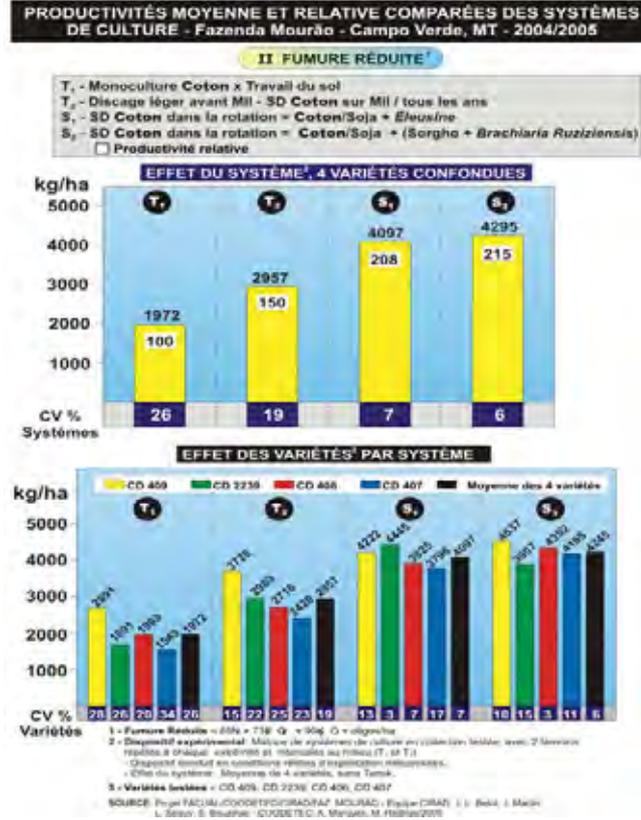


FIG. 59

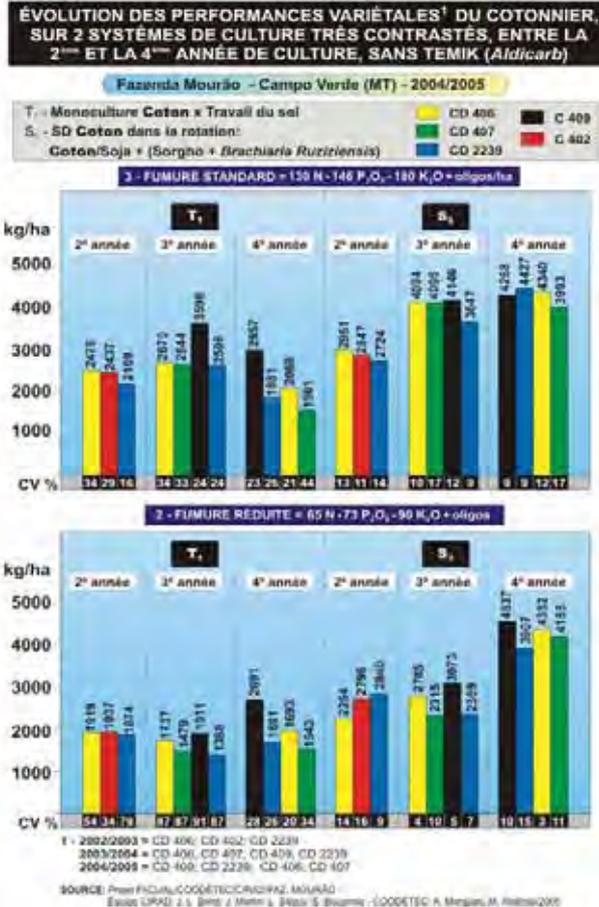


FIG. 60

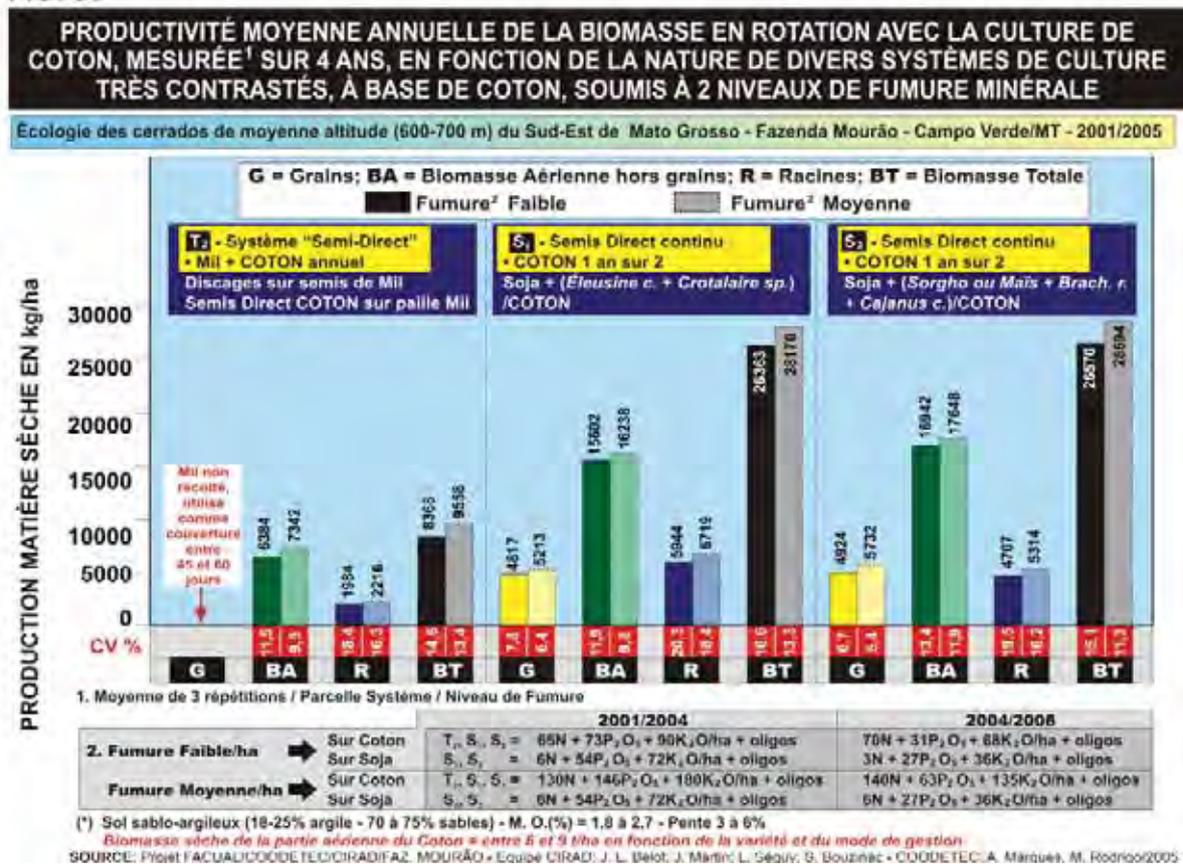


FIG. 61

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		S ₂		S ₃		S ₄	
	SD x Soja + Éleusine c./Coton		SD x Éleusine + Riz/Soja + Coton Safrinha		SD x Soja + (Sorgho + Brach.) /Coton		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 = 6N + 54P₂O₅ + 72K₂O + oligo-e/ha
 Fumure Réduite = 3N + 27P₂O₅ + 36K₂O + oligo-e/ha
 SOURCE: Pivetti FACUAL/COODETEC/CIRAD/FAZ. MOURÃO - Equipe CIRAD: J. L. Bekki, J. Martin, L. Séguin, G. Bouzinac - COODETEC: A. Marques, M. Rodrigo/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

STOCK¹ 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 ₃		T ₂		T ₁	
	Semis Direct SCV		Semi-Direct		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 testée, avec 2 témoins répétés à chaque extrémité et intercalés au milieu (T₁ et T₂) - Dispositif conduit en conditions réelles d'exploitation mécanisées.

(*) - Moyenne de 3 répétitions - Échantillons prélevés sur les systèmes conduits avec fumure réduite: 65N + 73P₂O₅ + 90K₂O

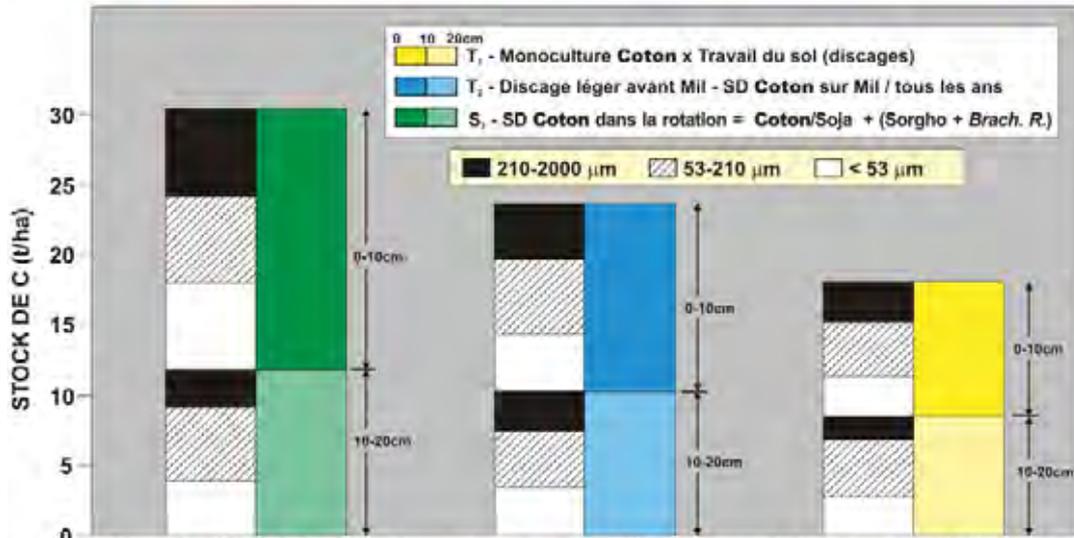
SOURCE: Projet FACUAL/COODETEC/CIRAD/FAZ. MOURÃO - Équipe CIRAD: J. L. Belot; J. Martin; L. Séguy; S. Bouzinac - COODETEC: A. Marques, M. Rodrigo; J. C. Moraes de Sá, M. Machado Sá - UEPG - Ponta Grossa - Campo Verde/MT - 2005

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 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



1 - Dispositif expérimental: Matrice de systèmes de culture en collection testée, avec 2 témoins répétés à chaque extrémité et intercalés au milieu (T₁ et T₂) - Dispositif conduit en conditions réelles d'exploitation mécanisées.

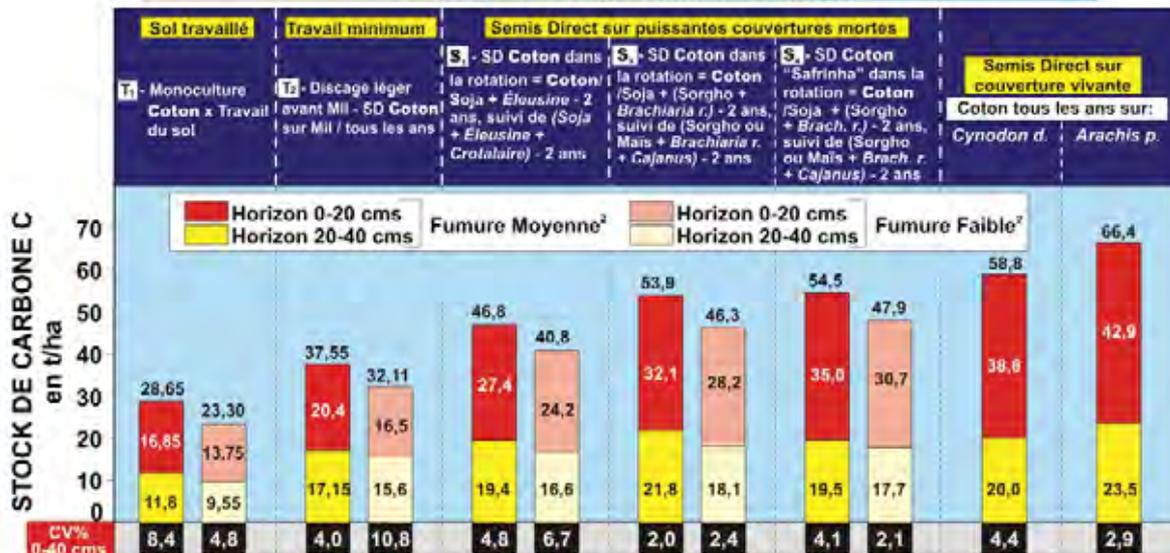
(*) - Moyennes de 3 répétitions - Échantillons prélevés sur les systèmes combinés avec fumure moyen: 65N + 73P₂O₅ + 90K₂O

SOURCE: Projet FACUAL/COODETEC/CIRAD/FAZ. MOURÃO - Équipe CIRAD: J. L. Bélot, 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. 64

ÉVOLUTION DES STOCKS DE CARBONE (en t/ha), APRÈS 5 ANS DE FONCTIONNEMENT DE SYSTÈMES 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 témoins de référence qui encadrent les autres traitements systèmes sur chaque niveau de fumure - le stock de carbone a été évalué sur 3 répétitions/parcelle élémentaire

1. Texture moyenne = 19 à 27% argile; 70 à 76% de sables, 4 à 5% de limons

2. Input moyen annuel en Fumure Faible: 41N + 61 P₂O₅ + 64 K₂O kg/ha + oligos
 Fumure Moyenne: 82N + 122 P₂O₅ + 128 K₂O kg/ha + oligos

SOURCE: Projet FACUAL/COODETEC/CIRAD/FAZ. MOURÃO - Équipe CIRAD: J. L. Bélot, 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. 65 STOCKS RELATIFS¹ DE CARBONE (%), APRÈS 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

Horizon en cm	Témoin T ₁										Témoin T ₂								Témoin S ₁		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	
	FM	FF	FM	FF	FM	FF	FM	FF	FM	FF	FM	FF	FM	FF	FM	FF	FM	FF	FM	FF	FM	FF
0 - 20	121	120	163	176	191	205	208	220	255	230	134	147	157	171	172	183	235	260	117	116	138	152
20 - 40	145	163	164	174	185	190	185	185	199	169	113	106	127	116	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	183	207	115	113	127	143

- 1. Systèmes de culture**
- T₁** - Monoculture Coton x Travail du sol; **T₂** - Discage léger avant MII - SD Coton sur MII / tous les ans
 - S₁** - SD Coton dans la rotation = Coton/Soja + Eleusine - 2 ans, suivi de (Soja + Eleusine + Crotalaire) - 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 pintoï
 - 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 oligos éléments
 - Fumure Moyenne (FM) : 82N + 122 P₂O₅ + 128 K₂O kg/ha oligos éléments

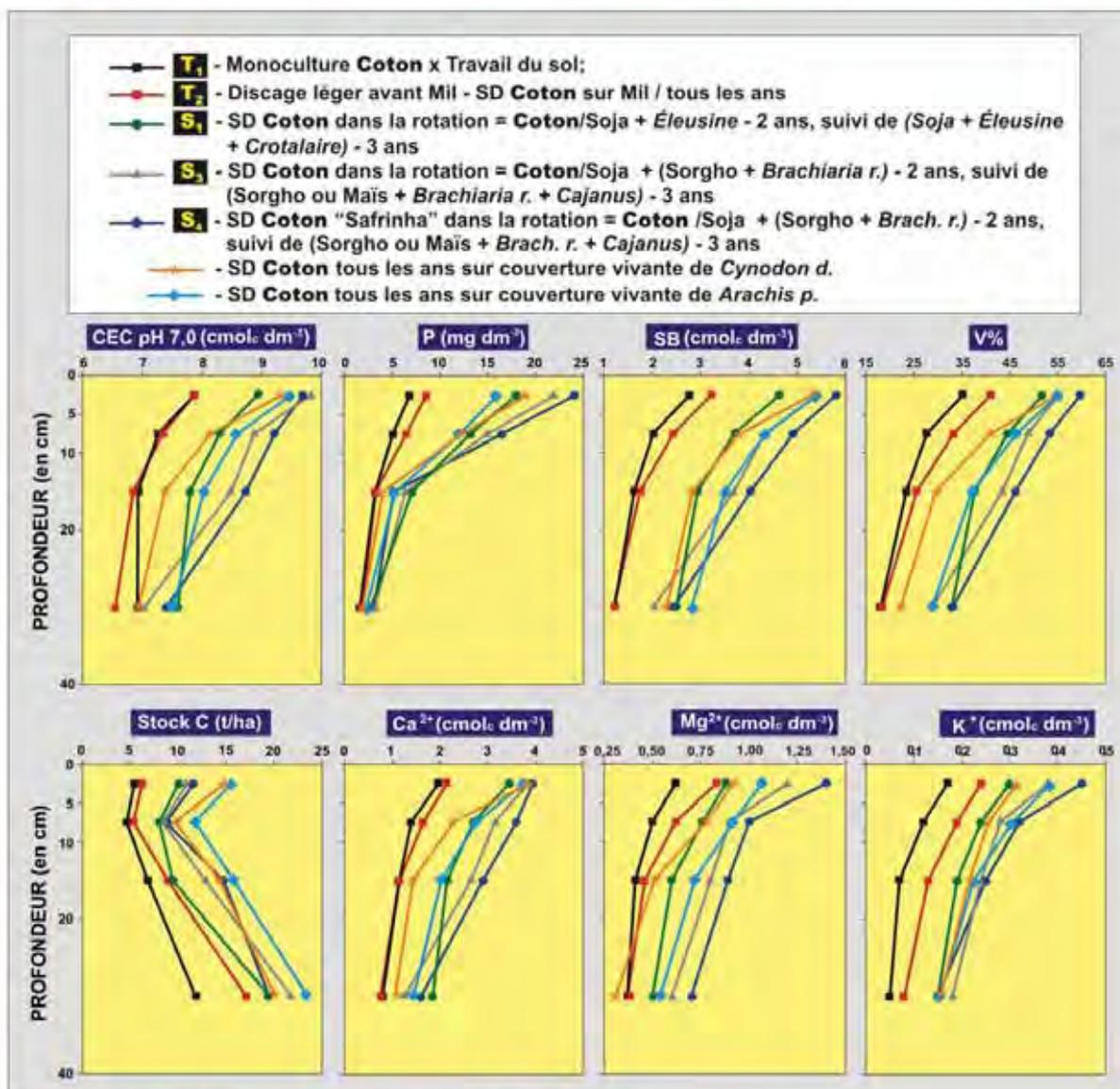
SOURCE: Projet FACUAL/COODETEC/CIRAD/FAZ. MOURÃO - Equipe CIRAD: J. L. Belot, J. Martin, L. Séguy, S. Bouzinac - COODETEC: A. Marques, M. Rodrigo, J. C. Moraes de Sá, M. Machado Sá - UEPG - Ponta Grossa - Campo Verde/MT - 2005

FIG. 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%.*

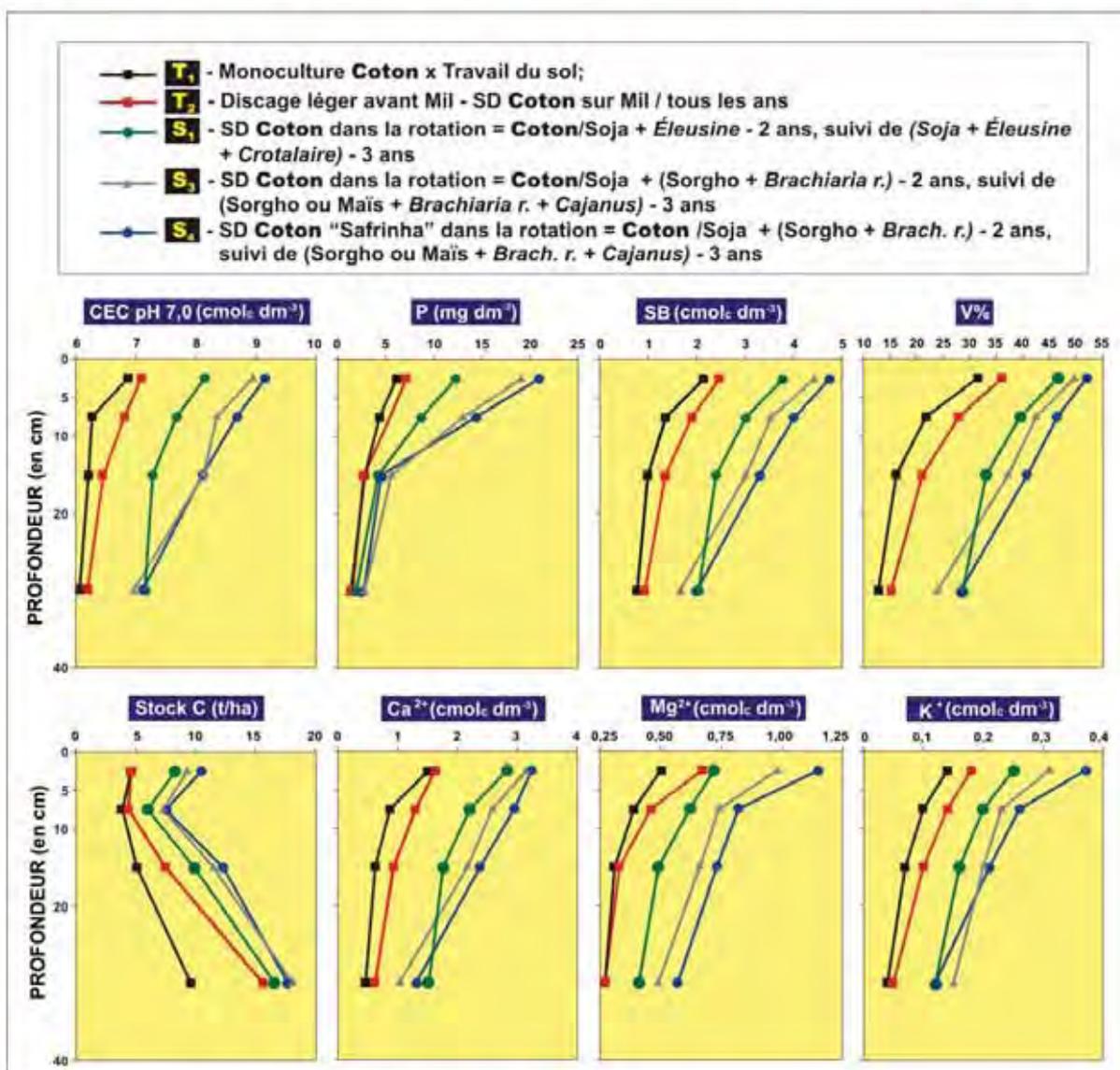
SOURCE: Projet FACUAL/COODETEC/CIRAD/FAZ. MOURÃO - Équipe CIRAD: J. L. Belot; J. Martin; L. Séguy; S. Bouzinac - COODETEC: A. Marques, M. Rodrigo; J. C. Moraes de Sá, M. Machado Sá - UEPG - Ponta Grossa - Campo Verde/MT - 2005

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



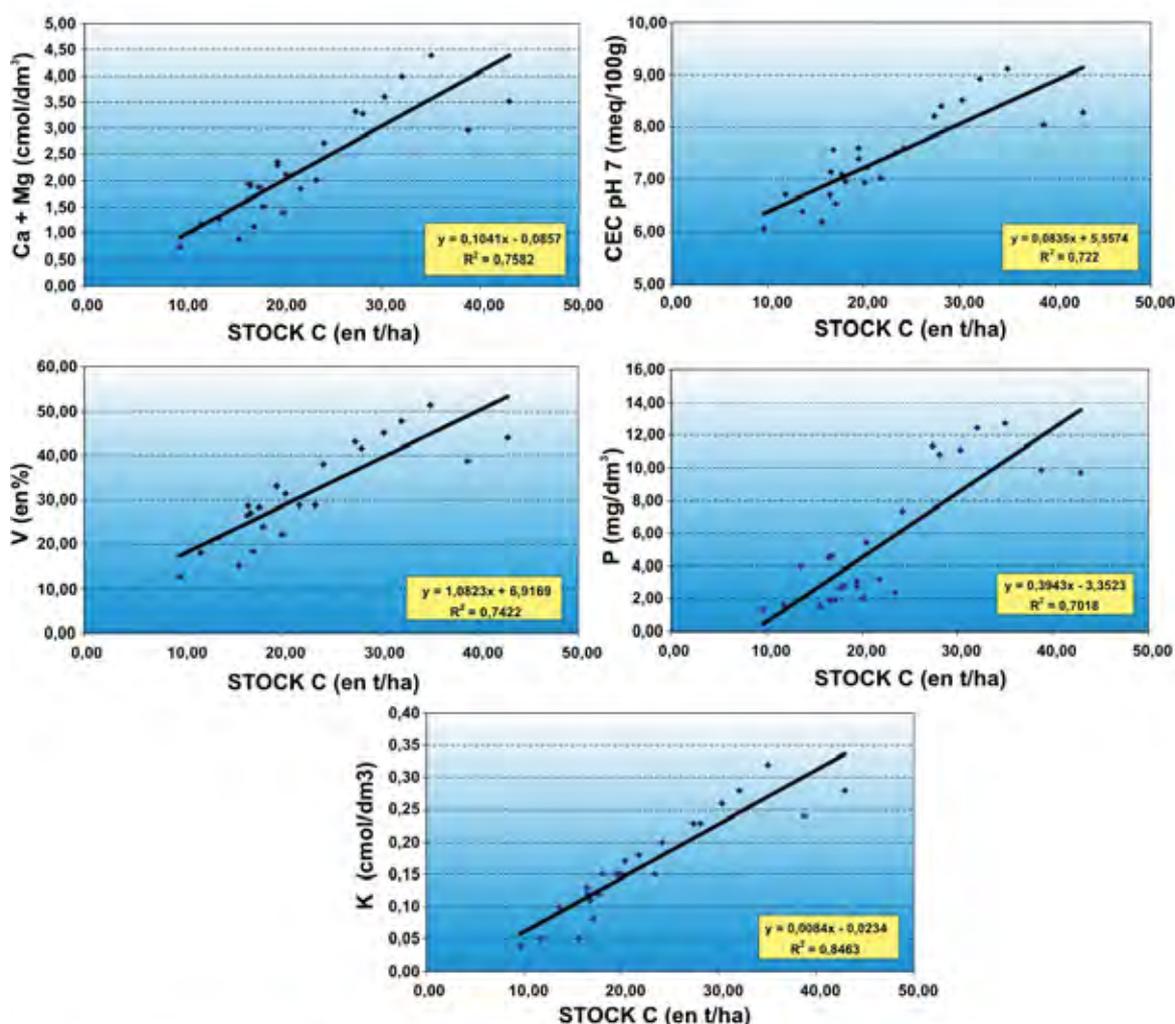
(*) Texture: 18-25% argile - 70 à 75% sables - Pente 3 à 6%

SOURCE: Projet FACUAL/COODETEC/CIRAD/FAZ. MOURÃO - Équipe CIRAD: J. L. Belot; 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**

- 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
- S₂** - 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** = 82N + 122 P₂ O₅ + 128 K₂ O kg/ha + oligos

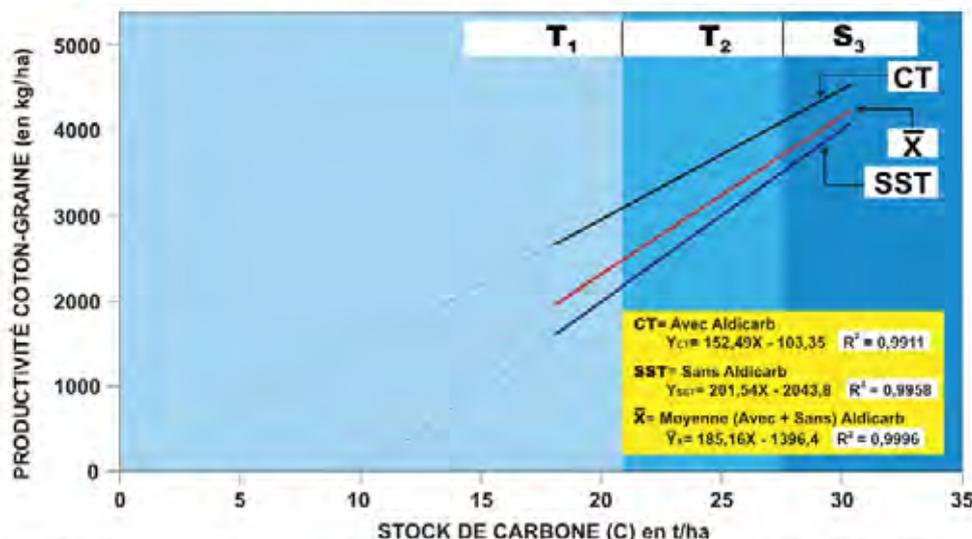
Fumure Réduite moyenne annuelle = 41N + 61 P₂ O₅ + 64 K₂ O kg/ha + oligos

SOURCE: Projet FACUAL/COODETEC/CIRAD/FAZ. MOURÃO - Équipe CIRAD: J. L. Belot; 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:¹ 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: Matrice de systèmes de culture en collection testée, avec 2 témoins répétés à chaque extrémité et intercalés au milieu (T¹ et T²) - Dispositif conduit en conditions réelles d'exploitation mécanisées.

T¹ - Monoculture Coton x Travail du sol (discages)

T² - Discage léger avant Mil - SD Coton sur Mil / tous les ans

S₃ - SD Coton dans la rotation = Coton/Soja + (Sorgho + Brachiaria)

² - Moyenne de 3 répétitions - Échantillons prélevés sur les systèmes conduits avec fumure réduite: 65N + 73P₂O₅ + 90K₂O

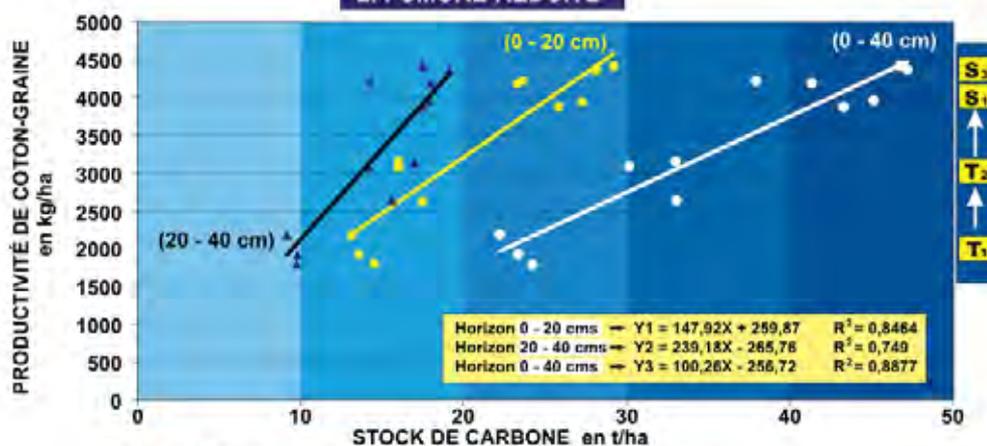
SOURCE: Projet FACUAL/COODETEC/CIRAD/FAZ. MOURÃO - Équipe CIRAD: J. L. Belot; J. Martin; L. Ségu; S. Bouzinac - COODETEC; A. Marques, M. Rodrigo; J. C. Moraes de Sá, M. Machado Sá - UEPG - Ponta Grossa - Campo Verde/MT - 2005

FIG. 69

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

2. FUMURE RÉDUITE³



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

T¹ - Monoculture Coton x Travail du sol;

T² - Discage léger avant Mil - SD Coton sur Mil / tous les ans

S₃ - SD Coton dans la rotation = Coton/Soja + Eleusine - 2 ans, suivi de (Soja + Eleusine + Crotalaria) - 3 ans

S₃ - SD Coton dans la rotation = Coton/Soja + (Sorgho + Brachiaria r.) - 2 ans, suivi de (Sorgho ou

Mais + Brachiaria r. + Cajanus) - 3 ans

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

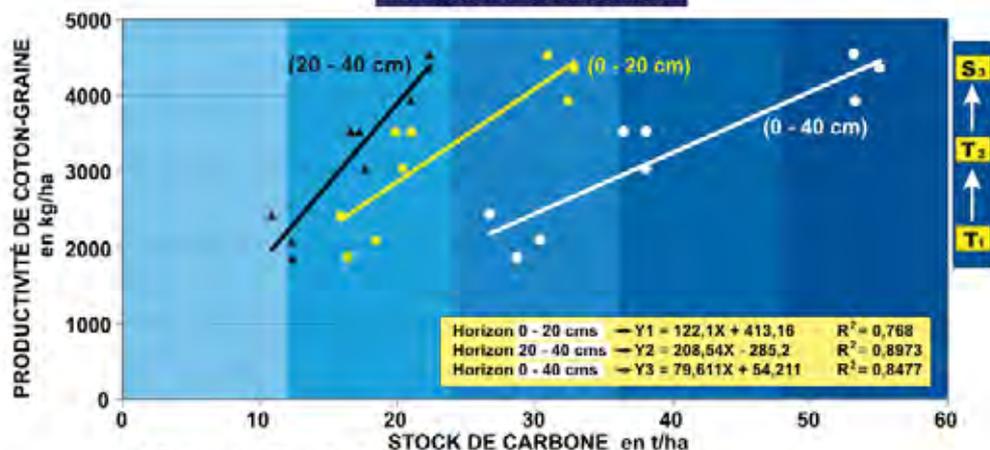
SOURCE: Projet FACUAL/COODETEC/CIRAD/FAZ. MOURÃO - Équipe CIRAD: J. L. Belot; J. Martin; L. Ségu; S. Bouzinac - COODETEC; A. Marques, M. Rodrigo; J. C. Moraes de Sá, M. Machado Sá - UEPG - Ponta Grossa - Campo Verde/MT - 2005

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 - 2001/2006

1. FUMURE STANDARD³



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

2. Systèmes de culture
- T_1 - Monoculture Coton x Travail du sol;
 - T_2 - Discage léger avant Mil - SD Coton sur Mil / tous les ans
 - S_1 - SD Coton dans la rotation = Coton/Soja + Eleusine - 2 ans, suivi de (Soja + Eleusine + Crotalaria) - 3 ans
 - S_2 - SD Coton dans la rotation = Coton/Soja + (Sorgho + Brachiaria r.) - 2 ans, suivi de (Sorgho ou Mais + Brachiaria r. + Cajanus) - 3 ans

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

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

➤ **REPOSE 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 ensembles ;
 - 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 (nématicide, 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 (« cariyo »), 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.

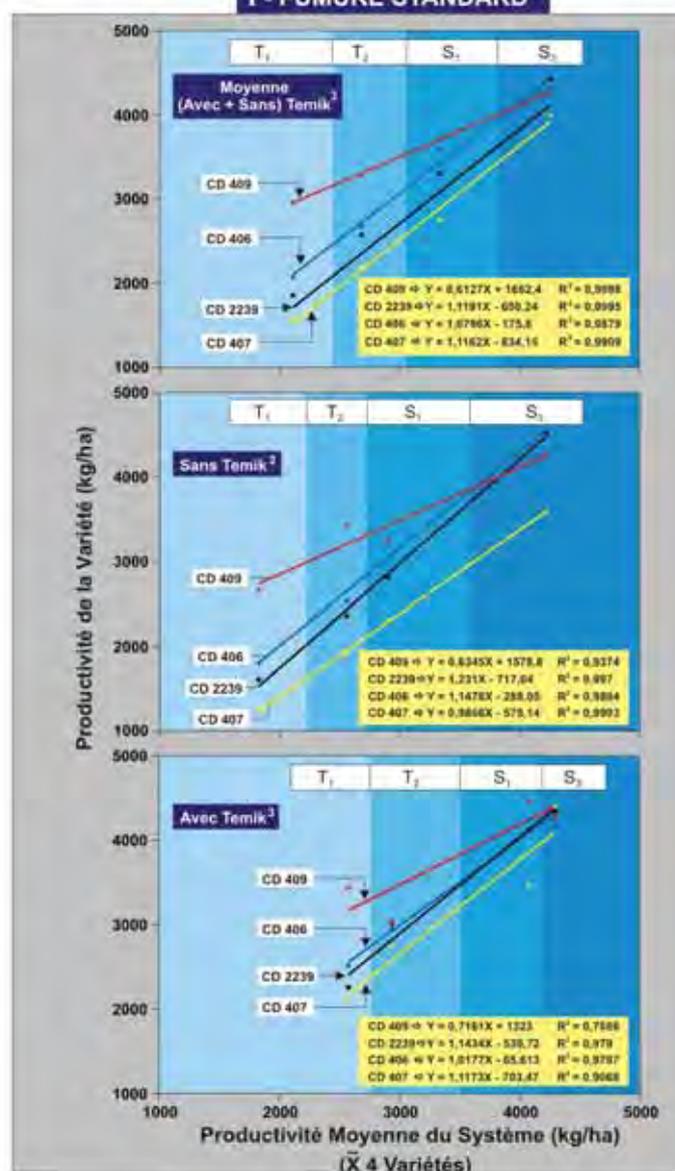
La rotation du Coton avec la succession Soja + *Eleusine coracana* les 2 premières années, puis avec la succession Soja + (*Eleusine coracana* + *Crotalaria spectabilis*) sur les 3 années suivantes, a permis de «nettoyer» - désintoxiquer rapidement le système S₁ dont la courbe de productivité est régulièrement 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 STANDARD²



1 - 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 + Eleusine
 S₃ - SD Coton dans la rotation = Coton/Soja + (Sorgho + Brachiaria Ruziziensis)

2 - Fumure Standard: 130N - 146P₂O₅ - 180K₂O + oligos/ha

3 - Temik: Matière active (Alf)/carb

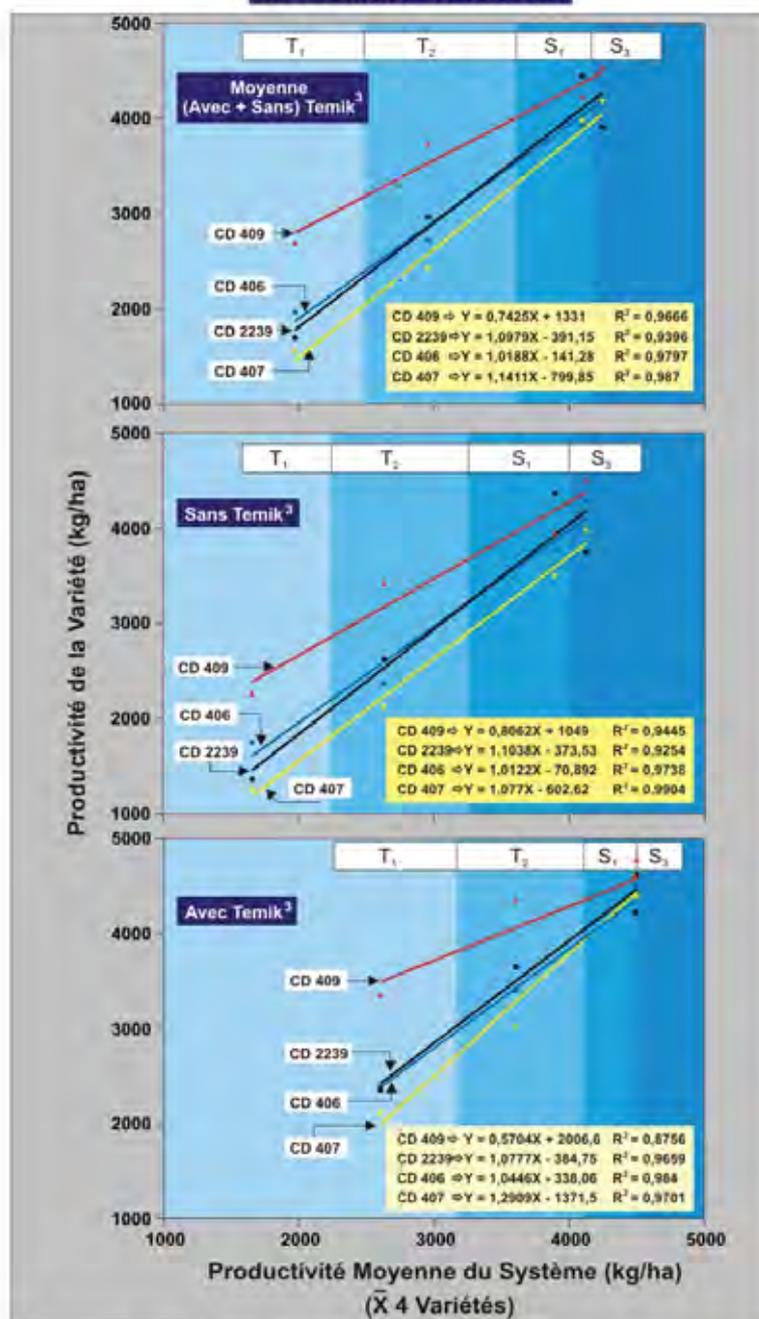
SOURCE: Projet FACUAL/COODETEC/CIRAD/FAZ. MOURÃO - Equipe CIRAD: J. L. Balot, J. Martin, L. Séguy, S. Bouzinac - COODETEC; A. Marques, M. Rodrigo/2005

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 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
- S₃ - SD Coton dans la rotation = Coton/Soja + (Sorgho + Brachiaria Ruziziensis)

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

3 - Temik: Matière active (Aldicarb)

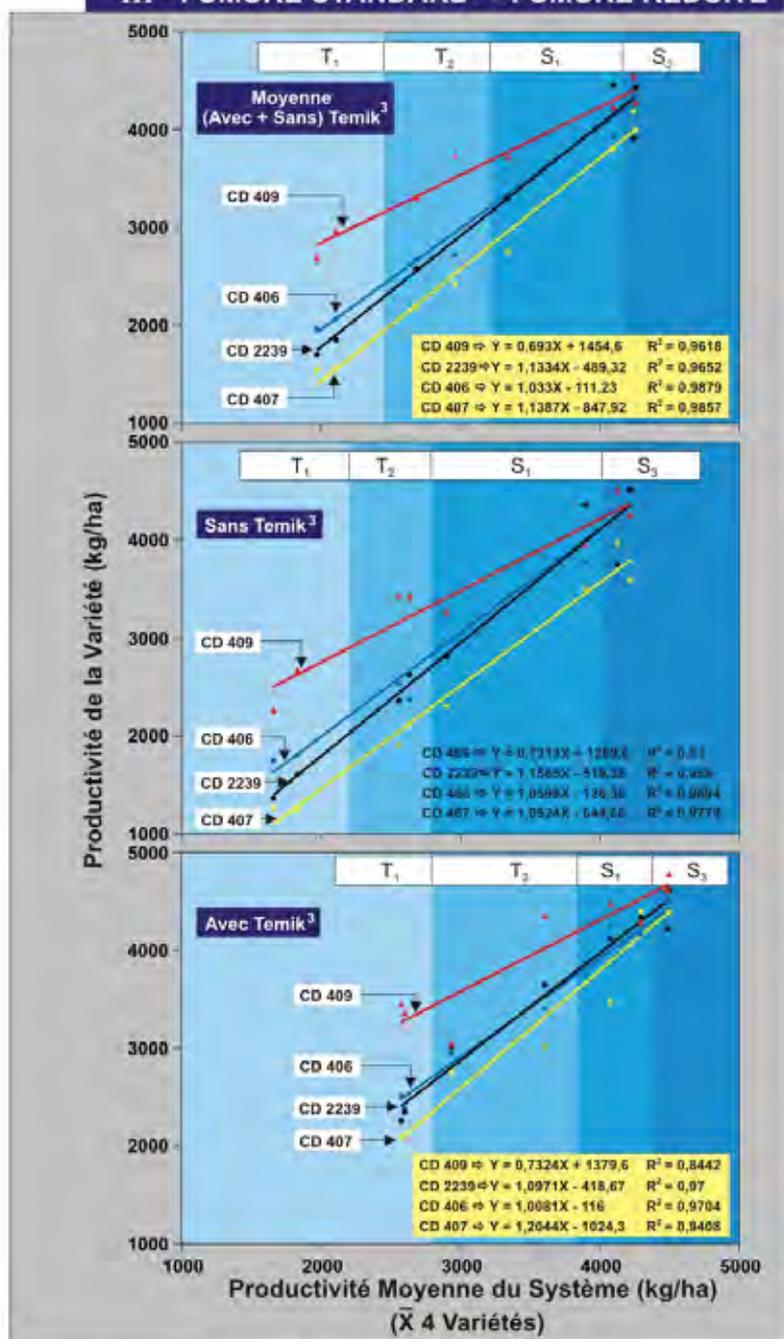
SOURCE: Projet FACUAL/COODETEC/CIRAD/FAZ. MOURÃO - Equipe CIRAD: J. L. Belot; J. Martin; L. Séguy; S. Bouzinac - COODETEC; A. Marques, M. Rodrigo/2005

FIG. 73

RÉGRESSIONS "VARIÉTÉ COTON x SYSTÈME¹ DE CULTURE"

Fazenda Mourão - Campo Verde/MT - 2004/2005

III - FUMURE STANDARD² + FUMURE RÉDUITE²



1 - 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 + Eleusine
- S₃ - SD Coton dans la rotation = Coton/Soja + (Sorgho + Brachiaria Ruziziensis)

2 - Fumure Standard: 130N - 146P₂O₅ - 180K₂O + oligos/ha
 Fumure Réduite: 65N + 73P₂O₅ + 90K₂O + oligos/ha

3 - Temik: Matière active (Aldicarb)

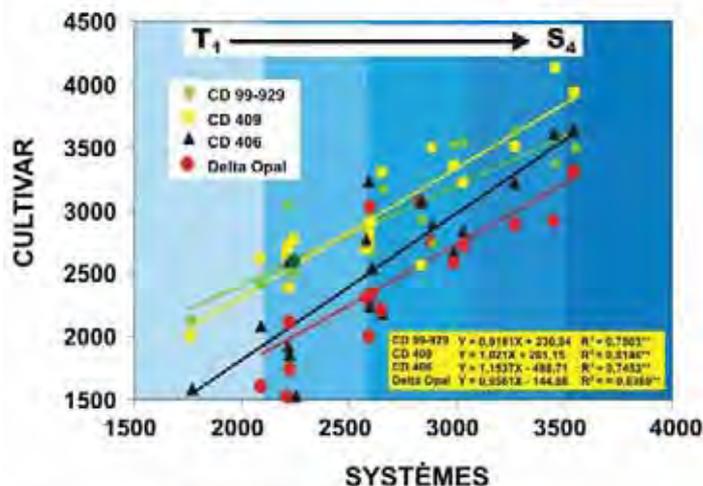
SOURCE: Projet FACUAL/COODETEC/CIRAD/FAZ, MOURÃO - Equipe CIRAD: J. L. Belot; J. Martin; L. Séguy; S. Bouzinac - COODETEC; A. Marques, M. Rodrigo/2005

FIG. 74

REGRESSIONS "VARIÉTÉS DE COTON x SYSTÈME DE CULTURE"

Fazenda Mourão - Campo Verde/MT - 2005/2006

FUMURE STANDARD² + FUMURE RÉDUITE²



1 - Systèmes de Culture →

- T₁ - Monoculture Coton + Travail du sol
- T₂ - Discaje 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 Rusticensis)
- S₃ - SD Coton dans la rotation = Coton/Soja + Sorgho + (Brac. raz. + Cajanus)

2 - Fumure Standard: 140N - 63P₂ O₅ - 135K₂ O + micros/ha
 Fumure Réduite: 70N + 31P₂ O₅ + 68K₂ O + micros/ha

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

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 ²	Mars-2003		Mars-2004		Mars-2005		Mars-2006		Novembre-2007	
	G. Meloidogyne Sol	G. Pratylenchus Racines								
T ₁	288	0	4784	17800	16	200	28	1040	8	320
T ₂	370	0	10944	4015	32	116	80	0	16	0
S ₁	0	0	12160	4240	0	800	0	0	36	533
S ₂	770	0	4	0	256	505	28	88	8	12
T ₃	1338	0	7696	-	0	0	560	72	0	104
T ₄	120	0	1144	216	0	8	344	187	20	53
S ₃	52	2	6	2	0	0	48	133	0	4
S ₄	0	0	376	128	104	376	0	0	184	12
S ₅	4	-	8	-	-	-	0	0	8	4
S ₆	0	0	40	0	40	68	0	0	64	16
T ₅	234	0	4304	747	32	53	104	11	24	114
T ₆	44	-	3392	111	36	92	160	160	8	13

(*) 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.

1 - Fumure minérale moyenne annuelle sur Coton: 2003/2004 = 120N - 146P₂ O₅ - 180K₂ O + oligos/ha
 2005/2006 = 140N - 63P₂ O₅ - 135K₂ O + oligos/ha

2 - Systèmes de Culture

- T₁ - Monoculture Coton + Travail du sol
- T₂ - Discaje léger avant Mil - SD Coton sur Mil tous les ans
- S₁ - SD Coton dans la rotation = Coton/Soja + Eleusine - 2 ans, suivi de (Soja + Eleusine + Crotalaria) - 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 "Bafincha" dans la rotation = Coton/Soja + (Sorgho + Brachiaria r.) - 2 ans, suivi de (Sorgho ou Maïs + Brachiaria r. + Cajanus) - 3 ans

Legend for Nematodes:

- Yellow: Coton
- Green: Soja + (Eleusine)
- Light Green: Soja + (Eleusine + Crotalaria sp.)
- Pink: Soja + (Sorgho + Brachiaria)
- Red: Soja + (Sorgho + Brachiaria + Cajanus)
- Orange: Soja + Maïs + (Brachiaria + Cajanus)
- Dark Orange: Maïs

SOURCE: Projet FACUAL/COODETEC/CIRADIFAZ 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. 76

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 RÉDUITE¹

Systèmes ²	Mars-2003				Mars-2004				Mars-2005				Mars-2006				Novembre-2007			
	G.		G.		G.		G.		G.		G.		G.		G.		G.		G.	
	Meloidogyne Sol	Racines	Pratylenchus Sol	Racines	Meloidogyne Sol	Racines	Pratylenchus Sol	Racines	Meloidogyne Sol	Racines	Pratylenchus Sol	Racines	Meloidogyne Sol	Racines	Pratylenchus Sol	Racines	Meloidogyne Sol	Racines	Pratylenchus Sol	Racines
T ₁	338	0	8	-	1808	1093	32	187	152	18801	32	80	40	0	0	0	0	0	0	573
T ₂	1044	4	28	-	4032	133	16	27	224	891	8	68	96	0	0	72	0	0	12	84
S ₁	-	-	4	-	112	0	16	224	0	0	0	213	204	8	0	0	0	0	20	70
S ₂	-	-	40	100	-	-	-	-	88	0	16	160	0	0	8	0	0	0	16	60
T ₁	1836	-	12	-	4464	5920	48	64	120	50	40	0	868	0	0	0	0	0	74	368
T ₂	498	4	18	12	17600	1477	80	197	184	107	0	133	204	0	16	0	0	0	4	624
S ₂	330	38	30	36	-	-	-	-	128	0	64	480	68	8	0	0	0	0	52	224
S ₃	20	-	12	-	2912	904	80	280	12	0	12	0	264	0	0	5	0	0	16	166
S ₄	590	-	2	-	-	-	-	-	8	20	40	280	0	0	20	0	0	0	52	0
S ₅	36	-	-	-	768	222	40	148	0	0	56	0	48	0	8	168	0	0	0	0
T ₁	1012	-	8	12	7200	10240	0	120	1136	23	8	144	504	0	4	0	0	0	44	556
T ₂	194	44	10	8	2336	200	80	144	-	-	-	-	116	0	16	0	0	0	28	208

(*) 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

1 - Fumure minérale moyenne annuelle sur Coton
 2003/2004 = 65N - 73P₂O₅ - 90K₂O + oligos/ha
 2005/2006 = 70N - 31P₂O₅ - 68K₂O + oligos/ha

2 - 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
 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 "Safinha" dans la rotation = Coton/Soja + (Sorgho + Brachiaria r.) - 2 ans, suivi de (Sorgho ou Maïs + Brachiaria r. + Cajanus) - 3 ans

■ Coton
■ Soja + (Éleusine)
■ Soja + (Éleusine + Crotalaire sp.)
■ Soja + (Sorgho + Brachiaria)
■ Soja + (Sorgho + Brachiaria + Cajanus)
■ Soja + Maïs + (Brachiaria + Cajanus)
■ Maïs

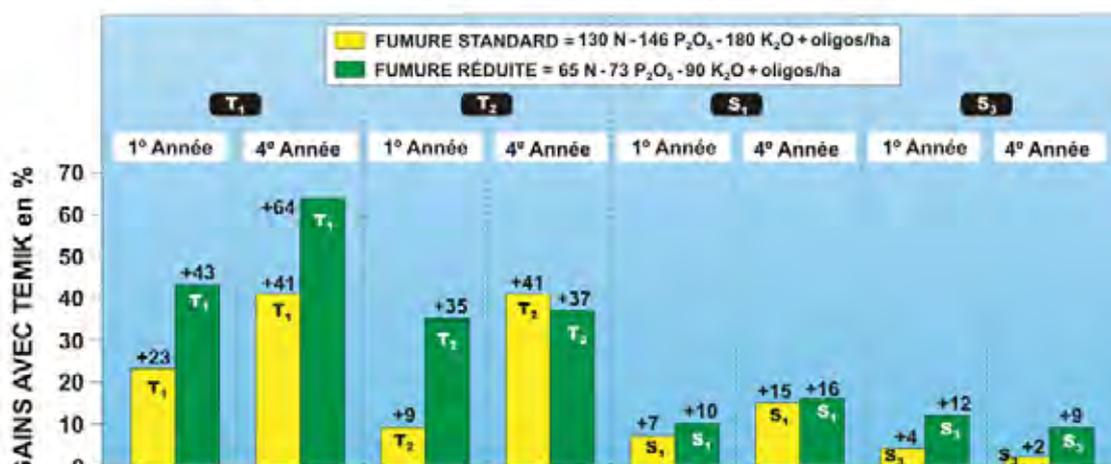
SOURCE: Projet FACUAL/COODETEC/CIRAD/FAZ. MOURÃO - Équipe CIRAD: J. L. Belot, J. Martin, L. Séguy, S. Bouzinac; COODETEC: A. Marques, M. Rodrigo; Fazenda Mourão: G. Costa, L. Dalla Nora, Campo Verde, MT/2006

FIG. 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 Mil - SD Coton sur Mil / tous les ans
 S₁ - SD Coton dans la rotation = Coton/Soja + Éleusine
 S₂ - SD Coton dans la rotation = Coton/Soja + (Sorgho + Brachiaria Ruziziensis)



1 - Dispositif expérimental: Matrice de systèmes de culture en collection testée, avec 2 témoins répétés à chaque extrémité et intercalés au milieu (T₁ et T₂). Dispositif conduit en conditions réelles d'exploitation mécanisées.
 Moyenne de 4 variétés (sans Temik): CD 408, CD 407, CD 98-32, CD 99-2239

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

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

FIG. 78

PHYTORÉMÉDIATION 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

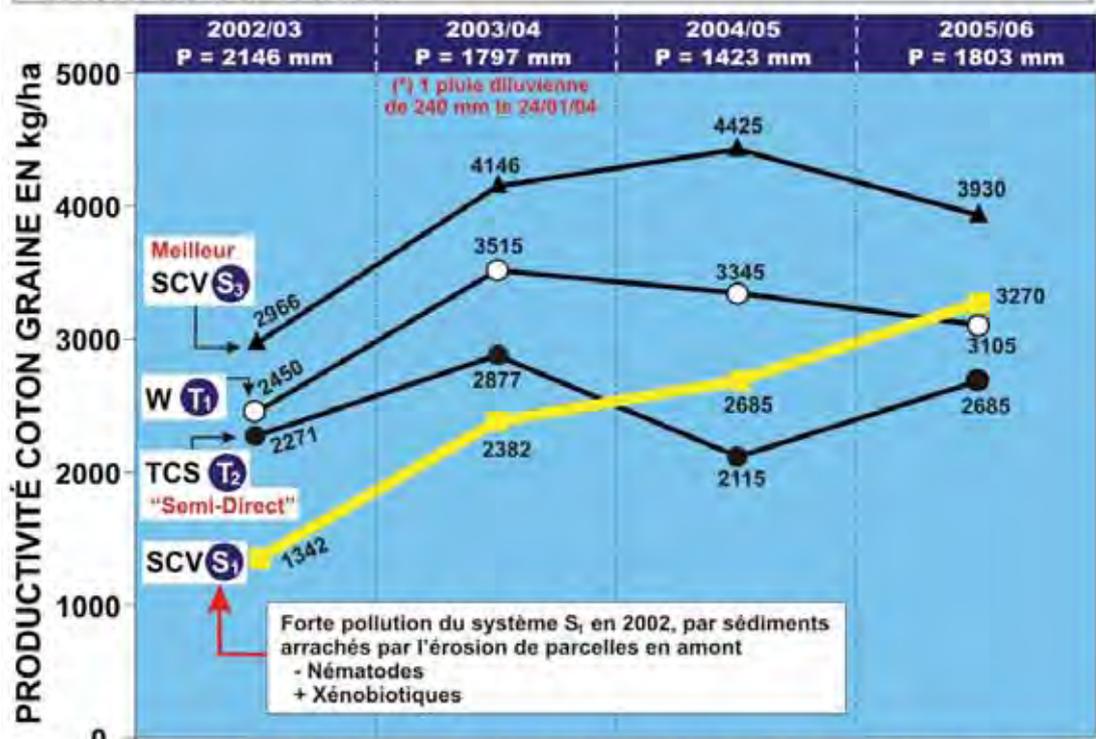
Écologie des cerrados humides de moyenne altitude (600-700m) du Sud-Est du Mato Grosso - Fazenda Mourão, Campo Verde/MT - 2001/2006

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* + *Crotalaria*) - 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

• Fumure Moyenne Standard annuelle en kg/ha = 82N + 122 P₂O₅ + 128 K₂O kg/ha + oligos

• Moyenne biomasse annuelle totale (hors grains), produite dans la succession Soja + biomasses des systèmes S₁ et S₂ = 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		G. Pratylenchus		G. Meloidogyne		G. Pratylenchus		G. Meloidogyne		G. Pratylenchus		G. Meloidogyne		G. Pratylenchus		G. Meloidogyne		G. Pratylenchus	
	Sol	Racines	Sol	Racines																
S ₁	0	0	3	0	12160	4240	0	800	0	0	36	533	92	24	0	4	0	0	24	48
S ₂	770	0	4	0	0	0	256	505	28	88	8	12	0	0	0	0	0	0	24	72

SOURCE: Projet FACUAL/COODETEC/CIRAD/FAZ. MOURÃO - Équipe CIRAD: J. L. Belot, 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

• **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 réduite
- malgré 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 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 + "Safrinhas"						
1. Monoculture Coton x Offset Système Conventiel T1	Coûts de production	Standard	1120	-	1150	-	1261	-	1624	-
		Réduite	954	-	994	-	1105	-	1448	-
	Marges nettes ³	Standard	-17	-	162	-	33	-	-799	-
		Réduite	109	-	56	-	-366	-	-699	-
2. Succession annuelle continue Mil/Coton + Discaje avant Mil + Semis Direct sur Coton Système "Semi-Direct" T2	Coûts de production	Standard	1025	-	1084	-	1195	-	1548	-
		Réduite	869	-	1025	-	1131	-	1484	-
	Marges nettes ³	Standard	2	-	338	-	384	-	-237	-
		Réduite	278	-	243	-	-73	-	-282	-
3. Rotation en Semis Direct "Coton/Soja + (Eleusine cor. + Crotalaria spex.) S1	Coûts de production	Standard	1165	369	1194	386	1246	395	1596	436
		Réduite	1102	314	1132	322	1184	361	1533	397
	Marges nettes ³	Standard	-450	188	-407	335	-171	401	-438	349
		Réduite	-59	247	377	373	-109	446	238	227
4. Rotation en Semis Direct "Coton/Soja + (Sorgho + Brachiaria riz.) S3 ¹	Coûts de production	Standard	1142	344	1176	376	1234	382	1576	424
		Réduite	1085	286	1111	306	1175	325	1510	372
	Marges nettes ³	Standard	-144	235	421	409	547	424	365	376
		Réduite	-161	282	354	398	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 = 13,95 ; 2005 = 8,68.

POUR LE COTON FIBRE (en US \$/kg de 15 kg) => 2002 = 14,90 ; 2003 = 21,87 ; 2004 = 16,60 ; 2005 = 17,03.

POUR LES "SAFRINHAS" DE SORGHO ET ÉLEUSINE + CROTALAIRES, PRIX PAYÉS ESTIMÉS 3,00 US\$/SAC DE 60 kg.

SOURCE: Projet FACUAL/COODETEC/CIRAD/FAZ. MOURÃO - Équipe CIRAD: J. L. Bélot; 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	-	-
MAÏS¹ + 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

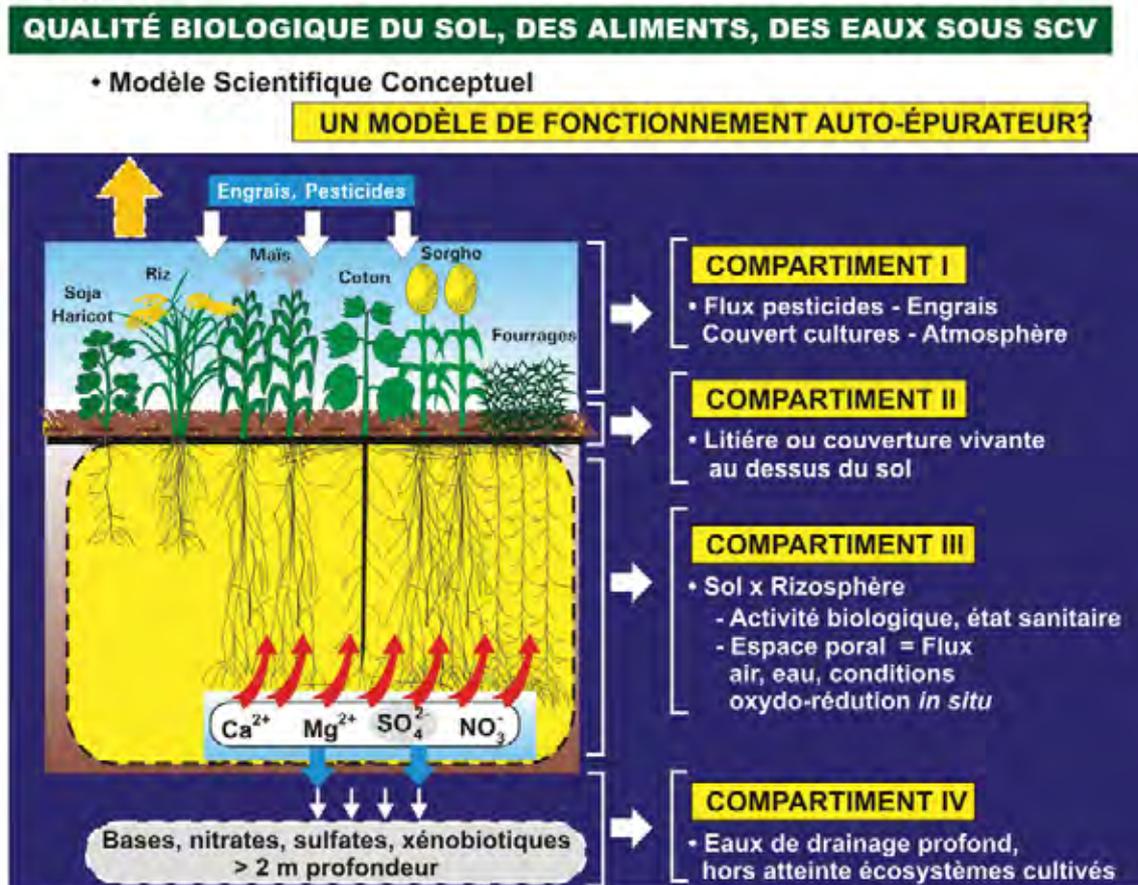
• Au Brésil, à Lucas do Rio Verde dans le Centre Nord Brésil, l'ajustement rapide du mode de gestion (C + O) conduit à des productivités des cultures, au moins égales à celles du mode tout chimique (C) : ce résultat s'applique aux cultures de riz, soja et coton en SCV, (*Fondation Rio Verde*) [*Fig.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



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

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 ¹ (CIRAD 141)		MAÏS HYBRIDE (Tork)		SOJA (Conquista)		
	Gestion C		Gestion C + O	Gestion C		Gestion C + O	
	NPK	Mitsui ²		Gestion C	Gestion C + O	Gestion C	Gestion C + O
Mil	2112	2430	2124	6072	6036	2910	2790
Sorgho + <i>Brachiaria r.</i>	2238	2316	2442	5772	5844	2886 2790 ³	2862 2734 ³
Mais + <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 X̄	2254	2654	2647	5717	5886	2945	2848
CV %	(8,9)	(9,4)	(10,4)	(15,4)	(12,3)	(4,2)	(3,6)
Productivité Relative	100	118	113	100	103	100	97

(*) Très forte limitation de la productivité due à un contrôle déficient des adventices.

1 - Gestion (C), Totalemment 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, 1/2 Fumure de base PK de référence, sur toutes les cultures, 1/2 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 (6t/ha) 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 nécessaire par des insecticides chimiques) et *Bacillus thuringiensis* (Bt)

2 - Engrais Mitsui: Thermophosphate Yoorin Master 2 Si, (contient de la Silice)

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

SOURCE: Équipes Fondation Rio Verde et CIRAD/GEC - UR1 - 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 Cottonnier		VARIÉTÉS			
		CD 409	CD 2239	CD 406	CD 407
Gestion Chimique (C)	Sans Temik	1889 (126)	2138 (143)	2027 (135)	1722 (115)
	CV %	5	12	5	4
	Avec Temik	2333 (156)	2445 (163)	2222 (148)	2056 (137)
	CV %	-	8	-	4
MOYENNE X̄		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	15	13	21
	Avec Temik	3356 (224)	3819 (255)	3472 (231)	3588 (239)
	CV %	23	28	20	20
MOYENNE X̄		2972 (198)	3278 (219)	3162 (211)	2931 (195)
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 + 73P₂O₅ + 90K₂O + oligos; herbicides + insecticides: Gestion de la Fazenda

b) Chimique + Organique (C + O) - Traitement organique des semences - Niveau bas de fumure: 65N + 73P₂O₅ + 90K₂O + oligos herbicide: traitement Fazenda - application de produits organiques: 6t/ha d'humus + 4,5 kg de EP4 à différents stades: 1^{er} bouton, 1^{er} fleur et 100-110 JAS, contrôle des insectes avec Neem complétés par produits chimiques si nécessité (*punaises*, *Anthonomus g.*)

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

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

FIG. 89

PRODUCTIVITÉ, (en kg/ha), DE LA CULTURE DE SOJA (Cv. Monsoy 6101) EN FONCTION DU MODE DE GESTION DE LA CULTURE: CHIMIQUE ¹ (C), CHIMIQUE + ORGANIQUE ² (C+O)		
	Gestion Chimique ¹ (C)	Gestion Chimique + Organique ² (C + O)
Échantillons (20m ²)	3041	3992
	3277	4340
	3333	4097
	3243	4076
	3257	4138
	3541	4236
Moyenne	3282⁽¹⁰⁰⁾	4147⁽¹²⁶⁾
ET	161,1	122,7
CV%	4,91	2,96
Teneur de protéines (%)	33,2	34,8

1. **Gestion Chimique (C)** : Insecticides + herbicides + Fongicide:
Orius (*Tebuconazole*) x 3 applications de 400 ml chaque
(± 20 U\$/ha) - (25, 45 et 60 JAS) - Sans engrais
2. **Gestion Chimique + Organique (C + O)** : Herbicides + Fongicide Orius:
1 seule application + produits organiques (*humus liquido* - 5 litres) + Éliciteurs EP₁ + EP₂ (6kg + 2 kg);
coût/ha = R\$ 200,00 - Sans engrais

SOURCE: L. Daila Nora, G. Costa, Fazenda Mourão; L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-UR1; Campo Verde/MT, 2006

FIG. 90

PRODUCTIVITÉ DU SOJA SUR RECRÚ 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)	4278 (119)
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, 1/2 Fumure de base PK de référence, sur toutes les cultures, 1/2 couverture azotée (N) de référence sur céréales Riz et Maïs, pas de fongicides. La moitié de la fumure minérale NPK₁ et fongicides de l'itinéraire (C)Chimique sont remplacés par des produits organiques: humus liquide (6t/ha) 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 (*completés si nécessaire par des insecticides chimiques*) et *Bacillus thuringiensis* (BT)

SOURCE: Équipes Cerealsnet/Fronteira 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" ² 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	Diafentluron	+		+
Thiodan	Endosulfan	+		
Decis	Deltamethrin	+	+	
Bulldock	Betacyflutrin	+		
Marschal	Carbosulfan	+	+	+
Fury	Zetacypermethrin	+	+	+
Cipertrin	Cypermethrin	+		
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. Belot; J. Martin; L. Ségu; S. Bouzinac; COODETEC: A. Marques, M. Rodrigo; Fazenda Mourão: G. L. da Costa, L. Dalla 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>) (<i>S₁</i>)	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 (<i>Discage sur Mil</i>) (<i>T₂</i>)	C	• 0,20 • 0,22 • 0,03 <i>Cipermetrinas</i>	<0,01	<0,02	• 0,02 <i>Tetraconazol</i>	<0,01	<0,02
III - DISCAGES • Monoculture Coton (<i>T₁</i>)	C	• 1,90 • 0,32 • 0,07 <i>Cipermetrinas</i>	<0,01	<0,02	• 0,03 <i>Tetraconazol</i>	<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: 6l/ha d'humus + 4,5 kg de EP4 à différents stades: 1^{er} bouton, 1^{er} fleur et 100-110 JAS; contrôle des insectes avec Neem complétés par produits chimiques si nécessité (*punaies*, *Anthononus g.*)

SOURCE: Project FACUAL/COODETEC/CIRAD/FAZ. MOURÃO - Equipe CIRAD: J. L. Belot; J. Martin; L. Ségu; S. Bouzinac; COODETEC: A. Marques, M. Rodrigo; Fazenda Mourão: G. Costa, L. Dalla 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 total₁	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 Total₂	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 Total₃	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. Bouzinac - 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	Fenitrotion	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	Tolilfluanida	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 + Stylosanthes g. , installé en succession de soja
Forêts – Sinop/MT- 2002**



**SCV: Maïs var. IRAT 200 + *Brachiaria ruziziensis* 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 + élusine c., + sarrazin , installé en succession de soja
Cerrados – Campo Verde -2008**



**SCV: Sorgho + élusine 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 dessication
Cerrados- Campo Verde/MT - 2008**



**En Haut: Couverture de mil déjà minéralisé 70 jours après dessication – 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

oto: O. Hussion



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



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



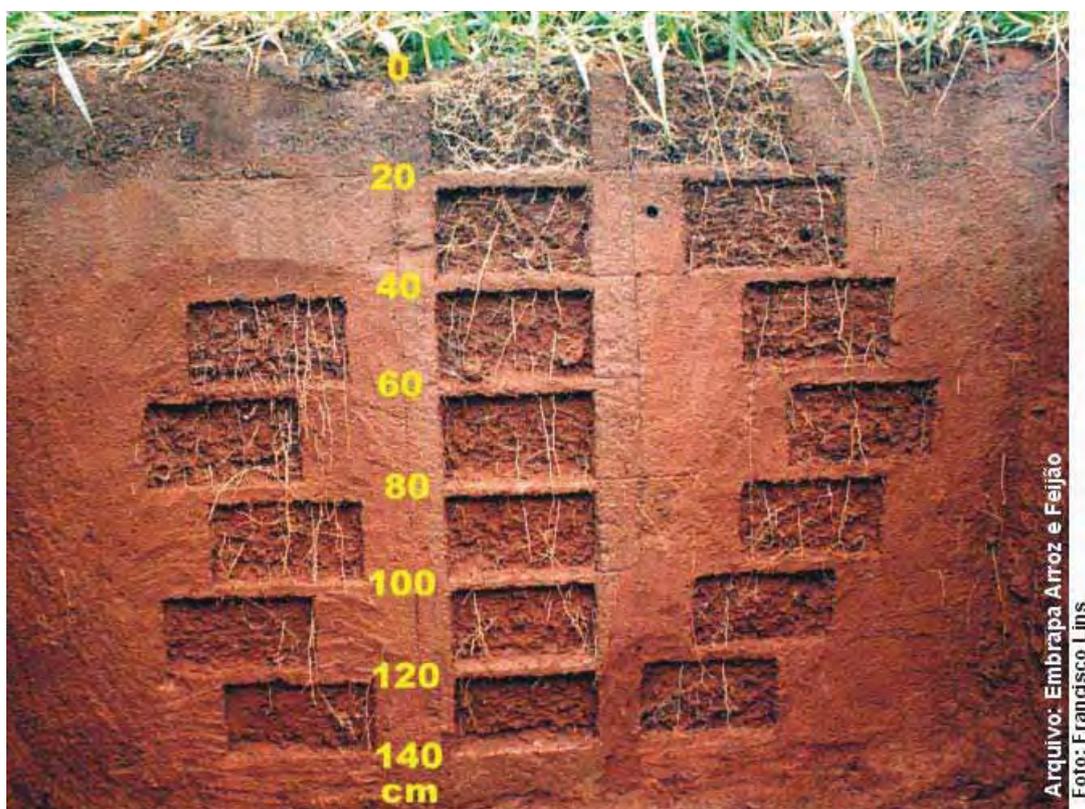
Profil et racines profondes sous *Stylosanthes g.*- Forêts- Sinop/MT- 2002



**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