



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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

<p><b>1987/1995<sup>29</sup></b> Systèmes SCV à 1 culture/an :</p>	<p>Soja d'abord sur couvertures d'adventices dominantes dont en particulier <i>Cenchrus echinatus</i> + <i>Eleusine indica</i>, puis sur Mils ou Sorghos africains à forte biomasse</p>
<p>Systèmes SCV à 2 cultures/an en succession :</p>	<p>Soja et Riz cycle court en rotation avec en succession annuelle : Maïs, ou Mil ou Sorghos africains à forte biomasse</p>
<p><b>1995/2002<sup>30</sup></b> Systèmes SCV à 2-3 cultures/an en succession :</p>	<p>Soja, Riz et Coton en rotation, avec, en succession annuelle du soja ou du riz cycle court :</p> <p>⇒ Maïs, ou Mil ou Sorghos africains ou <i>Eleusine coracana</i>.</p> <p>⇒ Puis Maïs ou Mil ou Sorghos africains + <i>Brachiaria r.</i> associé pour maximiser la production de soja et offrir une 3<sup>o</sup> culture : le pâturage pour embouche élevage en saison sèche, ou <i>Eleusine coracana</i> + <i>Crotalaria spect.</i></p> <p>⇒ Maïs, Mil ou Sorgho + <i>Stylosanthes guyanensis</i> pour maximiser la production de Riz (<i>fixation N gratuite avec légumineuses incorporées</i>), et embouche élevage en saison sèche.</p> <p>⇒ couvertures vivantes permanentes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Soja ou Coton sur <i>Cynodon d.</i> (Tifton, Bermuda Grass),</li> <li>- Coton, Riz, Maïs sur <i>Arachis p.</i></li> </ul>
<p><b>2001/2008<sup>31</sup></b> Systèmes SCV à 2-3 cultures/an en succession :</p>	<p>Soja, Riz et Coton en rotation, avec, en succession annuelle du soja ou du riz cycle court :</p> <p>⇒ Coton « safrinha »</p> <p>⇒ Maïs, ou Mil ou Sorghos associés à <i>Brachiaria ruzi</i> + <i>Cajanus cajan</i> ou à <i>Brachiaria ruzi.</i> + <i>Crotalaria spect.</i></p> <p>⇒ <i>Eleusine coracana</i> + <i>Crotalaria spectabilis</i> Puis</p> <p>⇒ Maïs + <i>Eleusine coracana</i> + <i>Crotalaria spectabilis</i> e <i>tmélanges d'espèces plus complexes</i></p> <p>(*) <i>L'incorporation des légumineuses dans les couverts visant la fixation gratuite d'azote ou cains</i></p> <p>⇒ couvertures vivantes permanentes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Soja ou Coton sur <i>Cynodon d.</i> (Tifton 85, Bermuda Grass),</li> <li>- Coton, Riz, Maïs sur <i>Arachis p.</i></li> </ul>

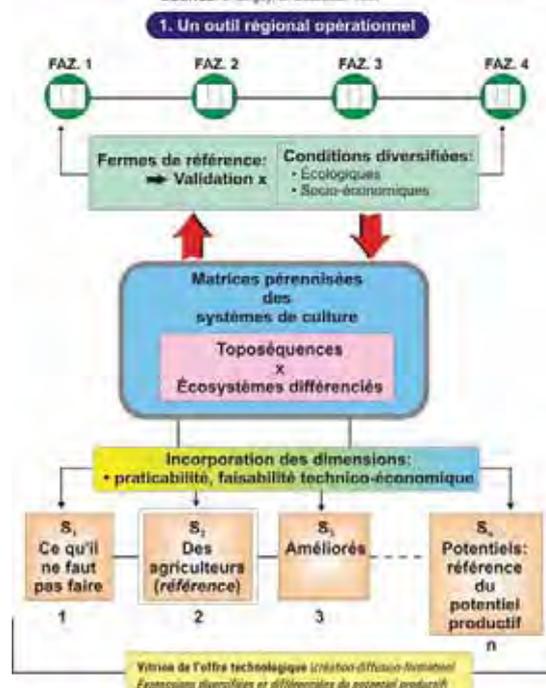
<sup>29</sup> Fazenda Progresso, puis Cooperlucas à Lucas do Rio Verde- MT

<sup>30</sup> Agronorte – Sinop - MT Groupe Maeda Deciolândia - MT

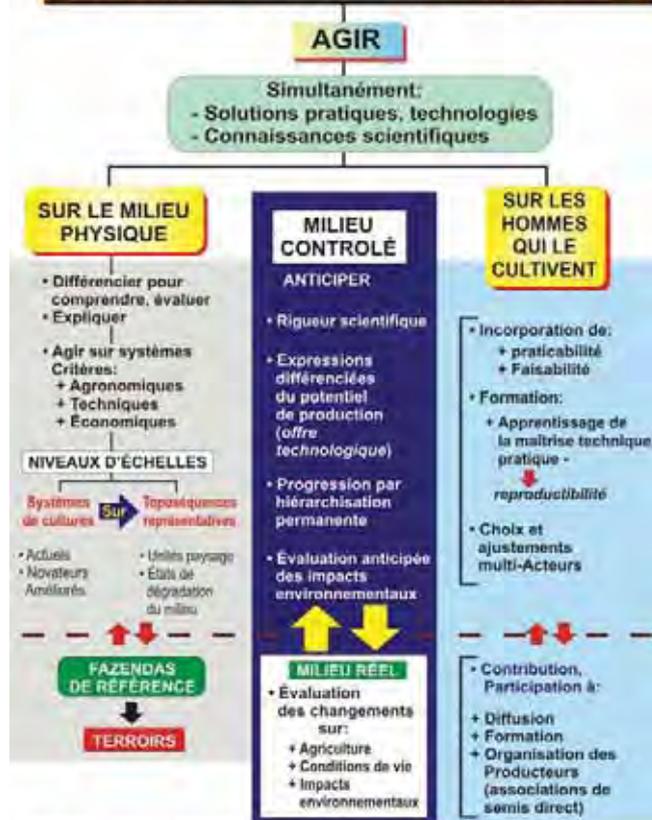
<sup>31</sup> Groupe Maeda – Deciolândia – MT et Fazenda Mourão Campo Verde - MT

**FIG. 94**  
**DÉMARCHE OPÉRATIONNELLE DE CRÉATION-DIFFUSION**  
**DES SYSTÈMES DE CULTURE ET FORMATION**

SOURCE: L. Ségué, S. Bouzinac, 1997



**FIG. 95**  
**RECHERCHE - ACTION**  
**POUR, AVEC ET CHEZ LES AGRICULTEURS**



SOURCE: L. Ségué, S. Bouzinac, CIRAD-GA, A. C. Maronezzi, AGRUNORTE, Sinco/MT - 1978/2000

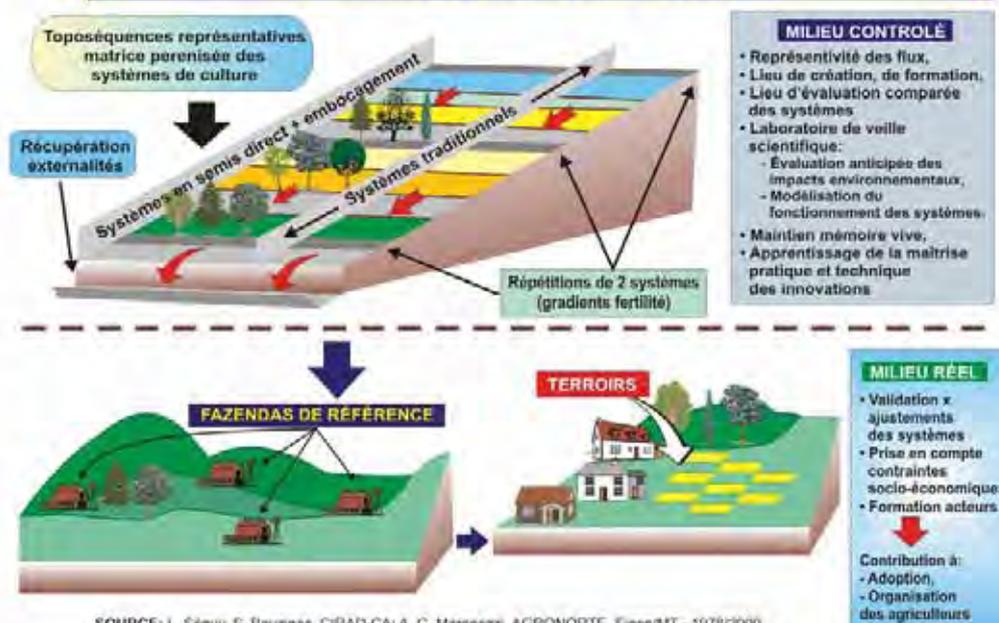
FIG. 96

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

SOURCE: L. Ségué, S. Bouzinac, CIRAD-CA - 1978/2000

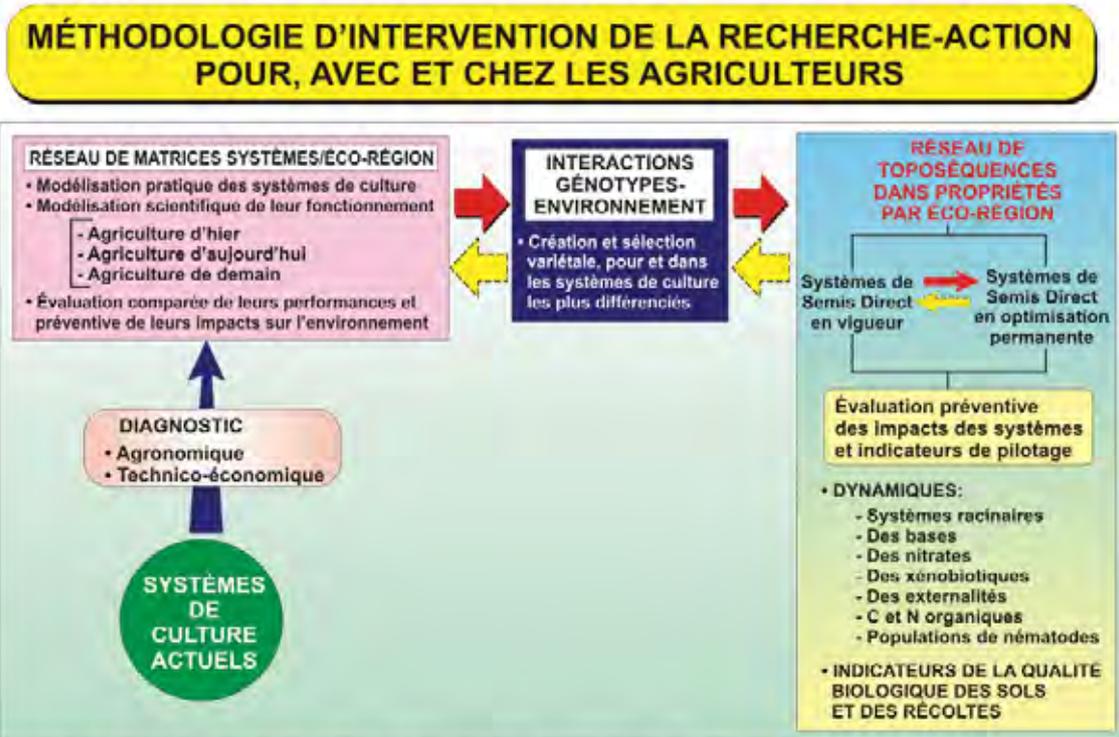


FIG. 97 **DÉMARCHE DE LA RECHERCHE-ACTION, POUR, AVEC ET CHEZ AGRICULTEURS - NIVEAUX D'ÉCHELLES ET FONCTIONS -**



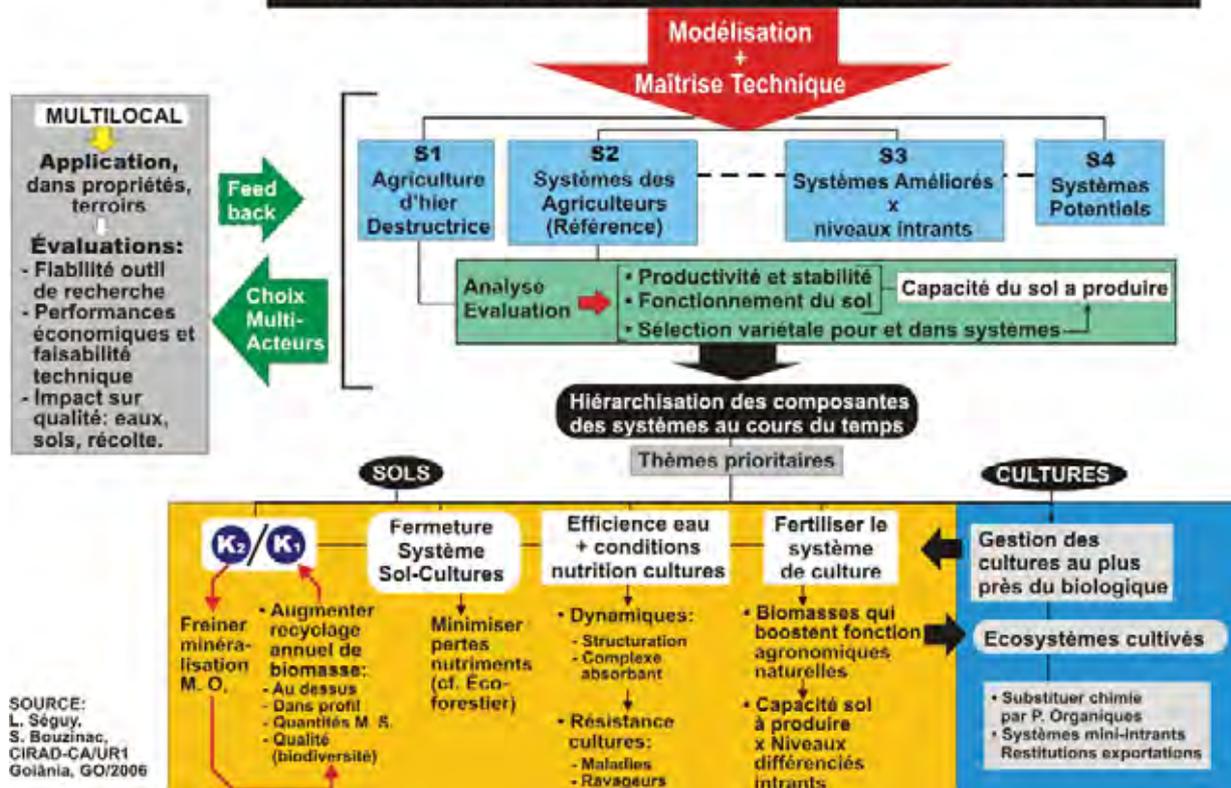
SOURCE: L. Ségué, S. Bouzinac, CIRAD-CA; A. C. Maronezzi, AGRONORTE, Sinop/MT - 1978/2000

FIG. 98



SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, E. Scopel, J. M. Douzet, J. L. Belol, J. Marlin, M. Corbeels, CIRAD-CA

FIG. 99 **MATRICE DES SYSTÈMES DE CULTURE TRÈS CONTRASTÉS À FORT IMPACT, POUVOIR TRANSFORMANT, DU PROFIL CULTURAL**



SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA/UR1 Goiânia, GO/2006

FIG. 100

**PROGRÈS DES PERFORMANCES DES SYSTÈMES DE CULTURE EN SEMIS DIRECT SUR COUVERTURE PERMANENTE DU SOL<sup>1</sup> (SCV)**  
Écologie des sols ferrallitiques des savanes et forêts de la zone tropicale humide (ZTH)

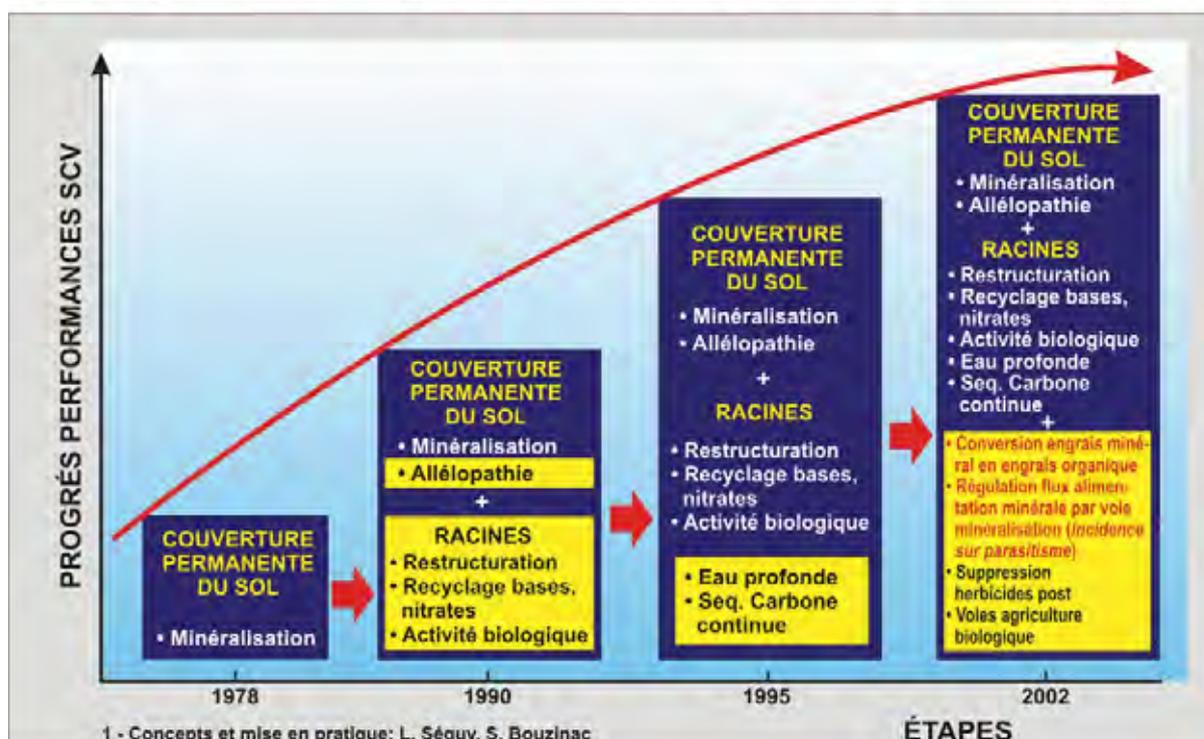


FIG. 101

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

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

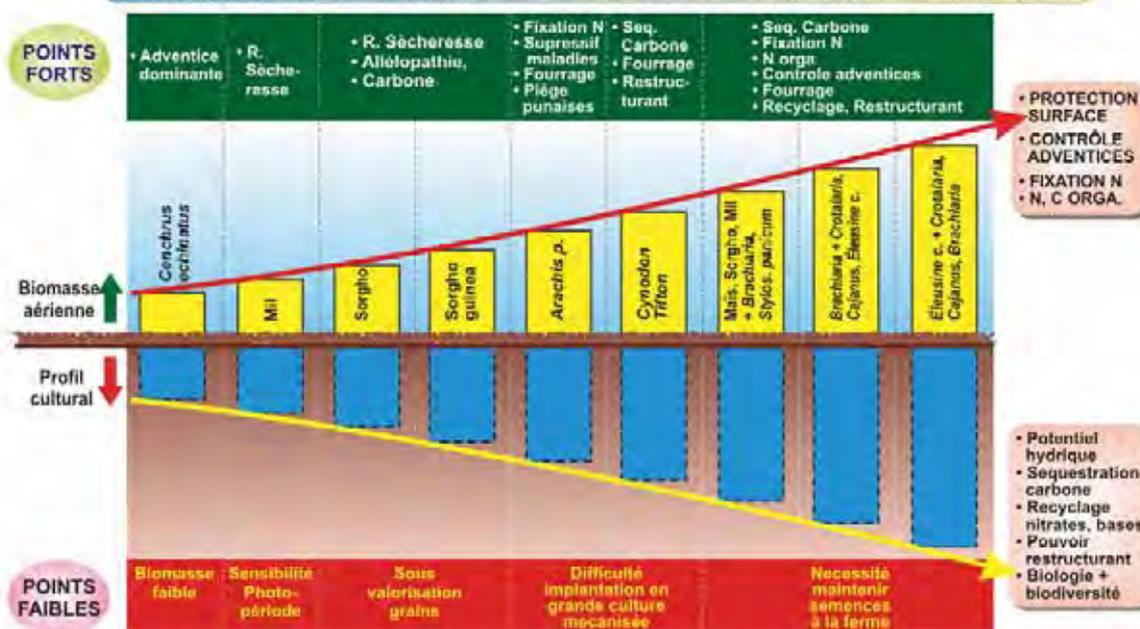


FIG. 102

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

**Sols ferrallitiques des savanes et forêts du Mato Grosso - Brésil**

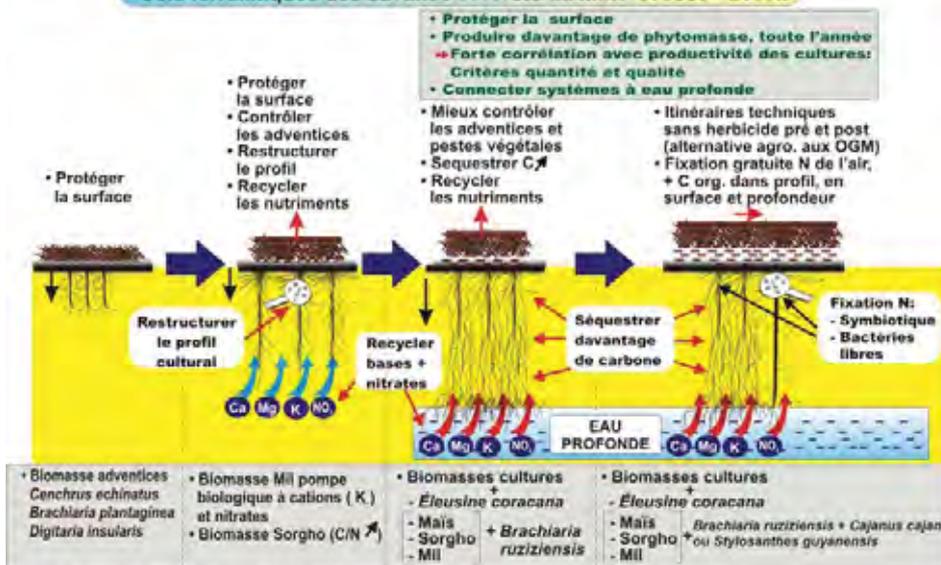
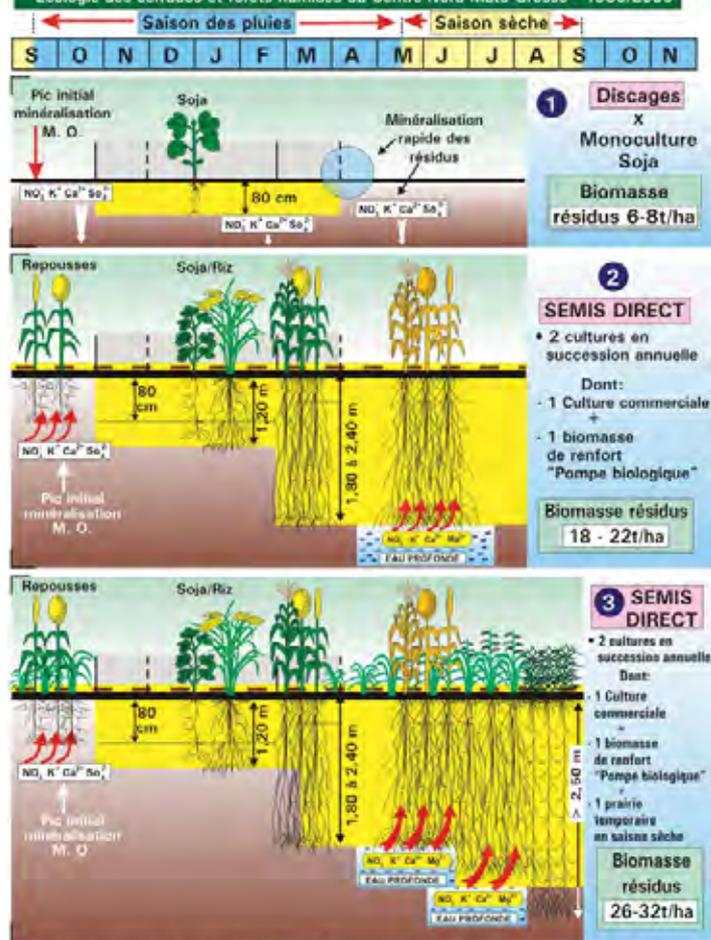


FIG. 103

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



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

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

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

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

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

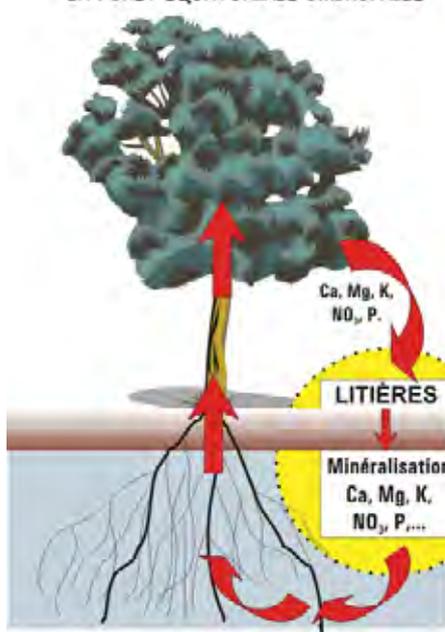
▪ **Le quatrième concept : "Les SCV : un modèle de fonctionnement auto-épurateur ?"** dans lequel sont définis 4 compartiments préférentiels dans le système Atmosphère - Cultures - Sols pour suivre - expliquer le devenir des pesticides, nitrates, xénobiotiques en général (*pouvoir de biorémédiation,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

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

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

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

**FIG. 104**  
LA FORÊT EQUATORIALE OMBROPHILE



SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRA-CA, 1998

**Un modèle de fonctionnement à reproduire pour l'agriculture**

- Dans le système SOL-PLANTE, une grande fraction des éléments fertilisants est recyclée entre la Matière Organique vivante et morte, sans beaucoup d'échanges avec le sol minéral.
- Des grandes quantités d'éléments fertilisants sont ainsi RETENUS dans le système.
- Forte activité biologique.

**Ecosystème productif et stable même sur sol pauvre**

**UNE POMPE RECYCLEUSE FONCTIONNELLE EN CONTINU**

Fortes capacités d'interception, de recyclage et de régénération de la fertilité

**FIG. 105**

**FONCTIONNEMENT DU PROFIL CULTURAL, SOUS TRAVAIL PROFOND DU SOL, EN ZONE TROPICALE HUMIDE.**

SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac - Mato Grosso - Brésil

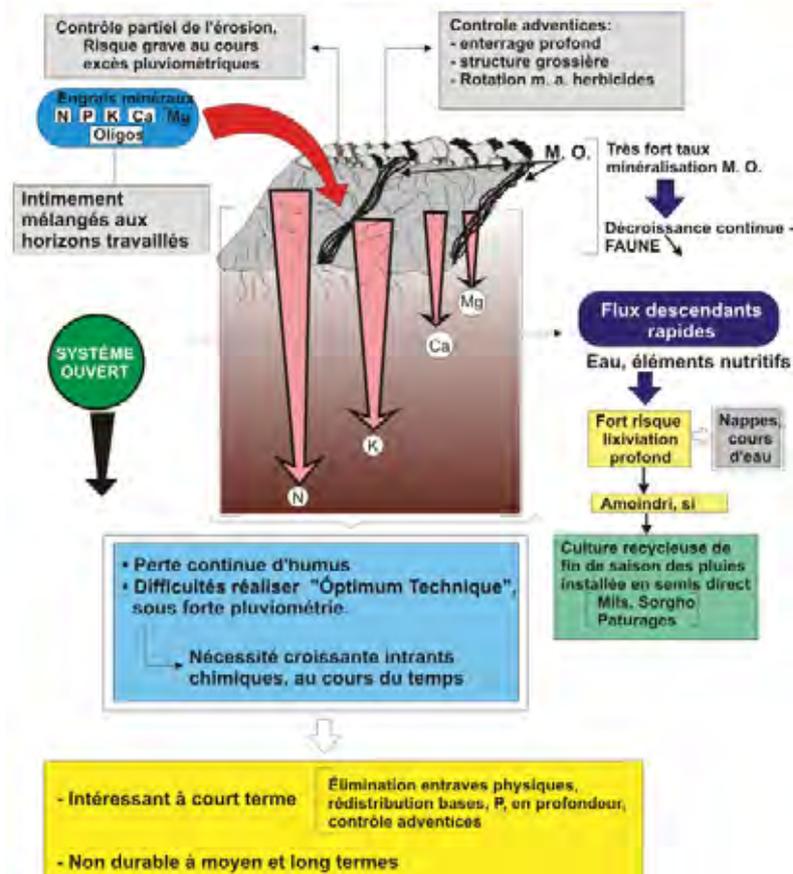
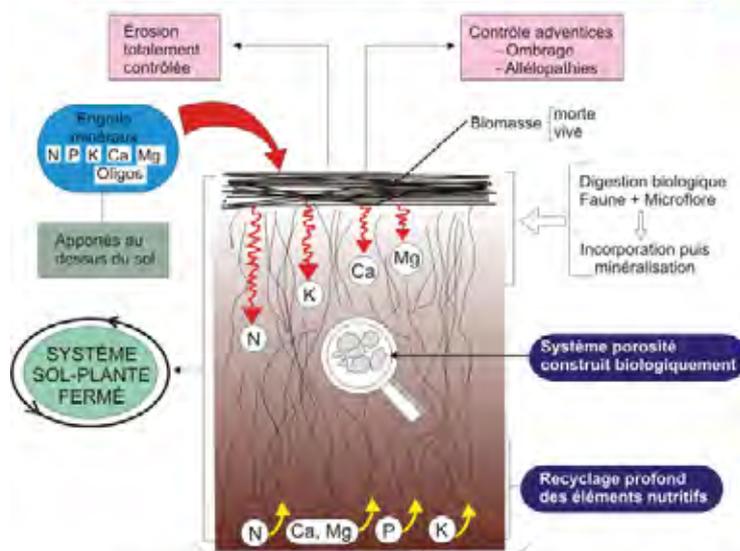


FIG. 106

**FONCTIONNEMENT DU PROFIL CULTURAL, SOUS SYSTÈMES DE SEMIS DIRECT, EN ZONE TROPICALE HUMIDE.**  
 - SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, - Mato Grosso - Brésil



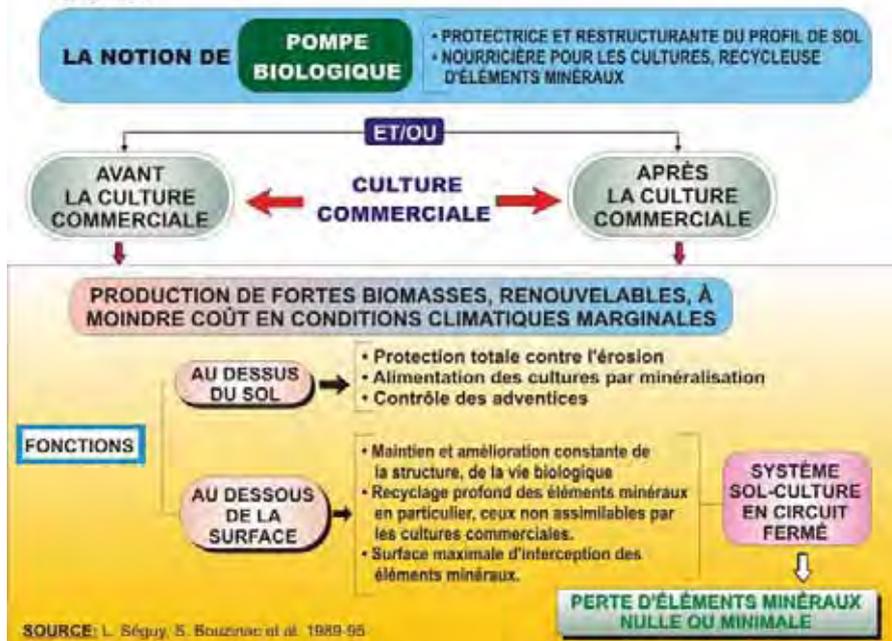
- Systèmes construits sur successions annuelles à 2 cultures, ou sur couvertures vivantes
  - Fonctionnent comme écosystème forestier=
    - + Recycleurs et/ou intercepteurs efficaces, régénérateurs de la fertilité
    - + Soja, Riz, Maïs + Mil, Sorghos, Graminées fourragères, légumineuses
    - + Soja sur graminées pérennes (TIFTON)
- RISQUE, LIMITÉ → Immobilisation temporaire minéralisation sous conditions climatiques excessives, prolongées

**LE SOL N'EST QU'UN SUPPORT**

→ Alimentation cultures → De M. O. morte à M. O. vivante avec peu d'échanges avec sol minéral

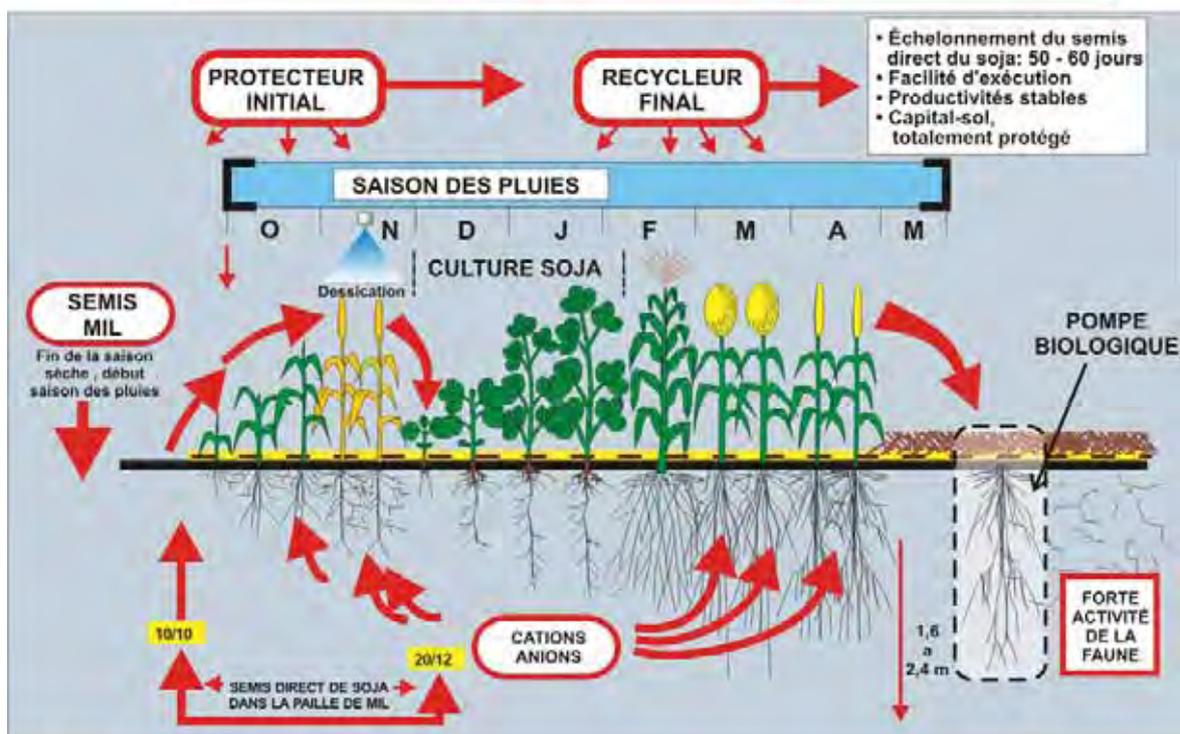
- Système dépendant de capacité à produire et reproduire
- Biomasses à moindre coût, chaque année.
  - M. O. à Turn Over rapide, moteur de la durabilité, humus, rôle secondaire, excepté capital de départ

FIG. 107



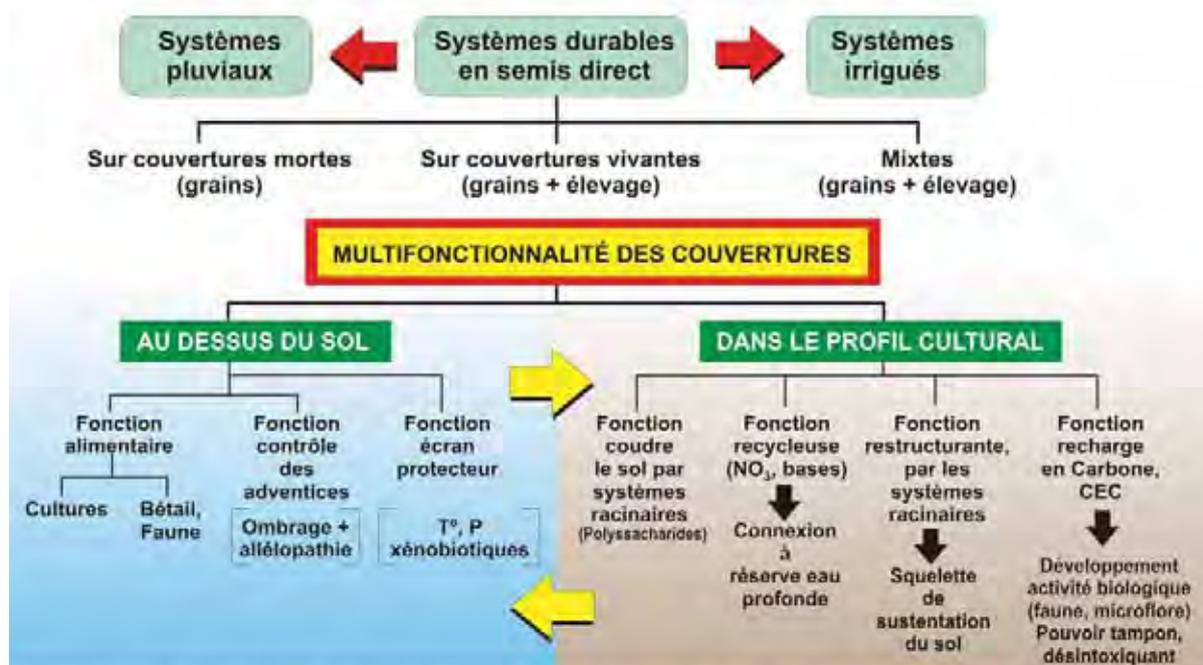
SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac et al. 1989-95

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



L. Séguy, S. Bouzinac - MT/1993

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



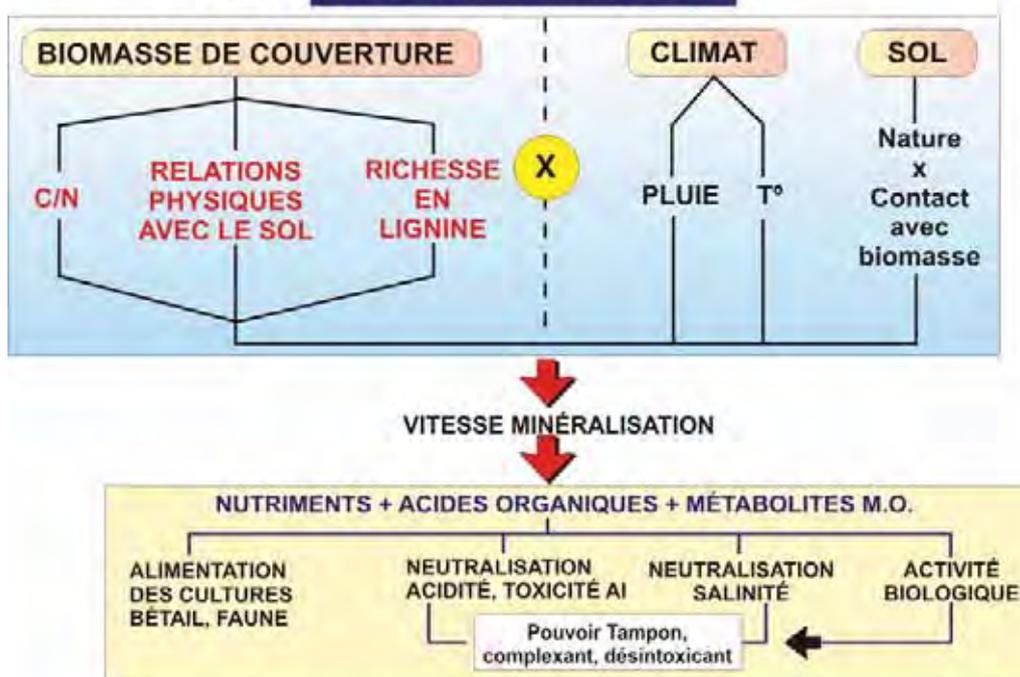
SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA; A. C. Maronezzi, AGRONORTE, Sinop/MT - 1978/2000

FIG. 110

## LA FONCTION ALIMENTAIRE DÉPEND:

- ➔ D'abord, de la capacité de la plante de couverture, à produire une très forte biomasse instantanée en conditions climatiques aléatoires
  - [ Début et fin de saison des pluies, la biomasse remplace le travail du sol ]
- ➔ Ensuite, de la vitesse de minéralisation de la couverture dans les conditions pédoclimatiques locales - La vitesse de minéralisation est réglée par:
  - La teneur en lignine
  - La teneur en C
  - La rapport C/N
  - L'activité biologique.
- ➔ De la dynamique des ions fortement influencée par la nature des couvertures (*acides organiques* ⇒ *Pouvoir neutralisant de l'acidité, détoxiquant, migrations des sels, dont ceux de NO<sub>3</sub>, K, Ca, Mg*)

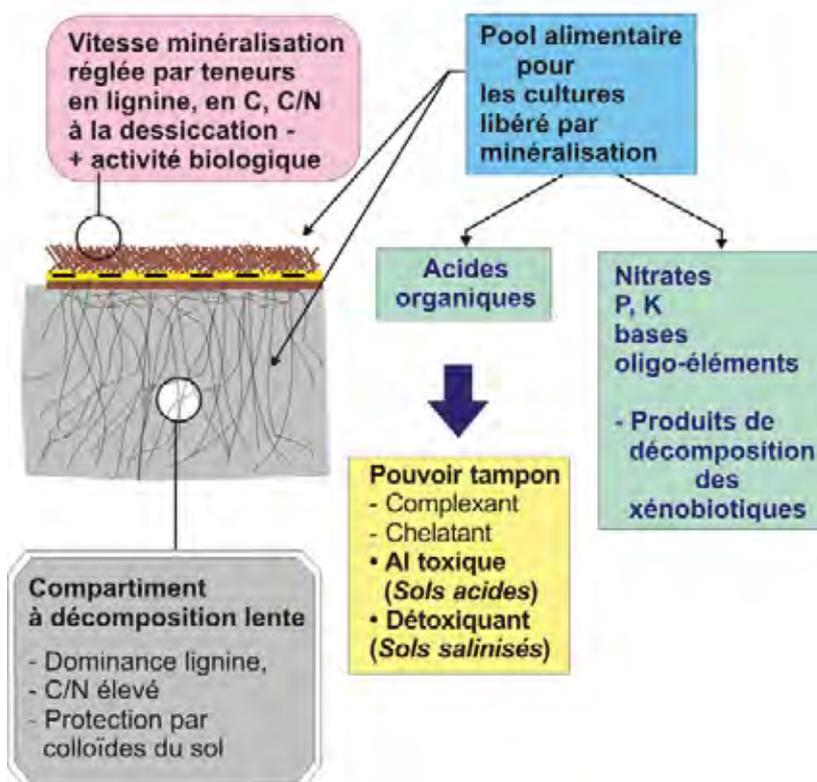
FIG. 111 FONCTION ALIMENTAIRE



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

FIG. 112

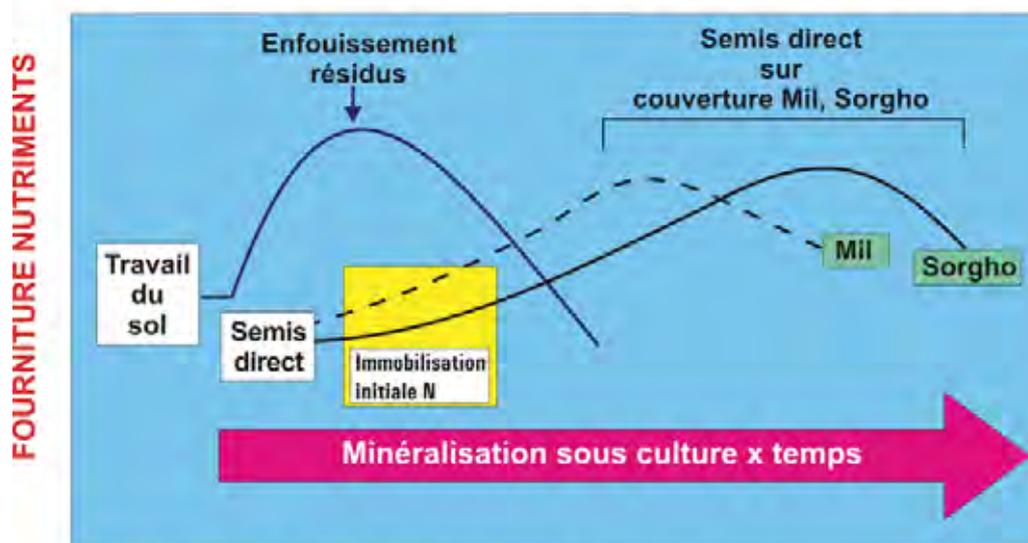
**FONCTIONS ALIMENTAIRE, COMPLEXANTE, DES POMPES BIOLOGIQUES - (Cas des graminées)**



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

FIG. 113

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



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

FIG. 114

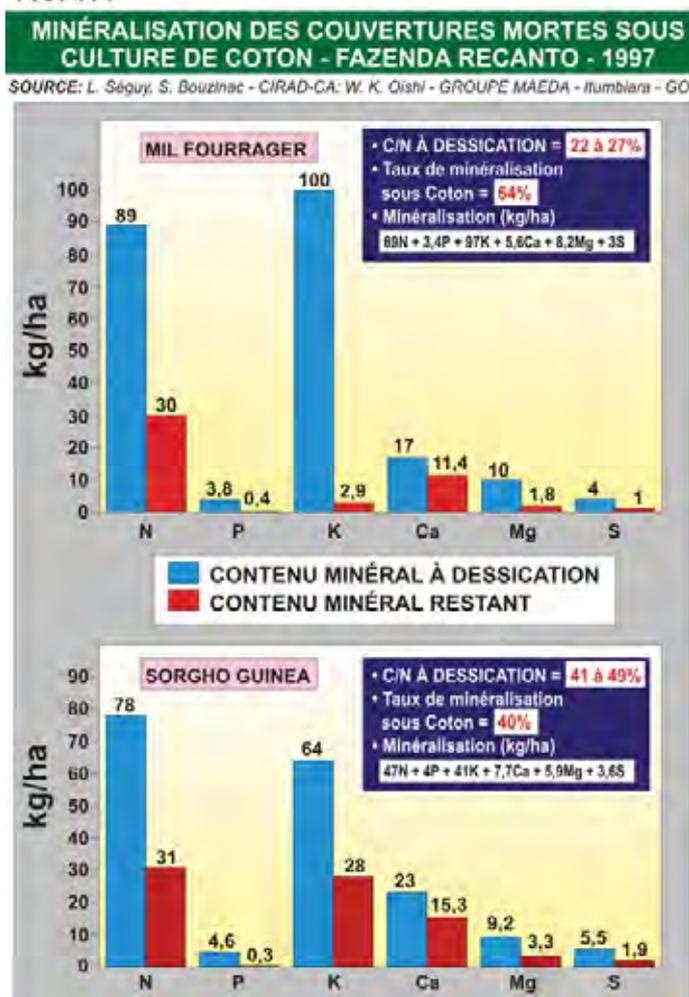


FIG. 115 FONCTIONS= ALIMENTAIRE, NEUTRALISATION DE L'ACIDITÉ

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

(1) Millets, Sorghos, Eleusine C., d'alimentation humaine - Farines à haute valeur nutritive, sans tanins, riches en protéines (11-14%)  
 • Millets CIRAD, Indiens  
 • Sorghos Africains, CIRAD } Semences disponibles { GROUPE MAEDA - Itumbiara - SP  
 AGRONORTE - Sorriso, MT  
 EMGOPA - Goiânia, GO

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

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

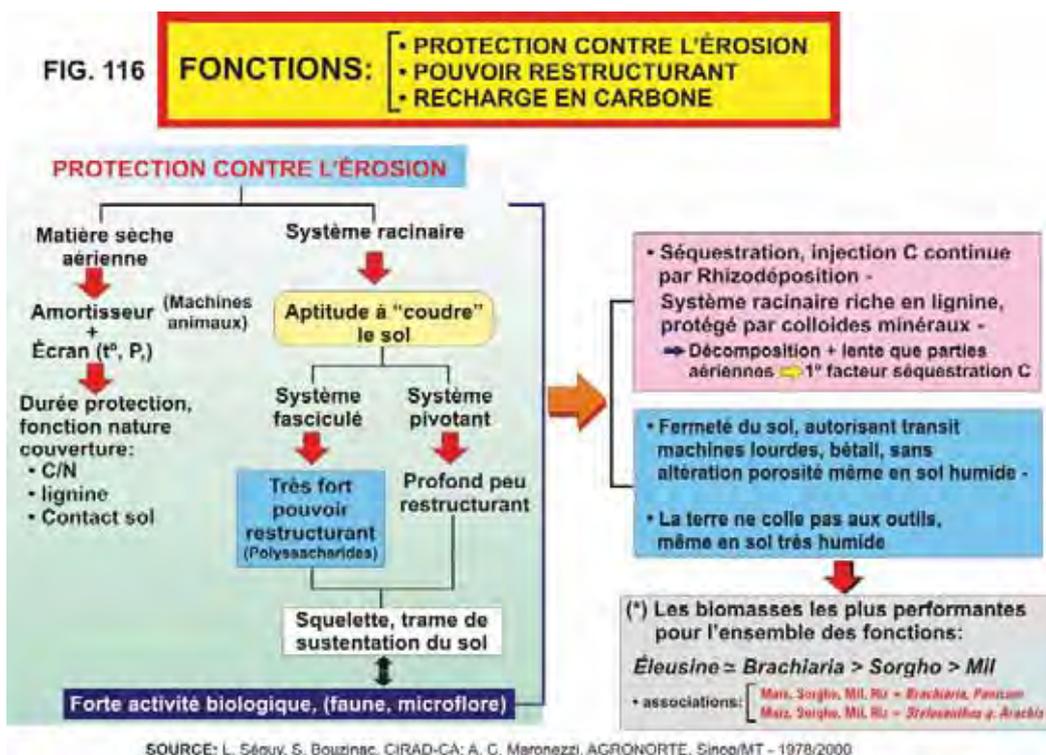


FIG. 117

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



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

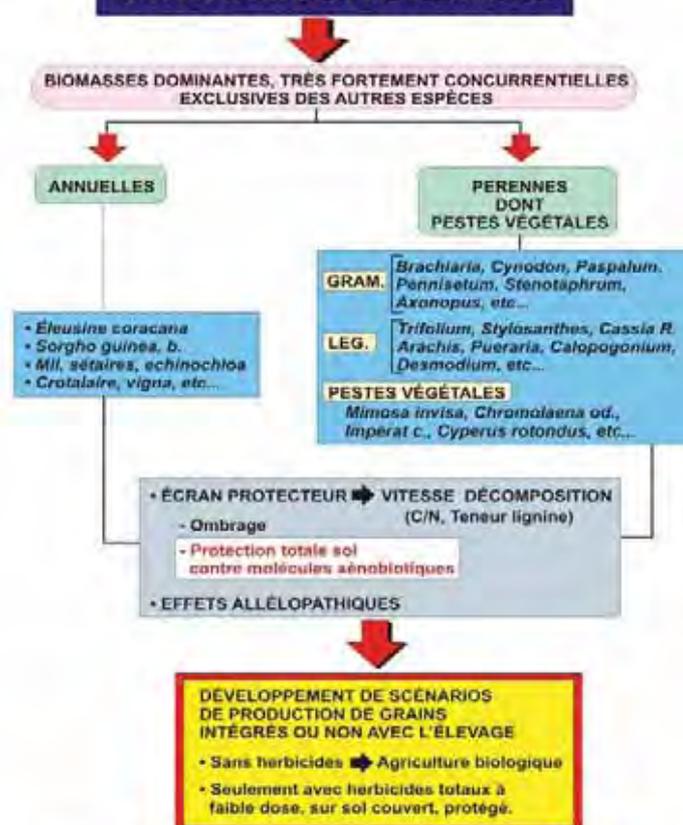
FIG. 118

**FONCTION = CONTRÔLE DES ADVENTICES**



FIG. 119

**FONCTION: CONTRÔLE DES ADVENTICES**



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

FIG. 120

**FONCTION: CONTROLE DES ADVENTICES ANNUELLES ET VIVACES**

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

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

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

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

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

FIG. 121

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

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

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

FIG. 122

## FONCTION RECYCLEUSE

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

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

FIG. 123

## FONCTION RECYCLEUSE



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

**FIG. 124 FONCTION RECYCLEUSE DES RACINES**

	Vitesse enracinement	Biomasse racinaire (90J)	Pouvoir restructurant	Recharge en carbone du profil cultural
Mil <sup>(1)</sup>	Rapide 2,0-3,0 cm/Jour	Moyenne (C/N = 41)	Moyen	Moyenne (90J)
Sorghos <sup>(1)</sup>	Rapide 2,0-3,0 cm/Jour	Élevée (C/N = 60)	Élevé	Forte (90-110J)
Eleusine C. <sup>(1)</sup>	Très rapide 3,0-5,0 cm/Jour	Très Élevée (C/N = 51)	Exceptionnel	Très Forte (90-100J)
Maïs, Mil <sup>(1)</sup> , Sorghos + Brachiaria R. Stylosanthes G.	Rapide	Très Élevée <sup>(2)</sup> (Activité racinaire continue du Brachiaria R.) (C/N = 35-38)	Très Élevé	Forte (90-100J) à très forte (150-210 jours)
Cynodon D. Tifton 85	Rapide	Très Élevée (Rhizomes + Stolons)	Très Élevé	Forte (continue)
Arachis P. Amarillo	Rapide	Moyenne (Stolons)	Moyen	Moyenne (continue)

(1) Mil<sup>(1)</sup>, Sorghos, Eleusine C., d'alimentation humaine - Farines à haute valeur nutritive, sans tanins, riches en protéines (11-14%)  
 • Mil<sup>(1)</sup> CIRAD, Indiens { GROUPE MAEDA - Ituverava -SP  
 • Sorghos Africains, CIRAD { • Semences disponibles { AGRONORTE - Sorriso, MT  
 EMGOPA - Goiânia, GO

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

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

**FIG. 125**
**CONDITIONS D'INSTALLATION, PRODUCTION DE MATIÈRE SÈCHE**

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

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

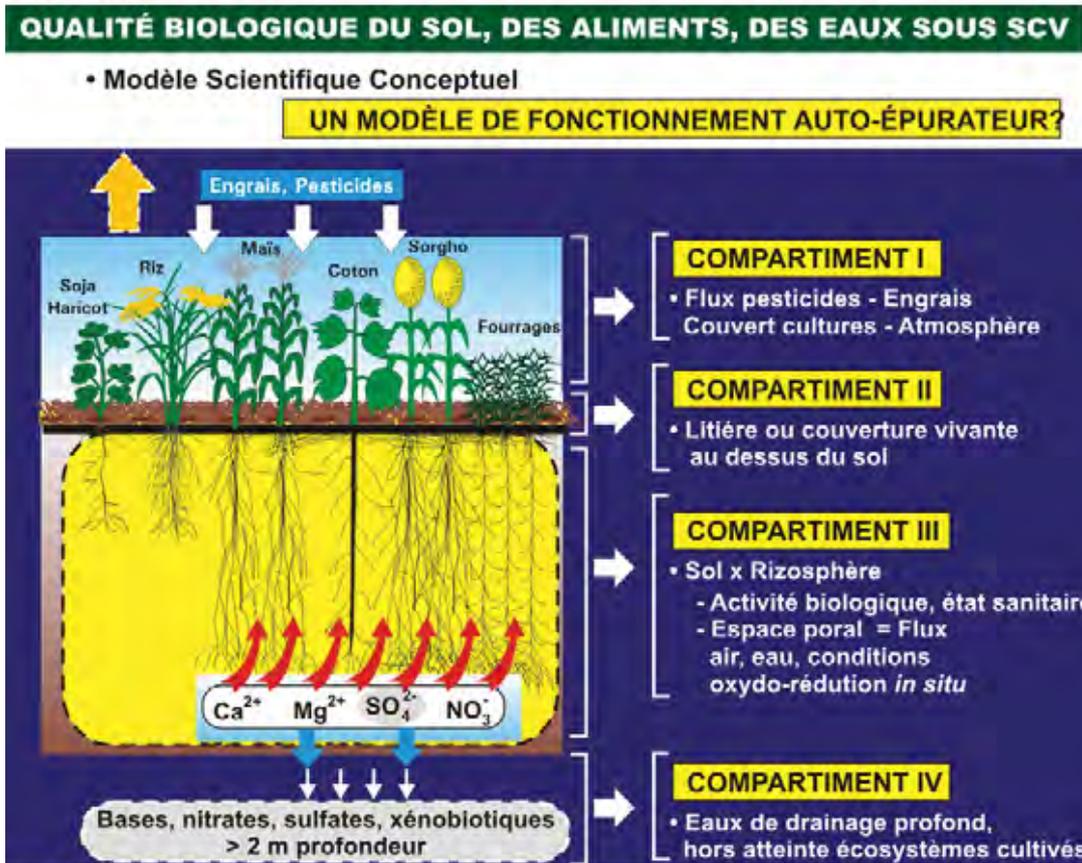
(1) Mil<sup>(1)</sup>, Sorghos, Eleusine C., d'alimentation humaine - Farines à haute valeur nutritive, sans tanins, riches en protéines (11-14%)  
 • Mil<sup>(1)</sup> CIRAD, Indiens { GROUPE MAEDA - Ituverava -SP  
 • Sorghos Africains, CIRAD { • Semences disponibles { AGRONORTE - Sorriso, MT  
 EMGOPA - Goiânia, GO

(2) Fonction du niveau de fumure x cultivars

(3) Les pailles de Eleusine sont très riches en K (2,9%), Ca (1,2%), Mg (0,34%), S = (0,18%)  
 Celles de Mil, riches en K (2,6%)

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

FIG. 126



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

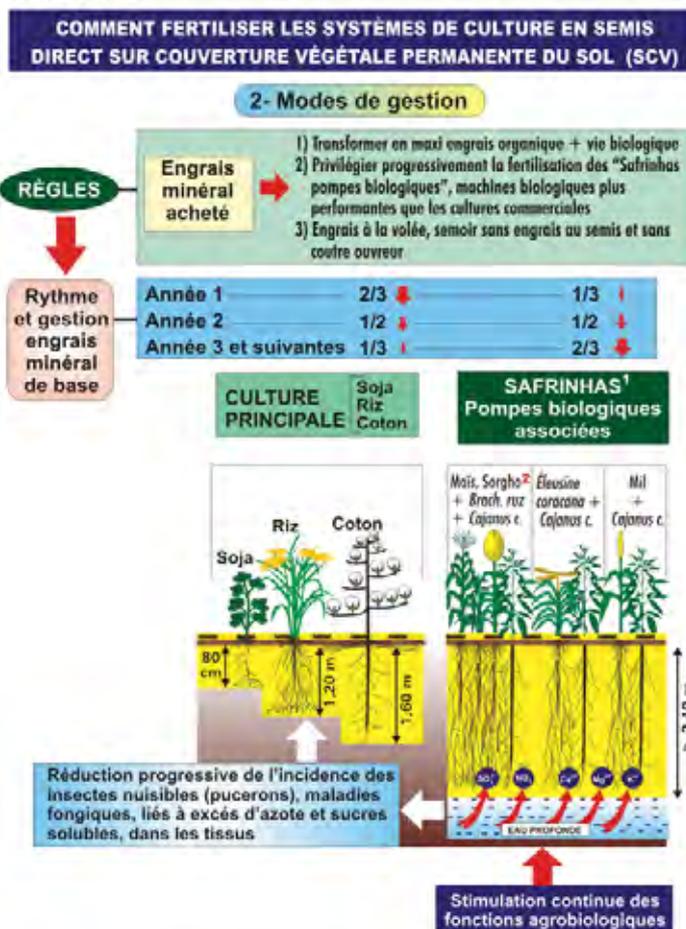
FIG. 127

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



SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA/GEC - COODETEC; FAZENDA MOURÃO, GROUPE MAEDA; Goiânia-GO - 2003

FIG. 128



1 - Safrinhas = Cultures de succession  
 2 - Sorgho blanc, sans tanins à haute teneur en protéines (12-15%)  
 SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA/GEC, GRUPO MAEDA; FAZENDA MOURÃO, COODETEC - Goiânia-GO, 2003

FIG. 129



1- Culture de succession à faible niveau d'intrants au sans intrants    2 - Rouleau à cornières ou para plow

SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA/GEC, COODETEC; FAZENDA MOURÃO; GROUPE MAEDA - Goiânia, GO, 2003

FIG. 130

Après la maîtrise de la gestion organo-biologique des sols (*Scénarios diversifiés*), vient celle des cultures :

- Production biologique dans un environnement protégé
- Produire des aliments exempts de tout résidus agrottoxique sur des sols biologiquement sains ,
- Eaux de percolation des sols sans nitrates ni xénobiotiques

### 3.2 SYNTHÈSE DES PRINCIPAUX RESULTATS

#### 3.2.1 Sur la dynamique de dégradation et de résilience du patrimoine sol en ZTH<sup>32</sup>

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

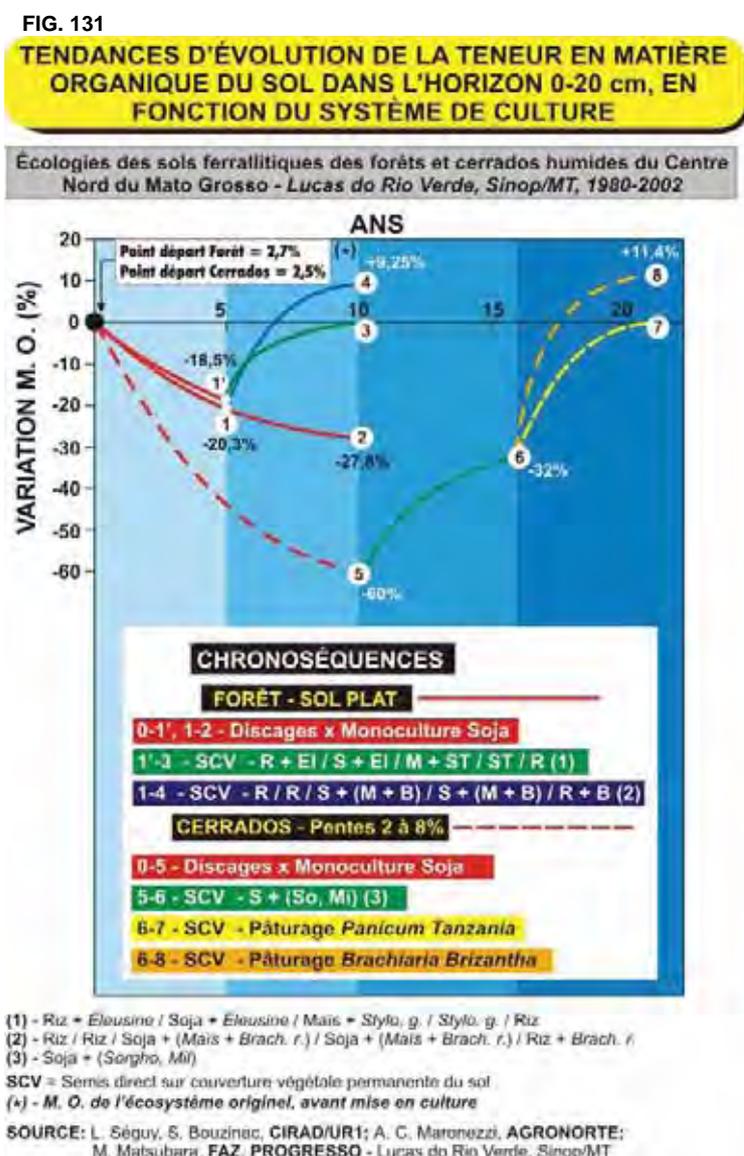
- **La récupération-régénération de la Matière Organique (M.O.)** et des propriétés physiques et biologiques (*agrégation*) **peut être aussi rapide et importante que les pertes** occasionnées par le travail intensif continu du sol, mais seulement dans le cadre de systèmes SCV très forts pourvoyeurs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

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

<sup>32</sup> ZTH = Zone Tropicale Humide.

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

- Ces lois de fonctionnement agronomiques relatives à l'impact des systèmes SCV sur la résilience des sols ferrallitiques dérivés de roches acides s'appliquent sans restriction aux sols ferrallitiques rouge foncés formés sur roche basique basaltique, très riches en colloïdes (> 60%), quoique avec une amplitude plus faible due à leur moindre susceptibilité à l'érosion, comme le montrent les résultats réunis dans les figures 134 à 135, obtenues dans l'écologie des Forêts tropicales du Sud de l'Etat du Goiás<sup>33</sup>.



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

FIG. 132

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

1 - Succession annuelle continue: Soja + (Sorgho + *Brachiaria hirtellensis*)



Additions (A)	mg ha <sup>-1</sup> Fumure minérale		
	Niveau bas <sup>1</sup>	Niveau moyen <sup>1</sup>	Niveau élevé <sup>1</sup>
Matière Sèche (MS) annuelle (t/ha)	14,5 - 19,2	20,2 - 25,6	22,2 - 28,9
Addition C (t/ha)	6,53 - 8,64	9,09 - 11,52	9,99 - 13,0
$K_1 \times A$ ( $K_1 = 0,265$ )	+ 1,73 - 2,29	+ 2,41 - 3,052	+ 2,64 - 3,445
Stock C (t/ha)	27,5	27,5	27,5
$K_2 \times C^2$ ( $K_2 = 2\%$ )	-0,55	-0,55	-0,55
dc/dt simulé	1,18 - 1,74	1,86 - 2,50	2,09 - 2,89
* dc/dt réel mesuré sur 3 ans même succession	-	2,73	-
dc/dt = 0 Quantité minimum de résidus pour maintenir un équilibre stable (t/ha)	11,09 - 15,33	16,06 - 20,04	17,55 - 22,47

1 -  $K_1 = 0,265$  (Sa et al., 2001)  
 2 -  $K_2 = 2\%$  (adapté de Van Veen et Paul, 1981, et Bayer, 1996) - Sol toujours couvert  
 3 - Addition de C - dc/dt: transformation C en M. S.  $\rightarrow C \times 100 / 45$   
 4 - Niveau Bas  $\rightarrow$  [33N+38P, O<sub>2</sub>+38K<sub>2</sub>O/ha sur Riz; 4N+20P, O<sub>2</sub>+20K<sub>2</sub>O sur la culture de succession - Sans fongicides  
 Niveau Moyen  $\rightarrow$  [55N+75P, O<sub>2</sub>+75K<sub>2</sub>O/ha sur Riz; 8N+40P, O<sub>2</sub>+40K<sub>2</sub>O sur la culture de succession - Protection fongicide sur Riz  
 Niveau Élevé  $\rightarrow$  [88-88N+187P, O<sub>2</sub>+150K<sub>2</sub>O/ha sur Riz; 15N+150P, O<sub>2</sub>+150K<sub>2</sub>O/ha sur Soja] Protection fongicide sur Riz  
 SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CAUR1, A. C. Maloney, AGRONORTE, J. C. Moraes de Sa, UEPG - Guânia-GO, Brésil, 2006.

FIG. 133

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

2 - Rotation: Soja + (*Eleusine + Crotalaria*) / Riz + (*Eleusine + Crotalaria*)



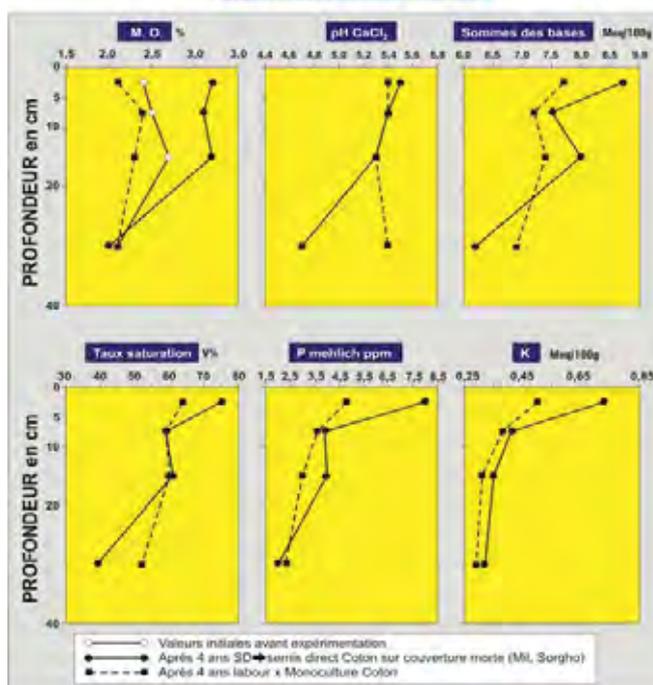
Additions (A)	mg ha <sup>-1</sup> Fumure minérale		
	Niveau bas <sup>1</sup>	Niveau moyen <sup>1</sup>	Niveau élevé <sup>1</sup>
Matière Sèche (MS) annuelle (t/ha)	12,1 - 17,1	18,7 - 23,6	21,8 - 27,1
Addition C (t/ha)	5,44 - 7,69	8,41 - 10,62	9,72 - 12,20
$K_1 \times A$ ( $K_1 = 0,265$ )	1,44 - 2,04	2,23 - 2,81	2,57 - 3,23
Stock C (t/ha)	27,5	27,5	27,5
$K_2 \times C^2$ ( $K_2 = 2\%$ )	-0,55	-0,55	-0,55
dc/dt simulé	0,89 - 1,49	1,68 - 2,26	2,02 - 2,68
* dc/dt réel mesuré sur 3 ans Sur 2 Riz + 1 Soja	-	-	3,5
dc/dt = 0 Quantité minimum de résidus pour maintenir un équilibre stable (t/ha)	10,11 à 13,77	14,95 à 18,57	17,11 à 21,15

1 -  $K_1 = 0,265$  (Sa et al., 2001)  
 2 -  $K_2 = 2\%$  (adapté de Van Veen et Paul, 1981 et Bayer, 1996) - Sol toujours couvert  
 3 - Addition de C - dc/dt: transformation C en M. S.  $\rightarrow C \times 100 / 45$   
 4 - Niveau Bas  $\rightarrow$  [33N+38P, O<sub>2</sub>+38K<sub>2</sub>O/ha sur Riz; 4N+20P, O<sub>2</sub>+20K<sub>2</sub>O sur la culture de succession - Sans fongicides  
 Niveau Moyen  $\rightarrow$  [55N+75P, O<sub>2</sub>+75K<sub>2</sub>O/ha sur Riz; 8N+40P, O<sub>2</sub>+40K<sub>2</sub>O sur la culture de succession - Protection fongicide sur Riz  
 Niveau Élevé  $\rightarrow$  [88-88N+187P, O<sub>2</sub>+150K<sub>2</sub>O/ha sur Riz; 15N+150P, O<sub>2</sub>+150K<sub>2</sub>O/ha sur Soja] Protection fongicide sur Riz  
 SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CAUR1, A. C. Maloney, AGRONORTE, J. C. Moraes de Sa, UEPG - Guânia-GO, Brésil, 2006.

FIG. 134

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

SOLS ÉRODÉS DE BAS DE PENTE

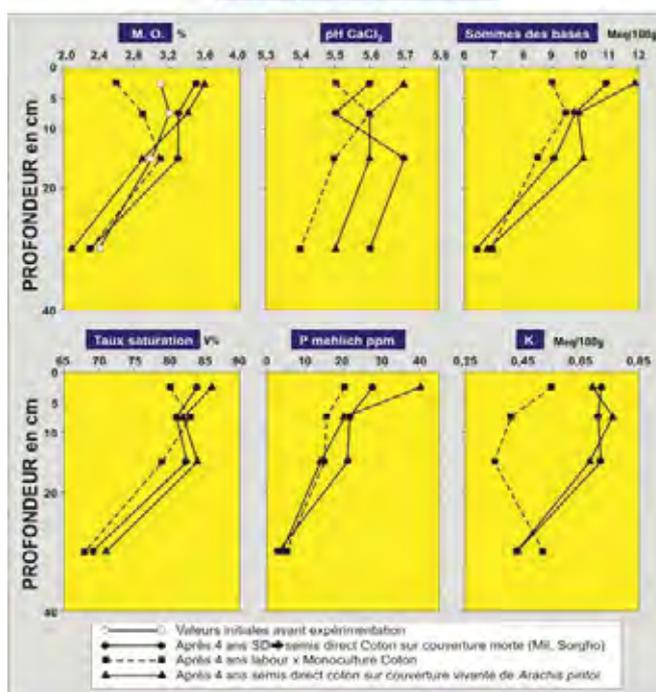


SOURCE: L. Séau, S. Bouzinac, CIRAD-CA - Groupe Meats - 1999

FIG. 135

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

SOLS PEU ÉRODÉS DE MI - PENTE



SOURCE: L. Séau, S. Bouzinac, CIRAD-CA - Groupe Meats - 1999

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

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

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

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

Enfin, ces systèmes SCV les plus performants sont les seuls qui, dans l'état actuel de nos connaissances, garantissent des productions (*grains, fibres*) et des sols «propres », exempts de résidus agrottoxiques (*dans la limite des capacités d'analyse*), ouvrant la voie à une gestion allégée en molécules chimiques de synthèse, qui pourraient être substituées progressivement par des molécules organiques<sup>34</sup> moins polluantes pour l'environnement et les productions, conférant ainsi à ces dernières une forte valeur ajoutée, exploitable sur les marchés intérieur et international (*Fig. 153 et 154*).

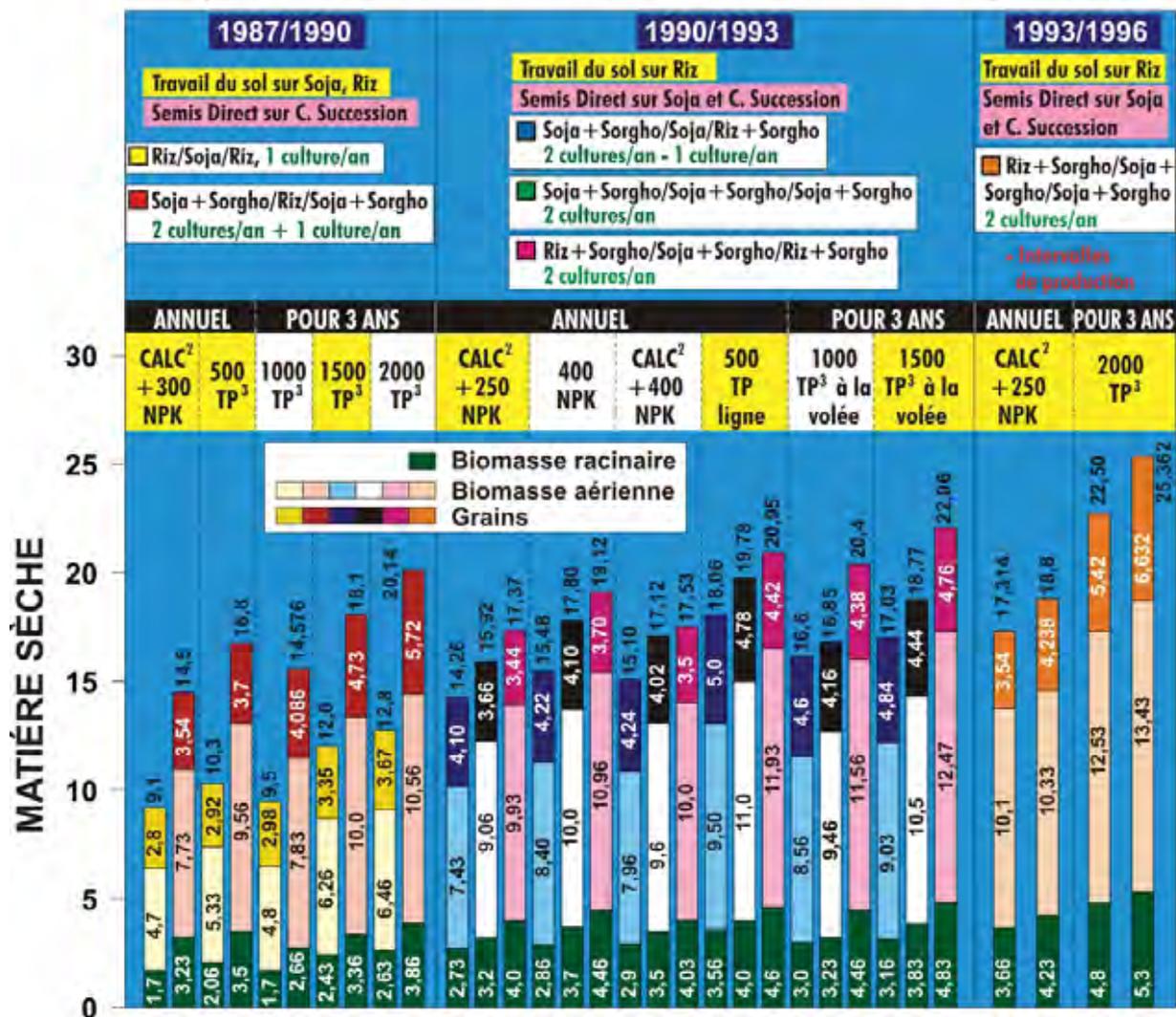
---

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

FIG. 136

**PRODUCTION<sup>1</sup> DE BIOMASSE MOYENNE ANNUELLE (aérienne, racinaire et grains) EN FONCTION DE L'ÉVOLUTION, PAR ÉTAPE DE 3 ANS, DES SYSTÈMES DE CULTURE - 1987/1996**

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



**1 - Dispositif conduit en conditions d'exploitation réelles mécanisées**

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

(\*) **Biomasse aérienne mesurée sur 3 échantillons de 10m<sup>2</sup>** / **Système x** à la floraison des cultures  
**Biomasse racinaire: moyenne de 3 échantillons 0,4x0,4x0,4m** / **niveau fumure**

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

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

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

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

FIG. 137

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

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

**I - NIVEAU BAS<sup>1</sup>**

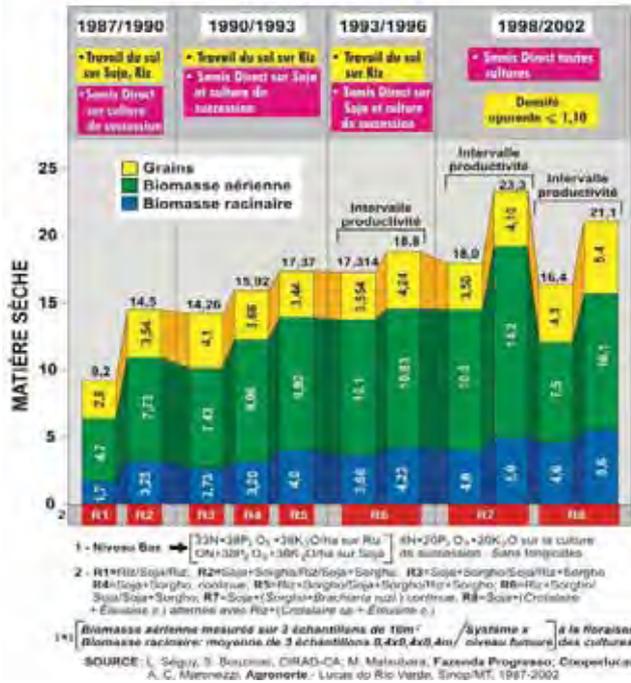


FIG. 138

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

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

**II - NIVEAU MOYEN<sup>1</sup>**

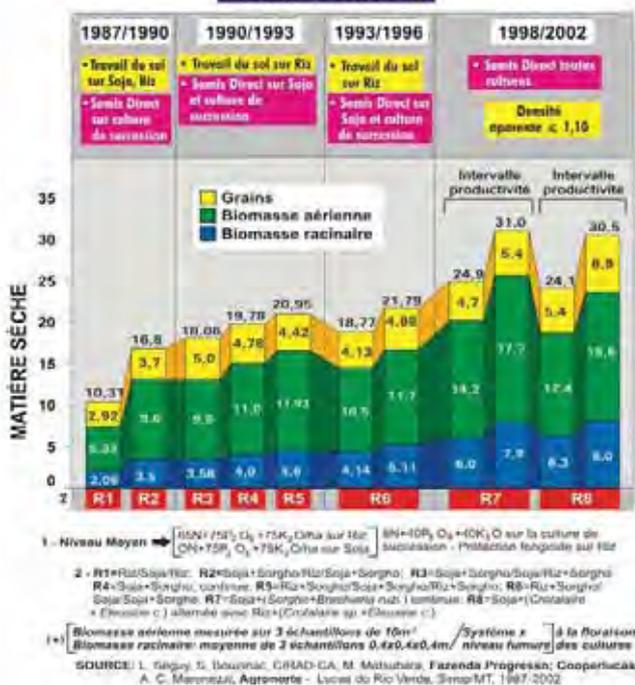


FIG. 139

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

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

**III - NIVEAU ÉLEVÉ<sup>1</sup>**

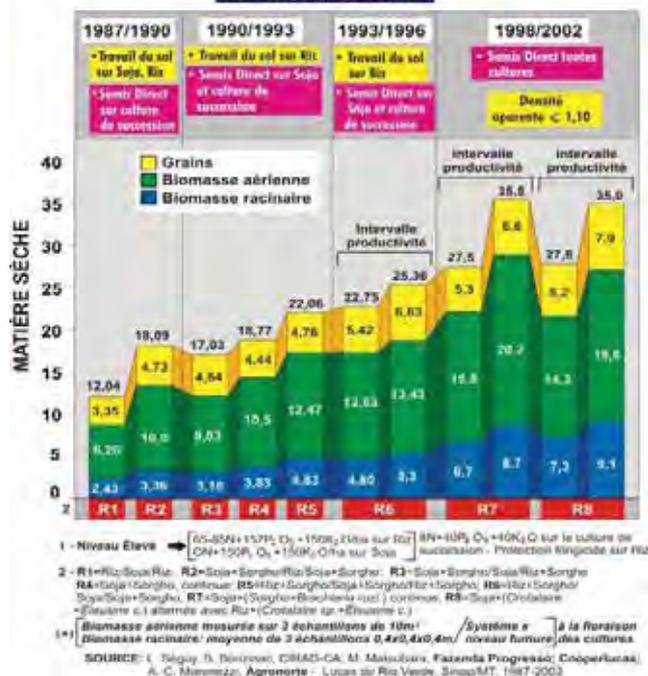


FIG. 140

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

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

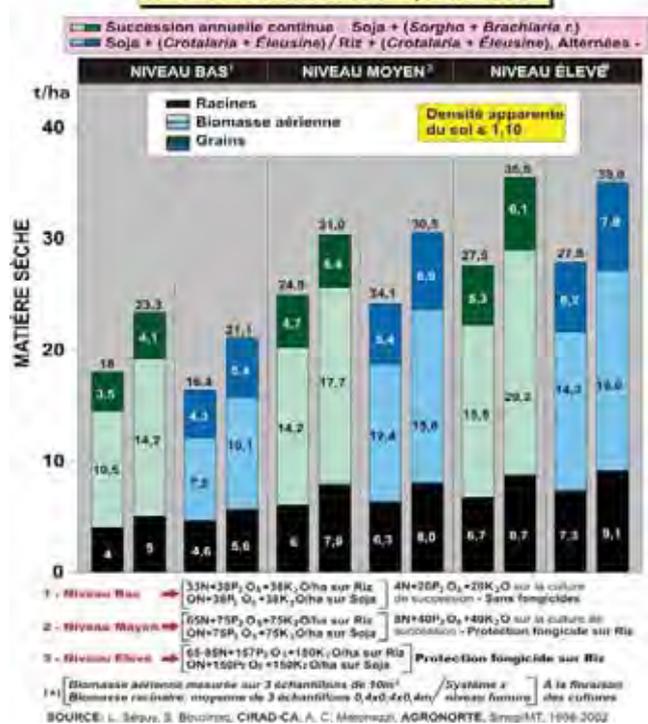
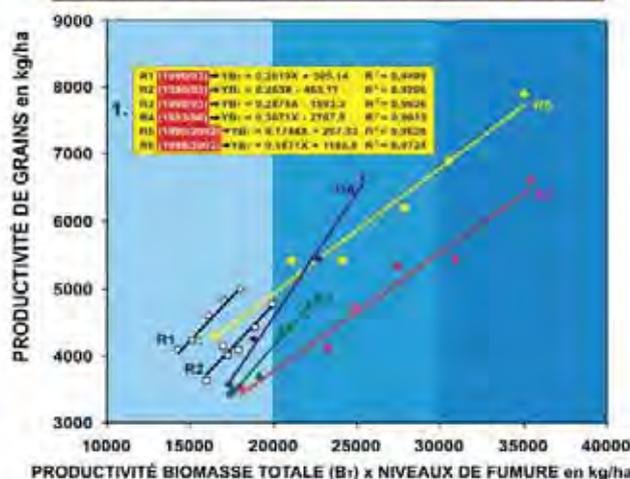


FIG. 141

**RÉGRESSIONS "PRODUCTIVITÉ MOYENNE ANNUELLE DE GRAINS x BIOMASSE TOTALE (B<sub>T</sub>)", EN FONCTION DES PROGRÈS AGRONOMIQUES DES SYSTÈMES DE CULTURE SOUMIS À 3 NIVEAUX D'INTENSIFICATION**

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



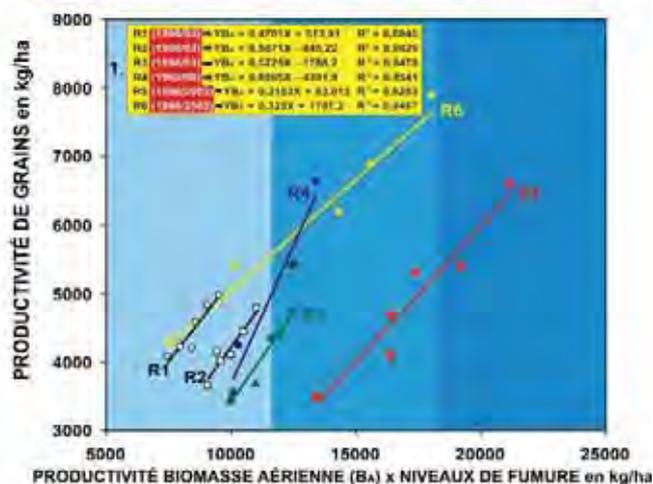
PRODUCTIVITÉ BIOMASSE TOTALE (B<sub>T</sub>) x NIVEAUX DE FUMURE en kg/ha

- R1 (1990/93) ⇒ SOJA + SORGHO / SOJA / RIZ + SORGHO
    - R2 (1990/93) ⇒ SOJA + SORGHO / SOJA SORGHO / SOJA + SORGHO
    - R3 (1990/93) ⇒ RIZ + SORGHO / SOJA + SORGHO / RIZ + SORGHO
    - R4 (1993/96) ⇒ RIZ + SORGHO / SOJA + SORGHO / SOJA + SORGHO
    - R5 (1998/2002) ⇒ SOJA + (SORGHO + *Brachiaria ruziziziensis*) Continus
    - R6 (1998/2002) ⇒ SOJA + (Crotalaria sp. + *Elysiine* s.) / RIZ + (Crotalaria sp. + *Elysiine* s.) Alternés
  - Niveau Bas ⇒  $\left[ \begin{array}{l} 33N+38P_2 O_5+38K_2 O \text{ sur Riz} \\ 33N+38P_2 O_5+38K_2 O \text{ sur Soja} \end{array} \right] \left[ \begin{array}{l} 4N+20P_2 O_5+20K_2 O \text{ sur la culture} \\ \text{de succession + Sans fongicides} \end{array} \right]$
  - Niveau Moyen ⇒  $\left[ \begin{array}{l} 65N+75P_2 O_5+75K_2 O \text{ sur Riz} \\ 65N+75P_2 O_5+75K_2 O \text{ sur Soja} \end{array} \right] \left[ \begin{array}{l} 8N+40P_2 O_5+40K_2 O \text{ sur la culture de} \\ \text{succession + Protection fongicide sur Riz} \end{array} \right]$
  - Niveau Élevé ⇒  $\left[ \begin{array}{l} 65-85N+157P_2 O_5+150K_2 O \text{ sur Riz} \\ 65-150N+150P_2 O_5+150K_2 O \text{ sur Soja} \end{array} \right] \left[ \begin{array}{l} \text{Protection fongicide sur Riz} \end{array} \right]$
- SOURCE: L. Seauv. S. Bouzinac, CIRAD-CA; A. C. Marezezi, AGRONORTE, Sinop/MT, 1999

FIG. 142

**RÉGRESSIONS "PRODUCTIVITÉ MOYENNE ANNUELLE DE GRAINS x BIOMASSE AÉRIENNE (B<sub>A</sub>)", EN FONCTION DES PROGRÈS AGRONOMIQUES DES SYSTÈMES DE CULTURE SOUMIS À 3 NIVEAUX D'INTENSIFICATION**

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



PRODUCTIVITÉ BIOMASSE AÉRIENNE (B<sub>A</sub>) x NIVEAUX DE FUMURE en kg/ha

- R1 (1990/93) ⇒ SOJA + SORGHO / SOJA / RIZ + SORGHO
    - R2 (1990/93) ⇒ SOJA + SORGHO / SOJA SORGHO / SOJA + SORGHO
    - R3 (1990/93) ⇒ RIZ + SORGHO / SOJA + SORGHO / RIZ + SORGHO
    - R4 (1993/96) ⇒ RIZ + SORGHO / SOJA + SORGHO / SOJA + SORGHO
    - R5 (1998/2002) ⇒ SOJA + (SORGHO + *Brachiaria ruziziziensis*) Continus
    - R6 (1998/2002) ⇒ SOJA + (Crotalaria sp. + *Elysiine* s.) / RIZ + (Crotalaria sp. + *Elysiine* s.) Alternés
  - Niveau Bas ⇒  $\left[ \begin{array}{l} 33N+38P_2 O_5+38K_2 O \text{ sur Riz} \\ 33N+38P_2 O_5+38K_2 O \text{ sur Soja} \end{array} \right] \left[ \begin{array}{l} 4N+20P_2 O_5+20K_2 O \text{ sur la culture} \\ \text{de succession + Sans fongicides} \end{array} \right]$
  - Niveau Moyen ⇒  $\left[ \begin{array}{l} 65N+75P_2 O_5+75K_2 O \text{ sur Riz} \\ 65N+75P_2 O_5+75K_2 O \text{ sur Soja} \end{array} \right] \left[ \begin{array}{l} 8N+40P_2 O_5+40K_2 O \text{ sur la culture de} \\ \text{succession + Protection fongicide sur Riz} \end{array} \right]$
  - Niveau Élevé ⇒  $\left[ \begin{array}{l} 65-85N+157P_2 O_5+150K_2 O \text{ sur Riz} \\ 65-150N+150P_2 O_5+150K_2 O \text{ sur Soja} \end{array} \right] \left[ \begin{array}{l} \text{Protection fongicide sur Riz} \end{array} \right]$
- SOURCE: L. Seauv. S. Bouzinac, CIRAD-CA; A. C. Marezezi, AGRONORTE, Sinop/MT, 1999

FIG. 143

**RÉGRESSIONS "PRODUCTIVITÉ MOYENNE ANNUELLE DE GRAINS x BIOMASSE RACINAIRE (B<sub>RAC</sub>)", EN FONCTION DES PROGRÈS AGRONOMIQUES DES SYSTÈMES DE CULTURE SOUMIS À 3 NIVEAUX D'INTENSIFICATION**

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

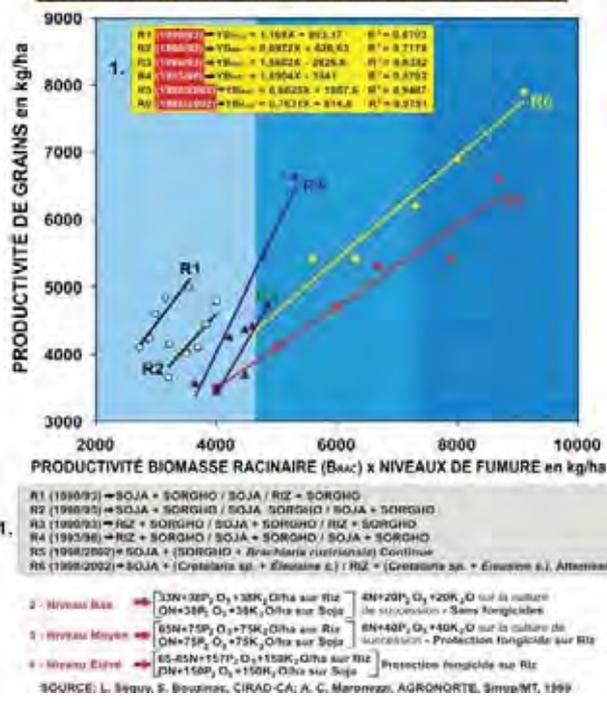


FIG. 144

**RÉGRESSIONS "PRODUCTIVITÉ MOYENNE ANNUELLE DE GRAINS x BIOMASSE AÉRIENNE + RACINAIRE (B<sub>A+RAC</sub>)", EN FONCTION DES PROGRÈS AGRONOMIQUES DES SYSTÈMES DE CULTURE SOUMIS À 3 NIVEAUX D'INTENSIFICATION**

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

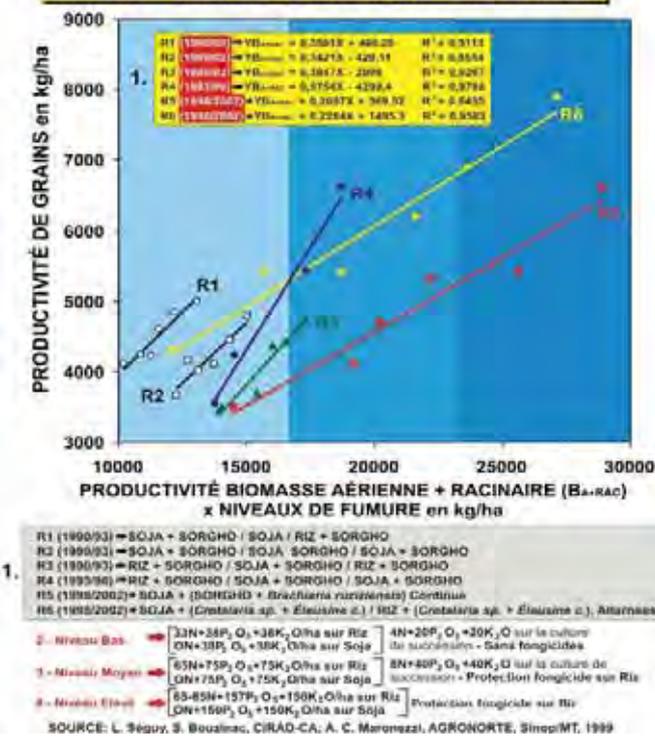


FIG. 145

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

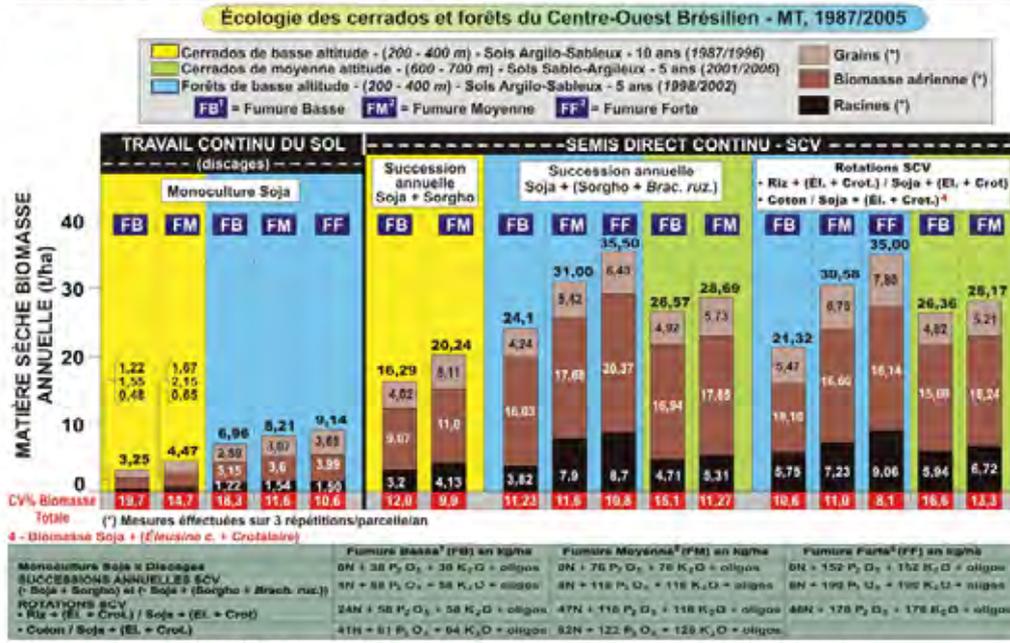
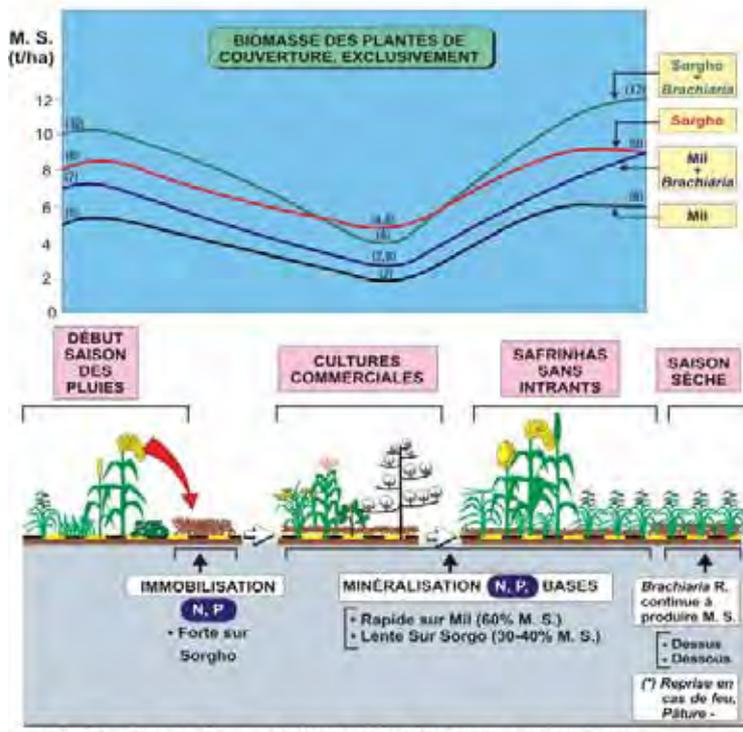


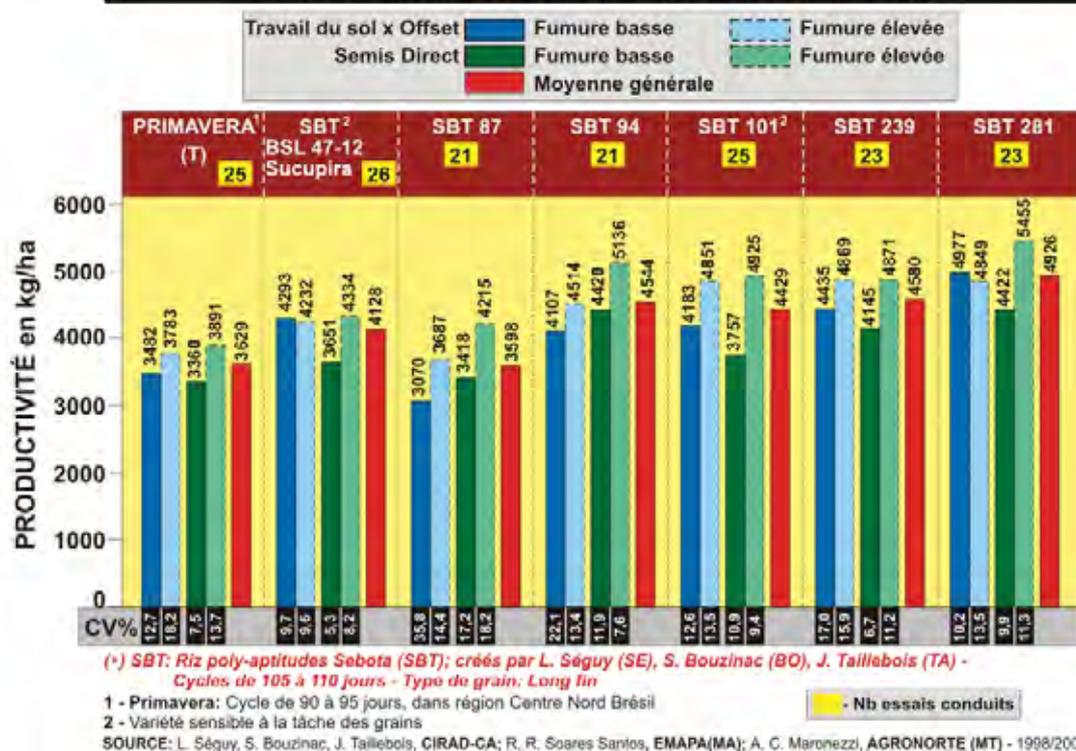
FIG. 146

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

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



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



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

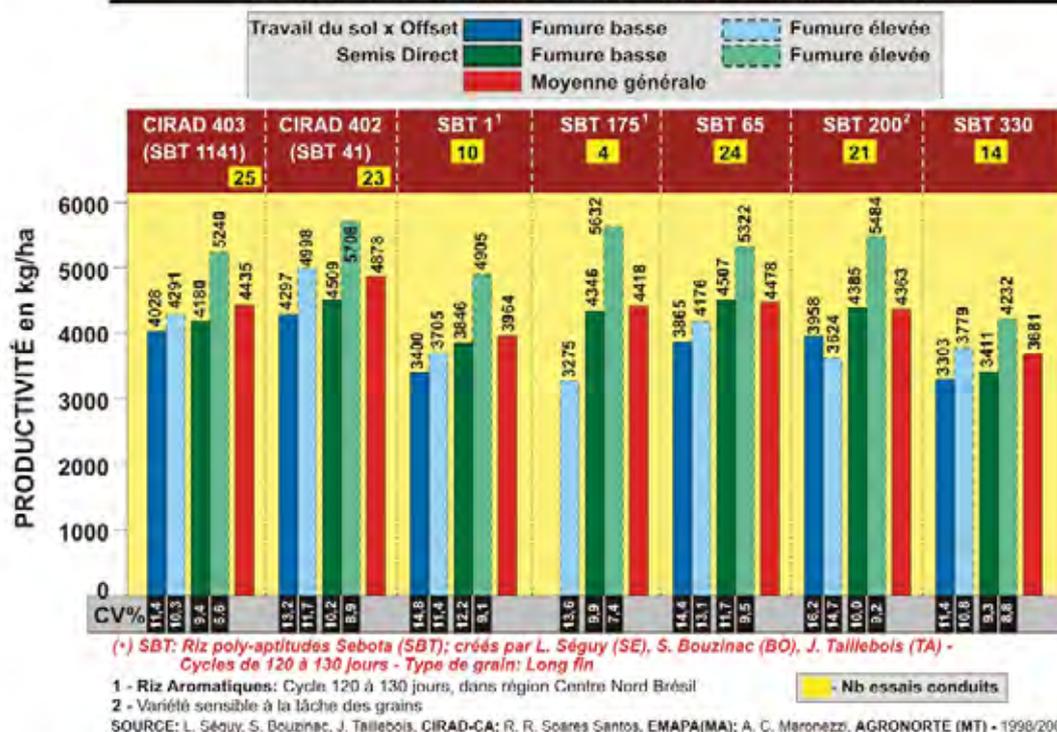
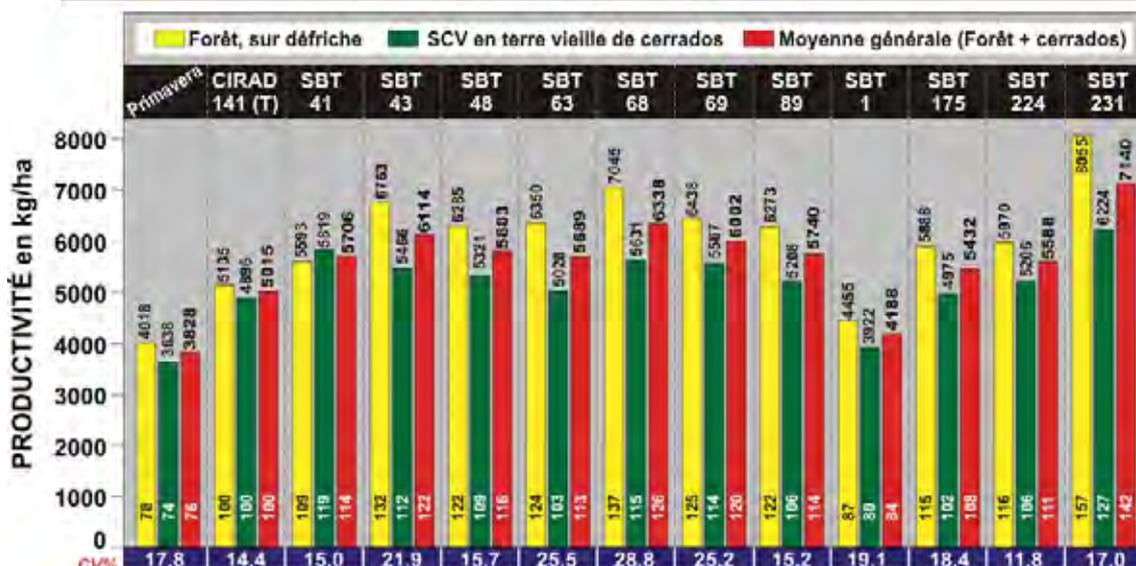


FIG. 149

**PRODUCTIVITÉS MOYENNE<sup>1</sup> ET RELATIVE DES 13 MEILLEURES VARIÉTÉS DE RIZ POLY-APTITUDES EN ZONES DE FORÊT SUR DÉFRICHE (Sol travaillé) ET DES CERRADOS SUR TERRE DE VIEILLE CULTURE EN SEMIS DIRECT (SCV) - Sinop et Campo Verde - 2004/2006 -MT**



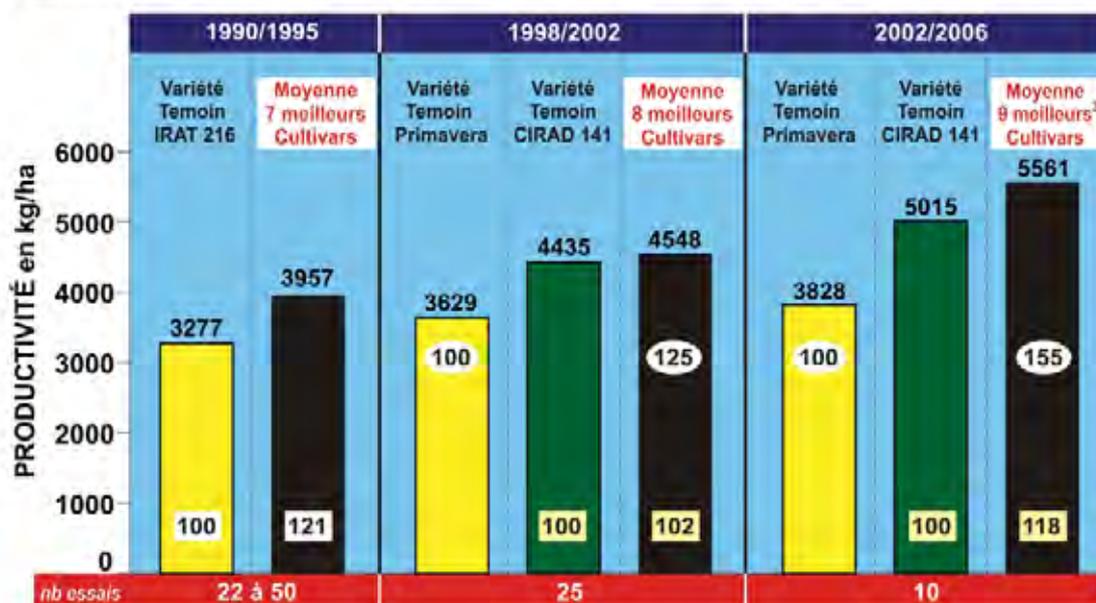
1. Moyenne générale de tous les essais variétaux (5) et des évaluations en grande culture (5) = 5501 kg/ha

- Niveaux de fertilisation minérale: 40 à 80N + 80P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + 80K<sub>2</sub>O + oligos E/ha
- Sans herbicide ni fongicide sur défriche de forêt, herbicides, sans fongicide, sur SCV en terre vieille.

SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, J. Taillebois - UR1 et UR6 du CIRAD; G. L. da Costa, L. Dalla Nora, Fazenda Mourão L. Saucedo, Cereaisnet, - Sinop et Campo Verde - MT, 2004/2006

FIG. 150

**ÉVOLUTION DES PERFORMANCES DU RIZ PLUVIAL<sup>1</sup> DANS LES SYSTÈMES DE CULTURE MÉCANISÉS DU BRÉSIL CENTRAL<sup>2</sup> ET DU NORD<sup>2</sup> ENTRE 1990 ET 2006**



Productivités relatives

1. Créations du CIRAD-CA (L. Séguy, S. Bouzinac, J. Taillebois), dont Riz Sebotas Poly-Aptitudes à partir de 1998

2. États du Mato Grosso, Goiás, Piauí et Maranhão

3. Dominance phénotypes indicas à partir de 1998

SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, J. Taillebois, CIRAD-CA/UR1 et UR6; Partenaires Brésiliens: M. Matsubara, Cooperlucas, Comical, Agronorte, Prefeitura Sinop, Cereaisnet, Emapa (R. R. Soares Santos), Sulonor - 1990/2006 - Goiânia, GO

FIG. 151

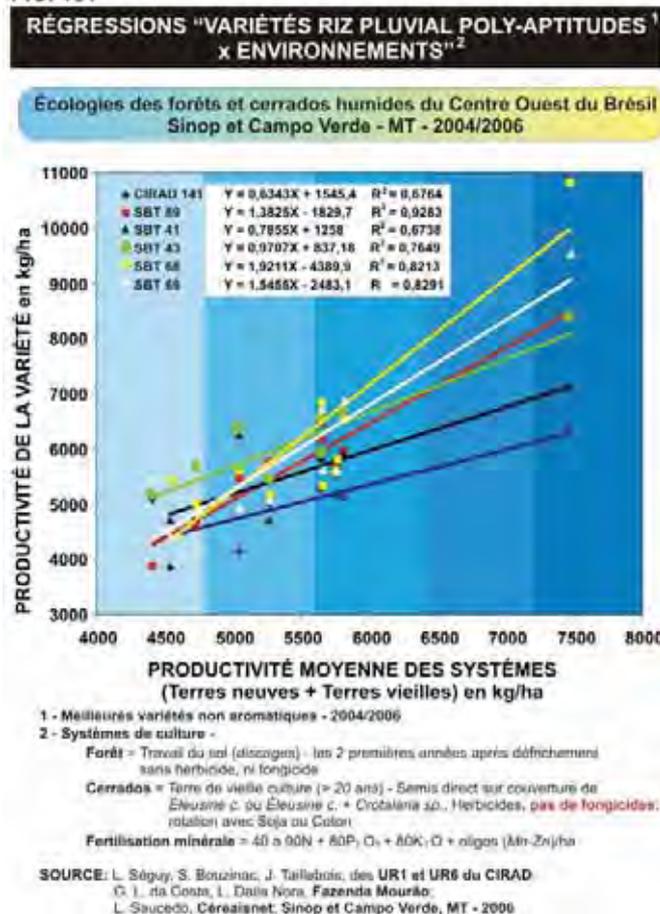


FIG. 152

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

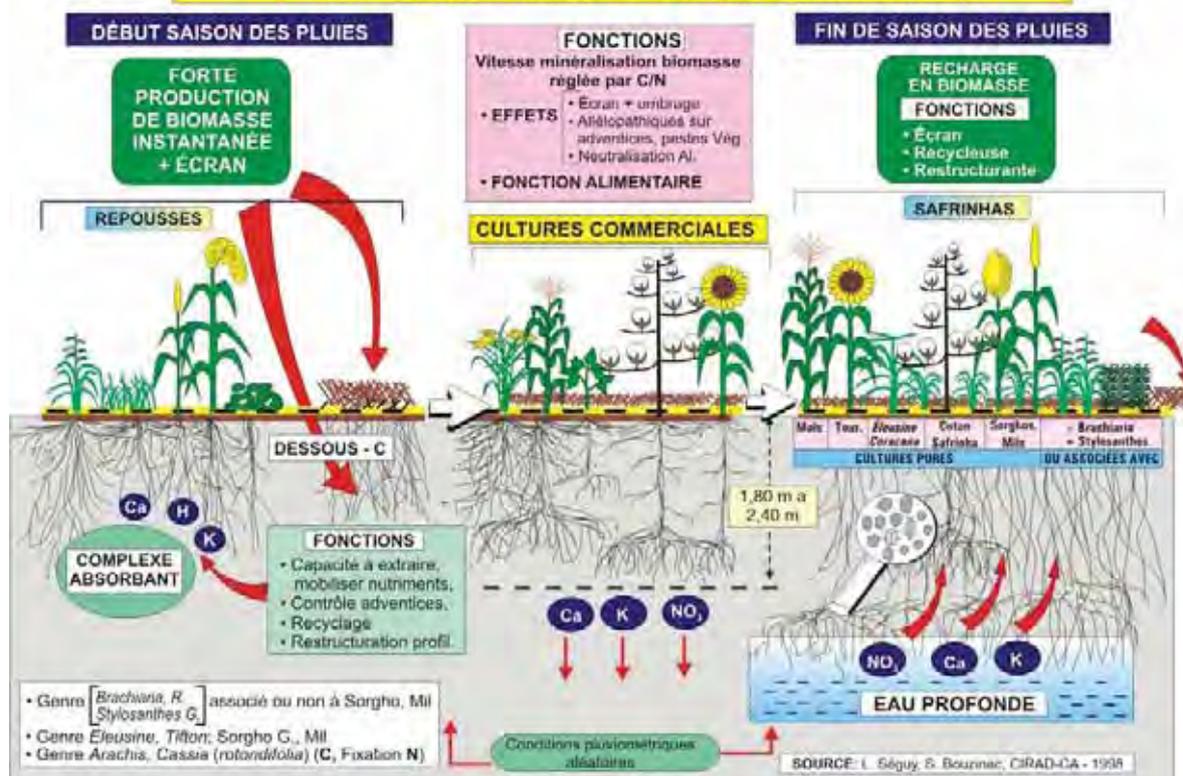
Écologie des sols ferrallitiques des cerrados humides du Sud-Est du Mato Grosso - (700 m d'altitude) - Campo Verde-MT/2006

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

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

**FIG. 153** SYSTÈMES DE CULTURE DIVERSIFIÉS DE LA ZTH, EN SEMIS DIRECT

→ Intégration: Productions alimentaires, industrielles et élevage



**FIG. 154**

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

	Mais <sup>1</sup> + <i>Brach. r.</i>	Sorgho <sup>1</sup> + <i>Brach. r.</i>	<i>Éleusine</i> <sup>1</sup> <i>coracana</i>	<i>Éleusine</i> <sup>1</sup> <i>coracana</i> + Cajanus cajan	<i>Éleusine</i> <sup>1</sup> <i>coracana</i> + Crot. sp.	<i>Brach. r.</i> + Cajanus cajan	Mais, Sorgho, Mil associés avec <i>Brach. r.</i> + Cajanus c.	Mais, Sorgho, + <i>Brach. r.</i> + Stylosanthes	Sorgho, + <i>Brach. r.</i> + Crot. sp. + Sesamum i. + Sarrazin	Mais, Sorgho, + <i>Éleusine c.</i> + Crot. sp. + Sesamum i. + Sarrazin
<b>EFEITOS PRINCIPAIS<sup>2</sup></b>										
• Porosité	++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
• Carbone	++	+++	+++	+++	++	+++	+++	+++	+++	+++
• Contrôle adventices	++	+++	++	++	+	+++	+++	+++	+++	+++
• Fixation N	-	-	+	+++	+++	++	++	++	++	+++
• Intégration Grains-Elevage	+++	+++	++	+++	-	+++	+++	+++	++	++
• Activité de la biomasse durant la saison sèche	++	++	-	++	+	+++	+++	+++	+++	+++
• Contrôle des Nématodes	+	+	+	+++	+++	++	++	++	+++	+++
• Phytoremédiation	+	+	+	++	+++	++	+++	++	+++	+++

*Brach. r.* = *Brachiaria ruziziensis*  
*Crot. sp.* = *Crotalaria spectabilis*

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

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

### 3.3 PERSPECTIVES

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

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

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

---

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

• **La recherche doit également investir dans la qualité qui confère une forte valeur ajoutée à la riziculture pluviale**, qui est encore absente des systèmes de culture et de production en terre de vieille culture, alors qu'elle constitue une option de diversification de valeur inestimable, parfaitement adaptée aux conditions pédoclimatiques de la ZTH. Les travaux du CIRAD<sup>36</sup> des 5 dernières années montrent tout le potentiel de cette culture qui peut produire en Semis Direct entre 4 et 8 t/ha, avec une réduction systématique et drastique des maladies

---

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

cryptogamiques<sup>37</sup> (*Pyricularia o.*, complexe fongique des tâches de grains) (Fig. 161). Les coûts de production du riz pluvial de qualité dans les SCV sont du même ordre que ceux du soja, voire inférieurs car ils n'utilisent aucun fongicide ni sur les semences, ni en fin de cycle sur les panicules (*résistance génétique stable du matériel*). La condition essentielle incontournable pour que cette culture intègre de manière définitive les systèmes de culture en ZTH (SCV à base de soja et coton + safrinhas, succession de riz cycle court + coton de safrinha) est qu'il offre **des prix payés élevés et stables** au producteur : ce n'est que par une production de qualité à haute valeur ajoutée, différenciée et supérieure à celle payée pour le riz irrigué du Sud, que cette culture sera intégrée durablement dans les systèmes de culture pluviale.

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

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

---

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

FIG. 155

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

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

FIG. 156

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

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

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

FIG. 157

### FONCTIONS AGRONOMIQUES

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

FIG. 158

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

#### 1/ Semis à la volée sous couvert de Soja ( *petites graines* )

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

**FIG. 159**

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

- 1/ Maïs hybride + Stylosanthes
  - 2/ Maïs hybride + Stylosanthes + Brach.r.
  - 3/ Maïs hybride + Stylosanthes + Brach.r.+ Crotalaires
  - 4/ Maïs hybride + Stylosanthes + Brach.r.+ Crotalaires + Radis F.
  - 5/ Maïs hybride + Stylosanthes + Brach.r.+ Crotalaires + Radis F.+ Amaranthes + sésame
- OU/ET**
- 6/ Maïs hybride + Eleusine c. + Crotalaires
  - 7/ Maïs hybride + Eleusine c. + Crotalaires + Stylosanthes
  - 8/ Maïs hybride + Eleusine c. + Crotalaires + Stylosanthes + Radis F.
  - 9/ Maïs hybride + Eleusine c. + Crotalaires + Stylosanthes + Radis F.+ Amaranthus + Sésame ,

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

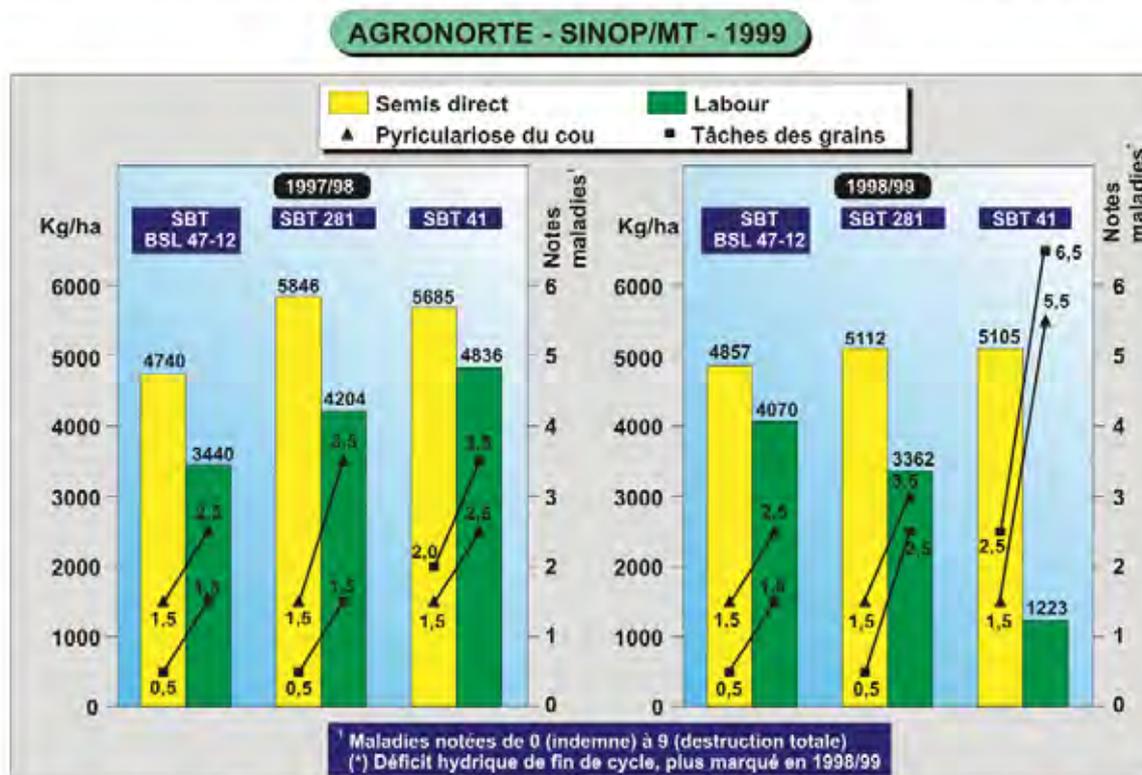
**FIG. 160**

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

- 1/ Mils ou Sorghos ( BF80)
  - 2/ Mils ou Sorghos ( BF80) + Crotalaires ( 3 en mélange )
  - 3/ Mils ou Sorghos ( BF80) + Crotalaires + Radis F.
  - 4/ Mils ou Sorghos ( BF80) + Crotalaires + Radis F. + Amaranthes +Sésame ,
  - 5/ Mils ou Sorghos (BF80) + Crotalaires + Radis F. + Amaranthes + Sésame + Sarrazin
- **Objectifs:**- maximum de biomasse à décomposition lente (Sorgho)
    - Fixation N et recyclage rapide reliquats
    - Contrôle naturel adventices et insectes ravageurs
    - Restructuration profil cultural
    - Contrôle naturel nématodes et maladies cryptogamiques

FIG. 161

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

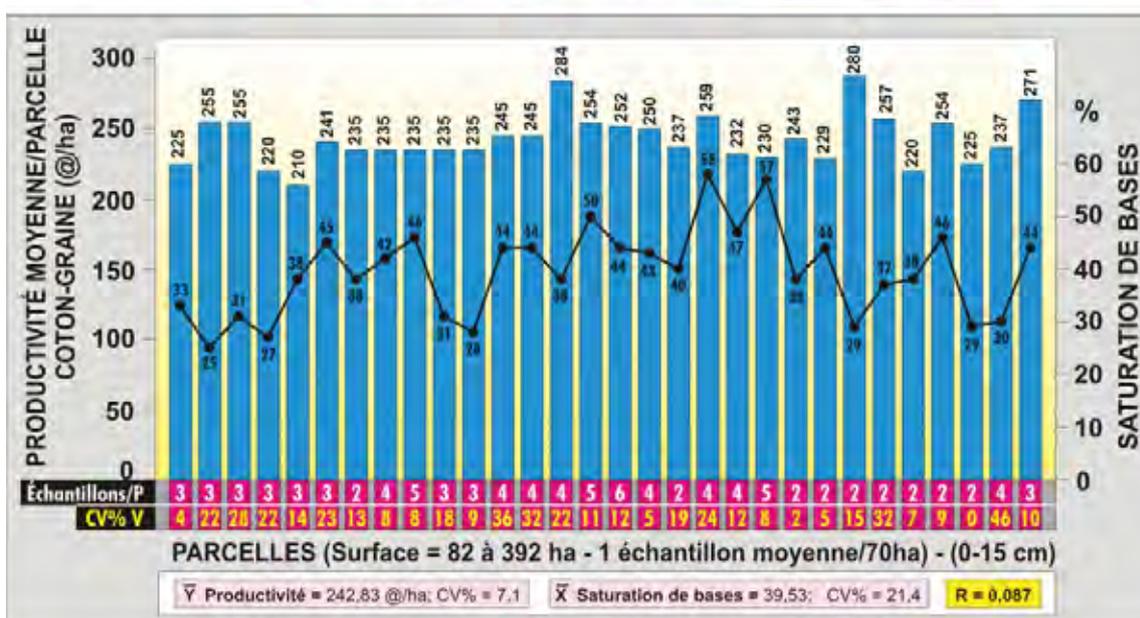


SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD CA-GEC; A. C. Maronezzi, E. Trevisan, M. Bianchi, AGRONORTE - SINOP/MT - 1999

FIG. 162

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

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

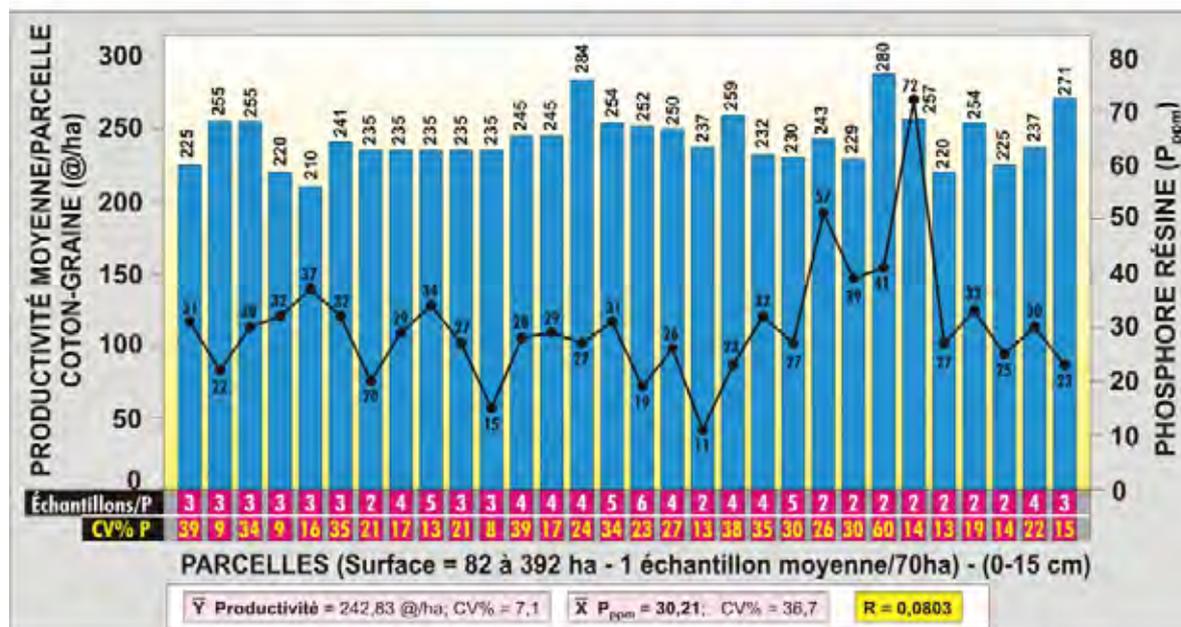


SOURCE: O. Martins, Laboratoire Sunji Nishimura - Pompéia/SP - 2000; Adapté par L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD/CA

FIG. 163

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

**2. PRODUCTIVITÉ x P<sub>ppm</sub>**

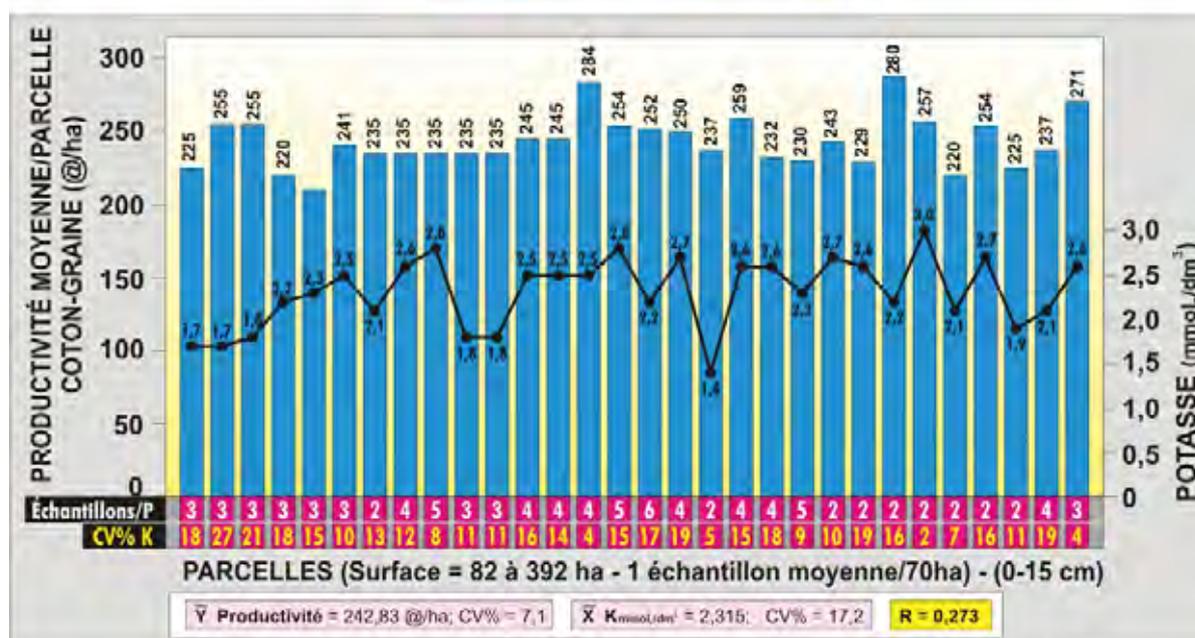


SOURCE: O. Martins, Laboratoire Sunji Nushimura - Pompéia/SP - 2000; Adapté par L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD/CA

FIG. 164

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

**3. PRODUCTIVITÉ x K<sub>mmol/dm<sup>3</sup></sub>**



SOURCE: O. Martins, Laboratoire Sunji Nushimura - Pompéia/SP - 2000; Adapté par L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD/CA

### 3.3.2 RECOMMANDATIONS ET ENJEUX POUR LE DEVELOPPEMENT

#### ➤ ETAT DES LIEUX DU SEMIS DIRECT (2007)

• L'agriculture de conservation pratiquée sous le vocable générique de "Semis Direct" est pratiquée par 95% des agriculteurs dans la région du Brésil Central qui regroupe tout l'état du Mato Grosso (*très largement dominant en surface*), le Nord de l'état du Mato Grosso du Sud, le Sud de l'état du Goiás, le « triangle mineiro » et le Nord de l'état de São Paulo (*Cf. Tableau 5 Rally da safra - 2007*) ; les principaux motifs de l'adoption du "Semis Direct" sont, dans l'ordre décroissant, en % des réponses exprimées : d'abord la conservation du sol (94%) et ensuite l'augmentation de productivité (63%) ; pour ce qui concerne le temps de pratique du Semis Direct : 47% des agriculteurs répondent entre 6 et 10 ans, 24% entre 11 et 15 ans, 10% entre 16 et 20 ans et seulement 15% entre 1 et 5 ans. Parmi les couverts de pailles qui servent de lit au Semis Direct : le mil est nettement dominant avec 32% de fréquence, suivi du maïs avec 26%, puis du Brachiaria (17%) et du Sorgho (15%) ; l'estimation du pourcentage de couverture du sol sous cultures de soja et maïs est en moyenne respectivement de 29% et 15%, soit faible à très faible, caractérisant la dominance d'un semis direct, en moyenne, faible pourvoyeur de résidus annuels associé à l'utilisation de discages légers pour implanter le couvert de mil ou autre couvert (*système dit de "semi-direct" TCS*).

**Tableau 5** Caractérisation du Semis Direct (SD) dans la région qui englobe l'état du Mato Grosso, le nord des états du Mato Grosso du Sud et de São Paulo, le Sud de Goiás et le "triangle mineiro" – 2007

% D'ADOPTION DU SEMIS DIRECT		SURFACE EN SEMIS DIRECT		PRINCIPAUX MOTIFS D'ADOPTION DU SD		DISTRIBUTION FREQUENCE AGRICULTEURS SELON TEMPS D'ADOPTION		DISTRIBUTION FREQUENCE DES PRINCIPAUX COUVERTS		ESTIMATION DE LA COUVERTURE DU SOL SOUS CULTURES		
		% SURFACE TOTALE	%	MOTIFS	%	TEMPS(an)	%	COUVERT	%		SOJA	MAÏS
Oui	95%	< 25%	0	Augmentation Productivité	63	1-5	15	Avoine	01	Nombre échantillons	403	78
Non	5%	≈ 50%	4									
Nombre de réponses	238	≈ 75%	19	Convervation Sol	94	6-10	47	Mil	32	% couverture de sol	29	15
		≈ 100%	77									
			225	Autres	20	11-15	24	Maïs	26			
								Nombre de réponses	227			Sorgho
								Autres	08			
								Blé	01			
								Nombre de réponses	238			

**Source :** Rally da safra 2007 – Fondation AGRISUS – 8 équipes d'enquêteurs formées d'agronomes, techniciens, journalistes, photographes, coordonnées par Agroconsult.

Enquêtes sur :

Propriétés > 1000 ha, dont surface pâturage < 500 ha et nombre de têtes < 500 ;

12 états, 198 municipes, parcours total d'environ 29.000 km

In Revista Plantio Direto – n° 101 – Septembre/Octobre 2007 – p. 14 – p. 17

- Le semis direct sous couverture végétale permanente comme nous l'avons construit (SCV) n'est pratiqué en réalité que dans la succession annuelle Soja + Maïs, dont la région de Lucas do Rio Verde, berceau du Semis Direct en ZTH, est un exemple démonstratif et dans certains systèmes intégrant agriculture et élevage bien représentés dans la région de Sinop, dans le Centre-Nord Mato Grosso, dans certaines régions du Mato Grosso du Sud et de l'état du Minas Gerais.

➤ **LES SYSTEMES SCV A DIFFUSER EN URGENCE, ou comment passer du système dominant actuel de "semi-direct" (TCS) aux SCV diversifiés sur couverture permanente du sol à forte multifonctionnalité**

• **Règles de base, de très large applicabilité**

- **Sol toujours totalement couvert** : protection contre l'agression climatique, système tampon pour maintenir humidité en saison sèche et une température basse, constante toute l'année (*comme sous forêt*) pour freiner la minéralisation de la Matière Organique ( $K_2 \leq 2\%$ ) et maintenir une forte activité biologique ;
- **Sol jamais travaillé** : utiliser les outils biologiques des safrinhas puissantes à systèmes racinaires fortement restructurants = Sorghos, *Brachiaria ruzi.*, *Eleusine cor.* associées à légumineuses à pivots telles que *Crotalaria spec.*, *Cajanus cajan*.
- **Rotation obligatoire des cultures ou des successions de cultures annuelles, en conservant toujours une forte biodiversité fonctionnelle** dans la composition des safrinhas (*culture commerciale : Maïs, Sorgho, associés à un mélange d'espèces, multifonctionnel* ⇒ "*mini-forêts*" à impact dominant sur le sol dans le système de culture).
- **Plus les biomasses de couverture sont performantes en quantité de matière verte, plus le délai à respecter entre dessiccation et semis direct doit être important** = de 15 à 20 jours pour les mils, sorghos, eleusines, très développés après 45 jours à 2 mois de croissance, jusqu'à 30-40 jours pour *Brachiaria ruzi.* en culture pure ou associé à des légumineuses<sup>38</sup> ou à des céréales comme les sorghos guineas ; pour accélérer la minéralisation des très fortes biomasses avant semis direct et faciliter ainsi l'opération de semis, dès que la biomasse est desséchée (*8 jours*), elle peut être roulée ou couchée au câble.
- **Pour les agriculteurs qui utilisent des OGMs RR, le rouleau à cornières ou des modèles très efficaces plus perfectionnés (Cf. Photos en fin de chapitre III) devrait être réhabilité** pour substituer l'emploi du glyphosate sur les espèces annuelles composant les biomasses de couverture qui seraient roulées efficacement au stade gonflement - épiaison ; cette mesure permettrait d'éviter l'emploi massif du glyphosate, générateur de résistances rapides chez les dicotylédones (*genres Commelina, Desmodium, Euphorbia, etc. ...*) et de pollution de l'environnement, en particulier de la rhizosphère des cultures (*désordres dans les équilibres microbiens : diminution drastique des populations bactériennes qui réduisent le manganèse, augmentation des fusarioses, etc. ...*) (*Fig. 165 et 166*) (*Yamada T. et al., 2007*).

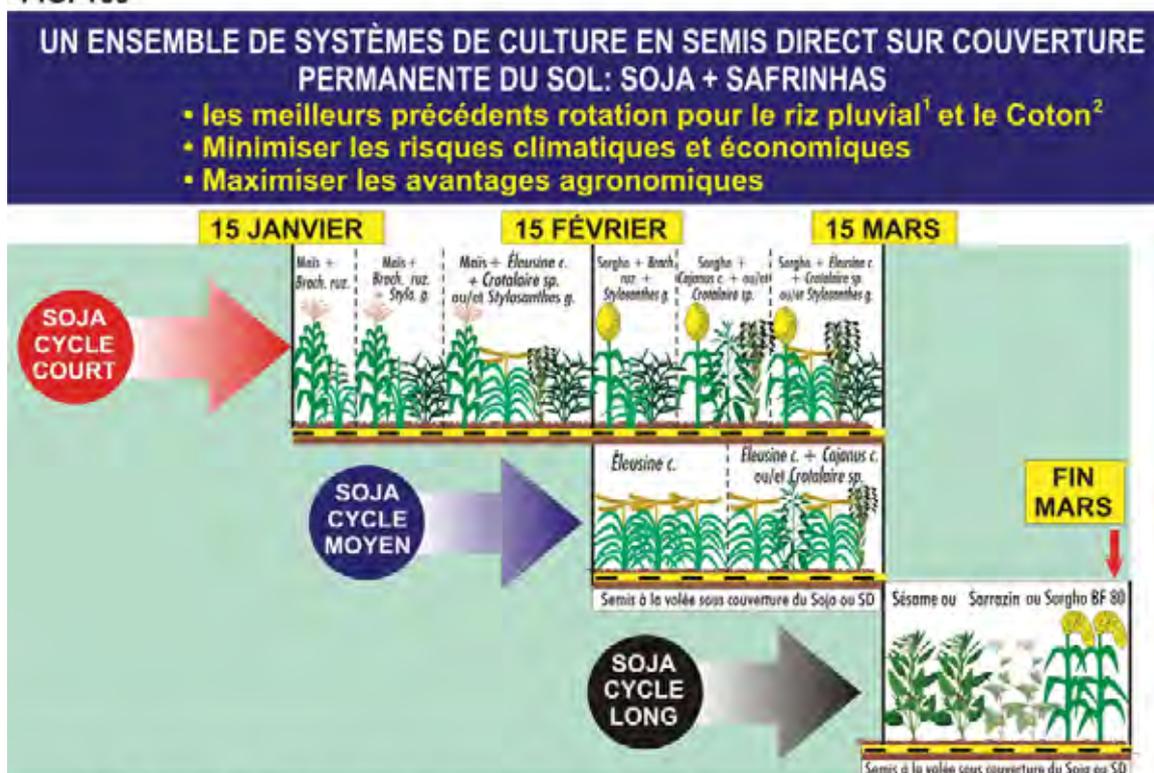
• **Systèmes de culture SCV recommandés**

- a) **Systèmes SCV à base de Soja + Safrinhas** : pour un objectif visant un maximum de production de soja ⇒ nécessité d'un maximum de biomasse sèche à base de graminées
- En partant des systèmes **Soja + Maïs**, passer à ⇒ **Soja + (Maïs + *Brachiaria ruzi.*)**, puis **Soja + (Maïs + *Brachiaria ruzi.* + *Stylosanthes g.*<sup>39</sup> Campo Grande ou mieux CIAT 184)** ; le maïs hybride doit être semé en direct en succession du soja entre 15/01 et 20/02 ; à partir du 20/02 et jusqu'au 10/03, semis de maïs variété (*IRAT 200, autres*) ou/et de Sorgho blanc à haute valeur ajoutée (*à développer auprès de l'agro-industrie alimentaire*), et/ou de tournesol, mais associé seulement à *Crotalaria sp.*, ou *Cajanus c.* ou encore *Stylosanthes g.*

<sup>38</sup> Lorsque des légumineuses sont présentes dans les mélanges d'espèces et des dicotylédones de difficile contrôle comme *Commelina b.*, *Borreria al.*, *Euphorbia h.*, *Richardia b.*, *Alternanthera f.*, il est recommandé d'utiliser les molécules Flumioxazin ou Carfentrazone (*doses de 25-30 g p. a. /ha*) en mélange avec le glyphosate pour une dessiccation efficace.

<sup>39</sup> Le *Stylosanthes guyanensis*, CIAT 184, est beaucoup plus puissant en production de biomasse et en multifonctionnalité que le *Stylosanthes Campo Grande* ; la seule limitation à son utilisation réside dans la faible disponibilité de semences sur le marché, qui sont de ce fait très chères. Cette variété est mieux adaptée aux régions chaudes et devrait être multipliée rapidement à grande échelle.

FIG. 165

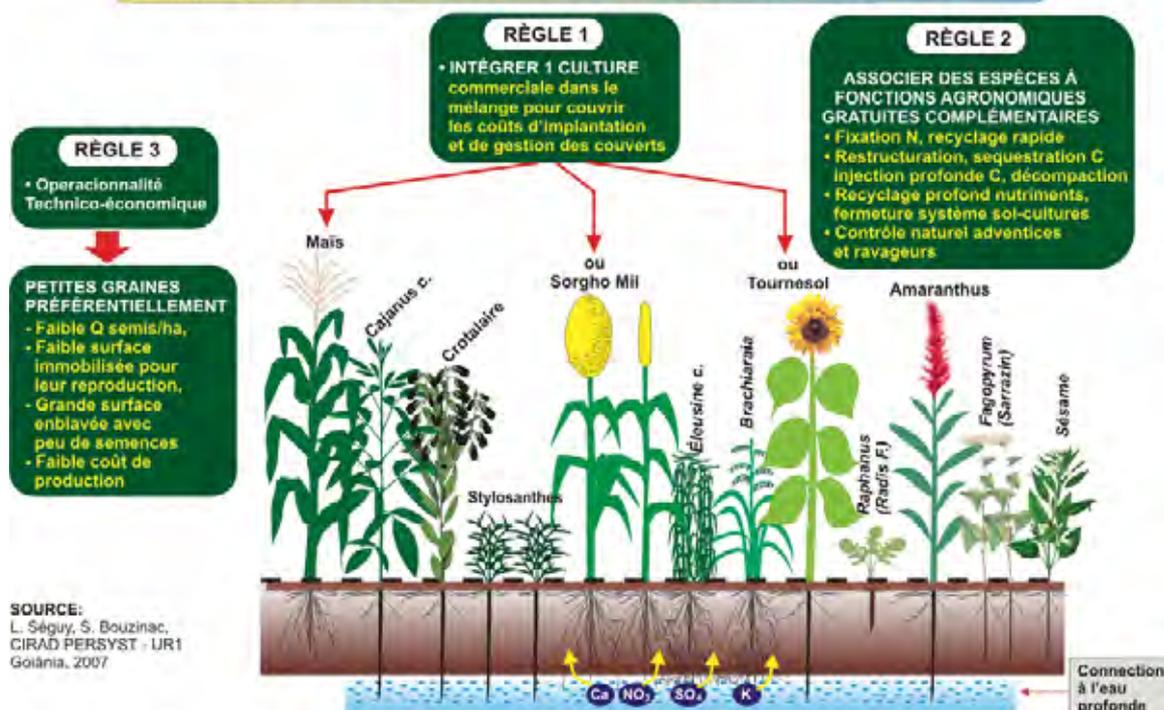


1 - Riz de octobre ou novembre-décembre  
 2- Culture principale de décembre ou culture de succession du Soja (safrinha)  
 SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA; AGRONORTE; GROUPE MAEDA; FAZENDA MOURÃO/COODETEC; Goiânia, 2003

FIG. 166

**RÈGLES DE CONSTRUCTION DES COUVERTS MULTI-FONCTIONNELS DANS LES SCV**

Exemple de la zone tropicale humide du Brésil Central - Forêts et Cerrados



SOURCE:  
 L. Séguy, S. Bouzinac,  
 CIRAD PERSYST - UR1  
 Goiânia, 2007

**Ces systèmes SCV permettent l'intégration de l'élevage (embouche en saison sèche)** avec un revenu supplémentaire de 10 à 15€/ha de viande en saison sèche, soit 3 revenus successifs dans l'année (Cf. *Séguy L et al. 1996 ; 1998, d*).

- Dans le cas des safrinhas à base de sorgho blanc, **si l'option embouche de saison sèche n'est pas visée**, *Crotalaria spectabilis* peut être associé au sorgho + *Brachiaria ruziziensis* ; ce mélange peut être semé, soit en Semis Direct en succession du soja entre le 20/02 et 10/03, ou à la volée vers le 20/02 sous couvert dans des sojas de semis tardif ou de cycle plus long, 15-20 jours avant la récolte, après 20 à 30% de défoliation.

- **A partir du 10 mars**, avec des disponibilités hydriques déjà nettement plus réduites, **semis direct de sésame et/ou sarrasin** ou encore semis anticipé de ces 2 espèces **à la volée sous couvert de soja en voie de défoliation vers le 01/03**. Ces 2 cultures sont très peu exigeantes en eau, n'occupent le sol que 80 jours environ, offrent une très forte valeur ajoutée (*sésame = 50 à 55% d'huile pour cosmétique, aviation ; Sarrasin = succédané du blé, sans gluten, subventionné en Europe*) et possèdent des fonctions agronomiques très utiles : le sarrasin est un herbicide naturel puissant (*par ses exsudats racinaires*) et attire les insectes pollinisateurs et auxiliaires, et le sésame contrôle efficacement divers genres de nématodes phytophages (*également par ses exsudats racinaires*).

**b) Systèmes SCV à base de coton, riz pluvial de haute technologie (niche économique) :** pour un objectif visant un maximum de production de coton - graine et de riz ⇒ nécessité d'un maximum de biomasse sèche à base de graminées + légumineuses fixatrices d'azote et efficaces dans le contrôle des nématodes (*genres Meloidogyne, Pratylenchus*)

- Coton et Riz doivent être pratiqués en rotation avec Soja + Safrinhas, un an sur deux ; les mêmes couverts multifonctionnels que dans le cas des SCV à base de Soja sont recommandés avec les mêmes techniques d'implantation (*Semis Direct pour le Maïs, et/ou à la volée sous couvert pour le sorgho*) : Maïs et/ou Sorgho + ( *Brachiaria + Légumineuses : Crotalaria s., Cajanus c., Stylosanthes g.* ) et aussi les options maïs et/ou Sorgho + ( *Eleusine c. + légumineuses = Stylosanthes* dans le cas du maïs, *Crotalaria s., Cajanus c. et Stylosanthes g.* dans le cas du Sorgho).

- Dans le cas extrême d'avoir à reconduire une partie des surfaces en monoculture de coton (*investissements obligent !!*) :

- Substituer le mil par le Sorgho BF 80 qui assure une meilleure couverture du sol, permanente et très efficace pour le contrôle naturel des adventices, et permet de séquestrer davantage de carbone que le mil, en succession du soja ;
- Associer le Sorgho BF 80 à *Crotalaria spectabilis* pour fixer une quantité significative d'azote (*entre 40 et 80 kg de N/ha suivant la durée de la croissance*) et contrôler les nématodes phytophages avant le semis direct du coton en décembre

### • FAISABILITE DES SYSTEMES SCV RECOMMANDES ET LIMITATIONS

• Les systèmes SCV proposés obéissent aux critères essentiels exigés pour leur appropriation rapide en grande culture : ils sont simples à pratiquer sans équipements<sup>40</sup> additionnels obligatoires et plus lucratifs que les systèmes actuellement en vigueur. Les espèces annuelles qui servent à composer la biomasse sont simplement multipliées comme «safrinhas», en semis direct et culture pure, en succession du soja. Les quantités de semences/ha utilisées dans la composition finale des couverts sont faibles :

- Maïs + (*Brachiaria ruzi.* + *Stylosanthes g.*) = 15 kg + 10 kg + 2 kg/ha,
- Sorgho + (*Brachiaria ruzi.* + *Stylosanthes g.*) = 10 kg + 7 à 10 kg + 2 kg/ha,
- Sorgho + (*Brachiaria ruzi.* + *Crotalaria spec.*) = 10 kg + 7 à 10 kg + 10 kg/ha,
- Sorgho + (*Brachiaria ruzi.* + *Cajanus caj.*) = 10 kg + 7 à 10 kg + 20 kg/ha.

• Le sésame et le sarrasin nécessitent, pour leur multiplication en culture pure comme safrinha de fin de saison des pluies (01/03 à la volée sous couvert de soja ou 10-15 /03 en Semis Direct en succession du soja), de, respectivement 3 et 20 kg/ha. Lorsque ces 2 espèces sont employées dans les mélanges d'espèces en association avec le (*Brachiaria ruzi.* + *Crotalaria spec.* ou *Stylosanthes g.*) pour renforcer à la fois le contrôle naturel des nématodes avec le sésame et des adventices avec le sarrasin, elles sont employées aux doses respectives de 2 et 10 kg :

Deux exemples de couverts complexes multifonctionnels<sup>41</sup> :

- Maïs + (*Brachiaria ruzi.* + *Stylosanthes g.* + Sésame + Sarrasin) :  
15 kg + (7 à 10 kg + 2 kg + 2 kg + 10 kg)/ha
- Sorgho + (*Brachiaria ruzi.* + *Crotalaria spec.* + Sésame + Sarrasin) :  
10 kg + (7 à 10 kg + 10 kg + 2 kg + 10 kg)/ha

• Du fait que ces couverts multifonctionnels sont constitués d'un mélange d'espèces à très petites graines (*excepté le Cajanus cajan et le sarrasin*), les surfaces immobilisées pour leur multiplication en culture pure comme safrinha en succession du soja, sont faibles ; en outre, dans une hypothèse d'appropriation rapide de ces techniques, la demande en semences peut devenir très vite importante et va conférer de ce fait une haute valeur ajoutée à ces espèces : il est plus lucratif de produire 800 kg/ha de sésame, ou 600 kg/ha de *Crotalaria spec.* payés entre 4 et 6 R\$/kg que de produire des grains de soja ou des fibres de coton.

### • LIMITATIONS POSSIBLES DANS L'APPLICATION DES SCV

• Lorsqu'elles existent, elles sont d'ordre opérationnel : la quantité de biomasse sèche maximum sur le sol par exemple peut constituer un obstacle majeur à la qualité du semis direct et à sa vitesse d'exécution, dès lors qu'elle dépasse 15-17 t/ha ; c'est le cas par exemple de la biomasse sèche de *Brachiaria ruzi.* accumulée sur 2-3 ans en parcelles de fertilité élevée, exploitées pour la production de semences ; la biomasse sèche peut alors avoisiner 24 à 26 t/ha<sup>42</sup> sur le sol et compromettre le semis direct (*bourrages fréquents, étiolement des plants à la levée, risque accru de dumping-off*).

Dans ce cas spécifique, il est recommandé de brûler<sup>43</sup> la biomasse après la récolte des graines en saison sèche pour pouvoir réaliser un semis direct parfait sur la repousse tendre desséchée.

<sup>40</sup> Toutefois, pour les couverts multi-espèces, le montage d'une troisième trémie réservée au semis des petites graines sur les semoirs (*fabrication Semeato*), facilite un semis plus régulier que lorsque les semences sont simplement mélangées à l'engrais au moment du semis dans la trémie réservée à l'engrais, dont sont équipés tous les semoirs de semis direct.

<sup>41</sup> Consulter les fiches techniques du CIRAD – Dossier : meilleures phytomasses – 2008.

<sup>42</sup> Résultats CIRAD – 2007, 2008 – Campo Verde - MT

<sup>43</sup> Le brûlis en saison sèche consomme surtout les organes peu lignifiés (*feuilles et tiges fines*), et provoque une forte reprise d'activité du système racinaire qui ré-injecte un carbone compensateur dans le sol (*technique ancestrale des éleveurs*).

• La deuxième limitation réside dans le choix d'herbicides efficaces lorsque nécessaire, qui soient sélectifs des diverses espèces composant les mélanges :

- **En pré-émergence**, les matières actives Métolachlore et Alachlore sont sélectives des cultures de Maïs et Sorgho associées à des légumineuses : *Arachis pintoï*, *Crotalaria spectabilis*, *Stylosanthes guyanensis*, *Cajanus cajan*.

- **En post-émergence précoce**, la matière active Bentazone est sélective des cultures de Maïs et Sorgho associées aux espèces de graminées et légumineuses en mélange : *Brachiaria ruziziensis* ou *Eleusine coracana*, + légumineuses associées *Crotalaria spectabilis* ou/et *Stylosanthes guyanensis* ou *Cajanus cajan*.

Cependant, si la culture de soja qui précède les safrinhas est bien maîtrisée techniquement, une dessiccation immédiatement en post-semis direct des safrinhas en mélange, est en général suffisante pour que les adventices ne soient pas un facteur limitant pour la croissance de la biomasse ; la technique de semis à la volée sous couvert de soja, de mélanges de petites graines (*ex. : Sorgho + Brachiaria r. + Crotalaria s. ou Stylosanthes g. et Sorgho + Eleusine c. + Stylosanthes g.*) permet également d'éviter efficacement la compétition ultérieure des adventices dans les mélanges d'espèces.

### ➤ RECONCILIER AGRONEGOCE ET ECOLOGIE : un enjeu majeur et urgent

Malgré son poids déjà très significatif et croissant sur le marché agricole mondialisé, le Brésil est encore un pays neuf, à mettre en valeur : il peut encore plus que doubler ses surfaces de production actuelles sans avoir à détruire ses immenses réserves forestières amazoniennes ; les seuls Cerrados offrent un potentiel de mise en valeur très largement supérieur à 50 millions d'hectares (*Goedert et al. 1989*). Le territoire brésilien, selon l'IBGE, comporte 16 millions d'hectares de terres abandonnées et dégradées ; si l'on y rajoute les terres non utilisées, en jachère, cette surface immobilisée passe à 24,5 millions d'hectares. En Amazonie, les terres abandonnées, occupent environ 21% de la surface défrichée, soit 16,5 millions d'hectares (*Dixon J. et al. 2001; Pasquis R. et al. , 2007*).

• Les SCV construits sur une forte diversification des cultures et qui intègrent l'élevage (*cultures principales de Soja, Coton, Riz pluvial + safrinhas de Maïs, Sorgho, Tournesol associés à des couverts fourragers de Brachiaria r. + légumineuses exploités pour l'embouche en saison sèche*), ont montré leur capacité à restaurer - régénérer (*résilience*) rapidement la fertilité des sols dégradés sous culture et de produire des hauts niveaux de rendements plus proprement avec moins d'engrais minéraux et d'intrants chimiques au cours du temps ; ils constituent de ce fait des options de choix pour récupérer très vite ce vaste réservoir de terres dégradées, aussi bien par la grande agriculture mécanisée (*agronégoce*) que par la petite agriculture familiale ; cette dernière pouvant exploiter, en plus, des cultures arbustives pérennes de rapport (*cupuaçu, noix du Pará, açaí, etc. ...*), l'ensemble vivriers + pérennes + élevage étant organisé en "jardins tropicaux"<sup>44</sup> d'agriculture durable à revenu diversifié et stable.

• Les expériences du CIRAD-CA, menées entre 1998 et 2003, sur la récupération des pâturages dégradés du Sud de l'état du Goiás (*Porteirão*) et du Sud-Ouest Mato Grosso (*Deciolândia*)<sup>45</sup> confirment qu'il est possible de passer avec succès, et immédiatement, de la situation pâturage "dégradé" au semis direct de Coton, en se servant de la couverture végétale du pâturage en l'état. La productivité de Coton graine dépasse 3.300 kg/ha dès la 1<sup>o</sup> année avec des coûts de production faibles de l'ordre de 800 à 900 US\$/ha (2000 -

<sup>44</sup> Cf. Dossier Agro-écologie AFD/MAE/FFEM/CIRAD – Le semis direct sur couverture végétale permanente (SCV) – (*AFD Nov. 2006*).

<sup>45</sup> Dans le cadre du partenariat Groupe MAEDA/CIRAD (1994/2004)

2002) ; de la même façon, les SCV à base de Soja et Riz + safrinhas peuvent être directement implantés sur la couverture de pâturage dégradé et constituent des options lucratives à faible coût de production (*Résultats CIRAD/Préfecture de Sinop 1996/98*).

• **La récupération de ce vaste patrimoine sols dégradés**, abandonnés, est donc non seulement possible mais **prioritaire, pour préserver la forêt amazonienne**, stopper sa déforestation qui est proportionnelle à celle des prix payés pour le soja : plus ils sont élevés, comme en 2007-2008, plus la déforestation augmente .

• **Des mesures incitatives de la part des autorités gouvernementales** devraient être mises en œuvre rapidement dans ce sens auprès des secteurs publics et privés.

**De telles initiatives** hautement souhaitables permettraient aussi, sans aucun doute, **d'apaiser les tensions de plus en plus vives entre l'agronégoce et les écologistes** qui peuvent devenir vite fortement préjudiciables tant à la dynamique de développement intérieur du Brésil qu'à son image à l'extérieur dans un monde globalisé de plus en plus sensibilisé et conscient de la nécessité de préserver la biodiversité (*réduction de l'émission des gaz à effet de serre, systèmes tampons pour minimiser le changement climatique*).

• Le Brésil a montré au monde sa capacité à développer en moins de 30 ans une agriculture de conservation que le monde entier admire et lui envie, même si elle est largement encore perfectible comme l'ont démontré nos travaux sur les innovations SCV inspirées du fonctionnement de l'écosystème forestier.

Ce "bon exemple", unique au monde, à contrario des dégâts majeurs et souvent irréversibles qu'ont occasionné sur l'environnement et les ressources naturelles en Afrique et en Asie les grands mouvements de colonisation venus d'Europe, doit parfaire encore son image de gestionnaire exemplaire de ses ressources naturelles, compatibles avec la croissance d'une des plus puissantes et performantes agriculture durable et propre de la planète, non seulement pour réconcilier l'agronégoce et l'écologie sur le plan intérieur, mais aussi pour servir d'exemple et de guide à la récupération de l'énorme potentiel des terres dégradées tropicales et subtropicales du Sud, qui reste à mettre en valeur (*rôle de leader du Brésil*).

• **La grande agriculture mécanisée** devrait également intervenir sur un sujet majeur : **la forme géométrique du défrichement**<sup>46</sup>, trop peu prise en compte jusque là, et qui, en adoptant dans la grande majorité des cas, des défrichements massifs d'un seul tenant sur de très grandes surfaces, parsemés d'îlots concentrés de forêts, modifie significativement la répartition des pluies (*effet de poêle surchauffée qui engendre des courants ascendants d'air chaud qui rejettent les pluies vers les forêts galeries à la périphérie*).

Un défrichement qui laisse, autour de blocs de culture de 200 à 300 ha, un encadrement continu de végétation native de 20 à 50 m de large, permet à la fois la préservation parfaite de l'habitat de la faune en lui offrant des couloirs continus vierges, et la conservation de la distribution des pluies en maintenant une maille très serrée de forêt originelle dont les effets sont prépondérants dans son rôle régulateur de l'humidité (*Cf. photos en fin de chapitre III*).

• **La grande agriculture mécanisée (agronégoce)** pourrait également **négocier régionalement (dans les grandes écologies)** par l'intermédiaire des associations de producteurs (*APDC, associations locales*), **avec les institutions et fondations de Recherche**, la mise en place **d'unités expérimentales pérennes de recherches systémiques , holistiques** installées sur les grandes unités de sols représentatives de la variabilité pédoclimatique de la ZTH ; c'est ce

---

<sup>46</sup> Cf. Défrichement ingénieux réalisé par la Fazenda Cabana, à 120 km au Nord Ouest de Sinop par l'entreprise privée Agronorte (A. C. Maronezzi) entre 1998 et 2002 et voir le travail publié (*Séguy L. et al. , 2000*).

type d'unités qui a permis de construire les bases du semis direct à Lucas do Rio Verde à partir des années 1985 ; dans une démarche de recherche -action , elles auraient pour objectifs principaux :

- Produire des innovations systèmes de culture en faisant progresser, en continu, les performances agronomiques, techniques et économiques des systèmes conduits en agriculture commerciale (*vraie grandeur*), avec, pour et chez les producteurs. Ces dispositifs matriciels permettraient la hiérarchisation de manière continue et efficace pour l'action, des composantes des systèmes les plus limitantes au cours du temps, et leur résolution, dans une démarche agronomique préventive.
- Replacer, orienter le choix des inputs commerciaux (*variétés, engrais, pesticides*) efficacement au cœur du fonctionnement réel des systèmes de culture pour améliorer, au moindre coût, leurs performances.
- Produire des connaissances scientifiques inédites (*unités expérimentales pérennisées: laboratoire de veille scientifique*), notamment en poursuivant et en amplifiant nos travaux CIRAD sur l'ingénierie écologique au service du développement, thématique majeure sans aucun doute pour assurer, dans les années qui viennent, les progrès de l'agriculture durable et propre, maîtrisée avec toujours moins d'intrants chimiques polluants dans un environnement et des productions totalement protégés ; la sélection variétale mériterait aussi d'être conduite pour et dans les systèmes de culture qui permettent d'exprimer le mieux leur potentiel.
- Former les acteurs de la Recherche-Développement

Plus le monde se complexifie et plus l'approche systémique – holistique, multi-acteurs, se fait nécessaire pour optimiser en permanence, et dans l'action, les performances des systèmes de culture et de production qui doivent intégrer des progrès et outils technologiques de plus en plus nombreux.

Enfin, comment les autorités gouvernementales et l'agronégoce pourraient-ils, en harmonie avec **la demande expresse de la société civile, encourager, stimuler les puissantes multinationales** travaillant sur son territoire à **s'engager dans la production, aussi, de molécules organiques propres, issues de la biomasse renouvelable**, aujourd'hui confinées à la seule agriculture biologique ? L'enjeu économique et sanitaire est planétaire et constitue sans aucun doute un des défis majeurs du 21<sup>ème</sup> siècle.

#### IV – QUELQUES OUTILS PRECIEUX POUR LE SEMIS DIRECT (SCV)



**Semoirs pneumatiques pour semis simultané des petites graines (Biomasses) avec la récolte de soja ou Riz**



**Semoirs pneumatiques pour semis simultané des petites graines (Biomasses) avec la récolte de soja ou riz**



**Diviser par 2 les doses de glyphosate à la dessication**



**Diviser par 2 les doses de glyphosate à la dessication**



**Diviser par 2 les doses de glyphosate à la dessication**



**Réhabiliter le rouleau pour diminuer la charge de glyphosate dans les cultures OGM RR (*supprimer la dessication chimique*)**



**Réhabiliter le rouleau pour diminuer la charge de glyphosate dans les cultures OGM RR (*supprimer la dessiccation chimique*)**



**Réhabiliter le rouleau pour diminuer la charge de glyphosate dans les cultures OGM RR (*supprimer la dessiccation chimique*)**



**Réhabiliter le rouleau pour diminuer la charge de glyphosate dans les cultures OGM RR (*supprimer la dessiccation chimique*)**

## **VI – LES MATRICES PERENNISEES DES SYSTEME DE CULTURE:**

**Scénarios expérimentaux de développement durable-  
Un outil précieux pour la science et le développement**



**Vue aérienne de la Matrice “intégration agriculture – élevage“  
Sinop, MT-2001**



**Vue aérienne de la Matrice  
“Système de Culture”, Sinop, MT-2001**



**Vue aérienne de la Matrice  
“Système de Culture”, Sinop, MT-2002**



**Vue aérienne de la Matrice  
“Système de Culture”, Sinop, MT-2001**



**Vue aérienne de la Matrice  
“Système de Culture”, Sinop, MT-2001**



**Vue aérienne de la Matrice  
“Système de Culture”, Sinop, MT-2001**

**VII – DES FORMES DE DEFRICHEMENT A IMPACT MINIMUM SUR LA FAUNE  
ET LA PLUVIOMETRIE**



**Conservation de couloirs continus de forêt native autour des lots défrichés**

## IV) CONCLUSIONS

La gestion des écosystèmes cultivés en semis direct sur couverture permanente du sol (SCV) dans la Zone Tropicale Humide (ZTH) du Brésil Central (*Mato Grosso*), a permis de convertir un cycle de dégradation accélérée des sols dû aux techniques de travail intensif du sol transférées des pays du Nord, en un cycle de reconstruction de la fertilité.

Ce mode de gestion, qui fonctionne à l'image de l'écosystème forestier dont il s'est inspiré, peut être qualifié de véritablement écologique :

- le sol est totalement protégé contre l'érosion et les xénobiotiques, même sous les climats les plus agressifs,
- par sa puissance de recyclage, les éléments nutritifs comme les nitrates et les bases telles que le calcium, le magnésium, la potasse, ne sont pas entraînés vers la nappe phréatique, mais au contraire, remontés en surface et toujours recyclés.
- La production de phytomasse est continue toute l'année, par l'utilisation des réserves d'eau en profondeur ; cette connexion se fait par l'intermédiaire de systèmes racinaires très puissants qui injectent du carbone en profondeur, protégé des actions anthropiques.

Les scénarios d'agriculture durable, qui ont été créés grâce au semis direct sur couverture végétale permanente en Zone Tropicale Humide (ZTH), sont tous construits sur une reconquête de la biodiversité: rotations diversifiées de cultures, intégration agriculture-élevage, sols toujours protégés sous couvertures mortes ou vivantes qui séquestrent activement le carbone (*entre 0,9 et plus de 2,0 t/ha/an*) et qui favorisent ainsi le développement de la faune du sol et de l'activité biologique en général (*macro, méso et microfaunes, microflore*), sont autant de facteurs de cette reconquête qui ramènent l'évolution des systèmes cultivés vers celle des écosystèmes naturels (*Résilience*) (*Fig. 167 à 172*).

L'évolution des performances agronomiques et technico-économiques des systèmes de culture accompagne strictement, dans toutes les grandes éco-régions du Mato Grosso, l'évolution du statut organique du sol, mettant clairement en évidence que la gestion de la Matière Organique (M.O.) renouvelable chaque année au moindre coût est au cœur de la construction agro-économique des systèmes de culture et production durables en Semis Direct, dans lesquels les outils biologiques ont remplacé les outils mécaniques.

Les systèmes de culture SCV les plus productifs, les plus stables, les plus attractifs économiquement et de moindre risque, sont ainsi ceux qui séquestrent le plus de carbone. Dans ces systèmes, la part de la fertilité gratuite construite en Semis Direct par voies physique et organo-biologique prend de plus en plus d'importance au cours du temps dans la capacité de production du sol : la productivité augmente avec moins d'intrants chimiques (*engrais, pesticides*), le potentiel du sol s'accroît, les coûts de production baissent et les impacts de l'activité agricole sur l'environnement sont mieux contrôlés (*Fig. 171*).

Les sols ferrallitiques de la ZTH, qui sont vides chimiquement au départ, révèlent ainsi sous Semis Direct des capacités de production durables, nulle part ailleurs égalées, en présence de fumure minérale faible à moyenne: sur la même année agricole, il est ainsi possible de produire (*et de reproduire*) 4 à 8 t/ha de riz pluvial (*qualité supérieure de grain*) ou plus de 4 t/ha de soja, puis en succession 3 à 6 t/ha de céréales en "safrinhas", associées à des espèces fourragères qui formeront un pâturage durant la saison sèche, pouvant supporter 1,5 à 2 têtes de bétail à l'hectare sur 4-5 mois; les résultats de production

de ces 3 cultures annuelles successives qui couvrent les 12 mois de l'année, sont obtenus en semis direct, et consomment pour atteindre ces niveaux de productivité, au total, de 50N à 115N.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup>, suivant que la culture en tête de succession est respectivement du soja ou du riz, de 100 à 110 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup>, et de 100 à 130 K<sub>2</sub>O.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup>.

- Il est également possible de produire plus de 5.000 kg/ha de coton graine en Semis Direct sur puissantes biomasses de couverture, en rotation avec les successions précédentes et des cultures de succession "safrinhas" à haute valeur ajoutée en présence d'un minimum d'intrants (*Coton, Maïs, Sorghos blancs sans tanins, Tournesol, Sésame et Sarrasin, etc.*).

- Les meilleurs systèmes en Semis Direct imitent le fonctionnement de l'écosystème forestier et produisent entre 23 et 32 t de résidus de matière sèche par hectare et par an (*biomasses végétative + racinaire*), soit entre 12 et 15 t/ha/an de carbone, donc très largement au-dessus des niveaux d'équilibre qui sont évalués entre 5 et 7 t/ha/an de carbone en fonction du niveau de fumure minérale utilisé, conférant ainsi au sol une capacité élevée de séquestration du carbone, estimée entre 0,9 et plus de 2,0 t/ha/an en fonction du niveau d'inputs carbonés produits dans le système de culture (*Fig.168 à 170*).

Ce que cette étude révèle de majeur dans sa démarche de Recherche - Action, c'est sans aucun doute le rôle décisif et prédominant de **l'ingénierie écologique comme outil d'élection** pour la construction des SCV de plus en plus performants et écologiques, même si elle en est encore à ses premiers balbutiements ; elle montre comment des associations d'espèces à fonctions agronomiques complémentaires peuvent tirer parti de la nature tout en la nourrissant dans sa diversité et sa stabilité ; elle montre ainsi, très concrètement, comment des associations intelligentes d'espèces peuvent transformer rapidement et profondément le milieu au profit de l'agriculture durable. Si, dans l'immense complexité biologique de la nature, on perçoit assez mal comment une plante, aussi perfectionnée soit-elle (OGM), pourrait, à elle seule, transformer positivement et surtout durablement cette complexité biologique, on voit par contre très bien comment des associations d'espèces sont réellement capables de le faire en agissant sur de très nombreuses fonctions biologiques du milieu au profit de l'agriculture durable et du patrimoine - sol, comme le met en évidence cette étude. On voit également très clairement comment les OGMs, nouvelles "vedettes à la mode" de la génétique, pourraient, dans des milieux sols biologiquement reconstruits et entretenus (*avec la pratique continue des SCV*), apporter des écoservices complémentaires et efficaces, avec beaucoup plus de chances de conserver leurs fonctions de manière durable, sans favoriser la création de résistances : par exemple, une variété RR sur SCV bénéficierait d'un sol vivant aux fonctions biologiques actives, et d'une couverture de sol déjà très efficace contrôlant naturellement plus de 90% des espèces adventices ; la fonction essentielle de l'OGM RR serait alors de compléter, au moindres coût et impact sur l'environnement, cet écoservice de contrôle des adventices restants nuisibles aux cultures ; de même, les couverts végétaux multifonctionnels des SCV ("*mini-forêts*") attirent par leur composition floristique les insectes auxiliaires qui contrôlent naturellement les ravageurs des cultures et induisent des conditions nutritionnelles des cultures qui limitent les teneurs excessives en N et sucres solubles, très attractives pour les ravageurs : dans ce cas encore, des variétés OGM auraient d'abord pour fonction essentielle et efficace de compléter, et au moindre coût, cet écoservice fourni par les SCV.

Comme le démontre cette étude, c'est bien d'abord le retour à la biodiversité fonctionnelle, elle seule capable de restaurer rapidement les fonctions biologiques du sol, qui est la première priorité, car elle permet de régénérer très vite et d'entretenir la capacité des sols à produire en reconstituant le statut organique des sols et une activité biologique efficace

associée qui agissent sur de nombreuses fonctions agronomiques essentielles et complexes des sols, favorables à l'agriculture durable (*Fig. 167*).

La diffusion massive de ces systèmes SCV pourrait permettre au Brésil, à travers aussi bien de son puissant agronégoce que de sa petite agriculture familiale de :

- Récupérer rapidement son vaste réservoir de terres dégradées (*plus de 16 millions d'ha en Amazonie*), soit d'économiser d'autant les réserves forestières de biodiversité,
- Retrouver une forte biodiversité utile dans les systèmes de production et d'exploitation tout en produisant plus, de manière durable et plus écologique, avec moins d'intrants chimiques, plus efficaces et mieux contrôlés,

soit "redorer le blason" de l'agronégoce à l'extérieur en gommant son image de «soja mangeur de forêt» et conduire à une réconciliation rapide avec l'écologie, indispensable maintenant au développement harmonieux du Brésil.

Le dernier enseignement de cette étude réalisée en prise directe et permanente dans les réalités agricoles, est que les SCV ne pourront encore progresser au bénéfice de la production agricole et de l'environnement que si la recherche a l'humilité de retourner dans la nature, en force, pour voir, apprécier, comprendre comment s'exerce le génie de la vie *in situ*, et comment cette nature si riche et si admirable dans sa complexité (*systémique, holistique*) peut servir toujours mieux l'agriculture durable, pour passer graduellement et de manière viable des agrosystèmes actuels aux écosystèmes cultivés (*Fig. 167*). La fonction essentielle de l'agronome de demain devrait être celle de "généticien de l'environnement" ou comment sélectionner les espèces possédant des fonctions qui servent gratuitement l'agriculture, comment les maîtriser au sein de systèmes viables, facilement appropriables qui optimisent les relations «Génotypes x Systèmes de culture» et garantissent la reproductibilité environnementale des écosystèmes.

On ne peut qu'encourager le Brésil à mettre en œuvre rapidement et à grande échelle la diffusion de ces scénarios SCV d'agriculture durable, pour franchir un nouveau palier décisif de développement qui servira d'exemple et de guide au monde.

On ne peut que souhaiter aussi que la puissance intellectuelle et financière des grandes multinationales puisse réellement se mettre au service de la production propre, exempte de résidus agrottoxiques, en concevant des OGMs qui viendraient uniquement compléter efficacement les écoservices de large et durable impact sur les sols (*et ses fonctions*) créés et entretenus par les SCV, et en produisant des molécules organiques pour diminuer petit à petit la charge chimique et ses nuisances qui pèsent négativement sur l'environnement, la nourriture et la santé humaine.

Le semis direct sur couverture permanente du sol (SCV) est probablement le paradigme le plus complet qui ait été construit à ce jour pour le développement planétaire d'une agriculture durable, préservatrice de l'environnement, gérée, de plus en plus, "au plus près de l'écologique". Essayons d'associer toutes les forces disponibles pour poursuivre cette œuvre et faire face plus efficacement aux grands défis de ce siècle qui sont la lutte contre la pauvreté (*nourrir la planète et proprement*), et contre le changement climatique (*systèmes de culture tampons*) dans un monde où les ressources naturelles se raréfient (*eau, biodiversité*) et où se dessine déjà une pénurie alimentaire sans précédent.

FIG. 167

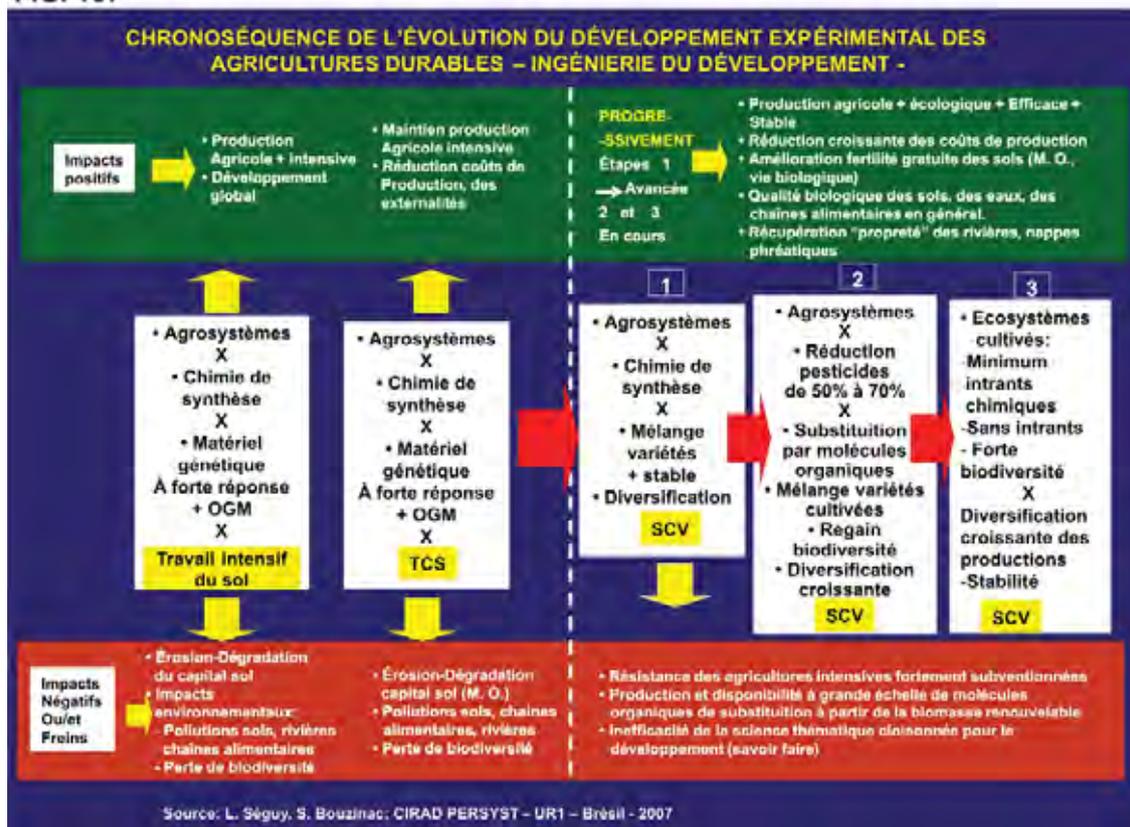
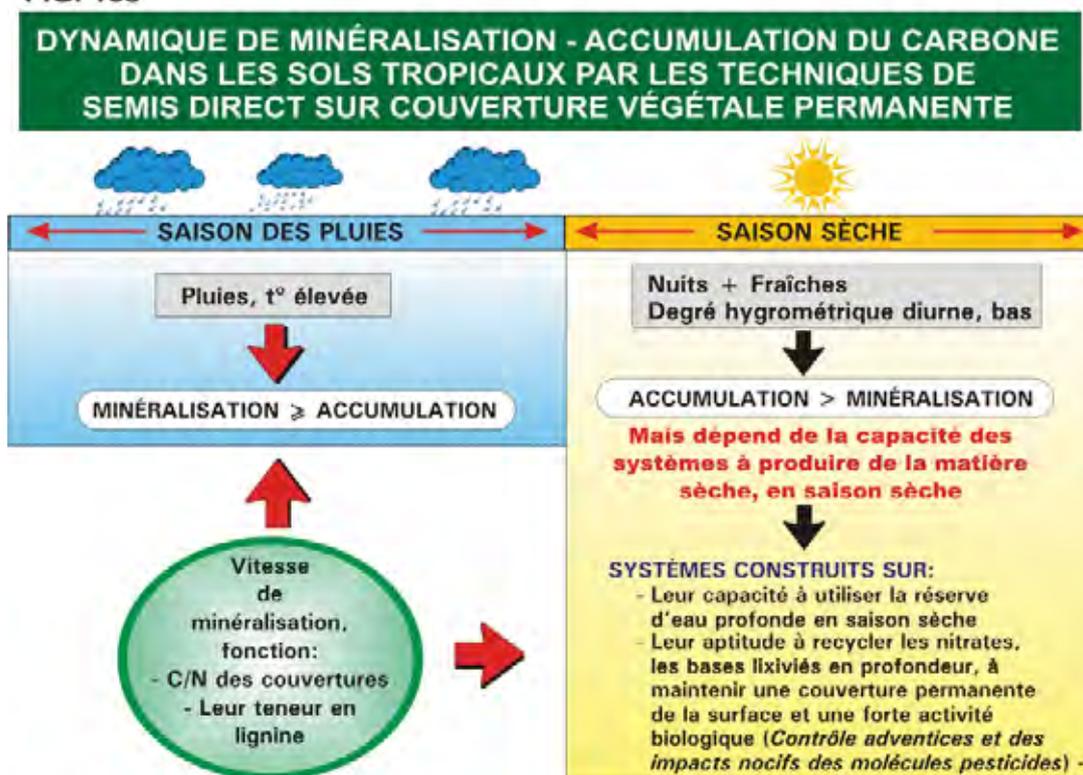


FIG. 168



**FIG. 169 ÉCOSYSTÈME FORESTIER AMAZONIEN ET MEILLEURS SYSTÈMES DE SEMIS DIRECT**  
 • Sols ferrallitiques du sud du bassin amazonien · Sinop/MT, 1999

	FORÊT	MEILLEURS SYSTÈMES DE SEMIS DIRECT
M. O. (0 - 20 cm)	18 t/ha C → litières + racines <sup>6</sup> 55 t/ha humus dont 44t/ha fortement liée matière minérale	14 - 20 t/ha litières + racines <sup>10</sup> > 40 à 50 t/ha humus
Porosité	Macropores dominants <sup>7</sup> (0,1 - 100 μm) ressuyage rapide MWD entre 4 et 5	Idem restructuration profil > 2 m <sup>10</sup> par racines graminées MWD entre 4 et 5
Utilisation eau par les plantes	Utilisation eau profonde <sup>8</sup> en saison sèche > 1,7 m	Utilisation eau profonde <sup>10</sup> fin saison pluies et saison sèche > 2m - Coton, Sorgho, Mil, Tournesol, pâturage temporaire
Cycle des éléments nutritifs	Majeure partie prélèvement <sup>9</sup> nutriments → entre 0 et 5 cm de profondeur	Reconstitution horizon 0 - 5 cm <sup>10</sup> Nourricier - systèmes racinaires en chandelier Important recyclage profond
← Nutrition entre M. O. Vivante et morte → Peu d'échanges avec sol minéral		

SOURCE: 6. Cerri et al., 1992; 7. Cabral, 1991; Leopoldo et al., 1987; 8. Pimentel da Silva et al., 1992; 9. Stark et Jordan, 1978; Lucas et al., 1993; Luizão et al., 1992; 10. Séguy L. et Bouzinac S., CIRAD/GEC - 1990-99.

**FIG. 170 ÉCOSYSTÈME FORESTIER AMAZONIEN ET MEILLEURS SYSTÈMES DE SEMIS DIRECT**  
 • Sols ferrallitiques du sud du bassin amazonien · Sinop/MT, 1999

	FORÊT	MEILLEURS SYSTÈMES DE SEMIS DIRECT
Biomasse litière	8,4 t/ha <sup>1</sup>	10 - 15 t/ha <sup>10</sup> (Grains + <i>Brachiaria R.</i> )
Vitesse décomposition litière	50% poids en 37 jours, <sup>2</sup> saison des pluies 50% poids en 216 jours, saison sèche	50% poids en 30 jours, <sup>10</sup> (Maïs, Riz)
Biomasse racinaire	± 5 t/ha <sup>3</sup> 60% 0 - 20cm 80% 0 - 40 cm	5 - 7 t/ha <sup>10</sup> (Grains + <i>Brachiaria R.</i> )
Biomasse microbienne	1,9 à 3,3% C <sup>4</sup> (0 - 5 cm)	À chiffrer
Biodiversité P. Aérienne	175 à 235 espèces <sup>5</sup> 43 à 49 familles + animaux	3 espèces ha/an <sup>10</sup> + bovins

SOURCE: 1. Luizão, 1989; 2. Luizão et Shubart, 1987; 3. Chauvel et al., 1987; 4. Lavelle et al., 1991; 5. Prance et al., 1976; Barbosa, 1988; 10. Séguy L. et Bouzinac S., CIRAD/GEC - 1990-99.

FIG. 171

**CE QUI A CHANGÉ AVEC LA MAÎTRISE DES SCV DANS LES GRANDES RÉPONSES DES ÉCOSYSTÈMES CULTIVÉS<sup>(1)</sup> TROPICAUX**  
 Vision synthétique des tendances majeures

**I - Évolution de la fertilité**



**II - Relations "Coûts x Productivité" (Systèmes, main d'œuvre)**



**III - Création - Sélection Cultivars pour et dans les systèmes**



1 - Pays Tropicaux émergents (cf. Brésil)

SOURCE: L. Seguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA-UR1, Goiânia - 2006

FIG. 172 **LE SEMIS DIRECT SUR COUVERTURE VÉGÉTALE**

**DÉFINITION**

Le semis direct sur couvertures végétales est un système conservatoire de gestion des sols et des cultures, dans lequel la semence est placée directement dans le sol qui n'est jamais travaillé - Seul un petit trou ou sillon est ouvert, de profondeur et largeur suffisantes, avec des outils spécialement conçus à cet effet, pour garantir une bonne couverture et un bon contact de la semence avec le sol - Aucune autre préparation du sol n'est effectuée - l'élimination des mauvaises herbes, avant et après le semis est faite avec des herbicides les moins polluants possibles pour le sol qui doit toujours rester couvert.

**REPRÉSENTATION**



## V) REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **AFD/MAE/FFEM/CIRAD - 2006** Le semis direct sur couverture végétale permanente (SCV)
- Traduit en anglais en Sept. 2007 : Direct seeding mulch-based cropping systems (DMC) - 64 p.
- **Bernoux M., Cerri C. C., Cerri C. E. P., Siqueira Neto M., Metay A., Perrin A.S., Scopel E., Razafimbelo T., Blavet D., Piccolo M. de C., Pavei M., Milne E. 2006:** - Cropping systems, Carbon sequestration and erosion in Brazil, a review . 8 p. In *Agron. Sustain. Dev.* 26(2006)1-8
- **Carvalho Dores E. F. G. de , Monnerat R. G. 2006.** - Capítulo 15 : Algodão e proteção ambiental - In Doc FACUAL “Algodão - Pesquisas e resultados para o campo Capítulo 15 pag 361- 389.
- **Cerri C. C. , Moraes J. F. L. , Volkoff B. 1992.** - Dinâmica do carbono orgânico em solos vinculados a pastagem da Amazônia brasileira ; In *revista INIA, inv. Agr., n° a, t. 1*, pp 95-102.
- **Corraza E. J. , Silva J. E. , Resck D. V. S. , Gomes A. C. 1999.** - Comportamento de diversos modos de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação a vegetação de Cerrado. In *Revista Brasileira Ciência do Solo* 23 pag 425-432.
- **Direto no Cerrado - Ano 5 N° 18 (APDC) Outubro/Novembro 2000** - Alerta á agricultura do Brasil Central - O PD está em perigo (L. Séguy - S. Bouzinac) p. 6.
- **Dixon J., Gulliver A., Gilbon D. 2001 .** - In systèmes d’exploitation agricole et pauvreté - FAO & BM - Rome et Washington -DC
- **Doss, D.D. , Bagyaraj D.J. , Syamasundar, J. 1989.** - Morphological and histochemical changes in the roots of finger millet *Eleusine coracana* colonized by VA mycorrhiza. *Proc. India Natl. Sci. Acad.* 54 :pp 291-293.
- **FACUAL Relatório final- 2003 - Projeto:** Sistema de plantio direto e pacotes tecnológicos para cultivares de algodão da Coodetec e demais no Mato Grosso - Safra 2002/2003 - Contrato : FACUAL/Unicotton n° 41/2002 - Equipe = Séguy L., Bouzinac S., Martin J., Belot J.L., Vilela P.A., Guedes H., Márquez A., Rodrigo M. - Dezembro 2003 -110 pages + annexes. FACUAL Cuiabá -MT /Brésil.
- **FACUAL Relatório final- 2004 - Projeto:** Sistema de plantio direto e pacotes tecnológicos para cultivares de algodão da Coodetec e demais no Mato Grosso - Safra 2003/2004 - Contrato : FACUAL/Unicotton n° 41/2003 - Equipe = Séguy L., Bouzinac S., Martin J., Belot J.L., Vilela P.A., Ferreira D. da S., Donin C. E., Silva M. R. P. da . Junho 2005 -149 pages. FACUAL Cuiabá.
- **FACUAL Relatório final- 2005 - Projeto:** Sistema de plantio direto e pacotes tecnológicos para cultivares de algodão da Coodetec e demais no Mato Grosso - Safra 2004/2005 - Contrato : FACUAL/Unicotton n° 41/2004 - Equipe = Séguy L., Bouzinac S., Martin J., Belot J.L., Vilela P.A., Donin C. E., Silva M. R. P. da . Junho 2006 -122 pages. FACUAL Cuiabá.
- **FACUAL Relatório final- 2006 - Projeto:** Sistema de plantio direto e pacotes tecnológicos para cultivares de algodão da Coodetec e demais no Mato Grosso - Safra 2005/2006 - Contrato : FACUAL/Unicotton n° 21/2005 - Equipe = Séguy L., Bouzinac S., Martin J., Belot J.L., Salgado A., Vilela P.A., Abadia R., Silva M. R. P. da . Março 2007 -111 pages. FACUAL Cuiabá.
- **Goedert W.J. , 1989** - Região dos cerrados : potencial agrícola e política para seu desenvolvimento. In *Pesquisa Agropecuária Brasileira - Brasília* 24:1- 17.
- **Husson O., Séguy L. ; Michellon R., Boulakia S. 2006** - Chapter 23: Restoration of Acid Soil System through Agroecological Management. In *Biological Approaches to Sustainable Soil Systems* pp. 343 - 356 (Uphoff et al., 2006 ; CRC press, New York, 764 p. ISBN -10 : 1-57444-583-9, ISBN 13 : 978-1-57444-583-1)

- **Lucas Y. , Luizão F. J. , Chauvel A. , Rouiller J. , Nathon D. 1993 .** - The relation between biological activity of the rain forest and mineral composition of soils. In *Science*, vol. 260 pp 521-523.
- **Maronezzi A.C. , Belot J. L. , Martin J., Séguy L. , Bouzinac S. , 2001.** - A safrinha de algodão = opção de cultura arriscada ou alternativa lucrativa dos sistemas de plantio direto nos trópicos úmidos - *Boletim técnico n° 37 da COODETEC CP 301 85806-970 Cascavel - PR / Brésil (traduite en français Doc. Interne CIRAD-CA).*
- **Nicolodi M., Gianello C. et Anghinoni I., 2007** - Repensando o conceito da fertilidade do solo no Sistema Plantio Direto. In *Revista do Plantio Direto* Ano XVII - N° 101 Setembro/outubro 2007 p 24-32
- **Pasquis R., Oliveira Machado L. de, 2007.** - La récupération des terres : un enjeu socio - environnemental prioritaire en Amazonie brésilienne.
- **Perrin A.S. 2004.** - Thèse de Master of science : « Effets de différents modes de gestion des terres sur la matière organique et la biomasse microbienne en zone tropicale humide » - Université de Lausanne - Suisse.
- **Sá J.C.M.; Cerri C.C.; Piccolo M.C., Feigl B.E.; Buckner J.; Fornari A.; Sá M.F.M.; Séguy L. , Bouzinac S.; Venkze-Filho S.P., Paulleti V.; Neto M.S. 2004** - O plantio direto como base do sistema de produção visando o seqüestro do carbono In *Revista Plantio Direto* Ano XIV n° 84 Novembro/Dezembro 2004 pp 45 - 61
- **Sá J.C.M.; Séguy L. , Bouzinac S. et al. 2008 (proposé en 2007)** - Carbon pools and balance in no-tillage soils under intensive cropping systems in tropical and subtropical agroecozones - In *Soil Science Society American Journal (en révision finale).*
- **Séguy L. - 1994.** Contribution à l'étude et à la mise au point des systèmes de culture en milieu réel : - petit guide d'initiation à la méthode de création-diffusion de technologies en milieu réel, - résumés de quelques exemples significatifs d'application. Doc. CIRAD, Octobre 1994, 191 p.
- **Séguy L. , Bouzinac S. , Trentini A. , Cortez N.A. 1996.** - L'agriculture brésilienne des fronts pionniers. In *Agriculture et développement n°12, décembre 1996.* pp;2-61. - 34398 Montpellier cedex 5 - France.
- **Séguy L. , Bouzinac S. , Maeda E. , Maeda N. 1998,a.** - Brésil : semis direct du cotonnier en grande culture motorisée. In *Agriculture et développement n°17, Mars 1998.* pp.3-23. - 34398 Montpellier cedex 5 - France.
- **Séguy L. , Bouzinac S. , Maronezzi A.C. 1998,b.** - Les plus récents progrès technologiques réalisés sur la culture du riz pluvial de haute productivité et à qualité de grain supérieure, en systèmes de semis direct. Ecologies des forêts et cerrados du Centre Nord de l'état du Mato Grosso. Doc. Interne CIRAD/ Agronorte, 4 pages - 34398 Montpellier cedex 5 - France.
- **Séguy L. , Bouzinac S. , Maronezzi A.C. 1998,c.** - Semis direct et résistance des cultures aux maladies. Doc. interne CIRAD, 1998, 4p. -34398 Montpellier cedex 5 - France.
- **Séguy L. ; Bouzinac S. ; Trentini A. ; Cortes N.A. - 1998,d.** - Brazilian frontier agriculture. In *Agriculture et Développement, spécial issue, november 1998,* 63 pages. ISSN 1249-9951
- **Séguy L. , Bouzinac S. , Maeda E. , Ide M.A. , Trentini A. 1999.** - La maîtrise de *Cyperus rotundus* par le semis direct en culture cotonnière au Brésil. In *Agriculture et développement n° 21, mars 1999.* pp.87-97 - 34398 Montpellier cedex 5 - France .
- **Séguy L. , Bouzinac S. , Taffarel W. , Taffarel J. 2000.** - Méthode de défrichement préservant la fertilité du sol. In: *Bois et forêts des tropiques - n° 263 - 1° trimestre 2000* - p.75-79. CIRAD - 34398 Montpellier cedex 5 - France.

- **Séguy L. , Bouzinac S. , Maronezzi A.C. 2001,a.** - Un dossier du semis direct : Systèmes de culture et dynamique de la matière organique - 203p. ( *existe en français et portugais*). Doc. Interne et CD-Rom CIRAD-CA/GEC 34398 Montpellier Cedex 5 - France.
- **Séguy L., Bouzinac S. 2001,b.** - Semis direct et couverture végétale : comment cultiver durablement les sols de la planète. In *World Congress on conservation agriculture, Madrid, 1-5 october 2001*.
- **Séguy L. ; Bouzinac S. 2001,c.** - Cropping systems and organic matter dynamics. 5 p. - In *World Congress on conservation agriculture, Madrid, 1-5 october 2001*.
- **Séguy L. ; Bouzinac S. - 2001,d.** Systèmes de culture sur couverture végétale : - stratégies et méthodologies de la recherche-action ; - concepts novateurs de gestion durable de la ressource sol ; - suivi-évaluation et analyses d'impacts. Document CIRAD-CA/GEC, 2001, 21 pages + 37 figures.
- **Séguy L. ; Bouzinac S. 2002, a** - Alternativas para coberturas do solo viáveis para o Cerrado. In *VI Encontro de Plantio Direto no Cerrado - 2º Encontro de Plantio Direto do Oeste da Bahia, Döwich I.*- pp 109- 131 - Luis Eduardo Magalhães - Bahia/ Brésil junho 2002.
- **Séguy L. , Bouzinac S. , Maronezzi A.C. , Belot J. L. , Martin J. 2002, b.** - Systèmes de production durable de coton pour les savanes humides du Brésil Central - 9 pages In Congrès Mondial Recherche Cotonnière - Le Cap - Mars 2003.
- **Séguy L. ; Bouzinac S. 2003,a** - CD édité par CIRAD : « AGRICULTURE DURABLE - 20 ans de Recherche du CIRAD-CA et de ses partenaires brésiliens en zone tropicale humide (Centre Ouest du Brésil) - Avril 2003 - 105 pages- CIRAD PERSYST /UR 1 - Montpellier - France (traduit en portugais).
- **Séguy L. ; Bouzinac S. 2003,b** - Alternativas para formação de palhadas Conseqüências agrônômicas e técnico-econômica. In *VII Encontro de Plantio Direto no Cerrado* pp 157 - 198 - Sorriso MT 04 a 06 de junho 2003 (ISSN: 1678-8303).
- **Séguy L. ; Bouzinac S., Belot J.L., Martin J. 2004, a** Capítulo 15 : Sistemas de Produção Sustentáveis de Algodão para os Cerrados Úmidos do Brasil Central - In *Manejo Integrado: Integração Agricultura-Pecuária editores Zambolim L. et al. Universidade Federal de Viçosa MG* pp 385 - 420 - De 11 a 13/05/2004.
- **Séguy L. ; Bouzinac S., Maronezzi A.C., Scopel E., Belot J.L., Martin J. 2004, b** Capítulo 15: Da Agricultura Destruidora com Preparo do Solo para a Agricultura Sustentável e Diversificada em Plantio Direto - In *Manejo Integrado: Integração Agricultura-Pecuária editores Zambolim L. et al. Universidade Federal de Viçosa MG* pp 421 - 473 - De 11 a 13/05/2004.
- **Séguy L. ; Bouzinac S., Scopel E., Ribeiro F. 2004, c** capítulo 16 : Conceitos Inovadores na Gestão Sustentável do Recurso Solo: o Plantio Direto sobre Cobertura Vegetal permanente (SCV) - In *Manejo Integrado: Integração Agricultura-Pecuária editores Zambolim L. et al. Universidade Federal de Viçosa MG* pp 475 - 510- De 11 a 13/05/2004.
- **Séguy L. ; Bouzinac S. 2004, d** - De la Monoculture Cotonnière avec Travail du Sol au Semis Direct sur Couverture Végétale (SCV): une Conversion Complète, effectuée en 9 ans, par le Groupe agro-industriel Maeda dans le Brésil Central - Doc interne CIRAD (en CD, traduit aussi en portugais):
- **Séguy L. ; Bouzinac S. et partenaires brésiliens 2005,** Rapport annuel d'activités 2005 - UR1/ CIRAD-CA - 158 pages - Document interne CIRAD (en CD, traduit en portugais)
- **Séguy L. ; Bouzinac S., Husson O. 2006, a** - . Direct-seeded tropical soil systems with permanent soil cover: learning from Brazilian experience. In: "biological approaches to sustainable soil systems" (Uphoff N.; Ball A.S.; Fernandes E.; Herren H.; Husson O.; Laing M.; Palm C.; Pretty J.; Sanchez P.; Sanginga N.; Thies J. Eds.). CRC Press Taylor and Francis Group, New York USA. ISBN -10:1-57444-583-9; ISBN -13: 978-1-57444-583-1. Chap. 22. Pp. 323-342.

- **Séguy L. ; Bouzinac S. 2006, b** - Capítulo 5 : Gestão dos Solos Tropicais - In *1° Encontro Técnico do PAS* - pp 21 - 32 Faz. Mizote IV - São Desidério - BA/ Brésil - 07/06/2006.
- **Séguy L. ; Bouzinac S. et partenaires brésiliens 2007**, Rapport annuel d'activités 2006 - UR1/ CIRAD-CA BRESIL - 166 pages - Document interne CIRAD (en CD, traduit en portugais = Relatório anual de atividades 2006 UR1/CIRAD CA BRASIL)
- **Stark N. M. , Jordan C. F. ; 1978** . Nutrients retention by the root mat of an amazonian rain forest. In *Ecology*, 59 (3) pp 434-437.
- **Yamada T., et al. 2007**. GTD IPNI – ESALQ Sustainable agricultural system with maximum economic yield – March, 17 2007