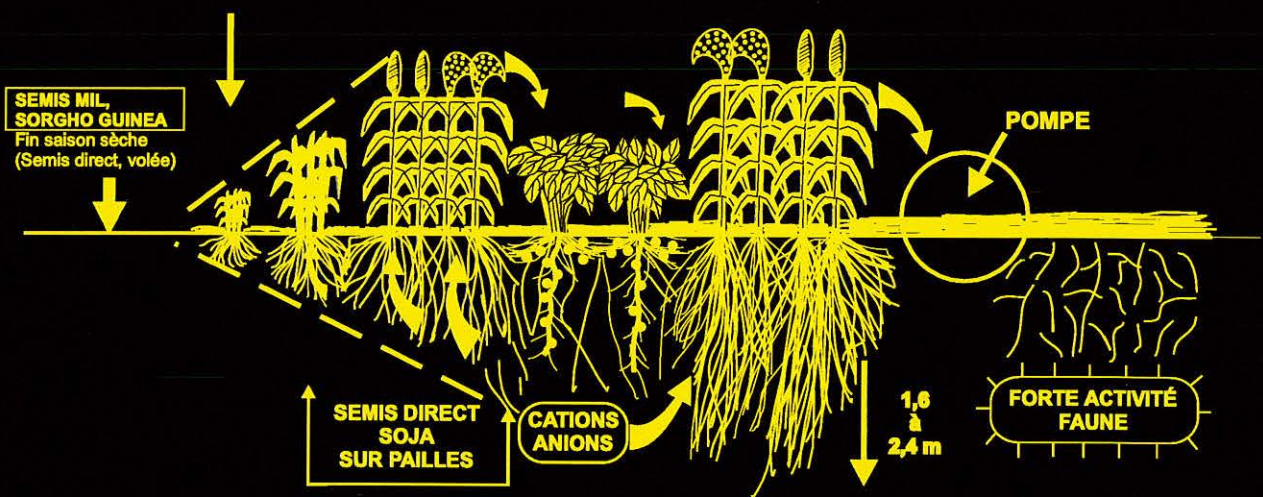


**PETIT GUIDE DE GESTION DES COUVERTURES
 POUR LES SYSTÈMES DE CULTURE MÉCANISÉS
 EN SEMIS DIRECT
 DANS LES RÉGIONS TROPICALES CHAUDES
 ET HUMIDES DE BASSE ALTITUDE
 DU CENTRE OUEST BRÉSILIEN -**

SYSTÈME "MAINTENEUR DE FERTILITÉ"

EN SEMIS DIRECT SUR CULTURE DA SOJA



L. SÉGUY
 S. BOUZINAC
 - MAI 1997 -

UN PRODUIT DE LA COOPÉRATION FRANCO-BRÉSILIENNE -

CIRAD

RHODIA

MAEDA

COOPERLUCAS

**Petit guide de gestion des couvertures
pour les systèmes de culture mécanisés
en semis direct,
dans les régions tropicales chaudes
et humides de basse altitude du Brésil**

**L. Séguy
S. Bouzinac**

**" Le semis direct n'est pas seulement une technique différente,
mais une question de survie "**

Franke Dijkstra

Producteur du Paraná et actuel
directeur de la Coopérative de
Castro (PR) du Groupe Coopératif
ABC

Sommaire

-Avis aucteur.....	1
- Pourquoi des couvertures permanentes sur les sols tropicaux.....	3
-Fonction des couvertures.....	4
-Quelles couvertures?.....	9
-Comment semer les plantes de couverture?.....	14
- Les conditions de réalisation technique du semis direct et les relations "semoir-biomasse de couverture-sol-semences".....	15
- Performances agronomiques et coûts d'installation des pompes biologiques dans les successions annuelles pratiquées en semis direct.....	27
• Règles générales de fonctionnement du profil cultural sous semis direct.....	31
• Productivités et performances économiques des systèmes de culture : Le cas des écologies de cerrados et forêts humides (Mato Grosso).....	35
• Productivités et performances économiques des systèmes de culture : Le cas de l'écologie de forêt tropicale du Sud de Goiás et Nord de São Paulo....	44
- Recommandations pour le choix du matériel génétique le plus approprié pour les couvertures végétales sur les systèmes en semis direct.....	51
- Annexes : données de base essentielles sur l'utilisation des sorghos et des mils dans la nutrition humaine.....	56

- Avis au lecteur -

Les techniques de semis direct sur couverture permanente du sol, morte ou vive, sont les seules capables d'assurer la protection totale du capital sol, et la conversion du formidable potentiel photosynthétique tropical en bénéfice de la production agricole durable, à partir de la biomasse renouvelable au moindre coût (L. Séguy, S. Bouzinac, 1986-1996).

Ces modes de gestion agrobiologique de la ressource sol, ont vu le jour aux USA, avec l'avènement de l'herbicide total Paraquat à la fin des années 1950. Ils ont ensuite pris un essor considérable dans l'état du Paraná⁽¹⁾, en région subtropicale du Sud Brésil sous l'impulsion et la volonté tenace d'agriculteurs et agronomes⁽²⁾ conscients de la dégradation catastrophique du sol avec les techniques de préparation mécanisées venues des pays développés du Nord, et en particulier avec l'utilisation continue et inadéquate des offsets lourds et légers associées à la pratique continue de la monoculture.

Concepts et mise en application du semis direct dans les systèmes de culture diversifiés, ont permis de coloniser entre 3,5 et 4 millions d'hectares en moins de 25 ans dans les régions subtropicales du Sud Brésil (états du Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul) et sont en voie de dominer, à brève échéance, toute l'agriculture du Sud Brésil et des pays voisins : Argentine, Paraguay, Bolivie.

Dans les régions tropicales chaudes et humides de basse altitude du Centre Ouest brésilien, ouvertes à la monoculture industrielle dominante de soja depuis la fin des années 1970 (front de colonisation venu des états du Sud), qui regroupent les grandes écologies des cerrados et des forêts tropicales, vastes réservoirs de sols ferrallitiques pour nourrir l'humanité du 21^e siècle en Amérique Latine, le Cirad-Ca et ses partenaires de la recherche et du développement⁽³⁾ ont progressivement construit, entre 1986 et 1996, une très large gamme de modes de gestion écologique du sol à partir du semis direct sur couvertures mortes et vivantes (L. Séguy, S. Bouzinac et al., 1996).

Les systèmes de gestion en semis direct créés, sont bâtis sur la reproduction du fonctionnement de l'écosystème forestier à partir de biomasses renouvelables produites à moindre coût (*en conditions climatiques marginales*), appelées "pompes biologiques", qui servent de couverture permanente protectrice et alimentaire pour les cultures commerciales, organisées en systèmes de culture diversifiés (soja, riz pluvial de haute technologie, maïs, coton), qui peuvent intégrer l'élevage en rotation (L. Séguy, S. Bouzinac et al., 1996).

Ces technologies de semis direct, totalement protectrices de la ressource sol connaissent un développement fulgurant puisqu'elles occupent, en moins de 5 ans, entre 1 500 000 et 2 000 000 d'hectares dans les cerrados du Centre Ouest : états du Mato Grosso, Mato Grosso du Sud, Goiás, en particulier (Monsanto et estimations de l'APDC et Fondation ABC, 1996).

L'adoption extrêmement rapide, mais souvent insuffisamment discriminée, dominée, des techniques mécanisées de semis direct, nous conduit à préciser dans ce modeste guide

(1) Travaux fondamentaux pour l'agronomie et l'agriculture tropicales, réalisés par la Fondation ABC, l'IAPAR depuis le début des années 1970.

(2) Agriculteurs initiateurs : Frank Dijkstra, Herbert Bartz, Manoel Henrique Pereira ; agronomes : Hans Peeten, Josué Nelson Pavei.

(3) Recherche : Embrapa/CNPAF, Empaer-MT ; Développement : propriétaires Munefumi Matsubara, Jorge Kamitani, Famille Taffarel, Coopératives Cooperlucas, Comicel, Cooasol.

de gestion de couvertures :

- les fonctions des couvertures,
- quelles couvertures pratiquer, dans quels systèmes,
- comment les gérer, avec un maximum d'efficacité technique et économique pour maximiser les revenus/ha avec un minimum d'intrants (engrais, pesticides) et d'équipements mécanisés.

() Les recommandations à suivre, qui s'adressent aux agriculteurs, vulgarisateurs, chercheurs, sont traduites sous la forme la plus simplifiée et illustrée possible. Elles sont extraites des travaux du CIRAD-CA et de ses partenaires sur les fronts pionniers du Centre Nord Mato Grosso, dans le Centre Ouest et le Nord du Brésil, réalisés entre 1983 et 1996.*

Que soient vivement remerciés ici, au nom du CIRAD et de la RHODIA AGRO (notre tutelle), tous nos partenaires qui ont contribué à la construction et à la diffusion des techniques de semis direct pour les régions tropicales chaudes et humides :

- au Mato Grosso :
 - les propriétaires Mrs. Munefume Matsubara, Jorge Kamitani, Valdir et Jadir Taffarel ,
 - les coopératives : Coopertucas, Coosol et Comicel,
 - l'Empaer-MT
- dans les états de Goiás et de São Paulo :
 - le Groupe Maeda, John N. Landers
- dans les états du Piauí et Maranhão :
 - les groupes Sulamérica et Varig Agropecuária
- les firmes d'engrais Mitsui et Manah
- la revue Potafós
- l'APDC (Association du semis direct des cerrados).

☞ Pourquoi des couvertures permanentes sur les sols tropicaux ?

⇒ *L'héritage technique inadapté des pays du Nord : le transfert Nord-Sud du travail mécanique du sol est un échec pour l'agriculture durable des pays tropicaux.*

Exceptés les systèmes de culture manuels itinérants sur brûlis ⁽¹⁾ qui pratiquent sur tous les continents le semis direct sans travail du sol, l'agriculture mécanisée tropicale a systématiquement utilisé les techniques de travail du sol venues des pays développés du Nord.

Alliées à la pratique, également quasi systématique, des grandes monocultures industrielles (soja, coton), ces techniques de travail mécanique du sol et en particulier les discages continus se sont révélés rapidement catastrophiques pour le maintien de la fertilité des sols tropicaux : érosions colossales, perte continue et irréversible de la matière organique, lessivage et lixiviation des éléments nutritifs (NO_3 , Ca, K, Mg), pression croissante des adventices sont les composantes systématiques de scénarios généralisés qui entraînent, à court terme, malgré l'utilisation accrue de fertilisants chimiques, pesticides, variétés améliorées, une augmentation insoutenable des coûts de production et conduisent très rapidement à la faillite économique et à la désertification de l'espace rural.

⇒ *Rompre avec le transfert Nord-Sud de technologies de gestion des sols : construire des technologies adaptées aux conditions pédoclimatiques tropicales.*

Pour intégrer la globalisation mondiale de l'économie, l'agriculture tropicale, qui représente une activité vitale et un réservoir fondamental de production d'aliments pour nourrir l'humanité de demain, doit utiliser des pratiques agricoles qui soient capables de convertir au moindre coût, le formidable potentiel photosynthétique tropical au profit de l'amélioration de la fertilité des sols et de leur potentiel productif, donc qui soient véritablement adaptées aux conditions de sols et climats des tropiques : produire plus, avec un minimum d'intrants, tout en protégeant l'environnement, sont les règles d'or de l'agriculture durable. Ces règles sont aujourd'hui mises en œuvre au Brésil, pays qui réunit toutes les écologies tropicales et subtropicales de la planète et qui a opté pour le développement d'une agriculture mécanisée moderne, puissante et compétitive sur la scène internationale ⁽²⁾.

Pour mettre en règle ces pratiques à court, moyen et long termes, il faut cultiver les sols tropicaux autrement.

En premier lieu, il faut les protéger contre les conditions climatiques qui sont particulièrement agressives sous les tropiques, par des couvertures permanentes végétales protectrices et alimentaires.

⁽¹⁾ Systèmes de culture itinérants sur brûlis, sur tous les continents ; systèmes manuels maïs-mucuna, "haricot sous couvert" (Frijol tapado) des pays d'Amérique Latine (Centrale et du Sud).

⁽²⁾ Travaux de recherche-développement de la Fondation ABC, l'IAPAR, au Paraná, du CIRAD-CA et partenaires dans les états du Centre Ouest (Mato Grosso, Goiás).

☞ Fonction des couvertures

☐ Le concept fondamental de pompe biologique

- Le premier principe de base de la gestion de la matière organique (M.O.), c'est de ne pas l'enfouir, mais de la laisser sur le sol.

- Mais les résidus de récolte, même lignifiés, de la culture annuelle, ne suffisent pas à maintenir une couverture permanente de la surface du sol en conditions climatiques chaudes et humides.

- Il faut donc, en plus de la culture commerciale, et dans la même saison de pluies, produire de fortes biomasses additionnelles appelées "pompes biologiques" (*base cellulose, lignine* ⁽¹⁾), au moindre coût ⇒ au plus égal ou inférieur à celui de la préparation mécanisée des sols.

- Ces biomasses additionnelles renouvelables, doivent être produites à des moments importants du cycle climatique annuel, où elles ont des fonctions essentielles :

- **en tout début des pluies** pour, préparer biologiquement le sol (*substitution de l'outil mécanisé*) avant l'installation de la culture commerciale (*par semis direct sur la biomasse*), protéger totalement la surface du sol (*contre l'érosion*), recycler les éléments minéraux (*ne rien laisser perdre des produits minéraux issus du pic initial de minéralisation de la M.O. aux premières pluies*), contrôler les adventices ; sous la culture commerciale, la biomasse a ensuite une fonction alimentaire par minéralisation progressive ⇒ alimentation organo-biologique de la culture (*de la matière organique morte à la matière organique vivante*).

- **en fin de cycle des pluies** pour, recycler les éléments minéraux et organiques qui ont échappé, en profondeur, à la culture commerciale (*fermer le système annuel sol-plante*), restructurer le profil cultural en voie d'assèchement et puissamment, en profondeur (*systèmes racinaires fasciculés*), laisser une forte biomasse au dessus du sol, à un moment où elle ne peut se décomposer (*saison sèche*) et protéger efficacement la surface du sol en saison sèche (*conditions plus stables d'humidité et température, ⇒ développement d'une forte activité biologique*) produire ou des grains (*résidus laissés sur le sol*) ou du fourrage ou de l'ensilage (*une partie étant laissée sur le sol ⇒ couverture*).

- Dans la pratique, si la saison de pluies, à une durée de 7 à 8 mois, ces biomasses peuvent être cultivées avant et après la culture commerciale ; si la saison des pluies est plus courte :

- 1/2 surface ⇒ semis précoce biomasse + semis direct tardif de la culture commerciale,

- 1/2 surface ⇒ semis direct précoce de la culture commerciale + semis direct tardif biomasse, en succession.

- Les espèces qui peuvent mobiliser de très fortes biomasses, en un temps très court et en conditions pluviométriques marginales, aléatoires ⇒ sorghos (race *guinea*), mils

(1) Composés de la matière sèche, les plus lents à se décomposer.

africains à fort développement végétatif ⁽¹⁾ qui sont adaptés à ces conditions (également variétés de mils à cycle long peu sensibles au photopériodisme utilisables pour la production de fourrage, ensilage en saison sèche tout en laissant aussi une quantité de matière sèche suffisante pour assurer la couverture complète du sol).

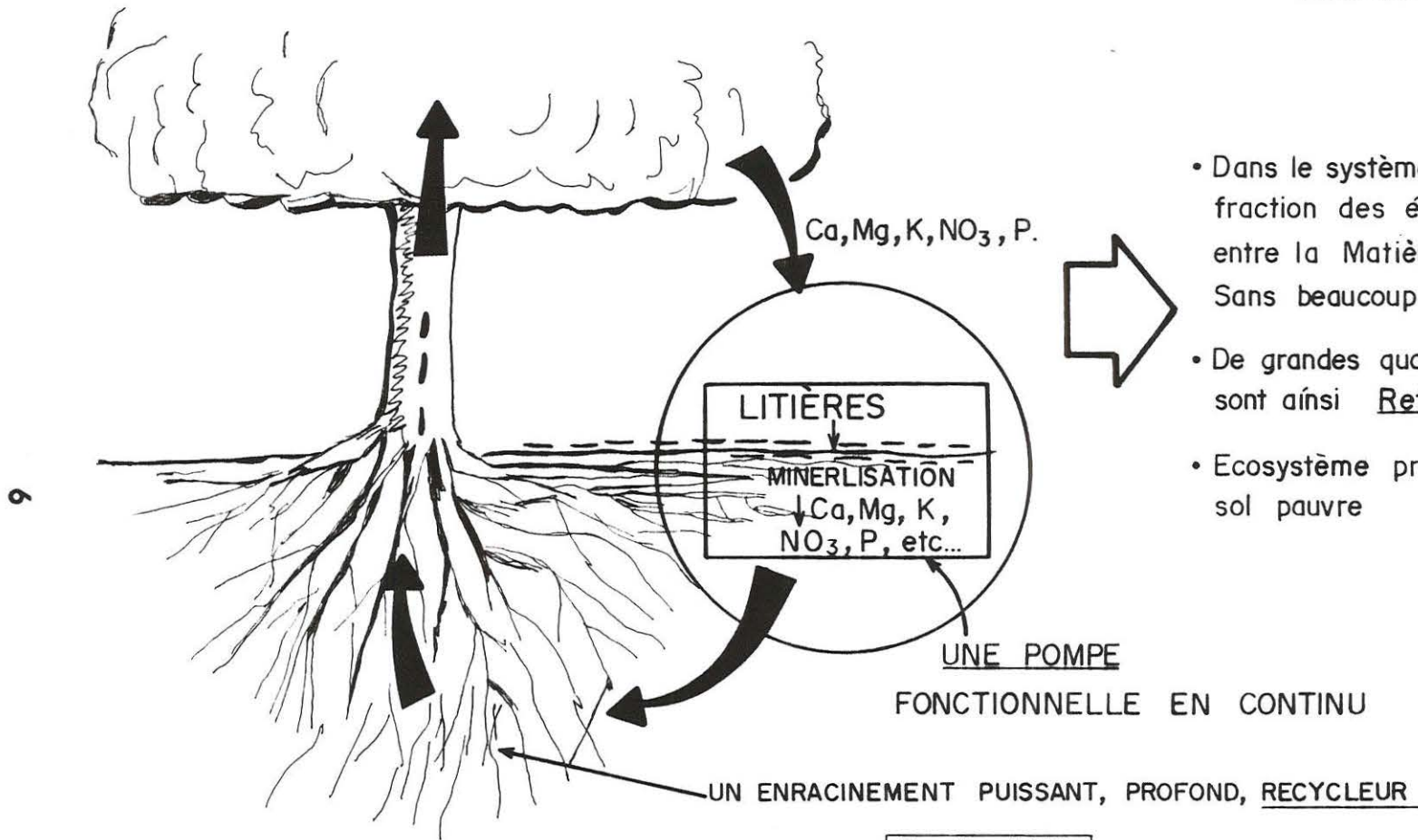
- Les légumineuses des genres *Crotalaria*, *Sesbania*, *Cajanus*, peuvent également être utilisées comme biomasse additionnelle, dans les successions annuelles avec les céréales telles que maïs, riz pluvial de haute technologie ; même si leur biomasse aérienne (feuilles surtout, à C/N très bas), n'assure qu'une couverture très fugace, leur fonction alimentaire pour la culture commerciale est très importante (fixation N, recyclage P, Ca, Mg, oligo éléments) de même que leurs effets racinaires très bénéfiques (structure du sol, contrôle des nématodes du genre *Meloidogyne* par les espèces *Crotalaria spectabilis*, *retusa*, en particulier)

☛ Voir les schémas pages suivantes qui illustrent ce concept -

- La forêt équatoriale : Un modèle de fonctionnement à reproduire pour l'agriculture.
- Système mainteneur de fertilité.
- La notion de pompe biologique.

⁽¹⁾ Le *Brachiaria ruziziensis* peut également, comme culture de succession des cultures commerciales (⇒ biomasse installée en semis direct, après la culture commerciale de soja), constituer une option très intéressante pour les producteurs de grains-éleveurs ; il peut être implanté par semis direct, en culture pure ou en association avec maïs, ou sorgho à grains de haute qualité (sans tanins, teneur élevée en protéines).

LA FORÊT ÉQUATORIALE OMBROPHILE → UN MODELE DE FONCTIONNEMENT A 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-
- De grandes quantités d'éléments fertilisants sont ainsi Retenus dans le système:
- Ecosystème productif et stable, même sur sol pauvre

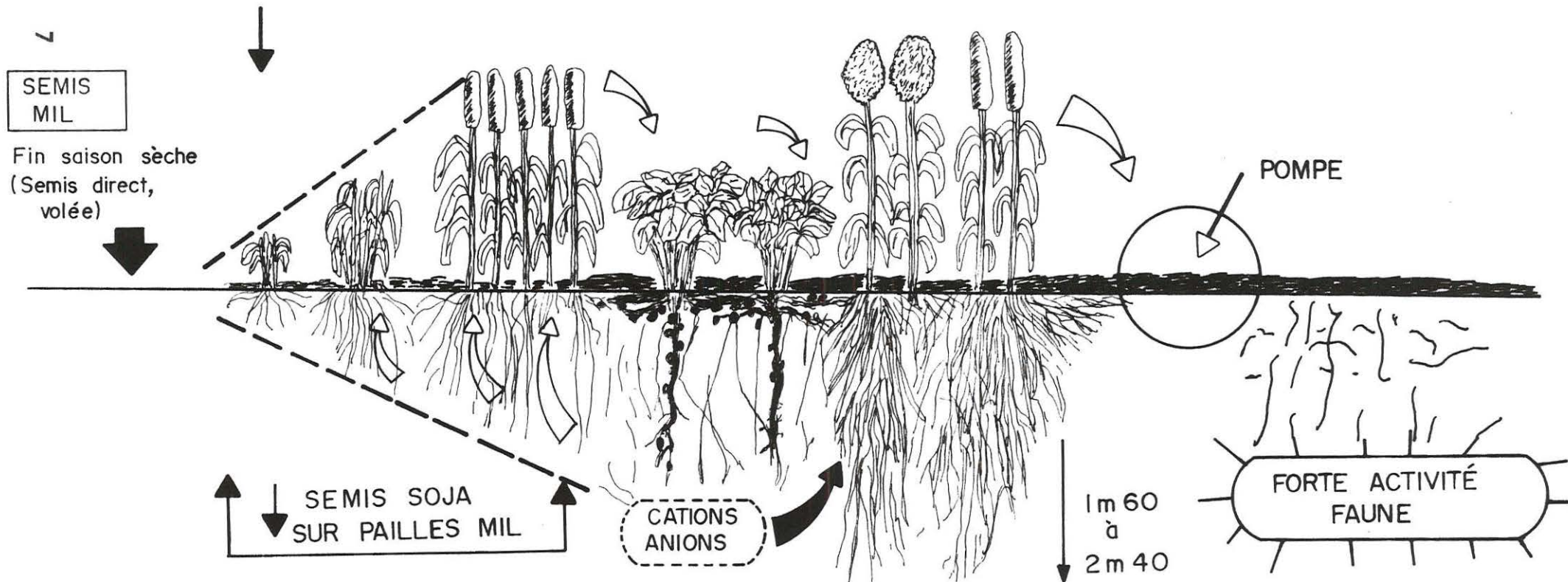
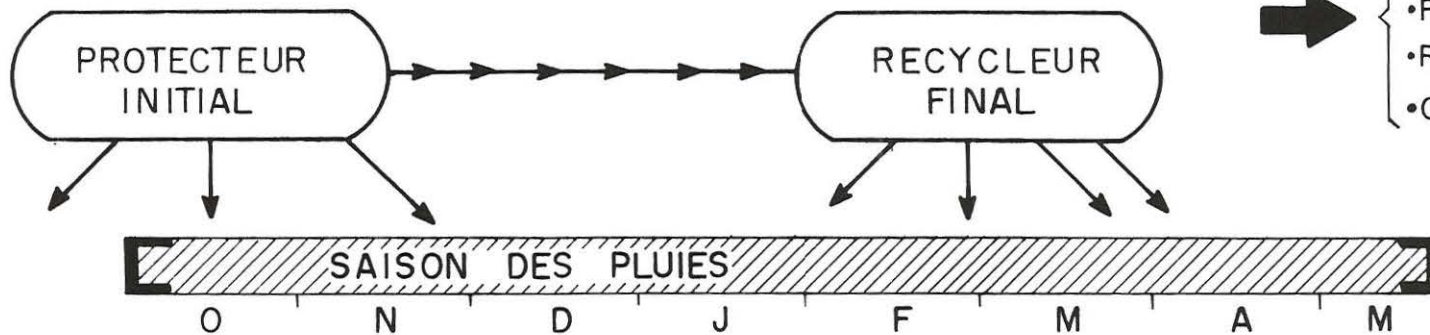
		Kg /ha / AN					
		Matiere sèche	N	P	K	Ca	Mg
• Matériaux dus à érosion pluviale	_____	—	12	3,7	220	29	18
• Litière	_____	10528	199	7,3	68	206	45
• Bois tombé	_____	11 200	36	2,9	6	82	8
• Décomposition racines	_____	2576	21	1,1	9	15	4
■ Total apporté	_____	24304	268	15	303	332	75
↳ % Biomasse totale	_____	(7)	(13)	(11)	(33)	(12)	(19)

SOURCE = NYE (1961)

"SYSTEME "MAINTENEUR DE FERTILITÉ"

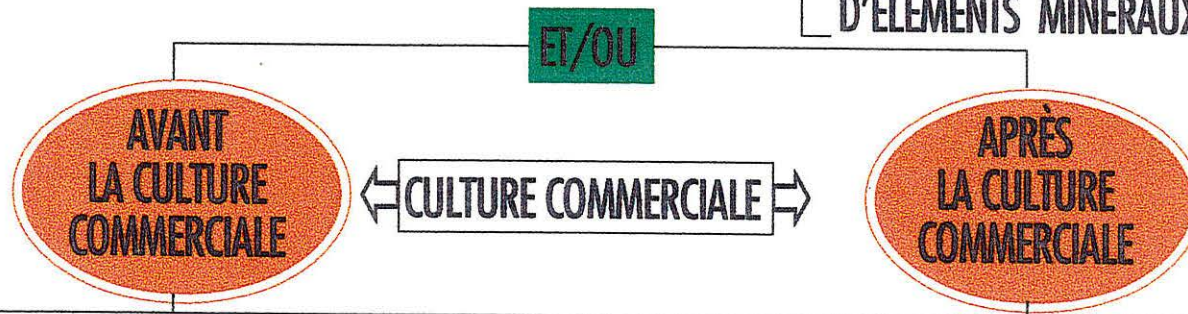
SUR CULTURE SOJA (*) - L. SEGUY, S. BOUZINAC - MT/1993.

- Etalement semis direct soja sur 50-60 jours
- Facilité
- Rendements Stables
- Capital-sol, totalement protégé



⇒ **LA NOTION DE POMPE BIOLOGIQUE**

- PROTECTRICE ET RESTRUCTURATRICE DU PROFIL DE SOL
- NOURRICIERE POUR LES CULTURES, RECYCLEUSE D'ÉLÉMENTS MINÉRAUX



PRODUCTION DE FORTES BIOMASSES, RENEUVELABLES, À MOINDRE CÔTÉ EN CONDITIONS CLIMATIQUES MARGINALES

FONCTIONS

AU DESSUS DU SOL

AU DESSOUS DE LA SURFACE

- Protection totale contre l'érosion
- Alimentation des cultures par minéralisation
- Contrôle des adventices
- Maintien et amélioration constante de la structure, de la vie biologique
- Recyclage profond des éléments minéraux en particulier, ceux non assimilables par les cultures commerciales
- Surface maximale d'interception des éléments minéraux

SYSTÈME SOL-CULTURE EN CIRCUIT FERMÉ



PERTE D'ÉLÉMENTS MINÉRAUX NULLE OU MINIMALE

☞ Quelles couvertures ?

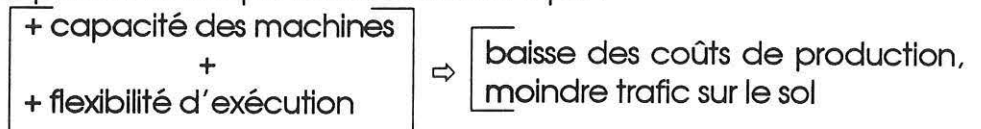
☐ Rappel -

Couverture ⇔ - Résidus de récolte de la culture commerciale (*seuls les grains sont exportés*), renforcés par une biomasse additionnelle, renouvelable, au moindre coût pour assurer avec efficacité les multiples fonctions de la couverture au dessus du sol et dans le profil cultural.

- Cette biomasse additionnelle, appelée "pompe biologique", remplace le travail mécanique du sol ⇔ *substitution du travail mécanique par le travail biologique = effets racinaires + faune + microflore associées.*

- Le coût de production de cette pompe biologique ne doit pas excéder le coût du travail mécanique.

- La technique d'implantation en semis direct de la pompe biologique doit être plus facile et plus performante que le travail mécanique :



☐ Le choix et la place des couvertures (*pompes biologiques*), dans la succession annuelle, est fonction des systèmes de culture pratiqués en semis direct.

1^{er} Cas - Les systèmes de production continue de grains -



(*) Fonction des objectifs agronomiques x économiques de l'agriculteur (*couverture du sol par exemple, contrôle des adventices au moindre coût, prix payés pour les productions, etc...*)

❖ **Pluviométrie entre 1 000 et 1 600 mm répartie sur 6-7 mois : les systèmes à base de coton**



2^o Cas - Les systèmes intégrés de "production de grains-pâturages", en rotation, tous les 3-4 ans-

❖ **Pluviométrie > 1 800 mm répartie sur 7-8 mois**



(*) Les systèmes intégrés "production de grain-pâturages", peuvent être également construits sur rotations de 4, voire 5 ans ⇨ assolements tournants sur la propriété, à l'exemple de la Fazenda Progresso de Mr. Munefume Matsubara - Lucas do Rio Verde, Mato Grosso.

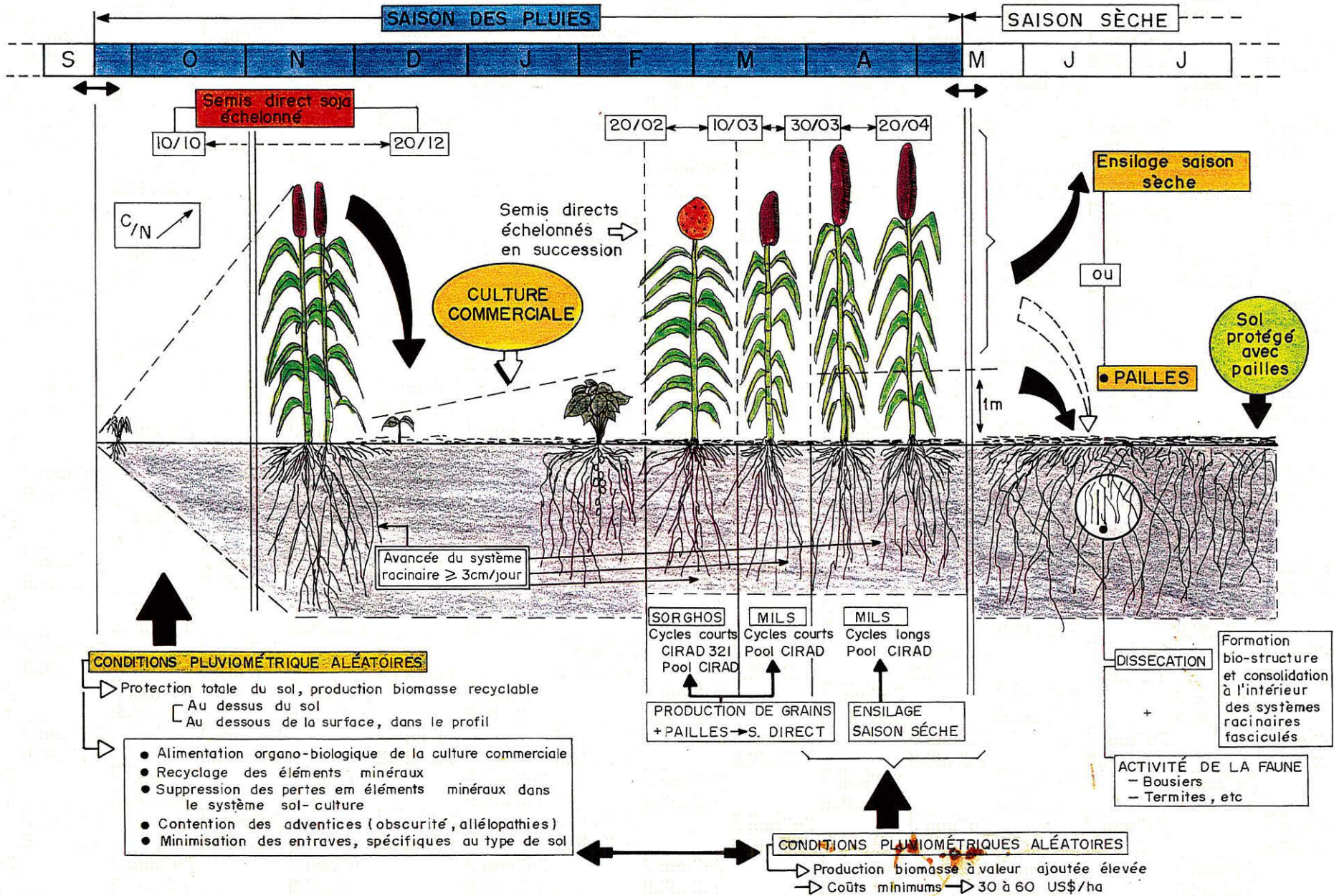
☞ Voir les schémas dans les pages suivantes qui illustrent la mise en pratique de l'utilisation des couvertures dans les successions annuelles, en semis direct :

- le cas du soja et de ses rotations
- systèmes à base de soja-élevage

- Comment fonctionne le semis direct ⇨ les cultures : une mini forêt
- Maximiser la capacité des équipements mécanisés et leur flexibilité d'utilisation
- Le systèmes de production de grains-élevage, en rotation tous les 3-4 ans.

➔ COMMENT FONCTIONNE LE SEMIS DIRECT? ➔ LES CULTURES = UNE MINI-FORÊT

• SOURCE: L. Seguy
S. Bouzinac
A. Trentini
CIRAD-1986/1994



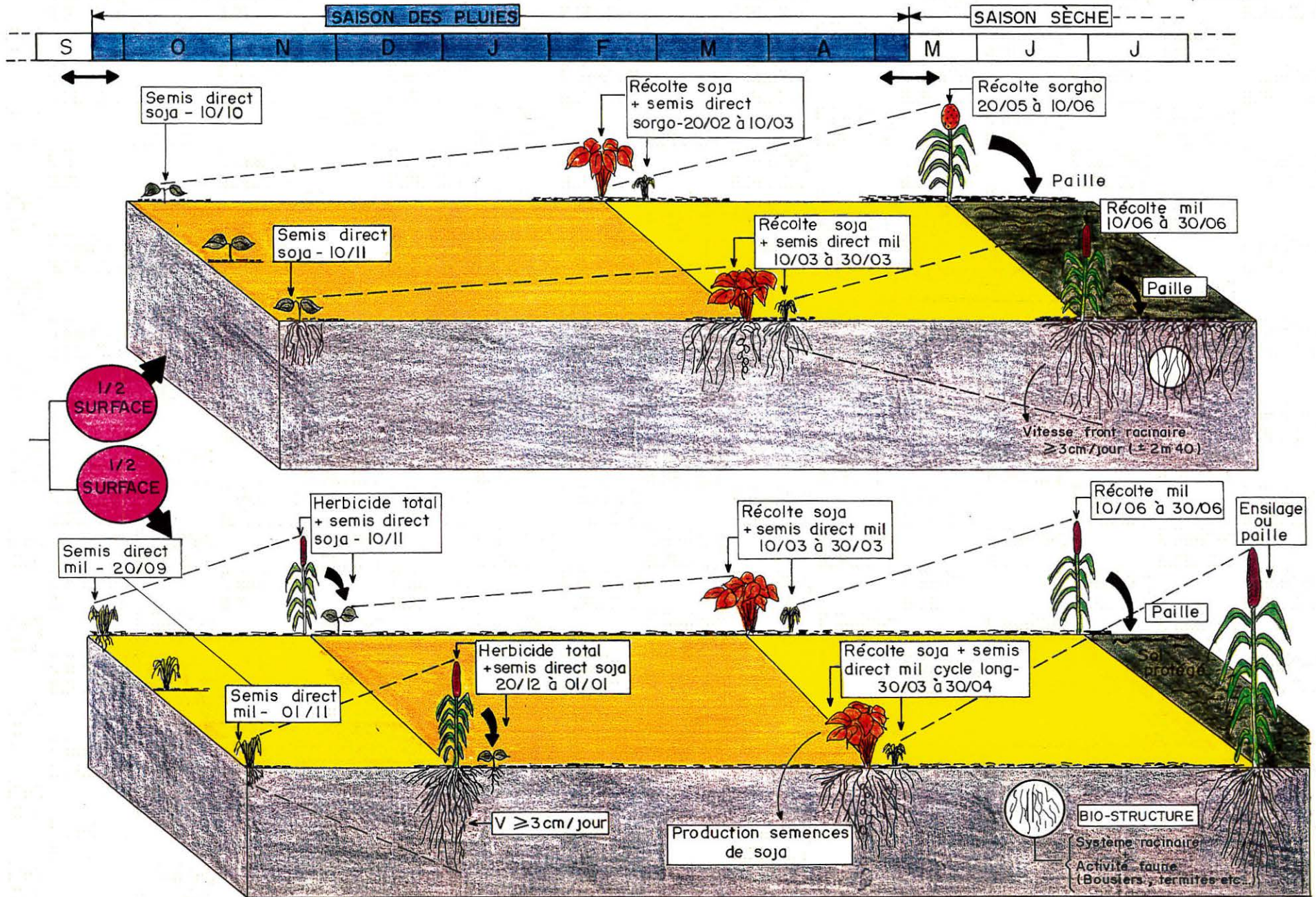


MAXIMISER LA CAPACITÉ DES ÉQUIPEMENTS MÉCANISÉS ET LEUR SOUPLESSE D'UTILISATION

• SOURCE: L. Seguy, S. Bouzinac, A. Trentini - CIRAD - 1986/ 1994

LE DOUBLE SYSTEME

Soja semis précoce + Cultures en succession
Mil + Soja semis + Mil Plus tardif } Ensilage paillage

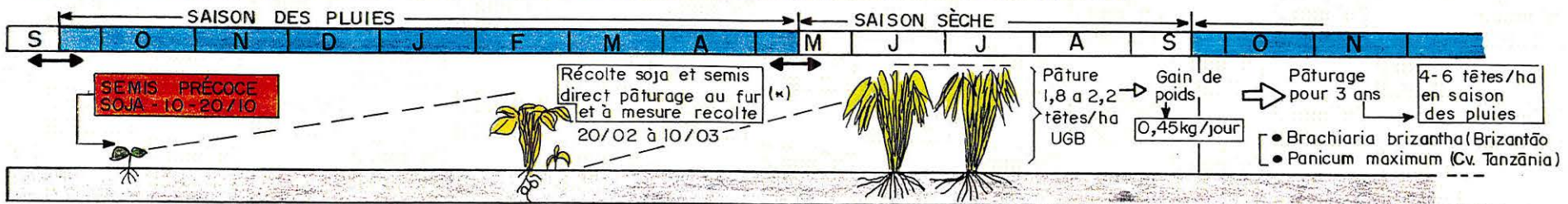


LES SYSTÈMES "PRODUCTION DE GRAINS - ELEVAGE" EN ROTATION, TOUS LES 3-4 ANS

• SOURCE: L. Seguy, S. Bouzinac, A. Trentin, CIRAD - 1986/1994

→ Profil de sol biologiquement plus actif, plus sain → Diminution des intrants chimiques → Meilleure valorisation des ressources naturelles
 → Création d'une bio-structure grumeleuse stable + Nutrition des plantes par voie Organo-Biologique de préférence

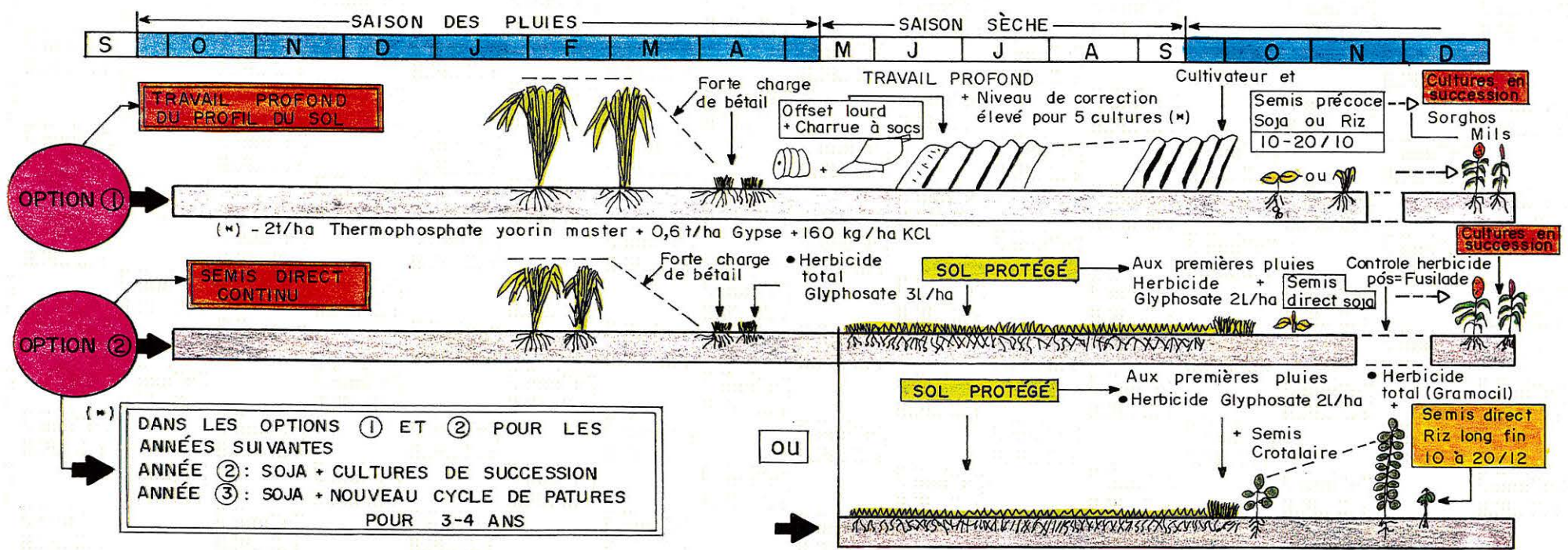
① - COMMENT PASSER DE LA CULTURE AU PÂTURAGE DANS LA MÊME ANNÉE AGRICOLE ?



(*) - L'implantation de Brachiaria brizantha est facile et excellente sur semis direct. Pour Tanzânia, préférence semer à la volée et passer offset léger (Semences de fourrages traitées au Thiabendazole + Thiram).

13

② - COMMENT PASSER DU PÂTURAGE À LA CULTURE ?



Comment semer les plantes de couverture ?

Mode de semis	Espèces (1)	Place dans la succession (2)		Kg/ha	Traitement de semences	Avantages	Limitations
		Avant culture commerciale	Après culture commerciale				
À la volée + léger discage	Sorghos	+	+	20	Fongicides (3)	- Permet renveler surface du sol	- Quantité élevée de semences - Trop forte densité pour production élevée de grains
	Mils	+	+	20			
	Crotalaires	-	+	30-40			
À la volée par avion dans soja, 25 jours avant maturation : 1 ^{er} feuilles jaunes	Sorghos	-	+	20-30	Fongicides (3) + Pelliculisation (4)	- Gains de temps - Moindre trafic sur le sol - Semis anticipé	- Nécessité de pluies suffisantes au semis - Hétérogénéité de la levée
	Mils	-	+	20-30			
	Crotalaires	-	-	-			
Semis direct en lignes	Sorghos	+	+	10-12	Fongicides (3)	- Densité semis idéale pour production grains et biomasse	Surface du sol trop dénivelée
	Mils	+	+	10-12			
	Crotalaires	-	+	15-20			

- (1) **Espèces**
- Sorghos races *Guinea*, *Kafir*, *Caudatum*, *Durra* (*)
 - Mil africains, indiens (*)
 - Crotalaires : *spectabilis*, *retusa* ⇒ efficaces pour le contrôle des nématodes (*genre Meloidogyne*)
 - *Cajanus*, *sesbanias*
- (*) Qualité de grains pour l'alimentation humaine (*sans tanins, teneur élevée en protéines*).

(2) + = recommandé ; - = non recommandé

(3) **Fongicides** ⇒ Tecto + Vitavax - Thiram = 200 g p.c. + 400 g p.c. / 100 Kg semences - (*Thiabendazole* + *Carboxin* + *Thiram*).

(4) **Pelliculisation** ⇒ Avec thermophosphate Yoorin (**200 à 300 g/Kg semences**) + adhésif (**gomme arabique**) + fongicide (*Tecto + Vitavax - Thiram*).

(*) **Attention** : dans le cas du semis direct **tardif** de coton sur biomasse de mil ou sorgho, renforcer la protection fongicide et semer :

- ou avant que la biomasse atteigne des quantités/ha de matière verte trop importantes ⇒ 35 à 50 jours après semis du sorgho ou du mil,

- ou , si la biomasse est très importante (sorghos guinea, mils de plus de 50-60 jours), dessécher à l'herbicide, et semer 7 à 10 jours après, en plaçant les semences à très faible profondeur : 2 à 4 cm.

(*) **Dans tous les cas**, appliquer, au moment du semis, 100 Kg/ha de sulfate d'ammoniaque à la volée sur la couverture, ou localisés sous la ligne de semis (1).

La paille des sorghos guinea est plus riche en fibres et lignine que la paille de mil entre 30 et 70 jours après le semis ; sa fermentation et sa minéralisation initiales (juste après semis direct de la culture commerciale) sont moins rapides que celle du mil et le risque d'accidents de levée par les attaques de champignons pathogènes est nettement diminué ⇒ la biomasse de sorgho guinea est donc à préférer à celle du mil, dans le cas du semis direct tardif des cultures sensibles aux champignons pathogènes à la levée, telles que le coton.

☞ Les conditions de réalisation technique du semis direct et les relations "semoir-biomasse de couverture-sol-semences"

(*) Une règle d'or applicable en toutes conditions pédoclimatiques tropicales : il est toujours préférable de couvrir le sol même avec peu de matière sèche jusqu'au semis, plutôt que de le maintenir propre par passages répétés d'engins à disques qui constituent toujours la pire des options.

⇒ Le semis direct précoce des cultures commerciales -

• Le semis direct ne pose jamais de problèmes techniques particuliers (excepté le choix du semoir qui doit être de semis direct), lorsqu'il est réalisé en semis précoce et qu'il intervient après une succession de cultures de l'année précédente.

Exemple :

Semis direct
précoce

⇒ Sur successions de l'année précédente qui peuvent être

- Soja + sorghos, mils
- Maïs + sorghos, mils (*)
- Maïs + crotalaire

(*) Biomasse la plus forte au dessus du sol, recommandée surtout en 1^{re} année de semis direct lorsqu'il est nécessaire de renforcer la couverture du sol et de refaire la structure du profil cultural en profondeur (systèmes racinaires fasciculés).

Au moment du semis direct précoce, aux premières pluies utiles, les pailles au dessus du sol, ont déjà subi une première fermentation (qui favorise le développement des champignons pathogènes) avec les pluies résiduelles de saison sèche et les premières pluies, et le semis s'effectue en conditions climatiques peu humides (phases d'alternances d'humidification - dessiccation du profil cultural), peu favorables à l'expression du pouvoir pathogène du sol (*Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Pythium*, etc...).

(1) Il arrive parfois que les pluies ne soient pas régulières en début de cycle ; dans ces conditions, la minéralisation de la couverture est très lente et sa fonction alimentaire réduite. Pour contourner ce problème surtout dans le cas de fertilisation à la volée, à base de thermophosphate non soluble, il est recommandé d'apporter une légère fumure minérale starter localisée sous la ligne de semis :
- 100 à 150 Kg/ha de formule type 4-20-20 pour les céréales (riz, maïs) et le coton ,
- 100 à 150 Kg/ha de formule type 0-20-20 dans le cas du soja.

(*) Cette règle s'applique au semis direct de toutes les cultures commerciales :
- soja, maïs, coton, riz pluvial de haute technologie, dès lors qu'elles reçoivent un traitement fongicide (base Tecto + Vitavax - Thiram ou autre).

De plus, l'application de 100 Kg/ha de sulfate d'ammoniaque sur la couverture de pailles est recommandée, ou juste avant ou juste après le semis de la culture commerciale pour compenser l'immobilisation fréquente de N en début de cycle et faciliter la croissance initiale de la culture (les 100 Kg/ha de sulfate d'ammoniaque peuvent être également localisés sous la ligne de semis).

⇒ **Le semis direct tardif, des cultures commerciales -**

Il intervient sur biomasse de sorghos guineas, mils, qui a été semée précocement, ou en saison sèche à l'occasion de pluies conséquentes proches du début de la saison des pluies (septembre), ou aux premières pluies utiles en octobre.

Le semis direct de la culture commerciale est alors tardif, et a lieu en saison des pluies déjà bien installée, avec de fortes chances d'affronter des conditions de sols très humides, voire saturées, qui favorisent à la fois :

- l'expression du pouvoir pathogène du sol à l'égard des semences en germination et plantules, avec la présence au dessus du sol de biomasse importante, fraîche qui va fermenter très rapidement (*accroissement des champignons pathogènes*) et qui, pour une partie est incorporée dans le sillon par le semoir, en contact direct avec les plantules en voie d'émergence (*fort accroissement du damping off sur coton par les champignons pathogènes dans ces conditions*).

- les argiles collent aux disques ouvreurs du sillon, entraînant des bourrages fréquents (*hétérogénéités de la levée, augmentation des temps de semis, donc des coûts*).

(*) La biomasse de sorgho guinea est à préférer à celle de mil dans ce cas de semis direct tardif, car, moins fermentescible, elle favorise moins les attaques de champignons pathogènes sur les plantules, en émergence.

Pour minimiser ces obstacles, appliquer les règles suivantes :

⇒ **Éviter :**

Trop peu de paille au dessus du sol

- Mauvaise couverture, peu durable du sol ⇒ contrôle insuffisant de l'érosion et des adventices, possibilité de formation de crôte de battance dès la levée, fonction alimentaire additionnelle peu importante.

Ce cas correspond à des biomasses de mils et sorghos, dont la durée de croissance est voisine de 35 jours -

→ Matière sèche ≤ 4 t/ha

Trop de paille au dessus du sol

- Difficulté de semis,

- Hétérogénéité à la levée,

- Fermentation des pailles avec augmentation forte du pouvoir pathogène du sol (*damping off sur coton, fonte de semis*).

Ce cas correspond à des biomasses de mils et sorghos, dont la durée de croissance active excède 50-60 jours.

→ Matière sèche > 10 t/ha ⇒ Fonctions des variétés de sorghos et mils utilisées.

⇒ **Respecter :**

□ Réaliser le semis direct de la culture commerciale sur une biomasse sur pied de 40 à 50 jours de croissances (*entre 4 et 8 t/ha de matière sèche*), desséchée sur pied ⁽¹⁾ ⇒ Glyphosate + 2-4 D ⁽²⁾ → 1,5 l/ha + 1,5 l/ha de produits commerciaux, en mélange.

⇒ **Appliquer**, comme dans le cas du semis direct précoce des cultures commerciales, 100 Kg/ha de sulfate d'ammoniaque à la volée sur la paille desséchée, juste après le semis, ou localisés sous la ligne de semis (*compensation de l'immobilisation de N, faciliter la croissance initiale*).

☛ **Voir, dans les pages suivantes, les schémas qui illustrent le fonctionnement des couvertures, dès le semis, et ses relations avec les flux hydriques, les pesticides, les adventices:**

- Modes de gestion du sol et flux d'eau ...
- Pouvoir pathogène du sol x semis précoce
- Pouvoir pathogène du sol x semis tardif
- Minéralisation des biomasses protectrices, recycleuses et alimentaires dans les systèmes de semis direct.
- Minéralisation des couvertures mortes : mil et sorgho guinea sous culture de cotonnier - Groupe Maeda 1997.
- Restitution minérale de 2 variétés de mil. Cooperlucas - MT - 1993/94.
- Contrôle des mauvaises herbes par les biomasses de sorghos, mils, dans le système de semis direct.
- Comment éliminer les repousses de coton dans les systèmes de semis direct continu de coton.

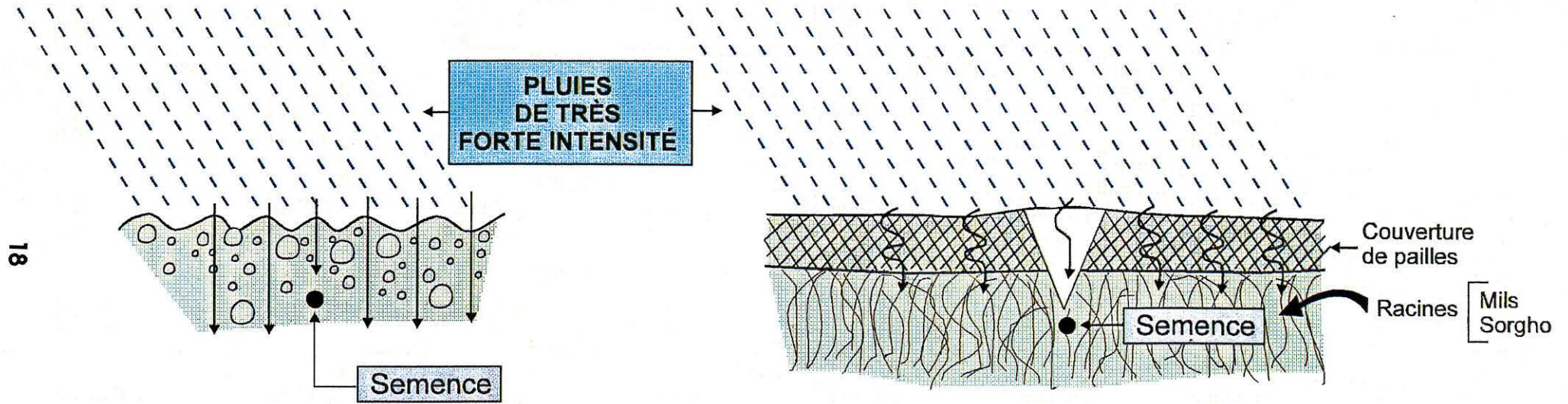
(1) Des études de gestion de la paille : sur pied, ou broyées en vert ou en sec avant semis direct sont actuellement en cours ⇒ Recherche de l'optimum technico-économique.

(2) Dans le cas du coton, application séparée des 2 matières actives :

- 1,5 l/ha 2-4 D, 20 jours après semis, de la biomasse (*mil, sorgho*).
- 1,5 l/ha Glyphosate juste avant semis direct du cotonnier (*dessication*)

MODES DE GESTION DES SOLS ET FLUX D'EAU DANS LES PREMIERS cm DU SOL

SOURCE: Séguy L. Bouzinac S., (CIRAD-CA) - 1995
Groupe Maeda



TRAVAIL DU SOL CONVENTIONNEL OU PROFOND

- Flux d'eau arrive rapidement au niveau de la semence
- Fort risque d'entraîner les herbicides de préémergence et pesticides
- Fort risque de Phytotoxicité

Sur la culture en Germination

SEMIS DIRECT DANS LA PAILLE

- Flux d'eau amorti par la paille + racines Mils Sorghos
- L'eau s'infiltré lentement
- Risque minimum de forte Phytotoxicité

POUVOIR PATHOGÈNE DU SOL x ITINÉRAIRES TECHNIQUES

1- SEMIS PRÉCOCE SUR

TRAVAIL PROFOND
COUVERTURE DE PAILLE (Semis direct)

AU NIVEAU DU PROFIL CULTURAL

AU NIVEAU DE LA GERMINATION ET DES CONDITIONS INITIALES DE CROISSANCE DES CULTURES

- ALTERNANCES HUMIDIFICATION-DESSICATION
- ↓
- PROFIL CULTURAL BIEN AÉRÉ, BIEN OXYGÉNÉ
- ↓
- DÉCOMPOSITION, MINÉRALISATION DES PAILLES
 - Rapide dans le profil
 - Lente au dessus du sol
 - Immobilisation temporaire N, P, K, bases, oligo-éléments

- POUVOIR PATHOGÈNE DU SOL, PEU AGRESSIF
- ↓
- TRAITEMENT CHIMIQUE DES SEMENCES → SÉCURISANT

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Coton • Soja • Maïs • Riz | <ul style="list-style-type: none"> • 17 g i. a. Thiabendazole (1)/100 kg semences • 80 g i. a. Carboxin (2) + 100 i. a. Thiram (3)/100 kg semences • 140 g i. a. Thiram (3) |
|--|--|

AU BRÉSIL

- (1) - Tecto 100 (200 g P. C./100 kg)
- (2)+(3) - Vitavax - Thiram 200 SC. (400 g P.C./100kg)
- (3) - Rhodiauram 700 (200g P.C./100kg)

POUVOIR PATHOGÈNE DU SOL x ITINÉRAIRES TECHNIQUES

2- SEMIS TARDIF

→ SEMIS DIRECT SUR

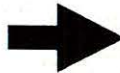
- Mils
- Sorghos

AU NIVEAU DU PROFIL CULTURAL

AU NIVEAU DE LA GERMINATION ET DES CONDITIONS INITIALES DE CROISSANCE DES CULTURES

20

- SOL FRÉQUEMMENT SATURÉ D'EAU
- PROFIL CULTURAL LOCALEMENT ET TEMPORAIREMENT RÉDUCTEUR, ASPHYXIANT
- DÉCOMPOSITION, MINÉRALISATION DES PAILLES RAPIDE AU DESSUS DU SOL (bonne aération) PAR CHAMPIGNONS DOMINANTS, BACTÉRIES



- POUVOIR PATHOGÈNE DU SOL TRÈS AGRESSIF

- GENRES
 - Aspergillus*
 - Eusarium*
 - Rhizoctonia*
 - Penicillium*
 - Rhizopus*
 - Colletotrichum*

■ TRAITEMENT CHIMIQUE DES SEMENCES → **INDISPENSABLE**

- Coton
- Soja
- Sorghos
- Mils
- Riz

- 20 g i. a. Thiabendazole (1)/100 kg semences
- 100 g i. a. Carboxin (2) + 100 i. a. Thiram (3)/100 kg semences
- 210 g i. a. Thiram (3)/100 kg semences

SOURCE: CIRAD-CA= Séguy L., Bouzinac S. - 1995
Groupe Maeda

AU BRÉSIL

- (1) - Tecto 100 (200 g P. C./100 kg)
- (2)+(3) - Vitavax - Thiram 200 SC. (500 g P.C./100kg)
- (3) - Rhodiauram 700 (300g P.C./100kg)

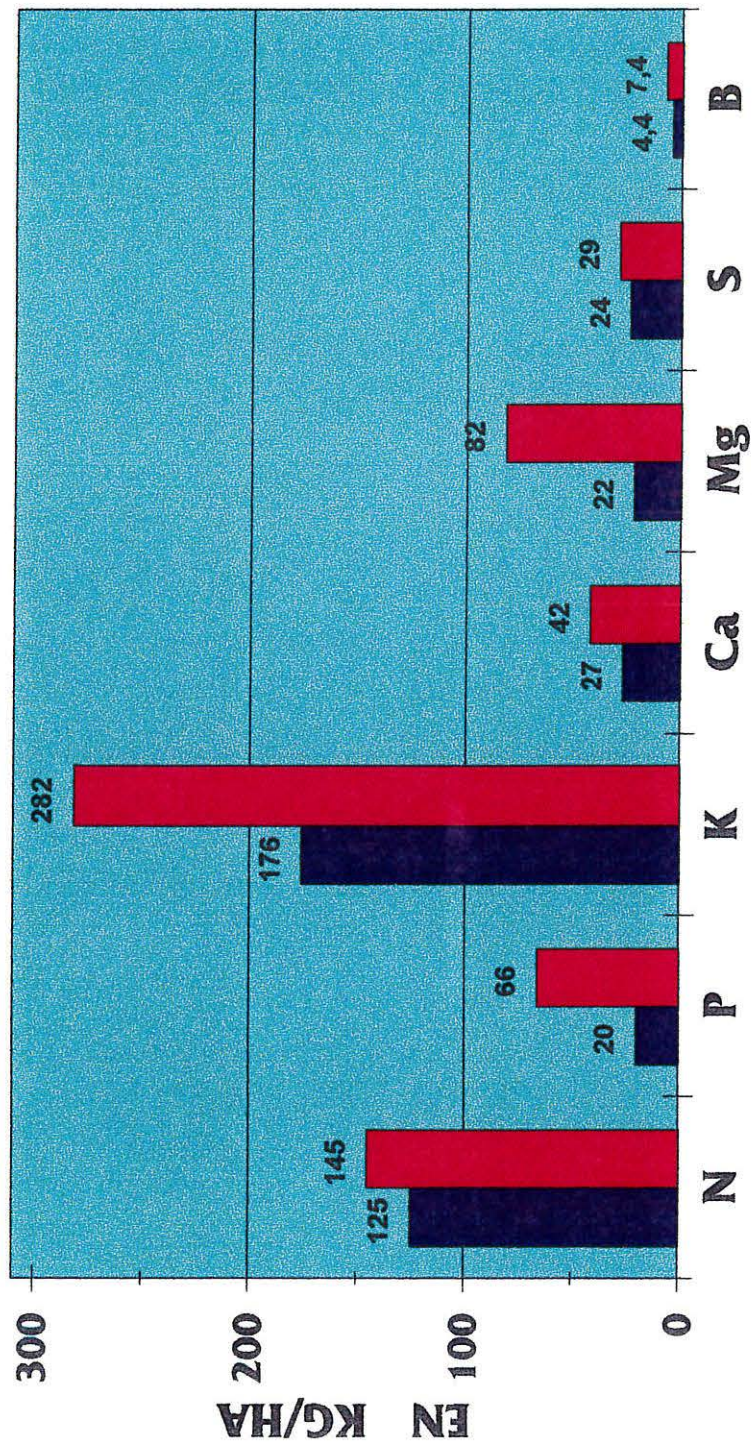
⇒ MINÉRALISATION DES BIOMASSES PROTECTRICES, RECYCLEUSES ET ALIMENTAIRES, DANS LES SYSTÈMES DE SEMIS DIRECT

Nature de la biomasse	Stade de développement (jours après semis)	Taux de minéralisation sous la culture (1)	Conséquence sur conduite de la culture commerciale (Coton, soja)
Mil	40-50 jours	1. > 60%	<p>- Apport N minéral au semis, à la volée ou sous la ligne de semis.</p> <p>• Quantité, d'autant plus importante que biomasse plus lignifiée :</p> <ul style="list-style-type: none"> - De 20 N/ha (1, 2, 4) à 30-40 N/ha (3, 5, 6) <p>• Renforcer N, dans les 30 premiers jours de croissance, systématiquement.</p>
	± 60 jours	2. 40 à 60%	
	± 90 jours	3. < 40%	
Sorgho	40-50 jours	4. 40 à 50%	
	± 60 jours	5. 30 à 50%	
	± 90 jours	6. < 30%	

(1) Estimations par mesure des différences de biomasse entre semis et récolte, seulement sur la biomasse au dessus du sol (non compris le système racinaire → 3-6 t/ha sur 1,50 m).

Source : L. Séguy, S. Bouzinac et al., - Cooperlucas - MT, 1994 et Groupe Maeda - GO, 1995/96.

**RESTITUTION MINÉRALE DE 2 VARIÉTÉS DE MIL
COOPERLUCAS - MT - 1993/94 -**



MIL FOURRAGER (10 T M.S./HA)
MIL SANYO (16 T M.S./HA)

**Minéralisation des couvertures mortes : mils et sorgho guinea sous culture de cotonnier
Sud de Goiás - Groupe Maeda 1997**

Éléments minéraux	Mil fourrager ⁽³⁾		Sorgho guinea ⁽³⁾	
	Quantité minéralisée	Quantité restante	Quantité minéralisée	Quantité restante
	(en Kg/ha) ⁽¹⁾	(en Kg/ha) ⁽²⁾	(en Kg/ha) ⁽¹⁾	(en Kg/ha) ⁽²⁾
N	69,0	30,0	47,0	31,0
P	3,4	0,4	4,1	0,5
K	97,0	2,9	41,0	28
Ca	5,6	11,4	7,7	15,3
Mg	8,2	1,8	5,9	3,3
S	3,0	0,9	3,0	1,9

(1) Différence entre éléments minéraux contenus dans la biomasse à la dessiccation juste avant semis direct et éléments minéraux restants dans la biomasse, 1 mois avant récolte du cotonnier.

(2) Éléments minéraux restants dans la biomasse, 1 mois avant récolte du cotonnier.

(3) • **Mil fourrager** = Biomasse sèche à la dessiccation = 3 830 Kg/ha. Biomasse restante = 1 360 Kg/ha (35%) - Taux de minéralisation sous cotonnier = **65%**.

• **Sorgho guinea** = Biomasse sèche à la dessiccation = 4 600 Kg/ha. Biomasse restante = 2 780 (60%) - Taux de minéralisation sous cotonnier = **40%**.

(*) **Source** : L. Séguy, S. Bouzinac

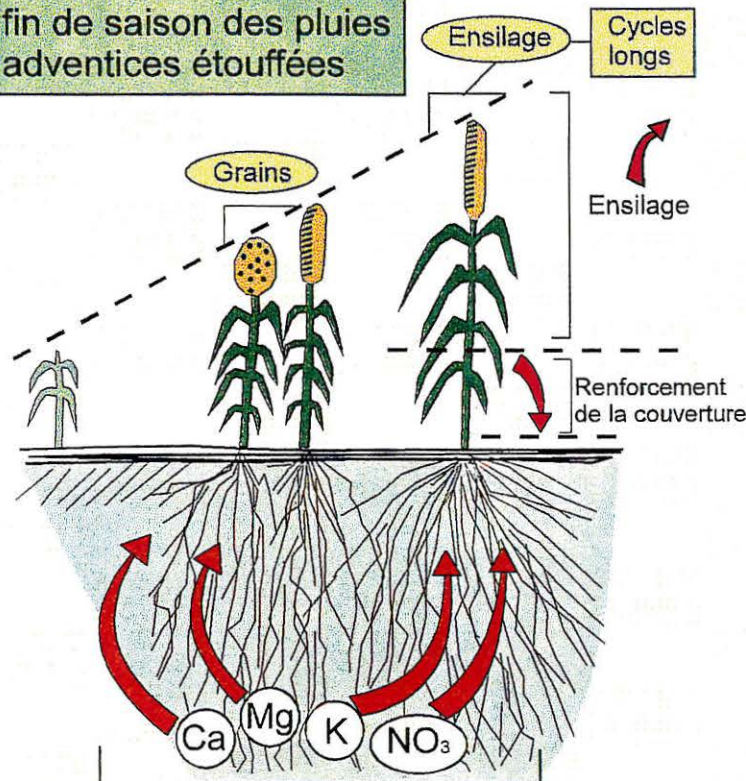
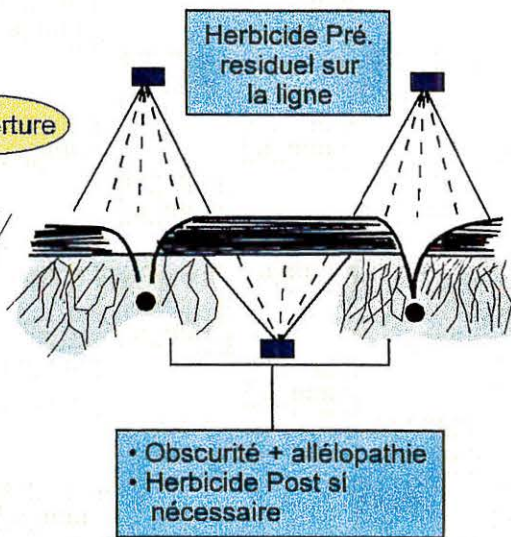
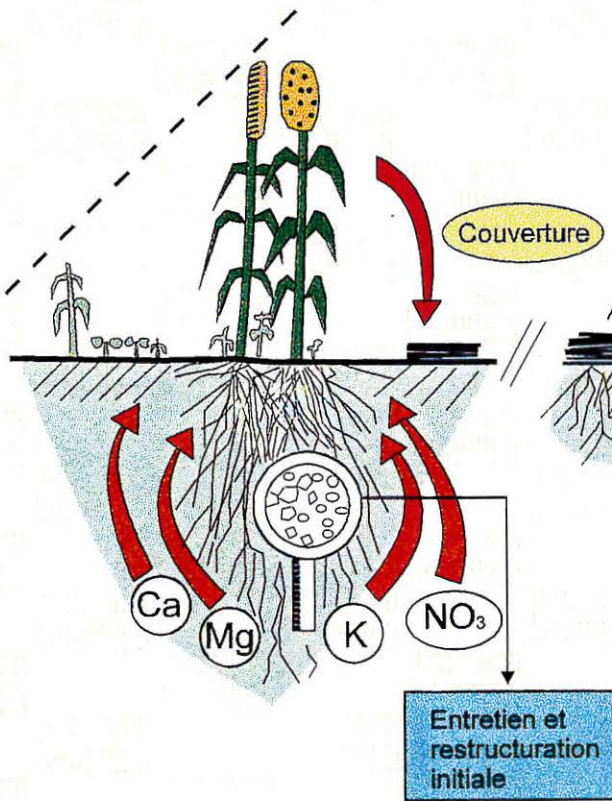
Grupo Maeda - Itumbiara - Go, 1997.

Et/ou, en fonction des conditions pluviométriques

Avant la culture commerciale, Sorghos et Mils étouffent les adventices

Semis direct de la culture commerciale, dessiccation et semis sur pied

Après la culture commerciale - fin de saison des pluies adventices étouffées



- Recyclage profond des éléments nutritifs
- Restructuration du profil cultural et consolidation de la stabilité structurale
- Protection superficielle
 - Régulation thermique
 - Contrôle des adventices
- Forte activité biologique
 - Systèmes racinaires + Faune

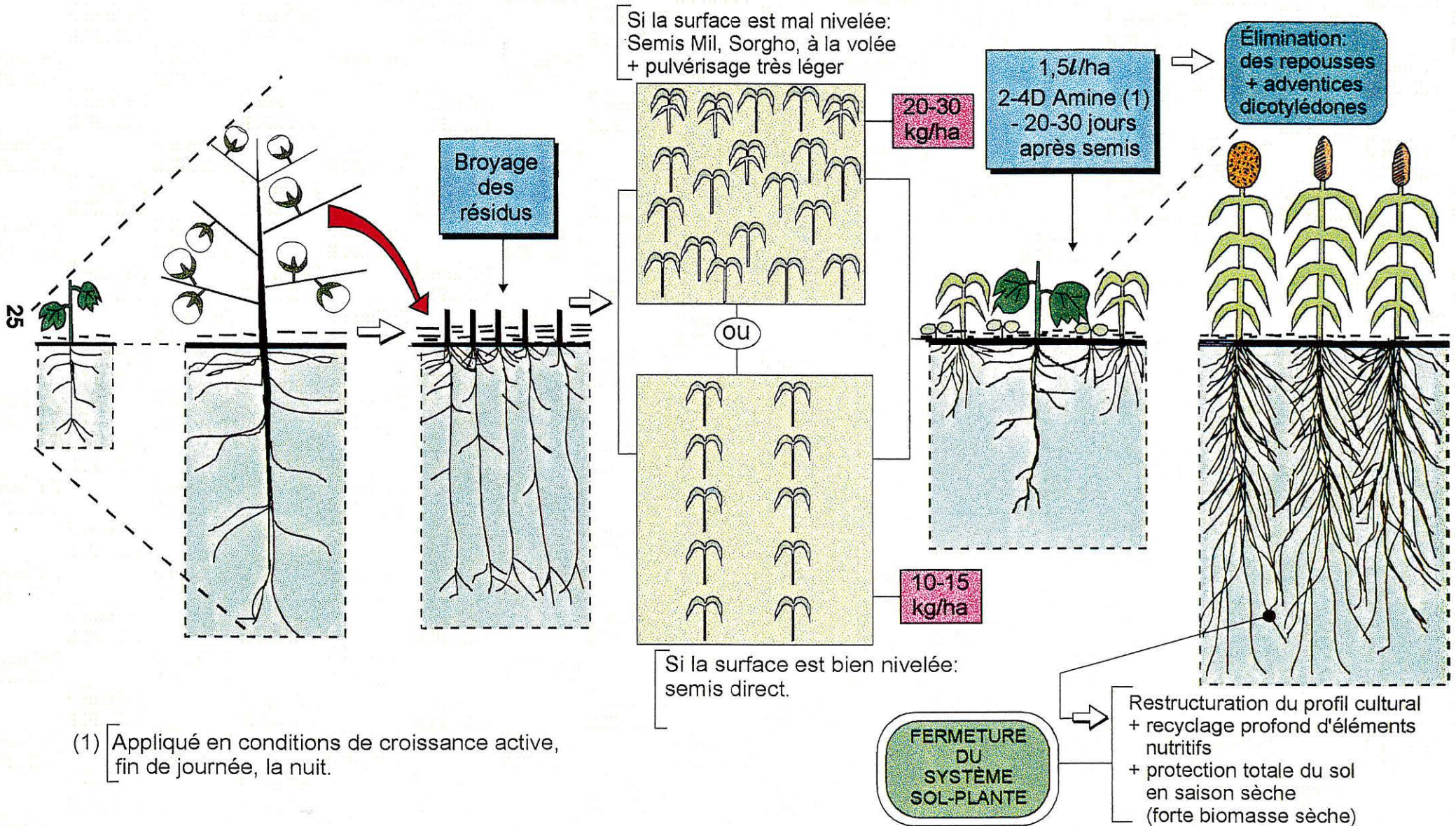
CONTRÔLE DES MAUVAISES HERBES PAR LES BIOMASSES DE SORGHOS, MILS, DANS LE SYSTÈME DE SEMIS DIRECT

• Source: Séguy L., Bouzinac S. e al., 1986-1995
Groupe Maeda

COMMENT ÉLIMINER LES REPOUSES DE COTON DANS LE SYSTÈME DE SEMIS DIRECT CONTINU DE COTON

1- Coton de semis précoce + Mil ou Sorgho Guinea, en succession

SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac
Groupe Maeda - 1995



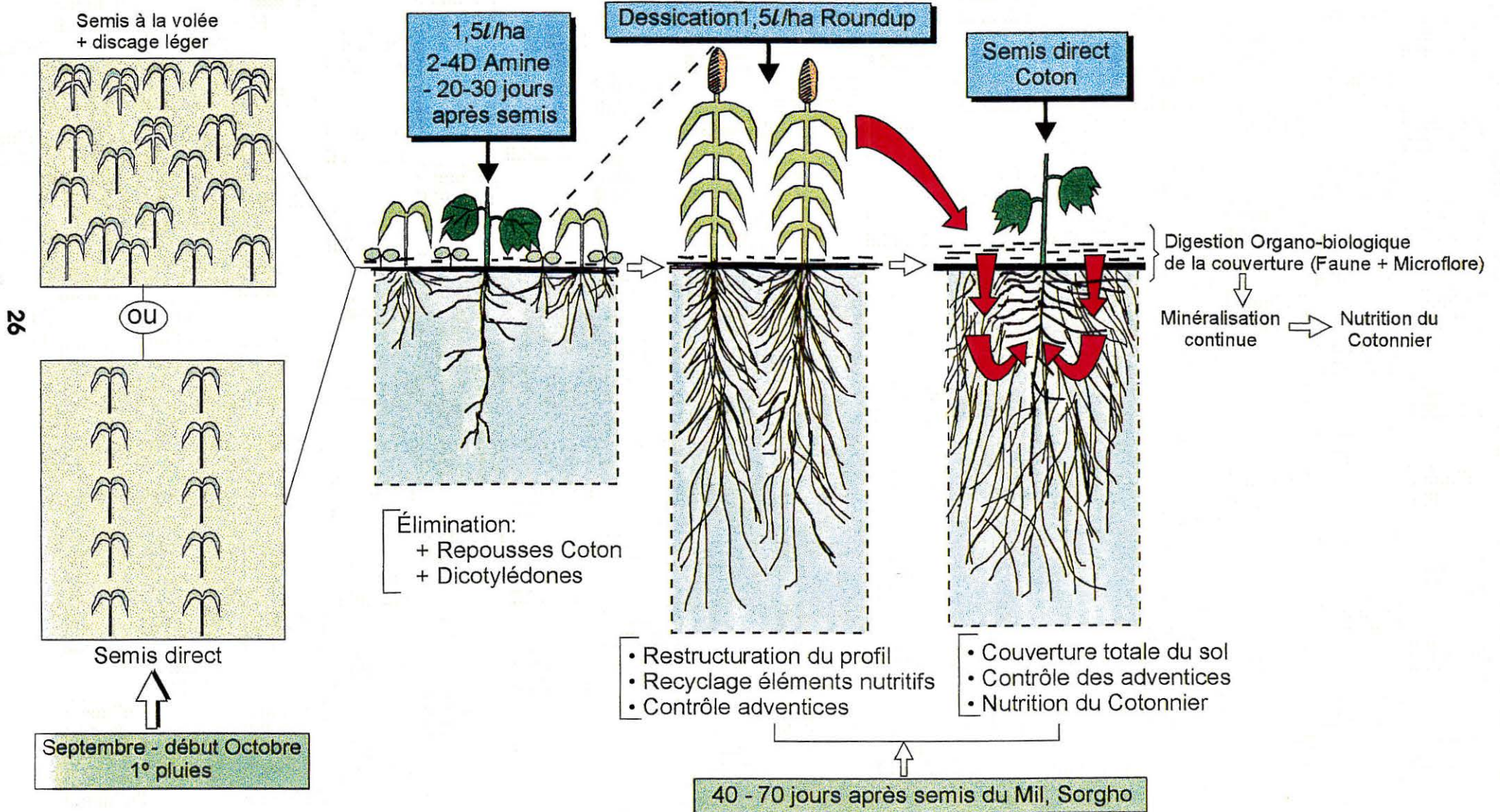
(1) Appliqué en conditions de croissance active, fin de journée, la nuit.

COMMENT ÉLIMINER LES REPOUSSES DE COTON DANS LE SYSTÈME DE SEMIS DIRECT CONTINU DE COTON

2 - Mil ou Sorgho Guinea

De semis précoce + Coton de semis plus tardif (20-25/11 - Goiás)

SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac
Groupe Maeda - 1995



☞ Performances agronomiques et coûts d'installation des pompes biologiques dans les successions annuelles pratiquées en semis direct

- **Facilité d'implantation, de multiplication** : sorghos, mils, crotalaires, *Brachiarias*, peuvent être implantés en semis direct avec de faibles quantités de semences/ha (*petites graines*) ⇒ leur pouvoir de multiplication est énorme et très rapide. Le matériel végétal est sélectionné en fonction de sa rusticité.

- **Leurs qualités** : les variétés sélectionnées de sorghos et mils, sont réservées en Afrique et en Inde, à l'alimentation humaine (*au total, plus de 35 millions d'hectares de sorghos et plus de 33 millions d'hectares de mil*) et sont donc d'excellente qualité alimentaire.

Ce sont des produits "nobles", souvent très riches en protéines (*certaines variétés de sorghos ont plus de 15% de protéines, riches en lysine, tryptophane*), sans tanins. Ils peuvent entrer dans la fabrication de pain (*20% de la farine*), biscuits, pâtes alimentaires, alcools fins (*vodka, whisky*), bière (Cf. annexes).

Ce sont donc des produits qui peuvent bénéficier d'une haute valeur ajoutée après transformation. Ils peuvent également, pour certains cultivars, les plus productifs en biomasse instantanée, à cycle long, peu ou pas sensibles au photopériodisme, servir à la fois pour l'ensilage en saison sèche (*ou pâturage direct*) et pour la couverture du sol.

- **Leur puissance recycleuse** ⇒ Les cultivars de mils les plus puissants peuvent recycler en 80 jours, dans leur matière sèche au dessus du sol, en Kg/ha :

- surtout de la potasse : 150 à 275 K, et également : 120 à 140 N, 15 à 60 P, 30 à 45 Ca, 15 à 80 Mg, 15 à 30 S/ha.

⇒ Leurs systèmes racinaires, descendent vers la profondeur, à la vitesse de 3 à 5 cm/jour, leur conférant ainsi, un pouvoir intercepteur et recycleur exceptionnel, avant le semis direct de la culture commerciale, et/ou après la culture commerciale en fin de cycle des pluies (*fermeture du système sol-plante, à l'image de la forêt ⇒ ne perdre aucun élément nutritif dans le système*).

- **Leur puissance alimentaire**, pour les cultures commerciales qui sont implantées sur leur matière sèche en semis direct.

⇒ Vitesse de minéralisation, donc la fonction alimentaire, dépend de la nature de l'espèce, de son rapport C/N au moment de la dessiccation avant semis direct de la culture commerciale.

⇒ À cet égard, plus la plante est âgée, plus la minéralisation est lente ; le sorgho se minéralise plus lentement que le mil, au même stade de développement ; les légumineuses se minéralisent très vite (*masse foliaire surtout*) ⇒ fonctions alimentaire et de couverture du sol, fugaces.

- **Leur coût d'implantation est faible**, voisin de 50 US\$/ha, aussi bien en début de cycle (*avant la culture commerciale*) qu'en fin de cycle des pluies, en succession de la culture commerciale. Ce coût est au plus égal (*plutôt inférieur*) à celui de n'importe quel mode de préparation mécanisée des sols.

- **Leur productivité** ⇒ en grains, pour les sorghos et mils en succession de la culture principale, va de 1 200 à plus de 2 000 Kg/ha jusqu'à plus de 3 000 Kg/ha pour certains sorghos, (*sans engrais*).

⇒ Avec une bonne valorisation commerciale, à la hauteur de leur qualité alimentaire, les marges dégagées (*en plus des fonctions agronomiques*) peuvent être très importantes, peu

inférieures à celles de la culture commerciale, avec un risque économique pratiquement nul.
⇒ Comme ensilage, certains cultivars de sorghos et mils, à cycle plus long et haute productivité instantanée, peuvent produire plus de 50-60 tonnes/ha de matière verte, en pleine saison sèche, au moment où les pâturages traditionnels chutent fortement de production.

□ **Les économies de carburant, l'amélioration de la capacité des équipements, de leur flexibilité d'utilisation** (⇒ *Vers la baisse des coûts de production*)

• Jusqu'au semis inclû, par rapport à n'importe quel mode de préparation mécanisée, le semis direct permet d'économiser, environ la moitié des temps de travaux.

• Le semis direct permet l'application des engrais minéraux, des fumures minérales d'entretien, des amendements, à la volée, sur la paille, en saison sèche (*période de non travail*) ; par rapport au semis conventionnel, où l'engrais est appliqué sous la ligne de semis, l'économie de temps en faveur du semis direct est d'environ 20%, de même que l'économie du prix de revient/ha, de l'opération semis.

• Le semis direct permet de maintenir l'humidité en surface, après les premières pluies, donc de semer plus tôt, en prenant un risque minimum.

• Lorsque le profil cultural est saturé d'eau, ce qui est fréquent dans ces écologies, une heure sans pluie, permet de reprendre le semis direct, sans incidence négative sur la productivité finale, alors qu'en semis sur sol préparé, la capacité de semis devient rapidement nulle (*trafic des machines de semis, impossible*), et un semis forcé dans ces conditions, conduit à une forte chute de la productivité des cultures.

□ **Performances agronomiques essentielles des successions annuelles, de production de grains, en semis direct**

• **Maintien de la productivité sur 40 à 60 jours d'étalement des semis -**

Cette règle est valable pour le soja, le riz pluvial, aussi bien en écologies humides de savanes (*cerrados*) que des forêts tropicales, sous forte pluviométrie (2 000 à 3 000 mm annuels) ⇒ le rôle protecteur et mainteneur de la fertilité initiale (*aux premières pluies*), dû à la pompe recycleuse (*mils, sorghos guinea*) qui précède le semis direct de la culture commerciale, est clairement démontré, reproductible : productivités de soja, riz, se maintiennent pratiquement stables sur près de 60 jours d'étalement des semis (*surtout avec une fumure phosphatée corrective de fort niveau, soit toute condition de fertilité non limitante qui donnent toute sa puissance à la pompe biologique*), alors que les productivités chutent de 20 à 60% entre la première date précoce possible de semis et 60 jours après, sur préparation mécanisée du sol conventionnelle, où le sol reste exposé à l'action des pluies et maintenu propre par discages répétés jusqu'au semis (*3-4 passages d'offsets sur 60 jours, en sol humide*).

• Pour la culture de riz pluvial de qualité (*grain long fin, équivalent ou supérieur en qualité au riz irrigué*), dans la succession annuelle crotalaire + riz pluvial en semis direct tardif, la pompe biologique *Crotalaria spectabilis*, permet d'obtenir des rendements de 4 000 Kg/ha, même en semis tardif (*décembre ⇒ 60-80 jours après les premières pluies utiles*), à condition que la crotalaire soit desséchée sur pied et le semis direct réalisé dans la crotalaire, également sur pied.

• En écologies moins humides (*écologie des forêts tropicales du Sud de Goiás, Nord de l'état de São Paulo = 1 200 - 1 600 mm annuels*), dans les systèmes de culture à base de

coton, le rôle protecteur et mainteneur de la fertilité par les biomasses recycleuses protectrices et alimentaires (*mils, sorghos guinea*) se confirme aussi et permet de réduire très nettement la chute de productivité du coton de semis direct tardif.

Au delà de la protection totale du sol contre l'érosion, ces systèmes de semis direct continu, permettent après 2 ou 3 ans de pratique continue, entre 1 200 et 3 000 mm de pluviométrie annuelle, d'augmenter de 20 à 50% les productivités moyennes (1) de soja, riz et coton obtenues avec les systèmes conventionnels, et de pouvoir gérer des objectifs de production interannuels plus stables, avec un minimum d'équipements ⇒ *baisse importante des coûts de production, amélioration de la capacité des équipements et de leur flexibilité d'utilisation.*

(1) Productivités reproductibles actuellement, dans les systèmes de semis direct :

- soja = 3 600 à 4 300 Kg/ha ;
- riz pluvial de qualité = 4 200 à 5 600 Kg/ha ;
- coton = 2 800 à 3 300 Kg/ha.

☛ Voir, dans les pages suivantes, les schémas et graphiques qui illustrent les performances des pompes biologiques dans les successions annuelles pratiquées en semis direct :

■ **Règles générales de fonctionnement du profil cultural sous semis direct -**

- Gestion de la fertilité en conditions économiques limitantes, par le semis direct ou comment mieux maintenir, utiliser, valoriser les ressources naturelles.
- Fonctionnement du profil cultural, sous systèmes de semis direct, en zone tropicale humide.
- Rôle de la matière organique du sol, dans les systèmes de semis direct en régions tropicales chaudes et humides.

■ **Productivité et performances économiques des systèmes de culture**

• **Le cas des écologies des cerrados et forêts humides sous forte pluviométrie du Centre Nord Mato Grosso (2 000 à 3 000 mm sur 7 mois et demi)**

- Productivité du soja, en fonction : de la date de semis, du niveau de correction du sol, du mode de travail du sol.
- Productivité du riz pluvial en fonction : de la date de semis, du niveau de correction du sol, du mode de travail du sol.
- Productivités des rotations - Le cas des systèmes de culture à base de soja et riz pluvial.
- Performances économiques réelles et simulées 1992/95, des systèmes de culture à base de soja et riz pluvial.
- Performances des systèmes de culture en milieu réel, chez quelques agriculteurs pilotes - 1993/96. (*Résultats d'enquêtes en écologies des cerrados et forêts humides du Centre Nord du Mato Grosso*).
- Indices zootechniques comparatifs entre élevage traditionnel et élevage en rotation avec la production de grains pratiquée en semis direct - Centre Nord du Mato Grosso.
- Temps de travaux (h/ha), comparés pour les divers modes de travail du sol et semis - Fazenda Progresso - 1989 - Centre Nord du Mato Grosso.
- Coûts d'installation de la pompe biologique mil avant semis direct du soja, comparés à ceux des modes de préparation des sols - Centre Nord du Mato Grosso.

• **Le cas de l'écologie des forêts tropicales du Sud de Goiás et du Nord de l'état de São Paulo (1 200 à 1 600 mm sur 7 mois)**

- Productivité du coton (cv. Delta Pine) de semis précoce - Fazenda Canadá
- Productivité du coton (cv. IAC 22) de semis précoce - Fazenda Recanto
- Productivité du coton (cv. Delta Pine) de semis tardif - Fazenda Recanto - 1995/96
- Productivités et indices de ramulose et de vermelhão sur divers cultivars de coton en semis direct précoce après 2 précédents - Fazenda Recanto - 1995/96
- Performances économiques de la culture de coton sous divers modes de gestion du sol et des cultures - Fazenda Recanto - 1994/95 et 1995/96 - GO
- Performances économiques de la culture de coton (cv. Delta Pine) en semis précoce, sur divers modes de gestion du sol - Fazenda Canadá - GO - 1995/96

☛ **Règles générales de fonctionnement
du profil cultural sous semis direct
(L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA)**

□ **GESTION DE LA FERTILITÉ EN CONDITIONS ÉCONOMIQUES LIMITANTES, PAR LE SEMIS DIRECT
OU
COMMENT MIEUX MAINTENIR, UTILISER, VALORISER LES RESSOURCES NATURELLES.**

1. **En ne laissant rien perdre dans le système sol-plante** ⇒ **Modèle de fonctionnement = L'écosystème forestier**
En récupérant les éléments nutritifs lixiviés en profondeur, hors de portée des cultures en système conventionnel.

⇒ **Fonctions assurées par le semis direct**

- Protection totale contre l'érosion ⇒ Couvertures mortes, vives.
- Recyclage profond chaque année ⇒ Avant et/ou après chaque culture.
- Interception des éléments nutritifs ⇒ Plantes à stolons et rhizomes, systèmes racinaires fasciculés.

2. **En extrayant du complexe absorbant des éléments nutritifs inassimilables pour les cultures commerciales**,
 En régénérant la fertilité par plantes capables de produire des biomasses, sans engrais, en conditions de fertilité
 totalement limitantes pour les cultures commerciales (→ excréations racinaires).

⇒ (ex.) **Le mil** pour sa capacité à extraire et recycler **K, B** en sol ferrallitique du Brésil (**Source** : CIRAD-CA Brésil)

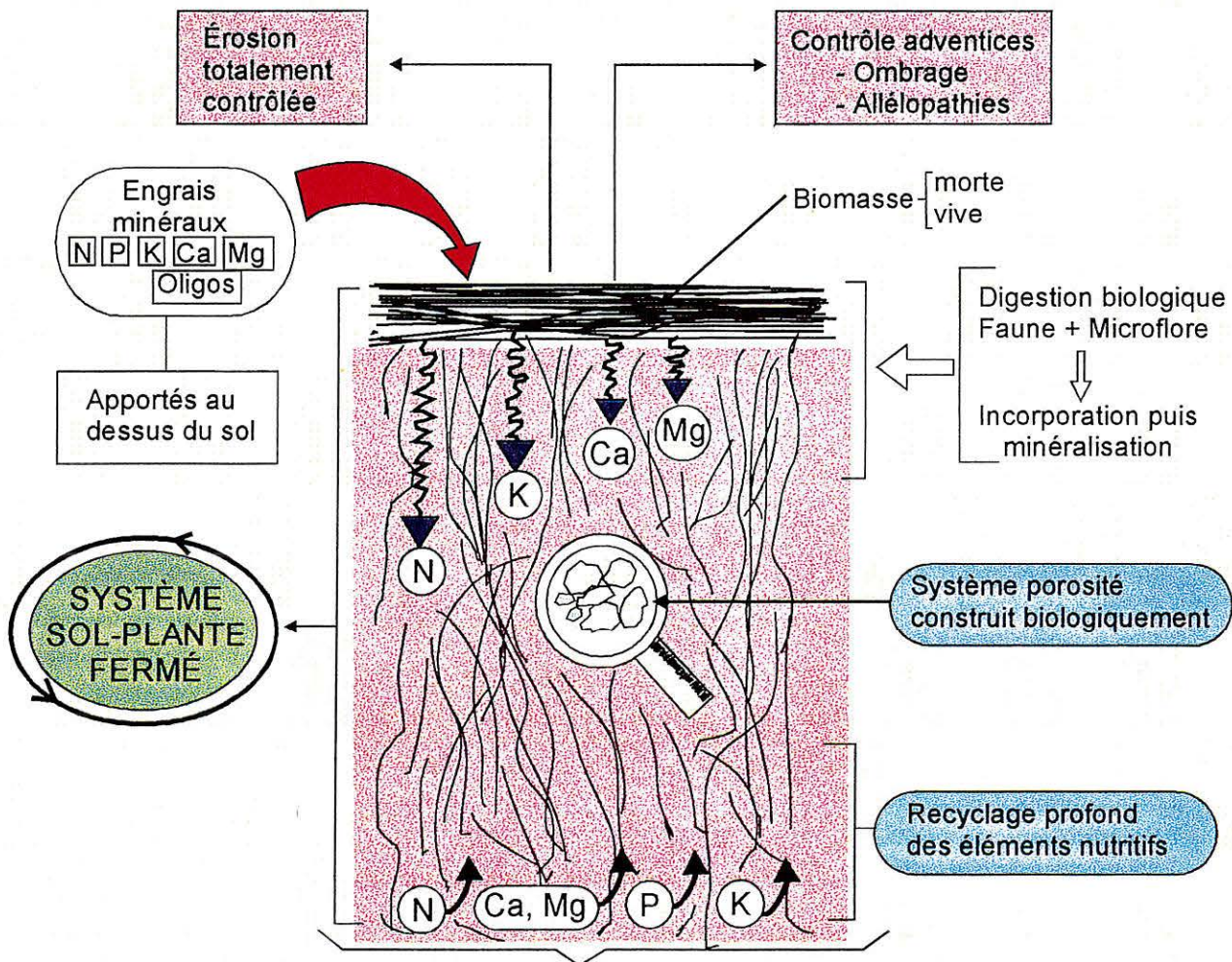
Cassia rotundifolia pour sa capacité à régénérer la fertilité des sols ferrallitiques sur socle acide des hauts plateaux
 de Madagascar (**Source** : CIRAD-CA, FAFIALA, TAFA).

3. **En créant des conditions de production rentables et reproductibles, même en présence de pestes végétales** très
 préjudiciables aux cultures commerciales : *Striga*, *Cyperus rotundus*, *esculentus*.

⇒ Semis direct sur couvertures [ombrage , allélopathies] (ex.) → *Pueraria*, *Calopogonium m.*, sur *Striga h.*, en Côte d'Ivoire
 (**Source** : H. Charpentier - CIRAD-CA).

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

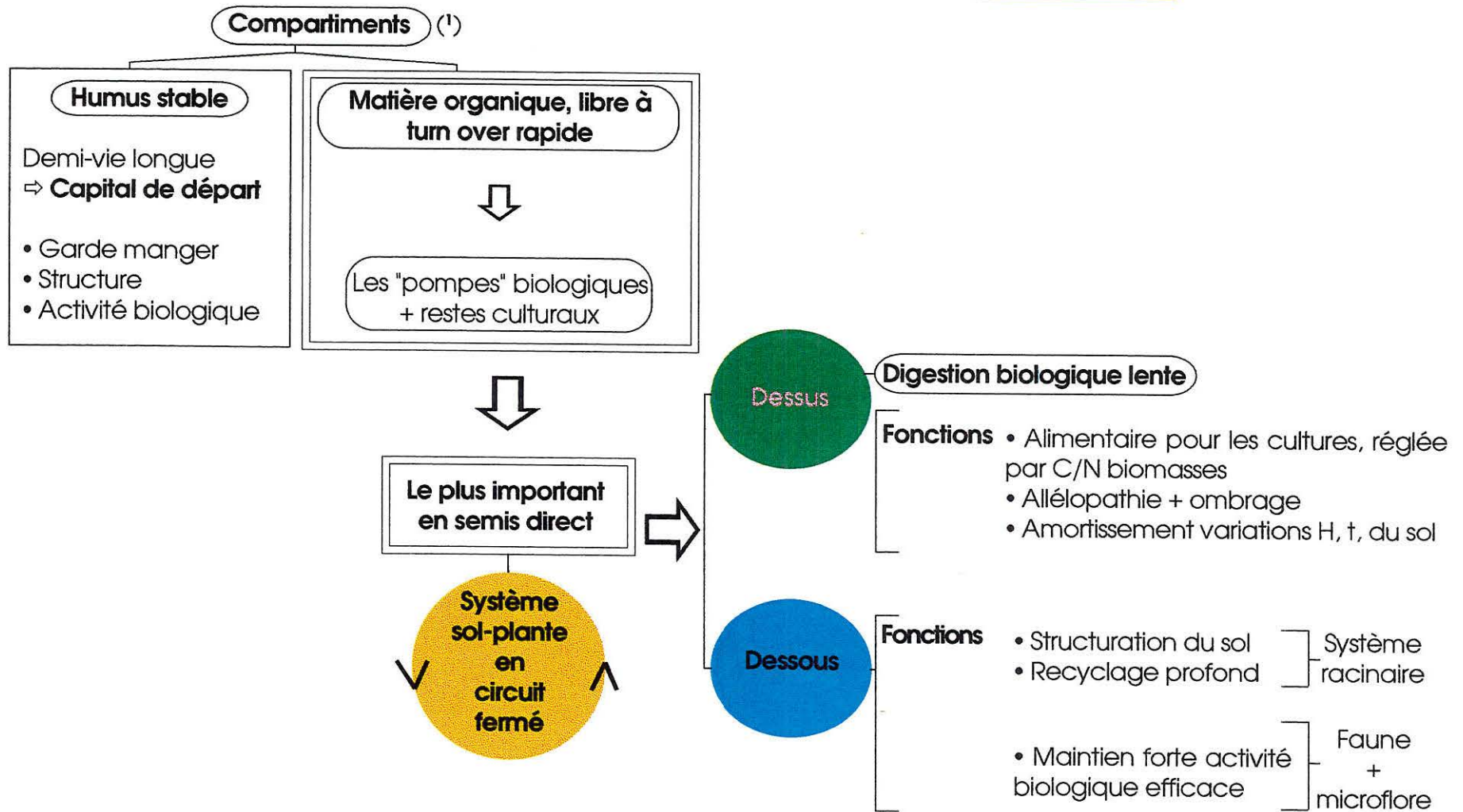
→ Alimentation cultures → De M. O. morte à M. O. vivante avec peu d'échanges avec sol minéral

- 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

⇒ **RÔLE DE LA MATIÈRE ORGANIQUE DU SOL, DANS LES SYSTÈMES DE SEMIS DIRECT EN RÉGIONS TROPICALES CHAUDES ET HUMIDES**



(1) **Simplifiés**

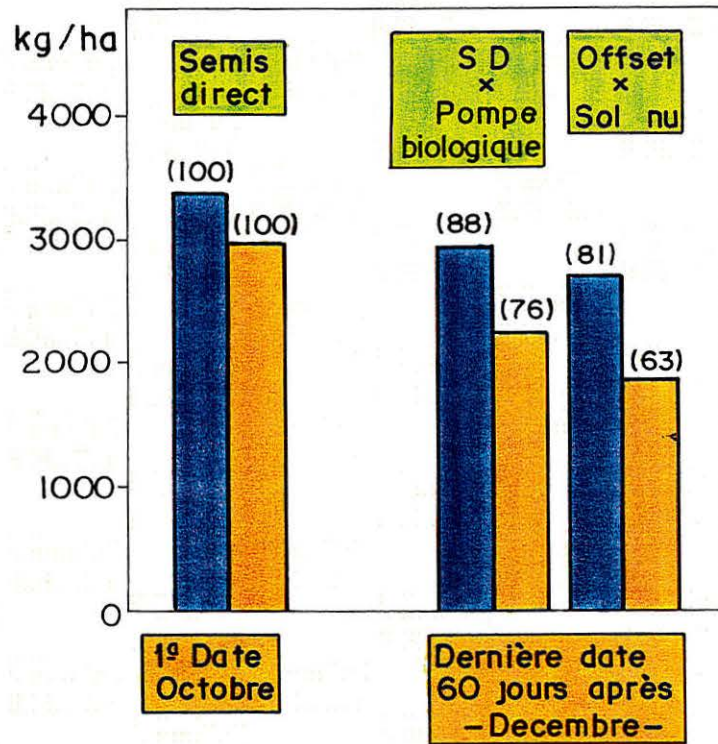
Source : L. Séguy, S. Bouzinac et al., Fronts pionniers du Mato Grosso - 1990-96

**Productivités et performances économiques
des systèmes de culture**
*Le cas des écologies des cerrados et forêts humides
sous forte pluviométrie du Centre Nord Mato Grosso
(2 000 à 3 000 mm sur 7-8 mois)*

(*) Partenaires du CIRAD-CA
RHODIA AGRO
EMBRAPA/CNPAF
Producteur MUNEFUME MATSUBARA
COOPERLUCAS
COMICEL
EMPAER-MT

PRODUCTIVITÉ DU SOJA, EN FONCTION:

- De la date de semis
- De niveau de correction du sol
- Du mode de travail du sol



- Niveau fort de correction
- Niveau progressif de correction

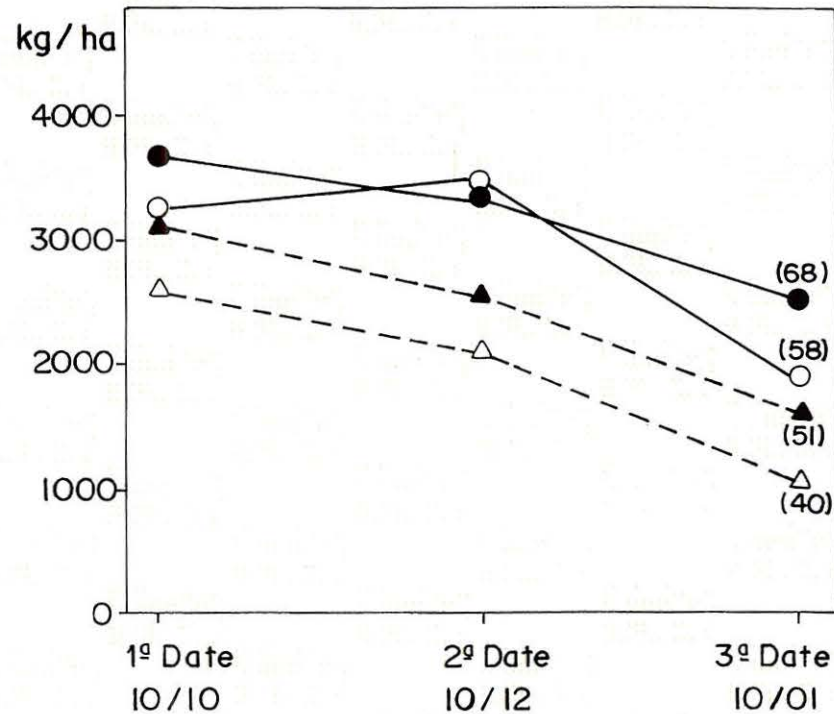
() Productivités relatives

- Écologies des forêts et cerrados humides
- (*) Moyenne de 4 essais conduits en conditions d'exploitation réelles → 70 ha Sinop et Lucas do Rio Verde - MT - 1994

SOURCE: [L. Ségué, S. Bouzinac, (CIRAD-CA), A. Trentini, (COOPERLUCAS) - 1994.

PRODUCTIVITÉ DU SOJA, EN FONCTION:

- De la date de semis
- De niveau de correction du sol
- Du mode de travail du sol



- Niveau de correction fort } Semis direct sur Pompe biologique Mil
- Niveau progressif de correction }

- ▲---▲ Niveau fort de correction } Offset x Sol nu
- △---△ Niveau progressif de correction }

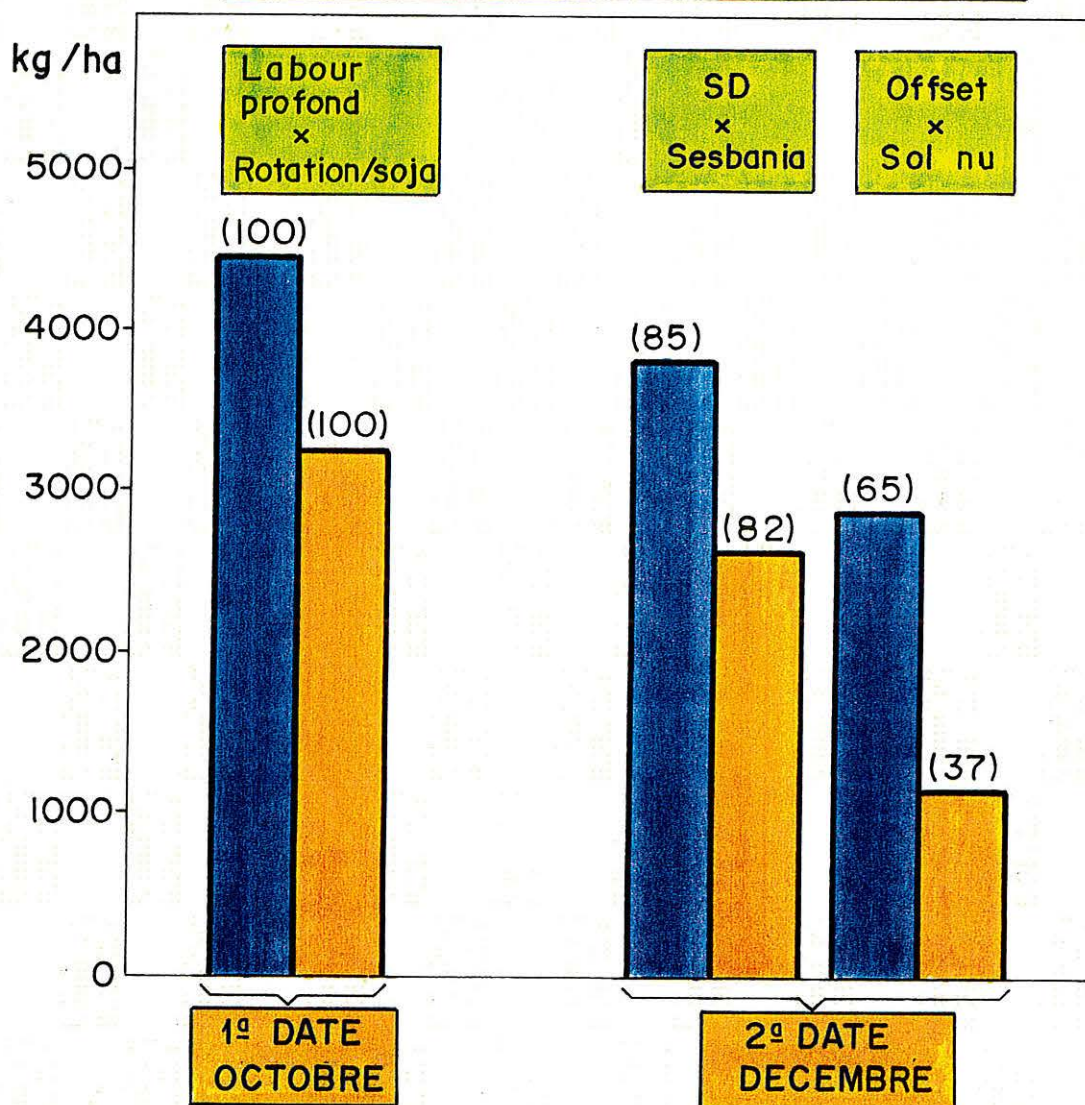
() Productivités relatives

- Écologies des forêts tropicales humides
- (*) Essais sur 20 ha, conduits en conditions d'exploitation réelles. Sinop-MT - 1994

SOURCE: [L. Ségué, S. Bouzinac, (CIRAD-CA), A. Trentini - (COOPERLUCAS) - 1994

PRODUCTIVITÉ DU RIZ PLUVIAL EN FONCTION:

- De la date de semis
- Du niveau de correction du sol
- Du mode de travail du sol



- Niveau fort de correction
- Niveau progressif de correction
- () Productivités relatives
- SD - Semis direct

- Écologies des forêts et cerrados humides
- (*) Moyenne de 4 essais conduits en conditions d'exploitation réelles → 100 ha
- Sinop et Lucas do Rio Verde MT - 1994

SOURCE: [L. Séguy, S. Bouzinac et al., 1994
CIRAD - CA + COOPERLUCAS]

PHASE 3

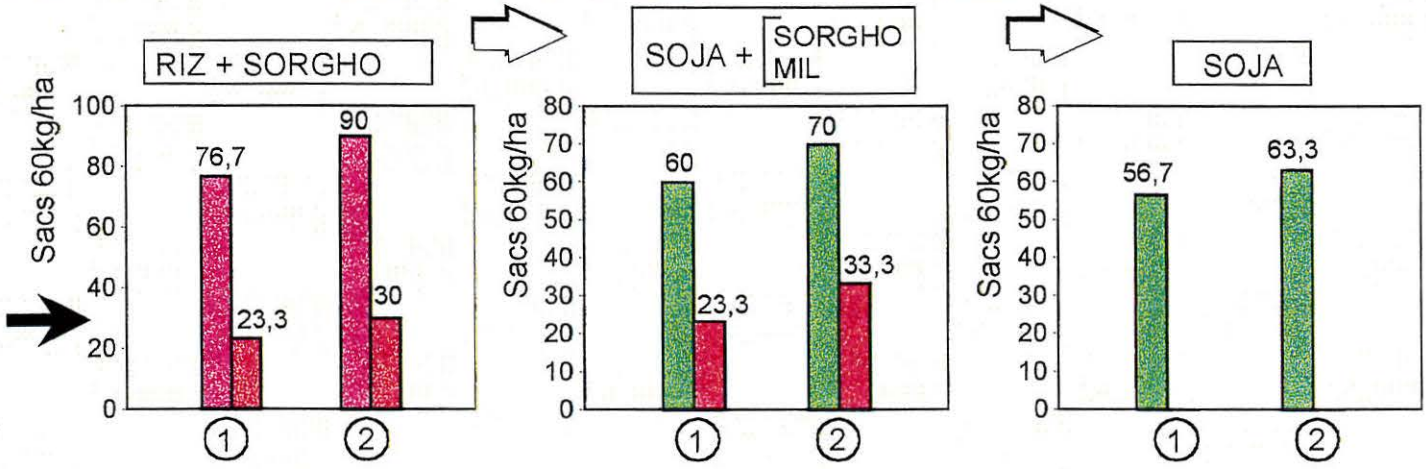
PRODUCTIVITÉS DES ROTATIONS

1992/95

■ 2000 kg/ha thermophosphate + 600 kg/ha gypse + 160 kg/ha KCl] en fond /3 ans

• SOJA = 60 K₂O/ha] annuel
 • RIZ = 60 K₂O+85N
 • SORGHO, MIL = 0

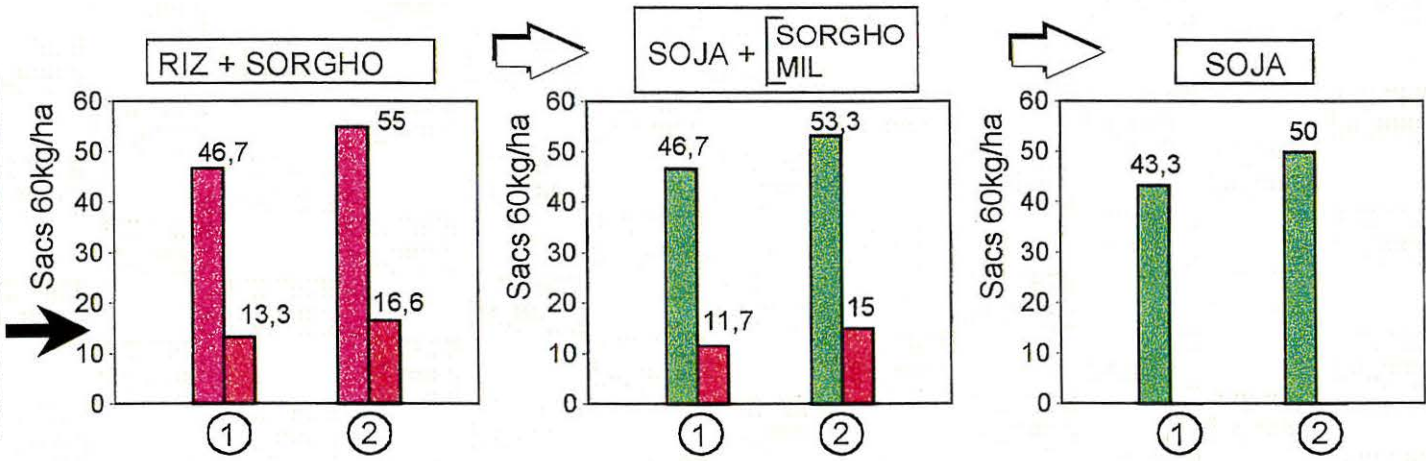
Travail profond année 1 + 4 semis direct en suivant



■ NPK annuel + calcaire dolomitique (V ≥ 40%)

• SOJA = 250 kg/ha 02-20-20
 • RIZ = 250 kg/ha 04-20-20 + 100 kg/ha urée
 • SORGHO, MIL = 0

Travail profond année 1 + 4 semis direct en suivant



① — ② Intervalle de productivité possible → Hypothèse basse ① - Hypothèse haute ②

■ RIZ ■ SOJA ■ SORGHO OU MIL

SOURCE: L. séguy., S. Bouzinac., Cooperlucas - Fazenda Progresso - MT - 1990/95

PHASE 3

PERFORMANCES ÉCONOMIQUES RÉELLES ET SIMULÉES

1992/95

■ 2000 kg/ha thermophosphate + 600 kg/ha gypse + 160 kg/ha KCl/ en fond/ 3 ans

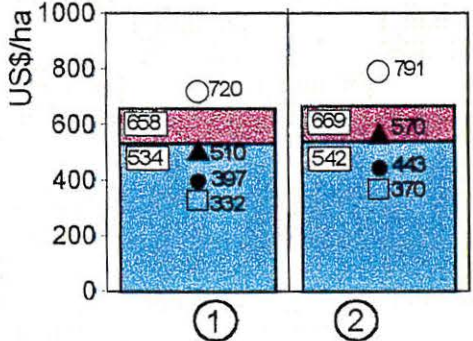
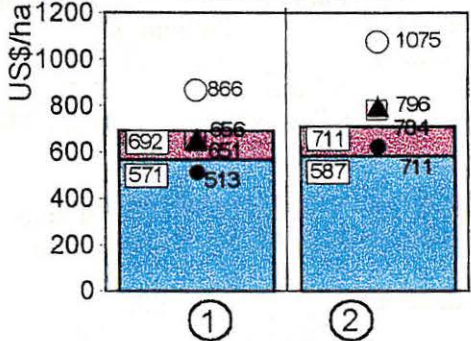
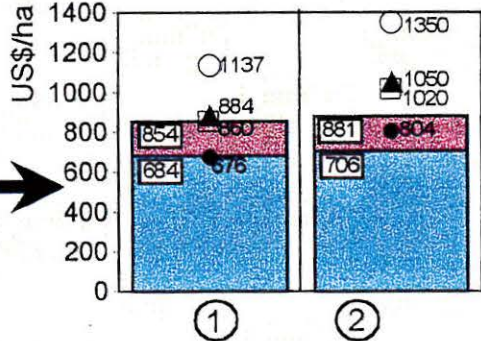
• SOJA = 60 K₂O/ha
• RIZ = 60 K₂O+85N
• SORGHO, MIL = 0

Travail profond année 1 + 4 semis direct en suivant

RIZ + SORGHO

SOJA + SORGHO MIL

SOJA



■ NPK annuel + calcaire dolomitique (V ≥ 40%)

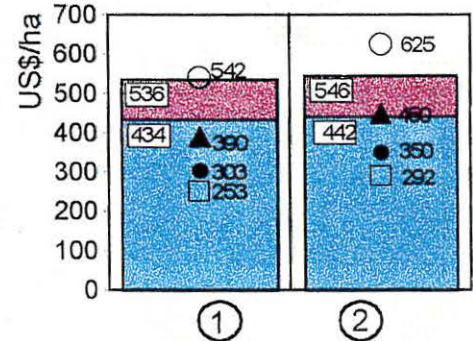
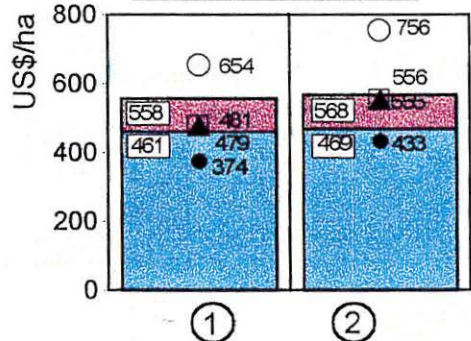
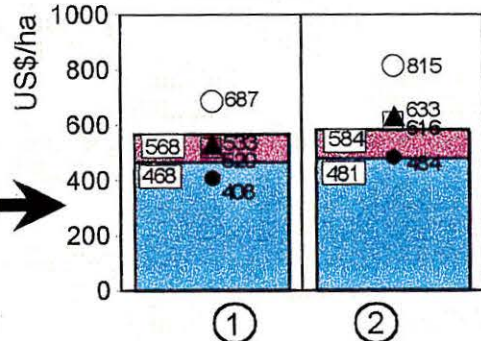
• SOJA = 250 kg/ha 02-20-20
• RIZ = 250 kg/ha 04-20-20 + 100 kg/ha urée
• SORGHO, MIL = 0

Travail profond année 1 + 4 semis direct en suivant

RIZ + SORGHO

SOJA + SORGHO MIL

SOJA



RECETTES US\$/sac

● Prix minimum - Riz = 7,6 - Soja = 7,0 - Sorgho = 4,0
▲ Prix moyen - Riz = 10 - Soja = 9,0 - Sorgho = 5,0

□ Prix réel - Riz = 10 - Soja [année 2 = 9,3 / année 3 = 5,85] - Sorgho = 4,0
○ Prix élevé Riz = 13 - Soja = 12,5 - Sorgho = 6,0

■ Coûts de production de la culture + 20% - intérêts 12%/an

■ Coûts de production de la culture + 48% - intérêts 52%/an

① — ② Intervalle de productivité possible → Hypothèse basse ① - Hypothèse haute ②

SOURCE: L. séguy., S. Bouzinac., Cooperlucas - Fazenda Progresso - MT - 1990/95

□ Performances des systèmes de culture en milieu réel, chez quelques agriculteurs pilotes -1993/1996
Résultats d'enquêtes en écologies des cerrados et forêts humides du Centre Nord du Mato Grosso
 • Source : COOPERLUCAS, EMATER, CIRAD-CA - 1993/96

Écologie et année	Surfaces en hectares		Productivités en Kg/ha	
	Soja	Riz pluvial ou Maïs	Soja	Riz pluvial ou Maïs
Cerrados				
• Coopérative Cooperlucas (*) 1993/94	90 000	Riz 12 000	2 820	Riz 2 400
• Fazenda Progresso (1) 1993/94	1 800	Riz 300	3 420	Riz 4 680
1994/95	1 800	-	3 360	-
Forêts				
• Propriétaire Jorge Kamitani 1993/94	30	Riz 120	2 520	Riz 3 240
• Propriétaire (2) Taffarel 1993/94	170	Maïs = 170	3 420	Maïs = 4 200
1995/96	-	Riz 60	-	Riz 3 700
• 14 producteurs	624	Riz 496	2 873	Riz 4 183

(1) Soja en semis direct, avec les succession ⇒ soja + sorgho, mil et mil + soja + mil - Pic de productivité sur 170 ha **4 320 Kg/ha**

(2) Semis direct continu, avec la succession soja + maïs - En 1996, riz en semis direct sur crotalaire - Pic de productivité sur 10 ha ⇒ 5 400 Kg/ha = Semis direct sur *Brachiaria ruziziensis*.

(*) - Partenaire du CIRAD-CA entre 1992 et 1994 ⇒ Unité expérimentale centrale + réseau de fazendas de références ⇒ 500 hectares (cerrados + forêts)

Indices zootechniques comparatifs entre élevage traditionnel et élevage en rotation avec les cultures		
	Système traditionnel	Système intégré (Fazenda Progresso)
Naissance (%)	55	85
Mortalité (%)	10	5
Âge à l'abattage (années)	4	2 à 2,5
Poids à l'abattage (Kg)	255	245
Intervalle entre velages (mois)	22	14
Source : Nelson de Angelis Cortês (EMPAER) - Fazenda Progresso - 1995		

**TEMPS DE TRAVAUX(H/HA), COMPARÉS POUR LES DIVERS MODES DE TRAVAIL DU SOL ET SEMIS
FAZENDA PROGRESSO - 1989**

DISCAGE		LABOUR		SCARIFICATION		SEMIS DIRECT	
Opération	Temps H/ha	Opération	Temps H/ha	Opération	Temps H/ha	Opération	Temps H/ha
2 offset lourds	1,8	1 offset lourd	0,9	1 offset lourd	0,9	Herbicideage	(1) 0,6 ou (2)1,2
2 pulvérisages	1,2	labour	2,2	1 scarification	1,0		
		1 pulvérisage	0,6	1 pulvérisage	0,6		
Semis	0,6	Semis	0,6	Semis	0,6	Semis	0,8
Total	3,6	Total	4,3	Total	3,1	Total	1,4 ou 2,0

* Source = CIRAD-CA (L. Seguy - S. Bouzinac)

(1) Une seule application de pré-semis.

(2) 2 applications de pré-semis, à une semaine d'intervalle.

Coûts de l'installation de la pompe biologique mil avant semis direct du soja, comparés à ceux des modes de preparation des sols

	Installation des pompes biologiques		Modes de preparation des sols	
	1^{er} technique	2^e technique	Labour	Offset traditionnel
Opérations	Semis à la volée du mil + incorporation à l'offset + dessiccation du mil	Semis direct du mil + dessiccation du mil	Offset lourd + labour + speed tiller	2 offsets lourds 2 offsets léger
Coûts de production (en US\$/ha)	47,55	46,55	51,40	48,90

Source : Séguy L., Bouzinac S. et al, 1994 - Fazenda Progresso - Lucas do Rio Verde - Mato Grosso

43

Performances agro-économiques des pompes biologiques pratiqués avec semis direct, en succession annuelle de soja ou riz

Opération - Coûts de production (\$/ha)		2 Hypothèses de productivité (kg/ha)		Recette (\$/ha)	Marge nette (\$/ha)
Dessiccation (Paraquat)	14,65	Ⓐ	1 200	80,00	29,75
Semis (1)	20,6				
Récolte	15,00	Ⓑ	2 000	133,3	83,00
Total	50,25				

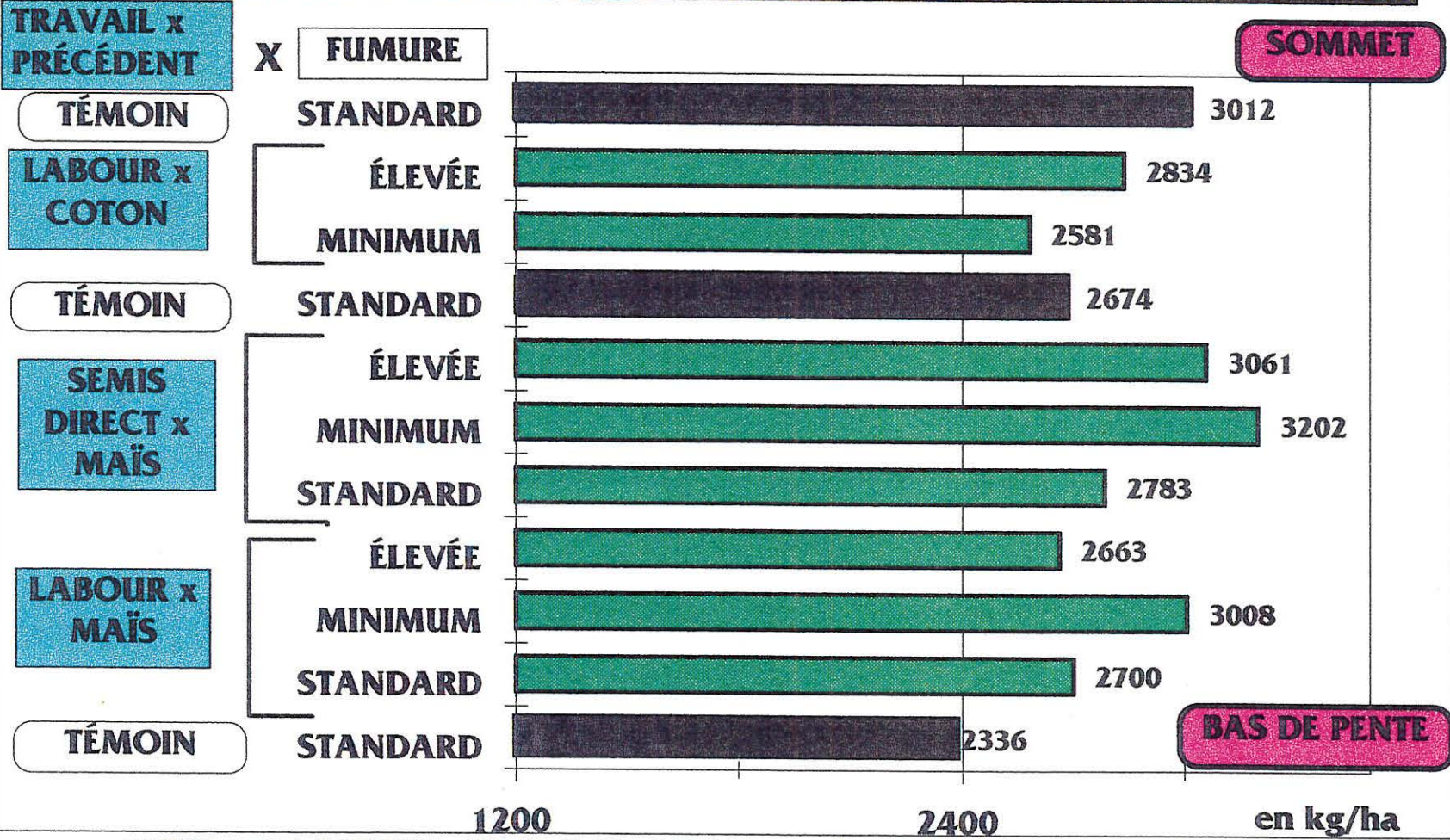
(1) Semences de la fazenda traitées aux fongicides (Thiabendazole + Thiram)

Source : Séguy L., Bouzinac S. et al, 1994 - Fazenda Progresso - Lucas do Rio Verde - Mato Grosso

**☛ Productivité et performances économiques
des systèmes de culture
*Le cas de l'écologie des forêts tropicales
du Sud de Goiás et du Nord de l'état de São Paulo
(1 200 à 1 600 mm sur 7 mois)***

**(*) Partenaires du CIRAD-CA
GROUPE MAEDA
RHODIA AGRO**

PRODUCTIVITÉ DU COTON (cv. DELTA PINE) DE SEMIS PRÉCOCE (13/11) EN FONCTION DE DIVERS MODES DE GESTION DU SOL - FAZ. CANADA - 1995/96



FUMURE (kg/ha): STANDARD = 330 (3-15-15) + 250 (18-00-20) ; MINIMUM = 130 (3-15-15) + 100 (18-00-20)

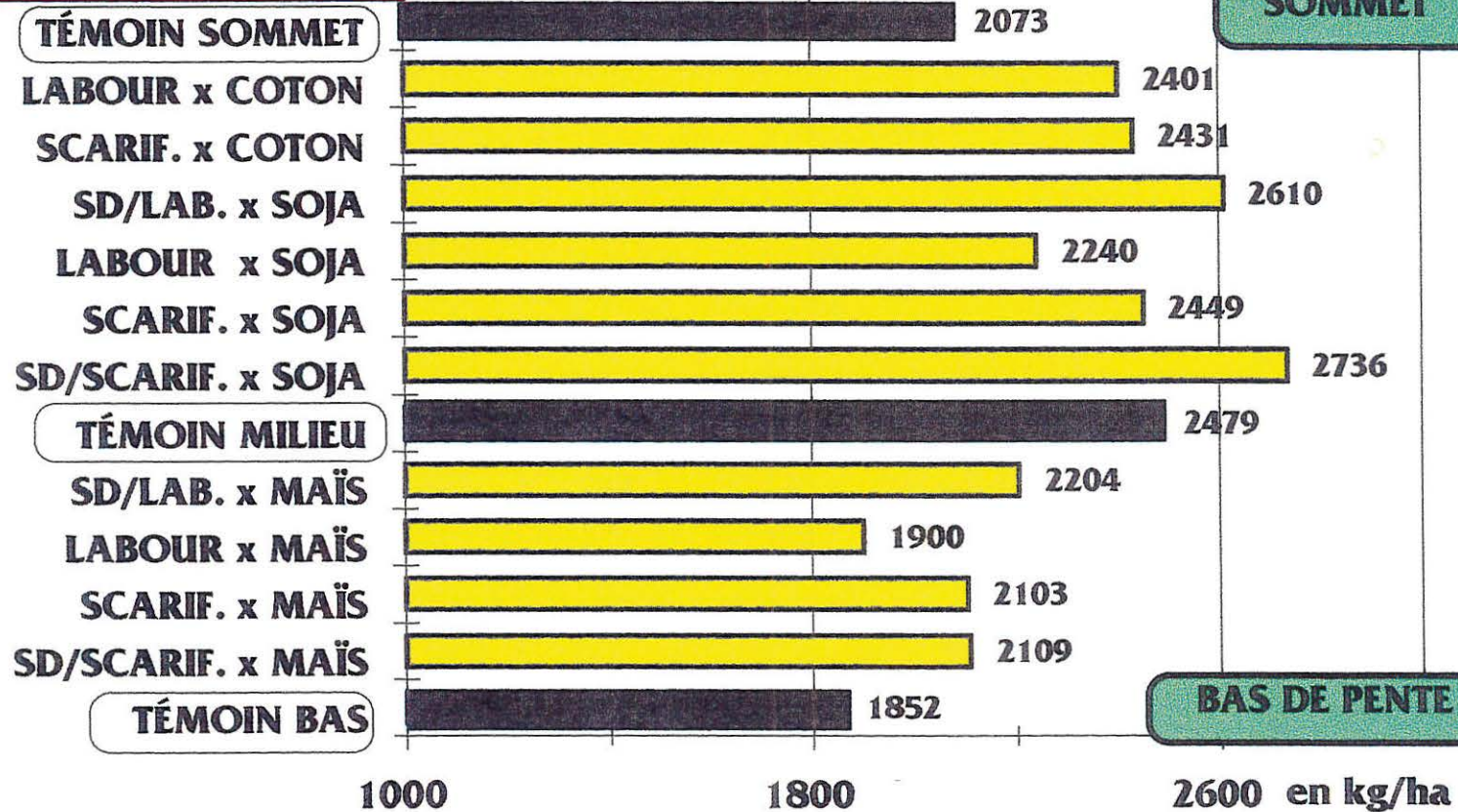
ÉLEVÉE = 2000 YOORIN + 600 GYPSE POUR 3 ANS + 150 KCl + 600 (18-00-20)

TÉMOIN = MONOCULTURE COTON x TRAVAIL DU SOL CONVENTIONNEL x FUMURE STANDARD

SOURCE = L. SÉGUIY, S. BOUZINAC ET GROUPE MAEDA - ITUMBIARA - GO - 1996

PRODUCTIVITÉ DU COTON (cv. IAC 22) EN SEMIS PRÉCOCE (03/11) EN FONCTION DE DIVERS MODES DE GESTION DU SOL - FAZ. RECANTO - 1995/96

TRAVAIL SOL x PRÉCÉDENT



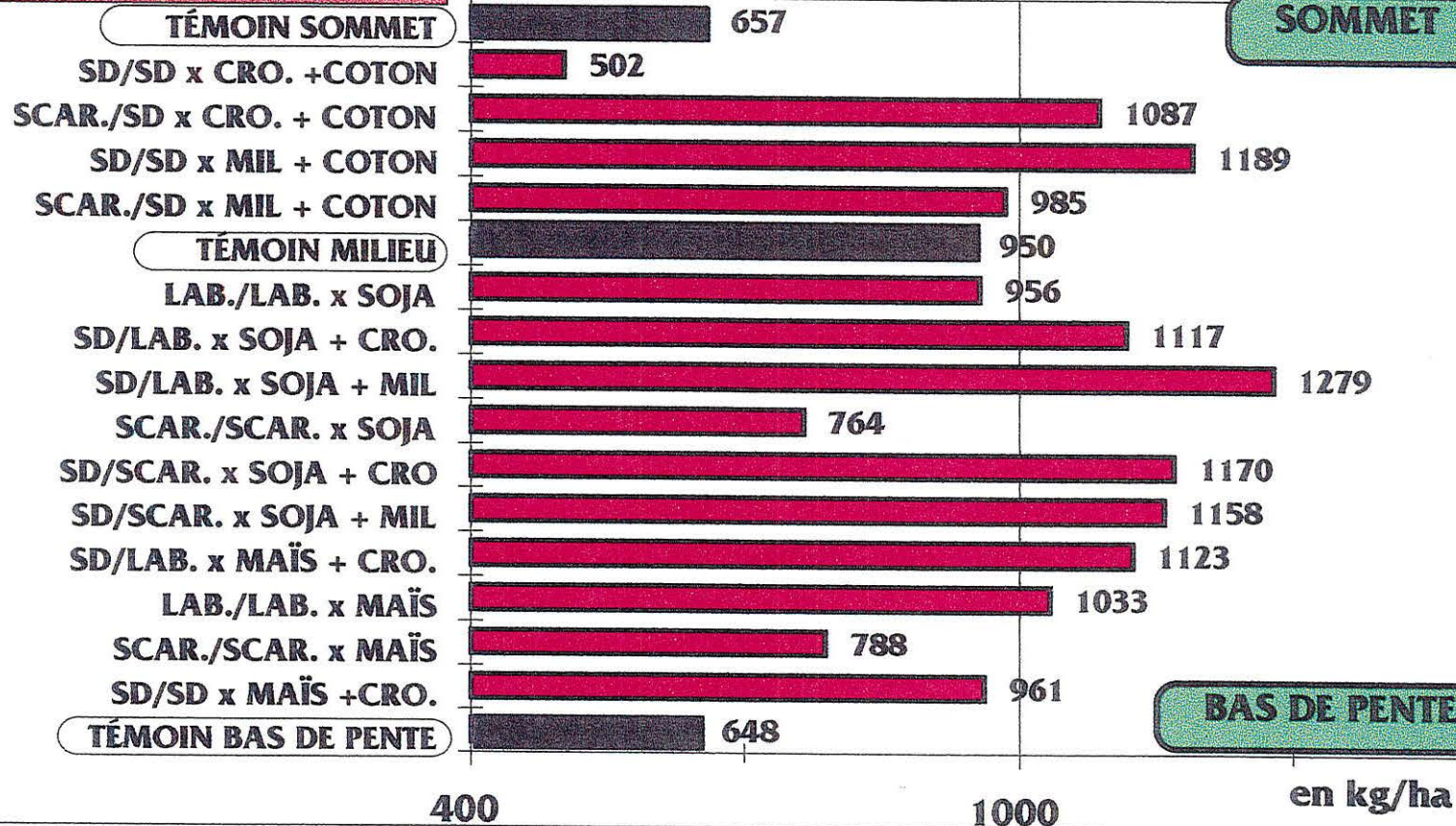
LAB. = LABOUR ; SCARIF. = SCARIFICATION ; SD = SEMIS DIRECT ; SD/LAB. = SEMIS DIRECT (95) APRÈS LABOUR (94) ; SD/SCARIF. = SEMIS DIRECT (95) APRÈS SCARIFICATION (94)

TÉMOIN = MONOCULTURE COTON x SCARIFICATION + OFFSETS

SOURCE = L. SÉGUY, S. BOUZINAC, ET GROUPE MAEDA - ITUMBIARA - GO - 1996

PRODUCTIVITÉ DU COTON (cv. DELTA PINE) EN SEMIS TARDIF (23/12) EN FONCTION DE DIVERS MODES DE GESTION DU SOL - FAZ. RECANTO -1995/96

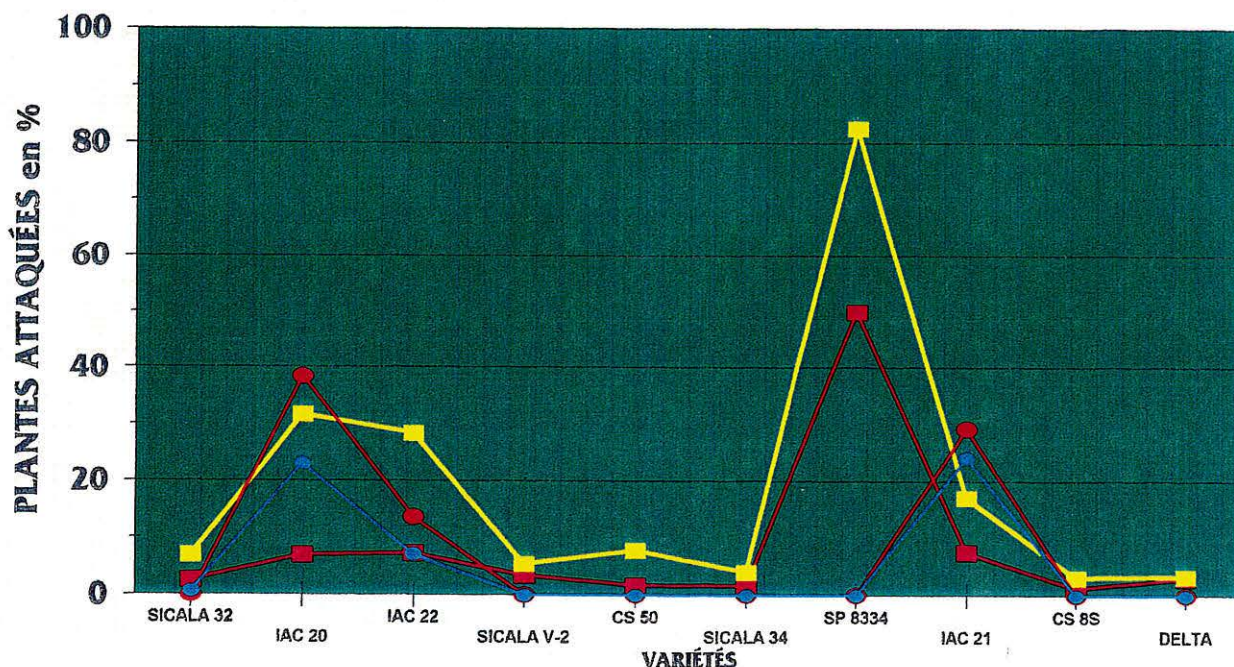
TRAVAIL SOL x PRÉCÉDENT



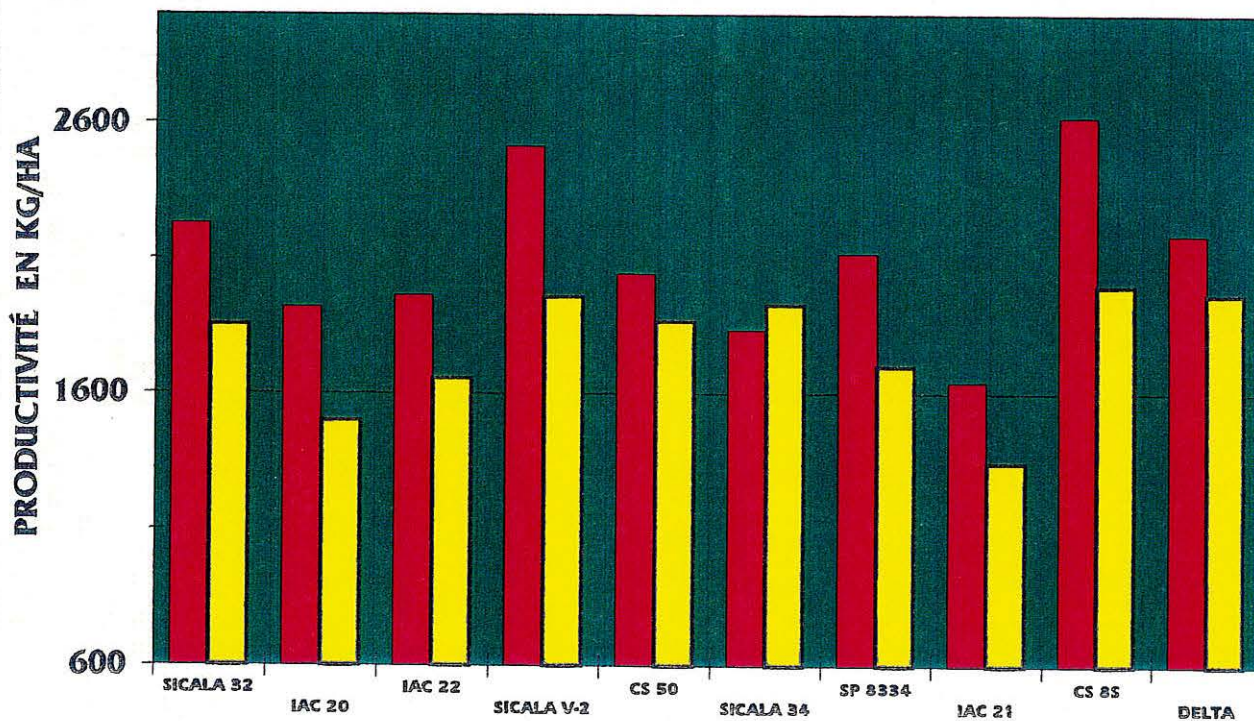
LAB. = LABOUR ; SCAR. = SCARIFICATION ; SD = SEMIS DIRECT ; SD/LAB. = SEMIS DIRECT (95) APRÈS LABOUR (94) ; SD/SCAR. = SEMIS DIRECT (95) APRÈS SCARIFICATION (94); LAB./LAB. = LABOUR (95) APRÈS LABOUR (94); ETC...
 SCAR./SD = SCARIFICATION (95) APRÈS SEMIS DIRECT (94) **TÉMOIN = MONOCULTURE COTON x SCARIFICATION + OFFSETS**

SOURCE = L. SÉGUIY, S. BOUZINAC ET GROUPE MAEDA - ITUMBIARA - GO - 1996

PRODUCTIVITÉS ET INDICES DE RAMULOSE ET DE VERMELHO SUR DIVERS CULTIVARS DE COTON EN SEMIS DIRECT PRÉCOCE APRÈS 2 PRÉCÉDENTS - FAZ. RECANTO - 1995/96

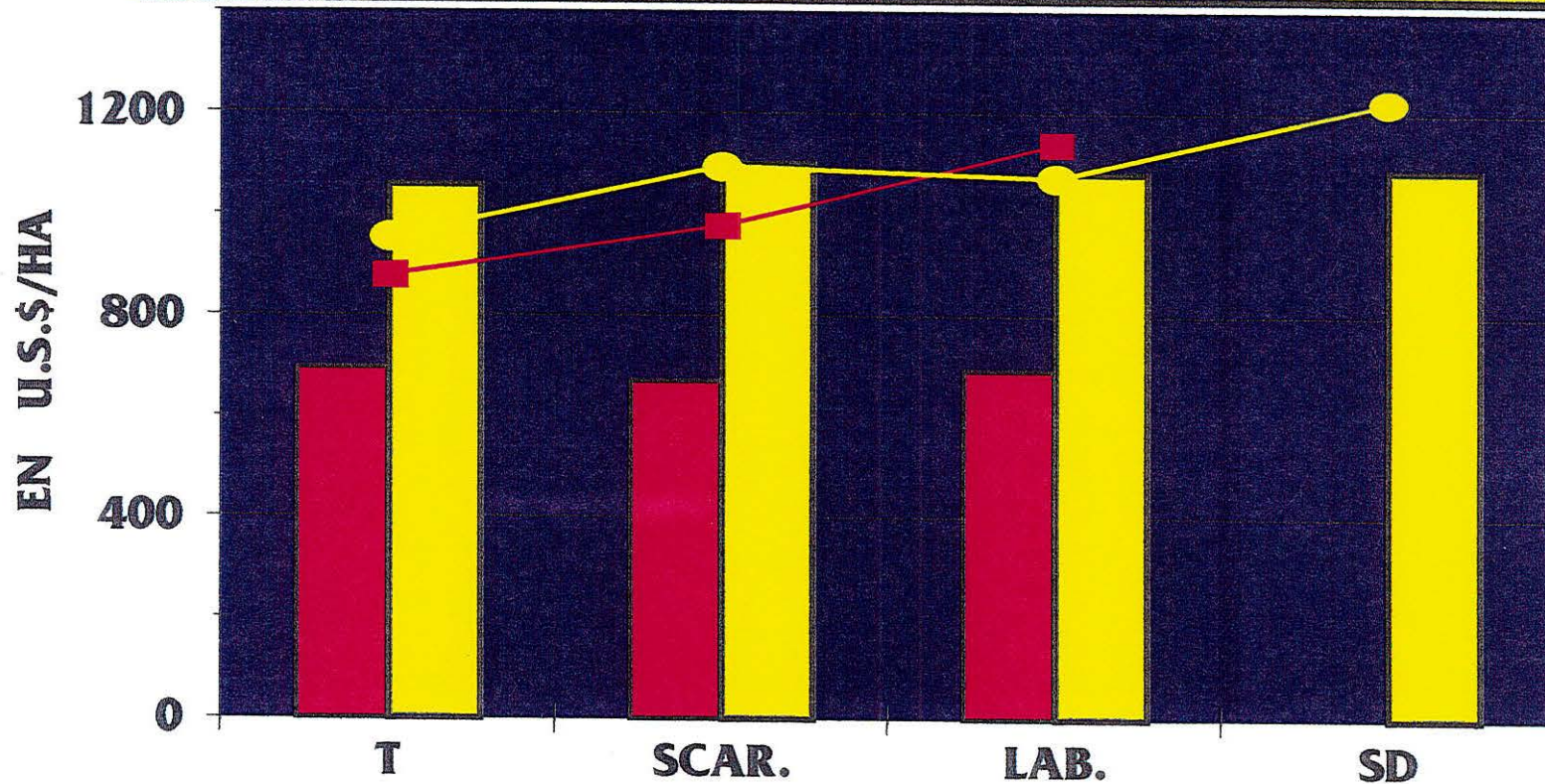


■ RAMULOSE APRÈS MIL ■ RAMULOSE APRÈS CROTALAIRE
● VERMELHO APRÈS MIL ● VERMELHO APRÈS CROTALAIRE



■ APRÈS MIL 48 ■ APRÈS CROTALAIRE

**PERFORMANCES ÉCONOMIQUES DE LA CULTURE DE COTON
SOUS DIVERS MODES DE GESTION DU SOL ET DES CULTURES
- FAZ. RECANTO - 1994/95 ET 1995/96 - GO**

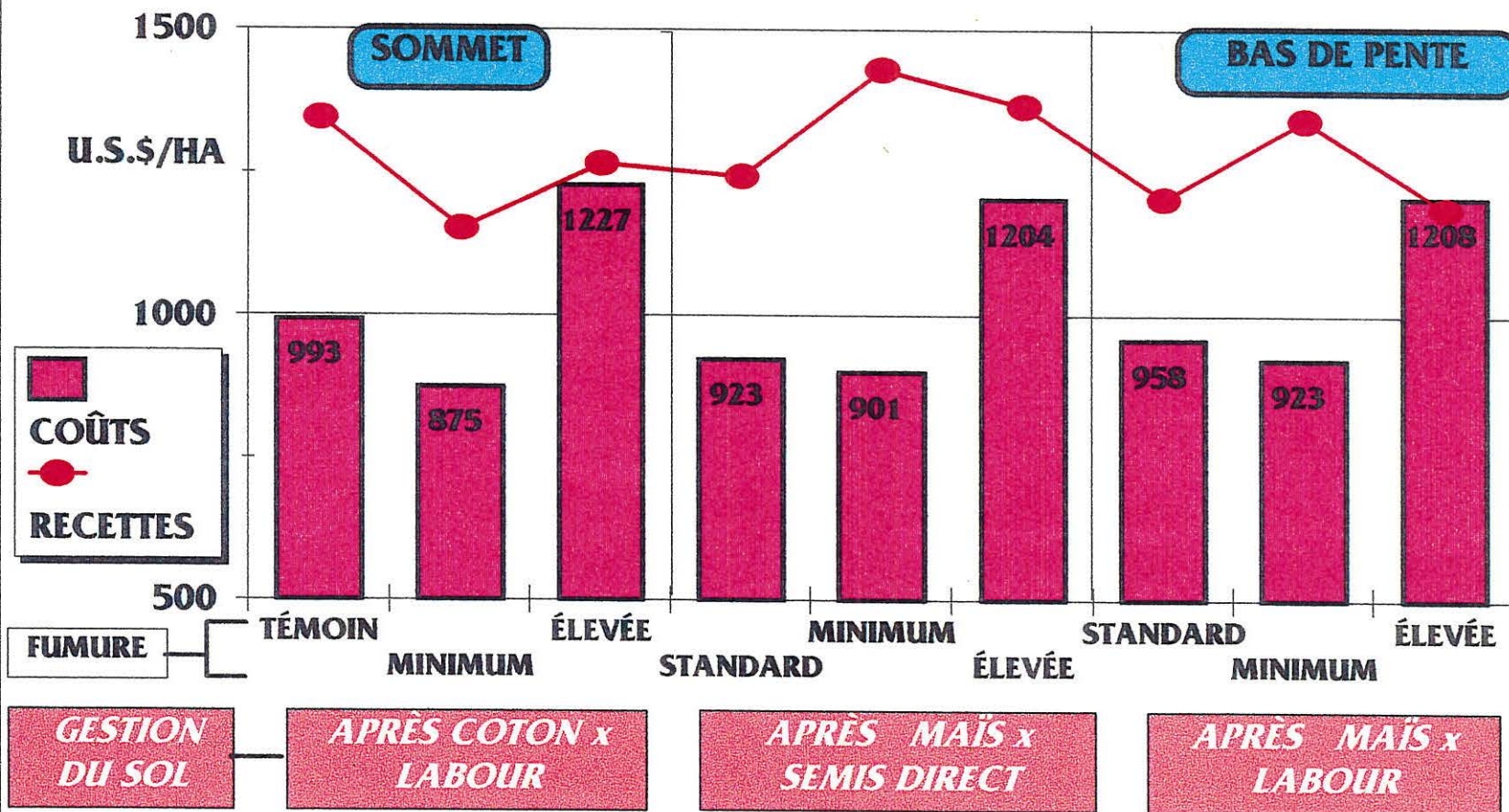


■ **COÛTS 94/95** ■ **COÛTS 95/96**
—■— **RECETTES 94/96** —●— **RECETTES 95/96**

T = TÉMOIN x MONOCULTURE
SCAR. = SCARIFICATION *APRÈS SOJA EN 95/96*
LAB. = LABOUR
SD = SEMIS DIRECT x APRÈS SOJA + MIL

SOURCE - L. SÉGUY, S. BOUZINAC ET GROUPE MAEDA - ITUMBIARA - GO - 1996

PERFORMANCES ÉCONOMIQUES DU COTON (cv. DELTA PINE) EN SEMIS PRÉCOCE (13/11) SUR DIVERS MODES DE GESTION DU SOL - FAZ. CANADA - GO - 1995/96



**FUMURE (kg/ha) : STANDARD ET TÉMOIN = 330 (3-15-15) + 250 (18-00-20) ; MINIMUM = 130 (3-15-15) + 100 (18-00-20)
ÉLEVÉE = 2000 YOORIN + 600 GYPSE POUR 3 ANS + 150 KCI + 600 (18-00-20)**

SOURCE = L. SÉGUY, S. BOUZINAC, ET GROUPE MAEDA - ITUMBIARA - GO - 1996

↳ Recommandations pour le choix du matériel génétique le plus approprié pour les couvertures végétales dans les systèmes de semis direct.

() Issues des travaux de recherche-développement du CIRAD-CA et de ses partenaires brésiliens dans les états de Mato Grosso et Goiás, du Centre-Ouest du Brésil.*

☞ Meilleur matériel génétique pour les états du Mato Grosso et Goiás - Centre Ouest Brésil

• Source : L. Séguy, S. Bouzinac, 1996 - Groupe Maeda

1. Sorghos

(*) Exclusivement des variétés, appartenant aux races Guinea, Kafir, Caudatum, Durra, originaires d'Afrique de l'Ouest et de l'Inde, utilisées pour la base de l'alimentation humaine

Semences en voie de test et de multiplication : Groupe Maeda (Itumbiara-Go, Ituverava-SP) - Emater-Go

Variétés ou Pool variétaux (1)	Possibilités d'implantation (2)		Importance de la biomasse (3)		Vocation			Qualité du grain	
	Début des pluies	Fin des pluies	Au dessus du sol	Dans le profil	Agronomique -biomasse -recyclage (4)	Commerciale intervalle productivité Kg/ha (5)	Fourragère pâturage, ensilage (4)	% Tanins (6)	% Protéines
- Pool rouge	+++	+++	+++	+++	+++	1 000-2 000	+++] < 0,04	> 12,0
- Pool noir	+++	+++	+++	+++	+++	1 000-2 000	+++		
- CSR 660	+++	+++	+++	+++	+++	1 000-2 000	+++		
- CSR 644	+++	+++	+++	+++	+++	1 000-2 000	+++		
Variétés CIRAD									
IRAT 11	-	+++	++	++	++	1 500-4 000	++	0,041	14,4
IRAT 174	-	+++	++	++	++	1 500-3 500	++	0	15,0
IRAT 203	-	+++	++	++	++	1 500-3 500	++	0,031	15,3
IRAT 204	-	+++	++	++	++	1 800-4 500	+	0,032	11,8
IRAT 206	-	+++	++	++	++	1 500-3 500	++	0,041	13,4
IRAT 207	-	+++	++	++	++	2 000-5 000	++	0	12,1
IRAT 321	-	+++	++	++	++	1 800-3 000	+	< 0,04	≥ 12,0

(1) Mélange de variétés de biomasse, cycles et qualité de grains, similaires.

(2) +++ = Recommandée, excellente ; - = Non recommandée

(3) +++ = Très forte (> 7-10 t/ha m.s.) ; ++ = moyenne (4-7 t/ha m.s.) + = faible (< 4 t/ha m.s.)

(4) +++ = très bonne ; ++ = moyenne ; + = faible.

(5) Productivité de grains de qualité (*sans intrants ou minimums*), fonction des disponibilités en eau, de fin de cycle des pluies donc fonction de la date de semis.

(6) Norme commerciale pour l'alimentation humaine ⇒ < 0,4 % m.s..

Meilleur matériel génétique pour les états du Mato Grosso et Goiás - Centre Ouest Brésil

• Source : L. Séguy, S. Bouzinac, 1996 - Groupe Maeda

2. Mils africains

(*) Exclusivement des variétés très rustiques, originaires d'Afrique de l'Ouest et de l'Inde, utilisées pour la base de l'alimentation humaine - Semences en voie de test et de multiplication - Groupe Maeda (Itumbiara-Go, Ituverava-SP) - Emater-Go

Variétés ou Pool variétaux (1)	Possibilités d'implantation (2)		Importance de la biomasse (3)		Vocation			Qualité du grain	
	Début des pluies	Fin des pluies	Au dessus du sol	Dans le profil	Agronomique -biomasse -recyclage (4)	Commerciale intervalle productivité Kg/ha (5)	Fourragère pâturage, ensilage (4)	% Tanins (6)	% Protéines
- Pool CIRAD 1	+++	+++	+++	+++	+++	1 500-2 500	+++	-	entre 11 et 13%
- Pool CIRAD 2	+++	+++	+++	+++	+++	1 500-2 500	+++	-	
- Boboni	+++	+++	+++	+++	+++	1 800-3 000	+++	-	
- Souna Sanio	+++	+++	+++	+++	+++	1 200 2 500	+++	-	
- Sanko	+++	+++	+++	+++	+++	1 500 2 500	+++	-	
Nagangolo	+++	+++	+++	+++	+++	1 300 2 500	+++	-	
Variétés IRAT									
IRAT 30	-	+++	+	++	+	1 500-2 000	++	-	entre 11 et 13%
IRAT 17	++	+++	++	++	++	1 800-3 000	+++	-	
IRAT 27	++	+++	++	++	++	2 000-3 000	+++	-	
IRAT 93	-	+++	+	++	+	1 500-2 500	++	-	
Variétés ICRISAT									
ESRC II	+	+++	++	++	++	2 000-3 000	+++	-	entre 11 et 13%
ICM V 221	+	+++	++	++	++	2 000-3 000	+++	-	
HH VBC	-	+++	+	++	++	2 000-3 000	++	-	
D2C	-	+++	+	++	+	1 500-2 500	++	-	

(1) Mélange de variétés de biomasse, cycles et qualité de grains, similaires.

(2) +++ = Recommandée, excellente ; - = Non recommandée

(3) +++ = Très forte (> 7-10 t/ha m.s.) ; ++ = moyenne (4-7 t/ha m.s.) ; + = faible (< 4 t/ha m.s.)

(4) +++ = très bonne ; ++ = moyenne ; + = faible.

(5) Productivité grains de qualité (sans intrants ou minimums), fonction des disponibilités en eau, de fin de cycle des pluies donc fonction de la date de semis.

(6) Norme commerciale pour l'alimentation humaine ⇒ < 0,4 % m.s..

☛ Meilleur matériel génétique pour les états du Mato Grosso et Goiás - Centre Ouest Brésil

• Source : L. Séguy, S. Bouzinac, 1996 - Groupe Maeda

3. Crotalaires

Variétés (1)	Possibilités d'implantation (2)		Importance de la biomasse (3)	
	Début des pluies	Fin des pluies	Début des pluies	Fin des pluies
<i>Crotalaria spectabilis</i>	-	+++	+(+)	++
<i>Crotalaria retusa</i>	-	+++	+(+)	+++

54

(1) Ne sont retenues que les variétés les plus rustiques, les moins ligneuses pour faciliter l'opération de semis direct, et qui permettent de contrôler les nématodes du genre *Meloidogyne* (très important sur coton, soja).

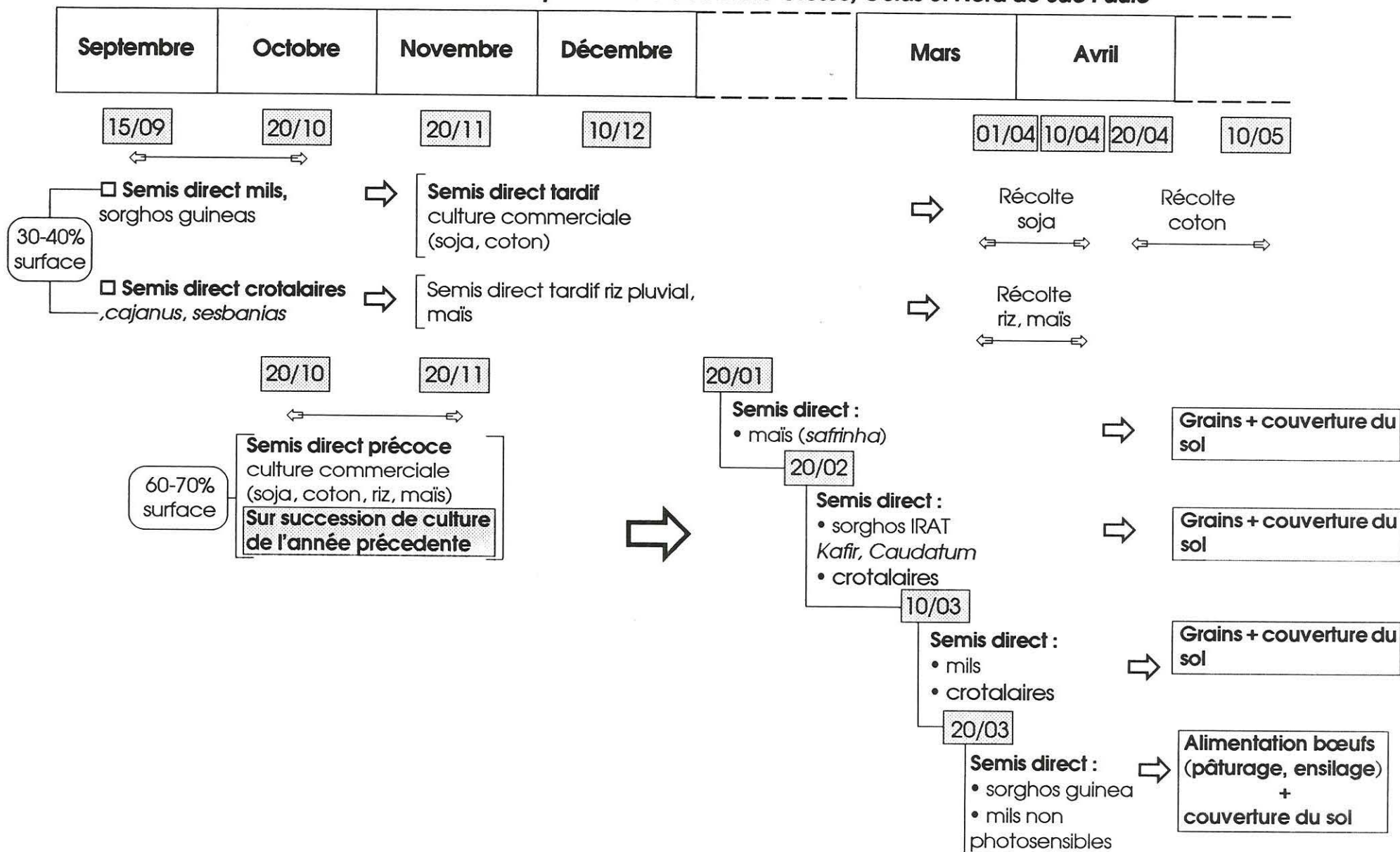
Plante de couverture recommandée pour le semis direct de riz pluvial de haute technologie, de maïs, de coton.

(2) +++ = Recommandée ; - = Non recommandée sauf avant semis direct riz pluvial (nécessité fréquente d'application d'un herbicide graminicide de post émergence).

(3) - Biomasse à $\frac{C}{N}$ bas, facilement minéralisée \Rightarrow fonction couverture éphémère, fonction alimentaire initiale importante, mais de courte durée.

• Echelle biomasse : + (+) = moyenne à faible ; ++ = moyenne ; +++ = forte

□ **Calendrier culturel des systèmes mécanisés en semis direct, avec couverture permanente des sols**
 - *Recommandations valables pour les états du Mato Grosso, Goiás et Nord de São Paulo* -



Annexes

☛ **Quelques données de base essentielles sur l'utilisation des sorghos et mils dans la nutrition humaine**

ANNEXES

☞ Quelques données de base essentielles sur l'utilisation des sorghos et mils dans la nutrition humaine ⁽¹⁾

La production mondiale des mils et sorghos

- *Superficies, rendements et production, principaux producteurs,*
- *Source de protéines et d'énergie, utilisation*

Composition chimique et valeur nutritive des mils et sorghos

- *Éléments nutritifs, caractéristiques des amidons*
- *Composition : en sucres solubles, acides aminés, minérale*

Qualité nutritionnelle des aliments préparés à partir des sorghos et mils

- *Contenus nutritifs*
- *Formes d'utilisation, aliments traditionnels*
- *Composition et teneurs en tanins de la farine et du pain de sorgho et de mil*
- *Compositions des programmes d'alimentation (mil + légumineuses)*

Inhibiteurs nutritionnels et facteurs toxiques

- *Phytates, polyphénols, inhibiteurs d'enzymes digestives, éléments goitrogènes, déséquilibre des acides aminés et pellagre, fluorose, urolithiase et oligo-éléments, mycotoxines*

Quelques critères d'appréciation de la qualité du grain de sorgho ⁽²⁾

Teneurs en tanins et protéines de quelques variétés de sorgho du CIRAD ⁽²⁾

(1) Données extraites du livre : le sorgho et les mils dans la nutrition humaine F.A.O. - Rome, 1995.

(2) Données issues du catalogue du CIRAD - Montpellier, 1989.

Superficie, rendement et production de sorgho par régions, 1990

Région	Superficie		Rendement (Kg/ha)	Production	
	(milliers d'ha)	(% du total)		(milliers de tonnes)	(% du total)
Amérique du Nord et Amérique Centrale	5 970	13,5	3 572	21 325	36,7
Asie	18 451	41,6	1 023	18 867	32,4
Afrique	17 799	40,1	718	12 784	22,0
Amérique du Sud	1 353	3,1	2 614	3 537	6,1
Océanie	407	0,9	2 298	934	1,6
Monde (1990)	44 352		1 312	58 190	
Monde (1989)	44 695		1 340	59 991	

Source : FAO, 1991.

Principaux producteurs de sorgho, 1990

Pays	Superficie		Production	
	(milliers d'ha)	(% du total)	(milliers de t)	(% du total)
Etats-Unis	3 674	8,3	14 516	25,0
Inde	15 300	34,5	12 500	21,5
Mexique	1 830	4,1	6 230	10,7
Chine	1 900	4,3	5 310	9,1
Nigéria	6 000	13,5	4 000	6,9
Argentine	688	1,6	2 016	3,5
Soudan	2 925	6,6	1 502	2,6
Ethiopie	870	2,0	1 000	1,7
Australie	406	0,9	933	1,6
Burkina Faso	1 250	2,8	917	1,6
Total	34 843	78,6	48 924	84,1
Monde	44 352	100	58 190	100

Source : FAO, 1991.

Superficie, rendement et production mondiales de mil par régions, 1990

Région	Superficie		Rendement (Kg/ha)	Production	
	(milliers d' ha)	(% du total)		(milliers de tonnes)	(% du total)
Asie	20 853	55,5	804	16 767	56,2
Afrique	13 548	36,1	669	9 066	30,4
URSS	2 903	7,7	1 256	3 647	12,2
Amérique du Nord et Amérique Centrale	150	0,4	1 200	180	0,6
Amérique du Sud	55	0,2	1 655	91	0,3
Océanie	34	0,1	882	30	0,1
Monde	37 565	100	794	29 817	100

Source : FAO, 1991.

Principaux producteurs de mil, 1990

Pays	Superficie		Production	
	(milliers d'ha)	(% du total)	(milliers de tonnes)	(% du total)
Inde	17 000	45,3	11 500	38,6
Chine	2 601	6,9	4 401	14,8
Nigéria	4 000	10,7	4 000	13,4
URSS	2 903	7,7	3 647	12,2
Niger	3 100	8,3	1 133	3,8
Mali	900	2,4	695	2,3
Ouganda	400	1,1	620	2,1
Burkina Faso	1 150	3,1	597	2,0
Sénégal	865	2,3	514	1,7
Népal	200	0,5	240	0,8
Total	33 119	88,2	27 347	91,7
Monde (1990)	37 565		29 817	
Monde (1989)	37 409		29 962	

Source : FAO, 1991.

Sources d'énergie et de protéines dans l'apport alimentaire des 9 plus grands producteurs mondiaux de sorgho, 1987-1989

Pays	Energie par habitant et par jour (kcal)				Protéines par habitant et par jour (g)			
	Total	Produits végétaux	Pourcentage du total	Produits animaux	Total	Produits végétaux	Pourcentage du total	Produits animaux
Etats-Unis	3 676	2 430	66,1	1 246	109,6	36,4	33,2	73,2
Inde	2 196	2 048	93,3	148	53,2	45,6	85,7	7,6
Mexique	3 048	2 497	81,9	551	77,9	46,9	60,2	31,0
Chine	2 634	2 365	89,8	269	62,8	50,7	80,7	12,1
Nigéria	2 306	2 248	97,5	58	49,5	43,6	88,1	5,9
Argentine	3 110	2 145	69,0	965	100,3	36,5	36,4	63,8
Soudan	2 028	1 677	82,7	351	57,8	37,6	65,1	20,2
Australie	3 186	2 036	63,9	1 150	97,4	31,7	32,5	65,7
Burkina Faso	2 286	2 186	95,6	100	69,8	62,6	89,7	7,2

Source : FAO, 1991

Sources d'énergie et de protéines dans l'apport alimentaire des 10 plus grands producteurs mondiaux de mil, 1987-1989

Pays	Energie par habitant et par jour (kcal)				Protéines par habitant et par jour (g)			
	Total	Produits végétaux	Pourcentage du total	Produits animaux	Total	Produits végétaux	Pourcentage du total	Produits animaux
Inde	2 196	2 048	93,3	148	53,2	45,6	85,7	7,6
Chine	2 634	2 365	89,8	269	62,8	50,7	80,7	12,1
Nigéria	2 306	2 248	97,5	58	49,5	43,6	88,1	5,9
URSS	3 380	2 444	72,3	936	106,2	50,1	47,2	56,1
Niger	2 297	2 152	93,7	145	64,0	53,2	83,1	10,8
Mali	2 234	2 090	93,6	144	62,5	50,1	80,2	12,4
Ouganda	2 136	2 010	94,1	126	48,1	38,7	80,5	9,4
Burkina Faso	2 286	2 186	95,6	100	69,8	62,6	89,7	7,2
Sénégal	2 374	2 160	91,0	214	68,2	49,9	73,0	18,3
Népal	2 074	1 937	93,4	137	52,5	44,8	85,3	7,7

Source : FAO, 1991

Utilisation du sorgho : moyenne 1981-1985 et taux de croissance de 1961-1965 à 1981-1985

Région	Moyenne 1981-1985 (millions de tonnes)				Croissance annuelle de 1961-1965 à 1981-1985 (%)			
	Alimentation humaine	Alimentation animale	Autres utilisations	Total	Alimentation humaine	Alimentation animale	Autres utilisations	Total
Afrique	8,0	0,4	2,3	10,7	1,5	3,5	-0,6	1,0
Asie	15,1	6,3	2,1	23,5	-	7,8	0,2	1,2
Amérique centrale	0,3	8,4	0,2	8,9	2,0	13,2	-	12,1
Amérique du Sud	-	4,6	0,3	4,9	-	8,5	5,7	8,3
Amérique du Nord	-	12,6	0,1	12,7	-	0,5	-	0,5
Europe	-	1,4	-	1,4	-	-2,5	-	-2,5
URSS	-	2,3	0,3	2,6	-	17,0	-	17,0
Océanie	-	0,4	-	0,4	-	3,5	-	3,5
Monde	23,4	36,4	5,3	65,1	0,5	3,8	0,4	2,1
Pays en développement	23,2	15,6	4,8	43,6	0,5	10,3	0,1	1,7
Pays développés	0,2	20,8	0,5	21,5	3,5	1,7	4,7	2,2

Source :FAO, 1991

Utilisation estimative du mil : moyenne de 1981/82 à 1985/86

Pays ou région	Alimentation humaine (milliers de tonnes)	Alimentation animale (milliers de tonnes)	Autres utilisations ^a (milliers de tonnes)	Total (milliers tonnes)	Utilisation alimentaire par habitant (Kg/an)
Afrique^b	7 094	122	1 921	9 137	13,5
Burkina Faso	381	-	60	441	50,8
Ethiopie	1 020	-	196	1 216	24,9
Mali	516	1	88	605	67,7
Niger	977	21	215	1 213	168,9
Nigéria	2 365	86	700	3 151	26,5
Sénégal	397	2	80	479	64,4
Ouganda	259	47	150	456	17,8
Asie	14 441	1 665	1 305	17 411	5,3
Chine	4 857	1 120	480	6 457	4,7
Inde	8 794	150	710	9 664	11,9
Amérique Centrale	-	-	-	-	-
Amérique du Sud	-	91	5	96	-
Amérique du Nord	-	104	6	110	-
Europe	-	104	6	110	-
URSS	800	1 107	400	2 307	2,9
Océanie	-	13	2	15	-
Monde	22 335	3 144	3 642	29 121	4,8
Pays en développement	21 535	1 878	3 231	26 644	6,1
Pays développés	800	1 266	411	2 477	0,7

^a Semences, industrie et déchets.

^b Y compris le fonio et le teff

Source : FAO, 1990.

Composition en éléments nutritifs du sorgho, des mils et autres céréales (pour 100 g de portion comestible ; 12% d'humidité)

Céréale	Protéines ^a (g)	Matière grasse	Cendres (g)	Fibre brute	Hydrates de carbone	Energie (Kcal)	Ca (mg)	Fe (mg)	Thiamine (mg)	Riboflavine (mg)	Niacine (mg)
Riz (brun)	7,9	2,7	1,3	1,0	76,0	362	33	1,8	0,41	0,04	4,3
Blé	11,6	2,0	1,6	2,0	71,0	348	30	3,5	0,41	0,10	5,1
Mais	9,2	4,6	1,2	2,8	73,0	358	26	2,7	0,38	0,20	3,6
Sorgho	10,4	3,1	1,6	2,0	70,7	329	25	5,4	0,38	0,15	4,3
Mil chandelle	11,8	4,8	2,2	2,3	67,0	363	42	11,0	0,38	0,21	2,8
Eleusine	7,7	1,5	2,6	3,6	72,6	336	350	3,9	0,42	0,19	1,1
Millet des oiseaux	11,2	4,0	3,3	6,7	63,2	351	31	2,8	0,59	0,11	3,2
Mil commun	12,5	3,5	3,1	5,2	63,8	364	8	2,9	0,41	0,28	4,5
Petit mil	9,7	5,2	5,4	7,6	60,9	329	17	9,3	0,30	0,09	3,2
Moha du Japon	11,0	3,9	4,5	13,6	55,0	300	22	18,6	0,33	0,10	4,2
Millet indigène	9,8	3,6	3,3	5,2	66,6	353	35	1,7	0,15	0,09	2,0

^aN x 6,25

Sources : Hulse, Laing et Pearson, 1980 ; United States National Research Council/National Academy of Sciences, 1982 ; USDA/HNIS, 1984

Contenu en éléments nutritifs de la graine entière et de ses fractions^a

Fraction de la graine	Pourcentage du poids de la graine	Protéines ^b (%)	Cendres (%)	Huile (%)	Amidon (%)	Calcium (mg/Kg)	Phosphore (mg/Kg)	Niacine (mg/100 g)	Riboflavine (mg/100 g)	Pyridoxine (mg/100 g)
Sorgho										
Graine complète	100	12,3	1,67	3,6	73,8			4,5	0,13	0,47
Endosperme	82,3	12,3 (80)	0,37 (20)	0,6 (13)	82,5 (94)			4,4 (76)	0,09 (50)	0,40 (76)
Germe	9,8	18,9 (15)	10,4 (69)	28,1 (76)	13,4 (2)			8,1 (17)	0,39 (28)	0,72 (16)
Son	7,9	6,7 (4,3)	2,0 (11)	4,9 (11)	34,6 (4)			4,4 (7)	0,40 (22)	0,44 (8)
Mil chandelle										
Graine complète	100	13,3	1,7	6,3		55	358			
Endosperme	75	10,9 (61)	0,32 (14)	0,53 (6)		17 (25)	240 (56)			
Germe	17	24,5 (31)	7,2 (71)	32,2 (87)						
Son	8	17,1 (10)	3,2 (15)	5,0 (6)		168 (36)	442 (15)			

^aLes valeurs entre parenthèses représentent le pourcentage de valeur de la graine complète.

^bN x 6,25

Sources : Hubbard, Hall et Earle, 1950 (sorgho) ; Abdelrahman, Hosney et Varriano-Marston, 1984 (mil chandelle).

Composition chimique de géotypes de sorgho et de mil chandelle tirés de la collection mondiale de plasma germinatif de l'ICRISAT^a

Céréale	Protéines (%)	Matière grasse (%)	Cendres (%)	Fibre brute (%)	Amidon (%)	Amylose (%)	Sucre soluble (%)	Sucre réducteur (%)	Calcium (mg/100 g)	Phosphore (mg/100 g)	Fer (mg/100 g)
Sorgho											
<i>Nombre de géotypes</i>	10 479	160	160	100	160	80	160	80	99	99	99
Valeur faible	4,4	2,1	1,3	1,0	55,6	21,2	0,7	0,05	6	388	4,7
Valeur élevée	21,1	7,6	3,3	3,4	75,2	30,2	4,2	0,53	53	756	14,1
Moyenne arithmétique	11,4	3,3	1,9	1,9	69,5	26,9	1,2	0,12	26	526	8,5
Mil chandelle											
<i>Nombre de géotypes</i>	20 704	36	36	36	44	44	36	16	27	27	27
Valeur faible	5,8	4,1	1,1	1,1	62,8	21,9	1,4	0,10	13	185	4,0
Valeur élevée	20,9	6,4	2,5	1,8	70,5	28,8	2,6	0,26	52	363	58,1
Moyenne arithmétique	10,6	5,1	1,9	1,3	66,7	25,9	2,1	0,17	38	260	16,9

^aToutes les valeurs, à l'exception des protéines, s'entendent sur la base de la matière sèche.

Source : Jambunathan et Subramanian, 1988.

Caractéristiques des amidons isolés du sorgho et des mils

Graine	Amylose (%)	Température de gélatinisation (°C)		Capacité de liaison dans l'eau (%)	Gonflage à 90 °C (%)	Solubilité à 90 °C (%)	Viscosité (unités amylographiques Brabender)			
		initiale	finale				à 93°-95 °C	Après maintien à 95 °C	Refroidi à 35° ou 50 °C	Après maintien à 35° ou 50 °C
Sorgho	24,0	68,5	75,0	105	22	22	600	400	580	520
Sorgho (cireux)	1,0	67,5	74,0	-	49	19	380	290	390	350
Mil chandelle	21,1	61,1	68,7	87,5	13,1	9,16	460	396	568	536
Millet commun	28,2	56,1	61,2	108,0	12,0	6,89	688	520	826	1 203
Millet des oiseaux (a)	-	53,5	59,5	128,5	11,2	4,65	840	620	1 100	1 220
Millet des oiseaux (b)	17,5	55,0	62,0	-	9,8	4,80	1 780	1 540	2 000	-
Millet indigène	24,0	57,0	68,0	-	12,0	5,50	300 ^a	270	390	-
Eleusine	16,0	64,3	68,3	-	11,4	6,50	1 633	1 286	1 796	-

^aLa viscosité maximale a été obtenue à 83,5 °C.

Sources : Rooney et Serna-Saldivar, 1991 ; Leach, 1965 ; Horan et Heider, 1964 ; Subramanian et al., 1982 ; Beleia, Varriano et Hosoney, 1980 ; Yabez et Walker, 1986 ; Lorenz et Hinze, 1976 ; Wankhede, Shehnaj et Raghavendra Rao, 1976b ; Paramans et Taranathan, 1980.

Distribution des fractions protéiques dans les graines de sorgho et de mil (en pourcentage des protéines totales)

Fraction	Sorgho		Mil chandelle		Eleusine		Millet des oiseaux	
	Fourchette	Moyenne arithmétique	Fourchette	Moyenne arithmétique	Fourchette	Moyenne arithmétique	Fourchette	Moyenne arithmétique
Albumine + globuline	17,1-17,8	17,4	22,6-26,6	25,0	17,3-27,6	22,4	11,6-29,6	17,1
Prolamine	5,2-8,4	6,4	22,8-31,7	28,4	24,6-36,2	32,3	47,6-63-4	56,1
Prolamine à structure réticulaire	18,2-19,5	18,8	1,8-3,4	2,7	2,5-3,3	2,78	6,4-17,6	8,9
Type glutéline	3,4-4,4	4,0	4,7-7,2	5,5	-	-	5,2-11,9	9,2
Glutéline	33,7-38,3	35,7	16,4-19,2	18,4	12,4-28,2	21,2	-	6,7
Résidu	10,4-10,7	10,6	3,3-5,1	3,9	16,1-25-3	21,3	-	2,0
Total	91,2-94,0	92,9	78,6-87,5	83,9	74,7-83,9	78,7	-	98,0

Sources : Jambunathan, Singh et Subramanian, 1984 (sorgho et mil chandelle) ; Virupaksha, Ramachandra et Nagaraju, 1975 (éleusine) ; Monteiro, Virupaksha et Rajagopol Rao, 1982 (millet des oiseaux).

Composition en sucres solubles du sorgho et des mils (en gramme pour 100 g de matière sèche)

Graine	Nombre de cultivars	Sucre total	Sucrose	Glucose + fructose	Raffinose	Stachyose
Sorgho normal (a)	10	2,25 (1,3-5,2)	1,68 (0,9-3,9)	0,25 (0,06-0,74)	0,23 (0,10-0,39)	0,10 (0,04-0,21)
Sorgho normal (b)	-	1,34	0,61	0,52	0,15	0,06
Sorgho sacchareux	-	2,21	0,81	0,95	0,39	0,06
Sorgho à haute teneur en lysine	-	2,57	0,94	1,13	0,39	0,11
Mil chandelle	9	2,56 (2,16-2,78)	1,64 (1,32-1,82)	0,11 (0,08-0,16)	0,71 (0,65-0,84)	0,09 (0,06-0,13)
Eleusine	3	0,65 (0,59-0,69)	0,22 (0,20-0,24)	0,16 (0,14-0,19)	0,07 (0,06-0,08)	-
Millet des oiseaux	1	0,46	0,15	0,10	0,04	-
Millet commun	6	-	0,66	-	0,08	-

Sources : Subramanian, Jambunathan et Suryaprakash, 1980 ; Murty et al., 1985 ; Subramanian, Jambunathan et Suryaprakash, 1981 ; Wankhede, Shehnaj et Raghavendra Rao, 1979 ; Becker et Lorenz, 1978

Composition en acides aminés essentiels (mg/g) et indice chimique des protéines

Graine	Isoleucine	Leucine	Lysine	Méthionine	Cystine	Phénylalanine	Tyrosine	Thréonine	Tryptophane	Valine	Indice chimique
Sorgho	245	832	126	87	94	306	167	189	63	313	37
Mil chandelle	256	598	214	154	148	301	203	214	122	345	63
Eleusine	275	594	181	194	163	325	-	263	191	413	52
Millet des oiseaux	475	1 044	138	175	-	419	-	194	61	431	41
Millet commun	405	762	189	160	-	307	-	147	49	407	56
Petit mil	416	679	114	142	-	297	-	212	35	379	33
Moha du Japon	288	725	106	133	175	362	150	231	63	388	31
Millet indigène	188	419	188	94	-	375	213	194	38	238	55

Sources :FAO, 1970a ; Indira et Naik, 1971.

Composition minérale du sorgho et des mils (mg %)^a

Graine	Nombre de cultivars	P	Mg	Ca	Fe	Zn	Cu	Mn	Mo	Cr
Sorgho	6	352	171	15	4,2	2,5	0,44	1,15	0,06	0,017
Mil chandelle	9	379	137	46	8,0	3,1	1,06	1,15	0,07	0,023
Eleusine	6	320	137	398	3,9	2,3	0,47	5,49	0,10	0,028
Millet des oiseaux	5									
Complet		422	81	38	5,3	2,9	1,60	0,85	-	0,070
Décortiqué		360	68	21	2,8	2,4	1,40	0,60	-	0,030
Millet commun	5									
Complet		281	117	23	4,0	2,4	5,80	1,20	-	0,040
Décortiqué		156	78	8	0,8	1,4	1,60	0,60	-	0,020
Petit mil	5									
Complet		251	133	12	13,9	3,5	1,60	1,03	-	0,240
Décortiqué		220	139	13	9,3	3,7	1,00	0,68	-	0,180
Moha du Japon	5									
Complet		340	82	21	9,2	2,6	1,30	1,33	-	0,140
Décortiqué		267	39	28	5,0	3,0	0,60	0,96	-	0,090
Millet indigène	5									
Complet		215	166	31	3,6	1,5	5,80	2,90	-	0,080
Décortiqué		161	82	20	0,5	0,7	1,60	1,10	-	0,020

^aSur la base de la matière sèche.

Sources : Sankara Rao et Deosthale, 1980 (sorgho), 1983 (mil chandelle et éleusine), données non publiées (autres mils).

Moyennes des contenus nutritifs des farines de sorgho^a

Type de farine	Méthionine (mg/g N)	Lysine (mg/g N)	Thiamine (µg/g)	Riboflavine (µg/g)	Niacine (µg/g)	VNR (%)
Témoin	9,1a*	11,25a	3,66ab**	1,34a**	68,39a**	45,57b**
Fermentée, 25 °C	33,2b	25,68b	3,18a	1,27a	70,88a	55,10a
Fermentée, 35 °C	34,5b	26,79b	3,87b	1,38a	70,91a	56,17a

^aN = 5. Les moyennes affectées de différentes lettres sont sensiblement différentes. * Sensible à P < 0,01. ** Sensible à P < 0,05.
Source : Au et Fields, 1981.

Formes d'utilisation des sorghos et des mils en Inde

Aliments	Type de produit	Forme de grain utilisé	Consommateurs	
			Nombre	% ^a
Sorgho				
Roti	Galette sans levain	Farine	1 132	67
Sangati	Porridge épais	Mélange de particules grossières et de farine	811	48
Annam	Type riz	Grain décortiqué	586	35
Kudumulu	Etuvé	Farine	295	18
Dosa	Crêpe	Farine	213	13
Amball	Porridge fluide	Farine	167	10
Boorelu	Frit	Farine	164	10
Pelapindi	Grain complet éclaté et farine	Mélange de particules grossières et de farine	94	6
Karappoosa	Frit	Farine	42	3
Thapala chak-kalu	Sauté	Farine	24	1
Mil chandelle				
Roti	Pain sans levain	Farine	706	88
Sangati	Porridge épais	Mélange de particules grossières et de farine	305	38
Annam	Type riz	Grain décortiqué	268	33
Kudumulu	Etuvé	Farine	229	29
Boorelu	Frit	Farine	145	18
Dosa	Crêpe	Farine	26	3
Thapala chak-kalu	Sauté	Farine	24	3
Amball	Porridge fluide	Farine	22	3
Eleusine				
Sangati	Porridge épais	Brisures de riz et farine	308	63
Roti	Pain sans levain	Farine	151	31
Amball	Porridge fluide	Farine	149	31
Millet commun				
Annam	Type riz	Grain décortiqué	236	94
Muruku	Frit	Farine	96	38
Karappoosa	Frit	Farine	37	15
Ariselu	Frit	Farine	17	7
Millet des oiseaux				
Annam	Type riz	Grain décortiqué	517	96
Ariselu	Frit	Farine	21	4
Sangati	Porridge épais	Farine	12	2
Roti	Pain sans levain	Farine	7	1
Millet indigène				
Annam	Type riz	Grain décortiqué	76	96

^a - Pour chaque grain, pourcentage des consommateurs touchés par l'enquête qui consomment les préparations indiquées : par exemple, 67 pour cent des consommateurs de sorgho ont déclaré qu'ils consommaient du sorgho sous forme de *roti*.

Source : Pushpamma et Chittamma Rao, 1981.

Aliments traditionnels fabriqués à partir de mil chandelle

Type d'aliment	Noms communs	Pays
Pain non fermenté	Roti, rotii	Inde
Pain fermenté	Kisra, dosa, dosai, galletes, injera	Afrique, Inde
Porridge épais	Ugali, tuwo, saino, dalaki, aceda, atap, bogobe, ting, tutu, kalo, karo, kwon, nshimba, nuchu, tō, tuo, zaafi, asidah, mato, sadza, sangati	Afrique, Inde
Porridge fluide	Uji, ambali, edi, eko, kamo, nasha, bwa kal, obushera	Afrique, Inde
	Ogi, oko, akamu, kafa, koko, akasa	Nigéria, Ghana
Produits étuvés	Couscous, degue	Afrique de l'Ouest
Bouillie, aliments type riz	Annam, acha	Afrique, Inde
Snacks		Afrique, Inde
Bières opaques douces/amères	Burukutu, dolo, pito, talla	Afrique de l'Ouest
Bières opaques amères	Marisa, busaa, merissa, urwaga, mwenge, munkoyo, utshwala, utywala, ikigage	Soudan, Afrique australe
Boissons non alcooliques	Mehewu, amaheu, marewa, magou, leting, abrey, huswa	Afrique

Source : Rooney et McDonough, 1987

Composition approchée et teneur en tanins de la farine et du pain de sorgho ^a

Produit	Humidité (%)	Protéine brute (N x 6,25)	Matière grasse (%)	Fibre brute (%)	Cendres (%)	Hydrates de carbone (par différence) (%)	Tanins ^b (%)
Farine							
Sorgho blanc	12,4	15,3	4,7	2,3	2,2	75,5	0,09
Sorgho blanc rougeâtre	12,1	15,9	5,1	2,5	2,3	74,2	0,27
Pain							
Sorgho blanc	27,2	15,7	4,0	2,5	2,5	75,3	0
Sorgho blanc rougeâtre	32,2	16,2	5,1	2,4	2,4	73,9	0
Sorgho blanc rougeâtre fermenté	35,4	16,4	4,9	2,9	2,2	73,6	0

^a Moyennes arithmétiques de détermination effectuées en double (écart < 5%) exprimées sur la base du poids de la matière sèche, sauf l'humidité qui a été déterminée sur des échantillons frais.

^b Exprimé en équivalents catéchine (EC).

Source : Khalil et al., 1984.

Composition en sels minéraux de la farine et du pain de sorgho (mg %) ^a

Produit	Na	K	Ca	P	Mg	Fe	Zn	Cu	Mn
Farine									
Sorgho blanc	21	458	18	396	54	5,0	3,3	0,8	3,5
Sorgho rougeâtre	23	463	16	407	58	4,5	3,2	0,7	3,4
Pain									
Sorgho blanc	133	308	30	259	49	5,4	2,4	0,6	2,6
Sorgho rougeâtre	160	308	23	256	54	5,0	2,3	0,6	2,3
Sorgho rougeâtre fermenté	174	300	27	187	57	4,2	2,5	0,7	2,8

^a Moyennes arithmétiques de détermination effectuées en double (écart < 5%) exprimées sur la base du poids de la matière sèche.

Source : Khalil et al., 1984.

Composition approchée^a et teneur en tanins de la farine et du pain de mil chandelle

Produit	Humidité	Protéine brute (N x 6,25)	Matière grasse brute (%)	Fibre brute (%)	Cendres (%)	Hydrates de carbone (par différence) (%)	Energie (Kcal/100g)	Tanins (%)
Farine								
Telle quelle	9,7 ± 0,8	15,7 ± 0,3	5,7 ± 0,2	2,5 ± 0,7	2,0 ± 0,1	64,4 ± 2,1	372 ± 10,5	0,17 ± 0,05
Matière sèche		17,4	6,3	2,8	2,2	71,3	412	0,19
Pain								
Tel quel	26,6 ± 1,5	12,7 ± 0,4	4,1 ± 0,2	2,1 ± 0,3	1,9 ± 0,2	52,6 ± 1,8	299 ± 9,2	0
Matière sèche		17,3	5,6	2,8	2,6	71,9	407	0

^aMoyennes arithmétiques ± écart type (n > 3).

Source : Sawaya, Khalil et Safi, 1984.

Compositions testées et mises au point pour adoption dans des programmes d'alimentation (mélanges de mil et de légumineuses)

Ingrédients	Proportion
Rawa de sorgho (semoule) : farine de soja : lait écrémé en poudre	70:25:5
Rawa de sorgho : farine de soja : sucre	70:10:20
Farine de sorgho : farine d'ers	80:20
Farine de mil chandelle : farine de haricots velus	70:30
Farine de mil chandelle : farine de haricots mungos	70:30
Farine de mil chandelle : farine de pois chiches	70:30

Source : Vimale, Kaur et Hymavati, 1990.

□ Principaux inhibiteurs nutritionnels et facteurs toxiques dans les graines de sorgho et mil (1)

Nature	Action négative pour le métabolisme	Comment minimiser le problème
Phytates	Complexes phytate-métal, qui rendent les minéraux biologiquement inaccessibles (animaux, humains)	Maltage des graines, fermentation
Polyphénols (tanins)	Liaison avec protéines, enzymes, diminuent la digestibilité des protéines et hydrates de carbone	Mouture, humidification des grains à l'alcali; addition de bicarbonate de sodium à la ration alimentaire
Inhibiteurs d'enzymes digestives	Inhibiteurs d'amylases et de protéases (sorghos, mils, eleusines)	Choix de variétés
Éléments goitrogènes	Formation de goitres, plus fréquents avec le mil	Trempage des grains à 26% humidité, passage à l'autoclave.
Deséquilibre des acides aminés et pellagre	Fort taux de leucine qui empêche le métabolisme du tryptophane et niacine, chez le sorgho	Choix des variétés
Mycotoxines	Toxicité des aflatoxines (Beta) (hepatotoxique, carcinogène, mutagène)	Conservation des graines à moins de 13% d'humidité

(1) Extraits du livre "Le sorgho et les mils dans la nutrition humaine " - Chapitre 6, p 127 - p 143 - **FAO** - Rome, 1995.

QUELQUES CRITÈRES POUR ÉVALUER LA QUALITÉ DU GRAIN DE SORGHO (1)

- **Teneur en tanins** → exprimée en % d'acide tannique par rapport à la matière sèche.
⇒ Il doit être le plus bas possible et ne pas dépasser 0,4% de la matière sèche, du point de vue commercial (*Une teneur élevée de tanins a un effet négatif sur la digestibilité des protéines et des hydrates de carbone et réduit la croissance*)
- **Teneur en protéines** → exprimée en % de la matière sèche.
⇒ La plus élevée possible, meilleure du point de vue commercial.
- **Indice de dureté** (Particle size index = PSI %)
- **Échelle** : à titre indicatif, un PSI < 16% indique un grain dur (2)
- **Vitrosité** - échelle de 0 à 4 -
0 = totalement farineux
4 = totalement vitreux (2)

(1) Pour l'alimentation humaine.

(2) **Grains vitreux**, durs, peuvent être utilisés dans la fabrication de pâtes, pain, etc... (produits nobles)

Source : Catalogue du CIRAD (ex IRAT) - 1989.

CARACTÉRISTIQUES DE QUALITÉ DE QUELQUES VARIÉTÉS DE SORGHO DU CIRAD
(Source : Catalogue CIRAD - 1989)

Variétés	Teneur en Tanins % (*)	Teneur en Protéines %
IRAT 9	0,530	12,0
IRAT 10	0,009	12,8
IRAT 11	0,041	14,4
IRAT 13	-	-
IRAT 150	-	-
IRAT 151	-	-
IRAT 153	-	-
IRAT 154	-	-
IRAT 155	-	-
IRAT 174	0,00	15,0
IRAT 203	0,031	15,3
IRAT 204	0,032	11,8
IRAT 205	0,023	12,7
IRAT 206	0,041	13,4
IRAT 207	0,009	12,1
IRAT 322	-	-
IRAT 324	-	-

(*) SEUIL POUR L'ALIMENTATION HUMAINE < 0,4 % .