

**Cultiver durablement et proprement les
sols de la planète, en semis direct**

**L. Séguy
S. Bouzinac
CIRAD-CA/GEC
Juin 1999**

Avis au lecteur

Ce court article est la matière première d'une publication destinée à la revue de vulgarisation scientifique "Pour la Science" (*article remis en juillet 1999*).

Après un bref historique du semis direct, sont abordés successivement : l'échec du transfert Nord-Sud des techniques de travail du sol pour la mise en valeur durable des sols ferrallitiques des fronts pionniers du sud de l'Amazonie, un nouveau concept de gestion des sols tropicaux inspiré du fonctionnement de l'écosystème forestier qui est né de cet échec, les divers systèmes de culture et d'élevage que nous avons construits sur ce modèle naturel.

Ensuite, sont très rapidement exposées, les conséquences agronomiques et technico-économiques de l'utilisation du semis direct sur les performances des systèmes de culture.

L'article rapporte en outre, les principaux impacts du semis direct dans le centre-ouest du Brésil : sur les modes de gestion des sols, sur la production de grains, sur l'élevage, sur l'évolution des sols et de l'environnement, sur les agriculteurs.

Enfin, la question est posée de savoir si ces techniques peuvent intéresser l'agriculture française et quelques arguments solides sont avancés qui militent pour leur développement.

() Si l'essentiel du contenu de cet article sur le semis direct est déjà connu pour avoir fait l'objet de publications dans la revue Agriculture et Développement, il apporte de nouveaux résultats très convaincants pour l'agriculture durable, notamment sur la fermeture du système sol-culture, le recyclage des nutriments et la recharge en carbone du profil cultural en conditions tropicales humides. Ces preuves chiffrées du fonctionnement du semis direct qui alimentent le moulin de l'agriculture durable gérée au moindre coût, sont exposés sous forme de graphiques et dessins qui peuvent être utiles à l'enseignement.*

Goiânia, 28 juin 1999.

Ing. Agronome Lucien Séguy

Définition et bref historique du semis direct : du geste ancestral à son essor dans l'agriculture moderne, d'abord aux États Unis, puis au Brésil.

Le semis direct est un système de semis, dans lequel la semence est placée directement dans le sol qui n'est jamais travaillé. Seul un petit sillon ou un trou est ouvert, de profondeur et largeur suffisantes, avec des outils spécialement conçus à cet effet, pour garantir une bonne couverture et un bon contact de la semence avec le sol. Aucune autre préparation du sol n'est effectuée¹. L'élimination des mauvaises herbes, avant et après le semis pendant la culture, est faite avec des herbicides, les moins polluants possibles pour le sol.

Le principe du semis direct n'est pas nouveau en soi, il est utilisé depuis les temps anciens par les cultures indigènes : les agriculteurs de l'Égypte ancienne, et les Incas dans les Andes d'Amérique du Sud, utilisaient un bâton pour faire un simple trou dans le sol, dans lequel la graine était placée à la main et recouverte au pied. Aujourd'hui encore, des centaines de milliers d'hectares sont plantés traditionnellement, en semis direct, par les petites agriculteurs indigènes² de la zone tropicale humide qui pratiquent l'agriculture itinérante de subsistance sur brûlis, dans les forêts d'Amérique Latine, d'Afrique et d'Asie.

Dans l'agriculture moderne motorisée des pays du Nord, c'est aux États Unis que les premières tentatives de semis direct sans aucune préparation du sol ont vu le jour, dès la fin des années 1940³, en réaction à une période catastrophique pour l'environnement, où les grandes plaines américaines subissaient une érosion éolienne catastrophique : le fameux "Dust Bowl". Mais c'est surtout à partir du début des années 1960, avec la diffusion de l'herbicide total Paraquat⁴, que le semis direct a réellement pris son essor, grâce en particulier, aux travaux de Harry et Lawrence Young sur leur ferme à Herndon¹, dans le Kentucky, qui ont rapidement fait des milliers d'émules sur le territoire américain.

Simultanément à ces premières démonstrations convaincantes, le fabricant de machines agricoles, Allis Chalmers, créait en 1966, le premier semoir de semis direct. Comme le semis direct est possible immédiatement après la récolte, le soja de semis direct se développait sur les résidus de la culture de blé¹. Dans le même temps, Shirley Phillips⁵, pionnier de la recherche sur le semis direct à Lexington, Université du Kentucky, se consacrait corps et âme à la diffusion de ces nouvelles techniques, non seulement aux USA, mais aussi en Amérique Latine. La surface en semis direct aux USA, qui occupait 2,2 millions d'hectares en 1973/74, dépasse aujourd'hui les 20 millions d'ha, soit environ 16% de la surface totale cultivée aux États Unis.

Au Brésil, les premières tentatives sur le semis direct ont commencé en 1969 dans l'État du Rio Grande do Sul⁶. Mais c'est surtout à l'État du Paraná⁷ que revient le mérite d'avoir développé très vite, ces techniques à grande échelle, grâce d'abord à l'initiative pugnace de Herbert Bartz, agriculteur d'origine allemande, qui, après un voyage d'informations sur le semis direct en Angleterre et aux États Unis, importait le premier semoir d'Allis Chalmers et plantait sa première culture de soja de semis direct en 1972 à Rolândia.

Ensuite, les recherches intensives conduites par l'IAPAR⁸, entre 1973 et 1981, avec la coopération d'ICI et de la GTZ⁹ ont permis de mettre au point, les rotations les plus appropriées au semis direct, aux plans agronomique et économique, dans les conditions subtropicales de l'État du Paraná. Dans le même temps, les travaux pionniers à grande échelle de Frank Dijkstra et Manoel Henrique Pereira¹⁰, agriculteurs dans la région des "campos gerais" de Ponta Grossa, ont entraîné une très large et très rapide diffusion du semis direct dans le

1. Phillips and Young, 1973.

2. Le système de culture du haricot "Tapado", en Amérique Centrale et Mexique est également une technique de semis direct, depuis des siècles.

3. En Caroline du Nord, avec l'avènement de la molécule 2-4 D, dans la fin des années 1940.

4. Développé par ICI, au Royaume Uni, en 1955.

5. Shirley Phillips est unanimement considéré comme le "père" du semis direct.

6. Faculté d'agronomie de Não Me Toque.

7. Initiative de l'IPEAME (*Institut de Recherches Agropastorales du Sud, basé à Londrina*), en coopération avec GTZ (*Recherche agronomique allemande*)

8. Institut de recherche de l'État du Paraná.

9. R. Derpsh, et al., 1991.

10. Président de la Fédération du Semis Direct au Brésil - FEBRAPDP, entre 1992 et 1998.

Paraná, qui occupait environ 200 000 hectares en 1986, les états du Sud du Brésil¹¹ et en Amérique Latine.

Plus récemment, à partir du début des années 1990, la nouvelle et la plus importante expansion du semis direct s'est faite dans la région des cerrados (*savanes*) du centre et de l'Ouest du Brésil, grâce, à la fois, aux travaux de recherches de L. Séguy et S. Bouzinac du CIRAD sur les fronts pionniers du sud de l'amazone, à ceux de John Landers¹² avec les agriculteurs partenaires dans le sud ouest de l'État de Goiás et au remarquable travail de diffusion de l'APDC (*Association du Semis Direct des Cerrados*), de la MANAH¹² (*firme de fertilisants*) et de POTAFOS¹². Plus de 3 millions d'hectares sont passés en semis direct, en moins de 10 ans dans cette région.

Les cultures les plus importantes conduites en semis direct au Brésil sont maintenant le soja, le maïs, le blé, l'orge, le sorgho, le tournesol, le riz irrigué, et plus récemment le coton, le riz pluvial à haut potentiel¹³ et les pâturages temporaires.

Entre 1970 et 1998, plus de 10 millions d'hectares ont été conquis par les techniques de semis direct au Brésil. En Amérique Latine, on estime que les surfaces occupées par ces techniques conservatrices, en moins de 20 ans, dépassent les 16 millions d'hectares. L'ampleur et la vitesse de conquête du semis direct dans cette région du monde tropical et subtropical constitue certainement, la révolution agricole la plus importante des 50 dernières années.

C'est à cette conquête la plus récente et la plus spectaculaire, que l'essentiel de cet article sera consacré, sur les frontières agricoles des savanes (*cerrados*) humides du sud du bassin amazonien, dans des conditions climatiques extrêmes où sont rapidement extériorisées les intérêts et les limites des techniques.

Un vaste réservoir de terres mécanisables pour aider à nourrir l'humanité du 21^{ème} siècle : les cerrados d'Amérique Latine, dernier rempart de terres vierges exploitables, avant la forêt.

En Amérique Latine, les cerrados de sols acides occupent près de la moitié des terres cultivables, soit environ 243 millions d'hectares, concentrés pour la plupart au Brésil, puis en Colombie et au Venezuela, soit le double de la surface des terres cultivées aux États Unis. Environ 23% du territoire brésilien est occupé par l'écosystème du "cerrado" avec 200 millions d'hectares, dont au moins 50 millions sont potentiellement utilisables pour une agriculture mécanisée intensive ; une bonne part de ce vaste réservoir de terres arables se situe dans la zone tropicale humide, à l'Ouest et au Nord.

Tous les spécialistes du développement agricole brésilien sont d'accord pour affirmer qu'une mise en valeur pleine, rationnelle et intensive de ce réservoir de terres, pourrait fournir sans irrigation complémentaire, plus de 150 millions de tonnes de grains, 9 millions de tonnes de viande et plus de 300 millions de m³ de bois, tout en conservant 20% de cette surface pour la préservation de l'environnement¹⁴. En considérant la possibilité d'utiliser l'irrigation sur 10 millions d'ha, la production finale pourrait atteindre 190 millions de tonnes¹⁴, soit plus de 40% de la production de grains des États Unis.

Les savanes (*cerrados*) représentent donc, un vaste réservoir encore peu exploité, disponible pour alimenter l'humanité du 21^{ème} siècle, et en particulier, les savanes humides caractérisées par un fort potentiel climatique qui peut être mis en valeur aussi bien pour les cultures pérennes, alimentaires et industrielles annuelles que pour l'élevage, si l'homme sait exploiter ce milieu durablement, sans le dégrader (*cf. carte en annexe*).

Le transfert Nord-Sud des technologies de travail du sol : un constat d'échec lourd de conséquences pour la ressource sol et l'environnement en général.

Au Brésil, la mise en culture des savanes de la zone tropicale humide (*cerrados*) a commencé vers la fin des années 1970, avec l'arrivée des agriculteurs des états du Sud, qui ont colonisé et conquis rapidement les états du Centre-Ouest, puis de l'Ouest plus humide ; l'agriculture qui s'y est développée, est mécanisée et a été

11. Travaux de la Fondation ABC (*Hans Peeten, Josué Nelson Pavei*).

12. Secrétaire exécutif de l'APDC (*Association du semis direct des cerrados*). MANAH: grâce aux incitations de son président, Dr Fernando Penteado Cardoso. POTAFOS : grâce aux publications diffusées par son directeur Dr Tsuioshi Yamada.

13. Travaux du CIRAD (*L. Séguy, S. Bouzinac*) et ses partenaires (*Groupe MAEDA et AGRONORTE*).

14. Godebert et al., 1980 ; Godebert, 1989.

construite, après ouverture des terres avec du riz pluvial et des pâturages extensifs (*Brachiarias*), sur la monoculture industrielle de soja pour gérer des excédents exportables. Ce mode d'exploitation pratiqué exclusivement aux engins à disques s'est révélé rapidement désastreux pour les sols sous une très forte pluviométrie de 2 000 à 3 000 mm répartie sur 7 mois.

Les sols, qui correspondent aux sols ferrallitiques fortement désaturés¹⁵ de la classification française, sont très acides, très pauvres en éléments nutritifs (*carencés en Phosphore, Potasse, Calcium, Magnesium et Zinc*), et très rapidement dépourvus de matière organique, lorsque la couverture végétale est enlevée. De plus, l'exploitation inadéquate et exclusive des terres mises en culture par des engins à disques (*offset lourds et pulvérisateurs légers*) a très rapidement, sous ces conditions climatiques excessives, détruit l'état structural des sols par pulvérisation excessive, entraîné une forte compaction en surface, qui réduit la porosité, diminue la capacité d'infiltration de l'eau et concentre les semences des mauvaises herbes dans les 10-15 premiers centimètres, les plaçant ainsi en conditions idéales de germination et de compétition précoce pour les cultures.

Au total, ce mode destructeur de travail du sol venu des pays du Nord et allié à la pratique continue de la monoculture de soja a provoqué des dégâts considérables sur les sols : érosion catastrophique des unités de paysage, qui a entraîné une baisse insidieuse d'abord, puis rapide et continue ensuite de la productivité du sol malgré l'emploi accru d'intrants chimiques (*engrais minéraux, pesticides*). En quelques années, des faillites régionales spectaculaires ont eu lieu, laissant des paysages vides et désolés. Ces faillites, pour l'agriculture et l'environnement ont été d'autant plus sévères que ces fronts pionniers de l'Ouest brésilien sont très isolés économiquement. Ils sont très éloignés des ports d'exportation et des grands centres de transformation et de consommation, ce qui pénalise fortement les exploitations agricoles, car elles dépendent du réseau routier, précaire et mal entretenu qui élève le coût du transport, donc les coûts de production et réduit d'autant les prix payés aux producteurs. Ces prix payés peuvent être ainsi, inférieurs de 20 à 50% à ceux pratiqués dans les états du Paraná et de São Paulo (*Sud Brésil*).

L'intervention de la recherche agronomique : une stratégie au service des agriculteurs, chez eux, dans leurs milieux.

Le CIRAD¹⁶ est intervenu sur les fronts pionniers du centre nord du Mato Grosso, où plus d'un million d'hectares sont aujourd'hui cultivés, pour construire les bases de la fixation d'une agriculture durable d'abord en zone de savanes entre 1983 et 1994, puis ensuite en zone de forêt pour précéder et préparer l'arrivée éventuelle des fronts pionniers mécanisés dans cette écologie qu'il faut à tout prix protéger. Dans un contexte économique très sensible, chaotique, un milieu physique fragile soumis à des contraintes climatiques excessives, la gestion durable de la ressource sol, au moindre coût, a été prise en compte comme un objectif majeur pour la recherche, indissociable de celui de gestion du risque économique. Partant de la situation généralisée de monoculture de soja, désastreuse pour le milieu physique, cette gestion du risque économique s'est traduite par la mise au point progressive de systèmes de cultures diversifiés, agronomiquement justifiés et reproductibles, techniquement praticables et préservateurs du capital-sol, qui tirent le mieux parti du fort potentiel hydrique disponible (*création de systèmes à deux cultures annuelles*), et qui soient économiquement lucratifs et les plus stables possible. Parallèlement à la gestion durable du patrimoine sol, la recherche de la qualité des produits en rotations a été considérée également comme prioritaire pour leur donner un maximum de valeur ajoutée.

La recherche oeuvrant avec, pour et chez les agriculteurs, dans leurs milieux, a rapidement mis en évidence l'échec du transfert Nord-Sud des techniques de préparation mécanisée des terres dans ce type de milieu : malgré une amélioration très significative, mais de courte durée, des performances technico-agronomiques des systèmes de culture par rapport à la situation initiale, toutes les techniques de travail mécanisé associées aux rotations de culture (*labour, chisel, outils à disques*), ont montré très vite leur limite pour la gestion durable et au moindre coût de la ressource sol, notamment par une maîtrise insuffisante de l'érosion et surtout par la perte de la moitié du stock de matière organique après seulement 5 ans d'utilisation continue de ces modes de gestion mécanisée, interdisant toute agriculture durable sans très forte augmentation d'intrants coûteux (*fig. 1*).

15. Oxysoils de la soil taxonomy américaine.

16. Équipe L. Ségué, S. Bouzinac et ses partenaires brésiliens de la recherche et du développement : en coopération avec les agriculteurs (*dont le pionnier, Mr. Munefume Matsubara*), le CNPAF, Centre de Recherche Fédéral sur le riz et le haricot de l'EMBRAPA et l'EMPAER-MT, Centre de Recherche de l'état du Mato Grosso, puis, en partenariat avec RHODIA (*filiale Brésil de Rhône Poulenc*) et la coopérative COOPERLUCAS de Lucas do Rio Verde, de 1993 à 1995, et plus récemment, avec l'entreprise AGRONORTE, implantée à Sorriso et Sinop, entre 1995 et 1999.

Il fallait donc se rendre à l'évidence : les sols tropicaux doivent être cultivés autrement.

La recherche a alors imaginé de nouveaux concepts et pratiques agricoles qui soient réellement adaptés aux contraintes pédoclimatiques de la zone tropicale humide. **Ces nouveaux concepts de gestion et leur mise en pratique sont basés sur le fonctionnement de la forêt ombrophile, adapté à l'activité agricole (fig. 2 et 3).** Les caractéristiques de l'écosystème forestier, en particulier sa stabilité, révèlent un fonctionnement complexe et remarquablement efficace, capable d'assurer à la fois, une productivité primaire élevée et le recyclage du faible stock d'éléments minéraux nutritifs présents, sans perte ni exportation. La plus grande partie du prélèvement des éléments nutritifs par les racines des plantes, les mycorhizes et la biomasse microbienne se situe dans les 5 à 10 premiers centimètres du sol.

Ce sont à ces mécanismes de fonctionnement qui confèrent à la forêt sa remarquable stabilité, que les recherches du CIRAD ont été consacrées pour les reproduire et les adapter à l'échelle des systèmes de culture qui devront être pratiqués sur un sol toujours recouvert d'une importante couverture végétale morte ou vivante et dans lequel les pertes en éléments nutritifs devront être réduites au minimum, nulles si possible.

La recherche a construit 3 grands types de systèmes de culture à partir de ce concept de base, qui s'inspire du fonctionnement de l'écosystème forestier :

1 - Les systèmes de production continue de grains, bâtis sur des successions à 2 cultures annuelles pratiquées en semis direct : Une culture commerciale suivie d'une culture qui soit capable de produire une forte biomasse aussi bien au dessus du sol que dans le sol, et qui ne reçoit pas d'intrants ou un minimum. Si en conditions subtropicales et tempérées qui comportent une saison froide, le semis direct des cultures peut s'effectuer dans les seuls résidus de récolte qui se décomposent lentement à la surface du sol (*graminées surtout*) et assurent une bonne couverture du sol, il en va tout autrement dans les conditions tropicales chaudes et humides de basse altitude où le taux de minéralisation (*décomposition*) de la matière organique est beaucoup plus élevé (*taux annuel de 5% environ, contre 2% en climat temperé*).

Les seuls résidus de récolte sont insuffisants pour assurer une couverture permanente du sol, donc une protection totale contre l'érosion, et l'entraînement des éléments nutritifs en profondeur est très important sous plus de 2 000 - 3 000 mm de pluviométrie annuelle, en particulier les nitrates, le calcium, la potasse ; il fallait donc dans ces conditions, à la fois, renforcer la couverture du sol pour qu'elle soit permanente, par l'implantation d'une biomasse additionnelle et que cette biomasse ait, grâce à ses racines, une grande capacité de recyclage pour les éléments nutritifs entraînés en profondeur, qu'elle exerce un fort pouvoir restructurant du sol pour pouvoir substituer un travail biologique du sol à celui du travail mécanique (*fig. 2 et 3*).

Cette biomasse est produite par une culture de mil ou sorgho guinea capable de fort développement végétatif au dessus et au dessous de la surface du sol, en conditions climatiques marginales du début et/ou de la fin de saison de pluies ; la biomasse produite est donc placée avant et/ou après la culture commerciale et son coût est inférieur à celui de la préparation mécanisée des terres (*moins de 50 US\$/ha*). Véritable "pompe biologique", cette biomasse qui précède et/ou succède à la culture commerciale, a pour fonctions agronomiques essentielles et complémentaires de : protéger complètement le sol contre l'érosion, séquestrer le carbone dans le profil cultural, alimenter la culture commerciale par voie biologique en se décomposant (*minéralisation*), minimiser, voire supprimer les pertes en éléments nutritifs dans le système sol-plante, grâce à un puissant système racinaire recycleur, maintenir une biostructure stable dans le profil cultural, amortir les variations d'humidité et de température à la surface du sol, pour permettre à la faune de se développer et de se maintenir dans l'horizon de surface, assurer un meilleur contrôle au moindre coût des adventices (*actions conjuguées de l'obscurité et des propriétés allélopathiques¹⁷ des couvertures*) et du complexe parasitaire des cultures, en général.

Le sol n'est plus travaillé, les résidus de récolte et la phytomasse additionnée par les "pompe biologiques" assurent une couverture permanente du sol aussi bien en saison des pluies qu'en saison sèche. Un horizon nourricier à très forte activité biologique se crée dans les 5 premiers cm du sol, à l'image de celui que l'on trouve sous la forêt.

17. En se décomposant, la couverture morte du sol libère des substances qui inhibent la germination des mauvaises herbes.

La biomasse des pompes biologiques type mil, sorgho, *Eleusine c.*, peut être renforcée, si nécessaire, en succession de la culture commerciale en fin de cycle des pluies, en implantant, en semis direct un mélange de mil ou de sorgho avec des espèces fourragères du genre *Brachiaria* qui peuvent se maintenir vertes durant toute la saison sèche et donc être pâturées (*ferme de production de grains + élevage*). L'activité racinaire du *Brachiaria* se poursuit en saison sèche, améliorant les propriétés physiques du sol, parachevant le travail de recyclage plus limité dans le temps du mil ou sorgho associés (*fig. 8*).

La biomasse verte à aptitude fourragère constitue également une assurance contre les incendies accidentels de saison sèche.

Au premières pluies de la saison suivante, le mélange mil ou sorgho plus *Brachiaria* repart et renforce encore la couverture du sol avant le semis direct de la culture commerciale. Juste avant le semis direct de cette dernière, un herbicide total du type glyphosate est appliqué sur la biomasse pour la dessécher ; une semaine à 10 jours après l'application de l'herbicide, le semis direct de la culture commerciale peut commencer.

Les herbicides totaux de type Glyphosate¹⁸, ne sont pas polluants pour le sol dans ce système : appliqués sur une très forte phytomasse verte, ils n'atteignent pas le sol ou en quantité dérisoire qui est immédiatement inactivée au contact du sol (*fortement adsorbée par les colloïdes, donc non lixiviable*). Sur la culture commerciale en développement, les herbicides utilisés sont sélectifs de la culture. Comme dans le cas de l'utilisation des herbicides totaux en pré-semis, les herbicides sélectifs dans la culture n'atteignent pas ou très peu le sol protégé sous la couverture. De plus, les nouvelles molécules utilisées sont de plus en plus performantes à très faible dose¹⁹ et sont de moins en moins polluantes surtout dans de tels systèmes de culture sur couverture permanente où le sol est totalement protégé et où l'activité biologique intense est une garantie supplémentaire de dégradation rapide des molécules xénobiotiques.

Dans ce système de semis direct construit sur 2 cultures annuelles en succession, les cultures commerciales peuvent être : le soja, le maïs, le riz pluvial à haut potentiel, le coton ; les cultures pompes biologiques qui précèdent la culture commerciale et qui se substituent au travail mécanique du sol sont : le mil, le sorgho, l'*Eleusine coracana*. Les pompes biologiques qui succéderont à la culture commerciale : du mil, du sorgho, associés ou non à des espèces fourragères, du tourmesol. Les pompes biologiques de succession associant mil ou sorgho au *Brachiaria* produisent entre 7 et 13 tonnes/ha de matière sèche au dessus du sol à l'entrée de la saison sèche, et plus de 4 t/ha de racines dans les 50 premiers cm du profil cultural (*fig. 4, 5 et 6*).

Ce sont ces systèmes qui se sont diffusés très rapidement entre 1992 et 1998 qui dominent aujourd'hui, sur les 3 millions d'hectares de semis direct que compte le centre ouest brésilien.

2 - Les systèmes de semis direct intégrant les systèmes précédents de production de grains, pratiqués en rotation avec des pâturages, tous les 2, 3, 4 ou 5 ans pour la production de viande ou de lait.

À la différence des systèmes précédents, dans lesquels l'espèce fourragère (*Brachiaria r.*) n'est présente que pendant quelques mois en mélange avec le mil ou le sorgho pour renforcer la biomasse de surface, dans les systèmes mixtes "production de grains-élevage" les espèces fourragères sont implantées pour 2, 3, 4 à 5 ans, en rotation avec les systèmes de production de grains (*fig. 8*).

L'implantation du pâturage se fait après récolte de la culture commerciale, (*en général du soja semé aux premières pluies*) en semis direct dans les résidus de récolte. Le pâturage à base de *Brachiaria brizantha* ou de *Panicum maximum*, implanté par cette technique sans engrais, dispose de réserves en eau suffisantes pour produire une très forte biomasse fourragère à l'entrée de la saison sèche. Il peut supporter 1,7 à 2,2 têtes/ha de gros bétail dont le gain de poids sur les 100 à 120 jours de la saison sèche est d'environ 450 g/jour/animal.

Inversement, pour repasser du pâturage à la culture, on utilise les herbicides totaux¹⁸ à forte dose qui détruisent le pâturage (*parties aériennes et racinaires*), et le semis direct de la culture commerciale peut commencer entre 15 et 25 jours après le dessèchement à l'herbicide, le temps que la biomasse se réduise suffisamment en

18. Le sulfosate, le glufosinate sont également des matières actives utilisées pour le même objectif.

19. Les sulfonyles par exemple s'utilisent à des doses de quelques grammes par hectare présentent une très faible toxicité pour les mammifères, les oiseaux et les poissons.

surface et permette ainsi un semis direct dans de bonnes conditions opérationnelles (*rapidité d'exécution, placement précis de la semence*).

Ces rotations production de grains-élevage, pratiquées en semis direct continu sont actuellement en voie de diffusion rapide.

Enfin, une variante à ces systèmes, a été mise au point pour les éleveurs stricts qui ne souhaitent pas produire de grains pendant 2 ans ou plus. Dans ce cas, il faut rénover le pâturage qui se dégrade avec le temps : le pâturage dégradé est détruit à l'herbicide total (*glyphosate*) et du riz pluvial à cycle court est installé en semis direct sur le pâturage desséché et détruit, dès le début de saison des pluies. À la récolte du riz, le nouveau pâturage (*genres Brachiaria, Panicum*) est implanté en semis direct dans les pailles de riz. Dans ce système, aucun herbicide n'est utilisé dans la culture de riz et la fumure utilisée sur cette culture est supérieure de 30% à ses besoins. Le reliquat d'engrais est utilisé par le nouveau pâturage semé directement en succession du riz. Avec un riz de belle qualité de grains (*variétés CIRAD*), les marges nettes couvrent le coût d'installation du nouveau pâturage, et offrent un reliquat monétaire avec l'élevage en saison sèche, compris entre 100 et 200 US\$/ha. Le pâturage est renoué pour un cycle d'utilisation de 4 ou 5 ans successifs (*fig. 5*).

3 - Les successions annuelles sur tapis vivants pérennes fourragers, de production de grains en semis direct, suivie de pâturage (*systèmes : soja sur Cynodon d., Paspalum n.; maïs, coton, riz pluvial sur Arachis p., Pueraria p., Calopogonium m.*) ; dans ces systèmes, la couverture permanente du sol est assurée de façon pérenne par différentes espèces vivaces qui possèdent des organes de reproduction végétatifs (*stolons et/ou rhizomes*). Elle appartient aux genres *Cynodon, Paspalum, Arachis, Pueraria, Calopogonium*. La couverture est donc implantée une seule fois ; la culture commerciale est conduite tous les ans en semis direct, en maîtrisant la compétition initiale de la couverture pérenne vivante pour la culture, avec des herbicides totaux qui contrôlent seulement la partie aérienne, au moindre coût (*Paraquat, Diquat²⁰*). Ensuite, des herbicides sélectifs de la culture commerciale sont utilisés à très faible dose²¹ jusqu'à couverture totale du sol par la culture commerciale. Après récolte de cette dernière, le tapis vivant recouvre rapidement à nouveau le sol à partir de ses organes souterrains et peut être pâturé (*ou laissé en l'état, comme couverture du sol en saison sèche - fig. 7, 9-A, 9-B, 10-A et 10-B*).

Ces systèmes sont encore très peu utilisés par les agriculteurs ; ce sont les prochains systèmes à diffuser car ce sont les plus faciles à pratiquer, leurs coûts de production sont les plus bas, et ils offrent les marges nettes les plus élevées avec un minimum d'intrants chimiques et induisent de ce fait, une gestion de moindre risque économique. La principale limitation à leur diffusion immédiate dans les grandes fermes mécanisées réside dans le coût encore trop élevé d'implantation des couvertures vives de *Arachis p.* (*semences très chères*) et du *Cynodon Tifton* qui doit être implanté par boutures. Le prix des semences d'*Arachis* pourra être rapidement réduit lorsque ces dernières seront produites par les agriculteurs. En ce qui concerne le *Cynodon d. Tifton*, l'implantation au moindre coût sur de grandes surfaces peut être faite en l'installant progressivement, par étapes. Ces systèmes sont également très bien adaptés à la petite agriculture familiale qui pratique l'agriculture et l'élevage.

Conséquences de l'utilisation du semis direct sur les performances des systèmes de culture : productivités plus élevées et plus stables, coûts de production en baisse, marges en hausse.

L'analyse agro-économique comparée des différents systèmes conventionnels et en semis direct sur une période de plus de 10 ans, en conditions d'exploitation réelles et rigoureusement contrôlées, aussi bien en terres nouvellement défrichées de savanes et de forêts, qu'en terre de culture plus ancienne (*18 ans de culture continue à base de soja*), montre que ce sont bien les facteurs biologiques, à travers la gestion du statut organique du sol (*au dessous et au dessus de la surface du sol*) qui sont prépondérants pour l'obtention de hautes productivités, stables, au moindre coût, sous forte pluviométrie. Ces systèmes, en semis direct, sont toujours plus productifs et lucratifs que les mêmes systèmes avec travail du sol. La productivité des cultures reste stable sur une période d'étalement des semis de plus de 60 jours à partir des premières pluies, alors qu'elle chute de 30 à plus de 60% avec préparation mécanisée des terres sur la même période.

20. Ces herbicides totaux, comme dans le cas du glyphosate, ne touchent pas le sol et ne sont donc pas polluants pour cette ressource.

21. Par exemple, dans la culture de soja sur *Cynodon d. Tifton*, la molécule fluazifop p butyl est utilisée à la dose de 0,3 l/ha pour contrôler la couverture vivante avant que le soja la recouvre totalement et la maintienne à l'état de vie ralentie.

Le niveau de fumure minérale apparaît secondaire devant la prépondérance du mode de gestion de la matière organique dû au semis direct sur "biomasses pompes biologiques" ; en particulier, la correction de l'acidité naturelle des sols qui requiert l'utilisation d'amendements calco-magnésiens et son entretien, peuvent se faire au moindre coût : le système de semis direct recycleur permet de minimiser les pertes en éléments nutritifs tels que les nitrates, les bases comme le calcium, le magnésium, le potassium, en les remontant à la surface grâce au puissant et profond système racinaire des biomasses "pompes biologiques" (fig. 14 et 15). En outre les acides organiques issus de la minéralisation continue de la matière organique accumulée au dessus de la surface du sol et dans les cinq premiers centimètres du profil, permettent de neutraliser les effets nocifs des molécules et ions toxiques pour les cultures (*Al, sels*) nécessitant ainsi des niveaux de correction de l'acidité nettement moindres qu'en sol avec travail mécanisé du sol.

La consommation d'éléments fertilisants (engrais) dans les systèmes les plus productifs, lucratifs et stables pratiqués en semis direct, est très faible par rapport à l'importance de la production de matière sèche obtenue par unité de surface, mettant bien en évidence que la formidable capacité photosynthétique de la zone tropicale humide peut être convertie, au moindre coût, en fortes productions agricoles, stables.

À titre d'exemple, dans une rotation sur 3 ans, à base de la succession annuelle soja suivi de sorgho comme pompe biologique, la part de l'engrais qui est imputable à chaque culture, en Kg/ha, n'est que de : 18 d'azote, 30 de phosphore, 40 de potasse, 104 de calcium, donc de très loin inférieure à celle qui est utilisée par une culture annuelle telle que le blé par exemple en climat tempéré, qui consomme, pour le seul azote sous forme d'engrais, plus de 200 Kg par hectare.

Les productivités des cultures en rotation et en semis direct ont augmenté par exemple, en moyenne de 35% pour le soja, plus de 60% pour le riz pluvial, en moins de 6 ans ; des rendements supérieurs à 4 000 Kg/ha, pour le soja, plus de 5 000 Kg/ha pour le riz, 3 000 Kg/ha pour le coton sont maintenant assez courants chez les agriculteurs qui maîtrisent le mieux le semis direct (fig. 11 et 12).

Ces nouveaux modes de gestion plus écologiques des sols utilisant le semis direct sur biomasses renouvelables, à turn over rapide, permettent donc de mieux valoriser, canaliser les ressources naturelles au profit de l'activité agricole. **La capacité de production du capital sol traduite par les augmentations conjuguées de la surface annuelle cultivée et de la productivité, est plus que doublée par rapport à celles des systèmes avec travail du sol à une seule culture annuelle**, avec des coûts de production sensiblement équivalents.

Les marges nettes des systèmes de culture en semis direct les plus performants, à base de soja et riz sont comprises entre 150 et plus de 600 US\$/ha, avec des coûts de production qui varient de 300 à plus de 750 US/ha, en fonction des prix pratiqués (fig. 13).

Les systèmes de semis direct sur tapis vivants pérennes fourragers, montrent aujourd'hui la possibilité de réduire les coûts de production à moins de 300 US\$/ha avec des marges nettes supérieures à 220 US\$/ha, hors élevage (fig. 13).

Des assolements peuvent maintenant être optimisés chez les agriculteurs, à partir des nombreux systèmes de culture créés, soit à base exclusivement de grains, soit mixtes, intégrant production de grains et élevage (*productions de viande, de lait*).

L'état sanitaire des cultures est nettement amélioré : on assiste au cours du temps à une diminution très nette des attaques cryptogamiques sur céréales (*Pyriculariose et Phoma sur riz*), de l'incidence des bactérioses sur coton, des préjudices causés à toutes les cultures en général, par les nématodes (*coton-soja*).

De même, des champignons du genre *Nomurea* se développent avec la couverture morte du sol et diminuent, en contrôlant biologiquement une bonne part des chenilles défoliatrices du soja et du coton, l'utilisation de pesticides (cf. Dossier "Nature de la couverture et incidence des maladies" en annexe).

Les seuls inconvénients enregistrés par l'utilisation continue des techniques de semis direct sont relatifs à une recrudescence nette des champignons du sol préjudiciables aux cultures tels que *Rhizoctonia, fusarium* : un choix judicieux de la plante de couverture associé à un traitement fongicide approprié des semences permet de résoudre ce problème.

Enfin, la pratique du semis direct sur couvertures permanentes mortes ou vivantes des sols, a permis de récupérer des terres fertiles²² mais devenues impropres à la culture car infestées par une peste végétale, *Cyperus rotundus*, impossible à contrôler dans les systèmes de culture avec travail du sol.

Impact des technologies de semis direct dans le centre-ouest brésilien : une révolution doublement verte en marche, où l'on produit plus, durablement, mieux, au moindre coût, dans un environnement protégé.

Nos travaux de recherches entre 1985 et 1997, ont très largement contribué au développement d'une agriculture durable dans l'Ouest et le centre-ouest²³ du Brésil, malgré l'existence de conditions économiques très chaotiques et instables (*nombreux réajustements structurels économiques*).

Impact sur les modes de gestion de la surface cultivée.

La surface totale cultivée des cerrados²⁴ est passée de 5,23 millions d'hectares en 1975 à 9,73 millions en 1993, contribuant à cette date, pour 25,1% de la production totale brésilienne.

Les systèmes de semis direct à base de soja, pratiquement inexistantes en 1986 avec une surface estimée à 9 000 hectares, occupent en 1997, environ 2,8 millions d'hectares²⁵, soit plus de 20% de la surface cultivée.

La croissance exponentielle des surfaces qui ont adopté ce mode de gestion des sols en seulement quelques années, montre bien son intérêt majeur pour les agriculteurs.

Les principales raisons de son adoption rapide²⁶ sont, aux yeux des producteurs : moindres coûts opérationnels et d'investissement en machines, plus grande facilité de semis, réduction des pertes de productivité au cours de périodes de sécheresse et par l'érosion, réduction des coûts directs à moyen terme, un mode de gestion plus simple, plus facile à gérer avec le personnel exécutant.

Dans de nombreux municipes des états du Mato Grosso, Mato Grosso du Sud, Goiás, Minas Gerais, l'indice d'adoption²⁷ du semis direct dépasse 80%.

Impact sur la production de grains.

Le semis direct est construit obligatoirement sur des successions annuelles, des rotations ; sa pratique et notamment les successions annuelles à base de soja, augmenté considérablement la production annuelle de grains par unité de surface, puisque l'agriculteur récolte deux cultures successives par an dans ce système, contre une seule dans les systèmes conventionnels avec préparation mécanisée des sols : soja, suivi en succession de maïs, sorgho, mil, suivant les régions et les opportunités du marché.

La productivité de soja en semis direct, par rapport à celle des systèmes avec travail du sol, induit des gains de 5 à 10% en année climatique sans accident²⁸, de 20 à 30% les années à forte sécheresse ; avec près de 3 millions d'hectares de semis direct en 1997, l'augmentation de production de soja dans les cerrados de l'Ouest et du Centre-Ouest peut être estimée à plus de 300 000 tonnes/an, celle des céréales de succession à plusieurs centaines de milliers de tonnes.

De même, la création et la diffusion de riz pluvial de haute technologie²⁶, à qualité de grain supérieure (*très long fin*), et son intégration²⁷ dans les systèmes de semis direct en rotation avec les successions à base de soja, permet d'améliorer les performances agro-économiques et la stabilité des systèmes et d'offrir des produits de qualité aux consommateurs, dans leurs régions.

22. Sols ferrallitiques sur basalte, dans le sud de l'État de Goiás sur lesquels est cultivé le coton (*Projet CIRAD-Groupe MAEDA, 1998*).

23. Au même titre que les travaux de John Landers (*secrétaire exécutif de l'APDC - Association de semis direct des cerrados*), Tarciso Neis et autres agriculteurs du sud-ouest de l'État de Goiás.

24. *Source* : EMBRAPA, juillet 1997 - Édition Manah.

25. *Source* : APDC, in *Plantio Direto* n° 41, 1997.

26. Variétés du CIRAD-CA (*L. Séguy, S. Bouzinac*) et de l'EMBRAPA/CNPAF.

27. La variété CIRAD 403, couvre en 1998/99 plus de 300 000 hectares dans l'état du Mato Grosso (*Source* : AGRONORTE - Sorriso - MT).

La capacité des équipements mécanisés mesurée sur des dizaines de milliers d'hectares est multipliée par 1,5 à 1,8 grâce aux systèmes à deux cultures annuelles en semis direct, avec une flexibilité d'utilisation nettement accrue : par rapport aux mêmes systèmes avec travail du sol, la consommation de diesel par hectare diminue de 40 à 60%, l'investissement en machines est nettement amélioré avec une baisse de plus de 40% pour les tracteurs, plus de 10% pour les semoirs et la longévité des tracteurs augmente de plus de 30% (voir fig. 20, 21 et 22).

Il est évident que cette conquête spectaculaire des techniques de semis direct s'est faite également grâce, à la fois, à l'apparition sur le marché de molécules herbicides de moins en moins chères (*le glyphosate de Monsanto en est un excellent exemple*), et à un formidable développement de semoirs de semis direct de plus en plus performants (*la firme Semeato a joué en rôle de leader déterminant à cet égard*).

Impact sur l'élevage

Les activités de production de grains et d'élevage bovin qui étaient totalement séparées avant l'arrivée du semis direct, peuvent maintenant entrer en rotation, en semis direct, sans jamais retravailler le sol ; les performances^{29,30} de l'élevage sur pâturages dans cette rotation avec les successions à base de soja, sont multipliées par 2, 3. Les mils et sorghos (*biomasse de succession du soja*) se sont révélés de précieux compléments alimentaires en saison sèche, ou par pâture directe, ou sous forme de ration et ont contribué au développement régional de l'aviculture et de l'élevage porcin. L'intégration des activités de production de grains et d'élevage permet d'améliorer la stabilité économique des exploitations, de capitaliser les agriculteurs et de les rendre ainsi moins dépendants de la politique agricole encore très chaotique.

Impact sur les sols et le milieu physique en général

La gestion des écosystèmes cultivés en semis direct, sur couverture permanente du sol, a converti un cycle de dégradation accélérée des sols due aux techniques de travail du sol transférées des pays du Nord, en un cycle de reconstruction de la fertilité des sols.

Ce mode de gestion est le seul qui puisse être qualifié véritablement d'écologique :

- le sol est totalement protégé contre l'érosion même sous les climats les plus agressifs,
- par sa puissance de recyclage, les éléments nutritifs comme les nitrates, les bases telles que le calcium, le magnésium, la potasse, ne sont pas entraînés vers la nappe phréatique, mais au contraire, remontés en surface. Un exemple, éloquent à cet égard est celui des systèmes "production de grains-élevage", en rotation sur 4 à 5 ans avec semis direct continu, dans lesquels la puissance racinaire et de recyclage du pâturage à base de *Brachiaria b.* est telle, que l'on assiste non seulement à une recharge un carbone du sol mais aussi à une remontée spectaculaire en surface, des bases (*calcium, magnésium, potassium*) qui avaient été entraînées en profondeur au cours des 4 ou 5 années précédentes de production de grains²⁸. Après 4 ou 5 ans, le système racinaire du pâturage exploite le sol sur plus de 3 m de profondeur²⁸ et exerce l'effet d'une véritable "pompe biologique" extrêmement efficace pour, à la fois, remonter les éléments nutritifs de la profondeur vers la surface, recharger le sol en carbone (*matière organique, issue de racines*) et augmenter en conséquence la capacité de fixation des éléments nutritifs du sol, dans sa partie supérieure, à la portée des cultures, (*appelée CEC ou capacité d'échange cationique*)(fig. 14 et 15).

Cette capacité à recycler les bases et recharger le profil cultural en carbone, est très performante, tant dans les systèmes de semis direct sur couverture morte construits pour la production exclusive et continue de grains, que dans les systèmes mixtes annuels de production de grains + pâturage en succession, bâtis sur couvertures vivantes (fig. 14).

Cette double capacité du semis direct qui s'exerce à la fois sur la dynamique des ions et du carbone, est extrapolable, pour des systèmes de culture similaires, à la zone tropicale humide (ZTH) africaine comme le montrent les résultats obtenus sur sols ferrallitiques du Gabon (fig. 17, 18 et 19).

28. Source : L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD/GEC - 1996,1997, 1999.

29. 50% de naissance en plus, mortalité réduite de 50%, baisse de plus de 40% de l'intervalle entre vélages, réduction de près de 50% de l'âge à l'abattage des bovillons pour un poids équivalent.

30. Charge moyenne annuelle de 1,7 à 3 UGB/ha contre 0,5 UGB/ha pour l'élevage traditionnel.

Si la recharge en carbone du profil cultural est une fonction constante des techniques de semis direct, elle varie notablement en fonction de la nature des systèmes de cultures pratiqués :

- Sur 5-6 ans, les gains en carbone dans l'horizon 0-20 cm, vont de 0,5% pour les systèmes les moins riches en cellulose et lignine (*successions soja + mil, sorgho g., ; maïs sur Arachis p.*) à plus de 1% pour les systèmes alternant production de grains et pâturage en rotations sur 5 ans (*pâturages à base de Brachiaria brizantha, Panicum maximum*), (fig. 14 et 15).

De même, la capacité de rétention des éléments nutritifs par le sol, caractérisée par les deux indicateurs que sont la CEC et le taux de saturation de bases, accompagnent la recharge en matière organique :

- la CEC augmente de 1 à plus de 3 meq./100 g et le taux de saturation de bases de 15 à 30% en fonction de la nature des systèmes de semis direct utilisés (fig. 14, 15, 18 et 19).

Le fort pouvoir complexant et tampon de la matière organique au dessus de la surface du sol et dans les cinq premiers centimètres d'épaisseur du sol, allié à une activité biologique intense et à une protection permanente et efficace de la surface préservent de l'action nocive des molécules pesticides (*xénobiotiques*).

Le contrôle des adventices et pestes végétales se fait en partie, par la biomasse déposée au dessus du sol (*obscurité, allélopathie*) complétée, pour l'essentiel par des herbicides totaux qui n'atteignent pas le sol, et ne laissent pas de résidus toxiques.

En faisant fonctionner le système sol-plante en circuit fermé, donc en réduisant fortement les pertes en éléments fertilisants et en augmentant le taux de matière organique, et la vie biologique des sols, le semis direct, permet au cours du temps de produire durablement et plus, avec moins d'engrais chimiques (fig. 23, 24 et 25).

La biomasse "pompe biologique" des cultures de succession, qui constitue le moteur biologique essentiel du semis direct est renouvelable chaque année au moindre coût, assurant la pérennisation de ce mode de gestion.

Au total, la reproduction du fonctionnement de l'écosystème forestier appliqué au niveau des systèmes de culture et d'élevage, est maintenant bien maîtrisée et permet d'envisager avec sérénité la fixation d'une agriculture mécanisée durable, diversifiée et productive, dans l'immensité des cerrados qui reste encore à conquérir, épargnant ainsi la forêt amazonienne.

Les scénarios d'agriculture durable qui ont été créés grâce au semis direct, sont tous construits sur une reconquête de la biodiversité : rotations de cultures, intégration agriculture-élevage, sols toujours protégés sous couvertures mortes ou vivantes qui favorisent le développement de la faune du sol et de l'activité biologique en général (*macro, méso et microfaunes, microflore*), sont autant de facteurs de cette reconquête qui ramènent l'évolution des écosystèmes cultivés vers celle des écosystèmes naturels. Faire "travailler" la nature au maximum, en préservant durablement sa capacité de production et en minimisant l'utilisation coûteuse et polluante des intrants chimiques (*engrais minéraux, pesticides*), constitue la règle d'or du semis direct.

Enfin, en séquestrant efficacement le carbone et en réduisant l'émission de CO₂ dans l'atmosphère³¹, le semis direct réduit très significativement la part des gaz à effet de serre provenant des activités agricoles (*gaz carbonique surtout, oxyde d'azote et méthane*). L'augmentation annuelle de carbone³¹ dans l'atmosphère imputable à l'agriculture est estimée à environ 0,64 x 10⁹ tonnes et représente de l'ordre de 20% de l'émission totale annuelle de CO₂. Si toutes les terres cultivées de la planète pratiquaient le semis direct, la réduction de l'émission de CO₂ du sol³¹ serait de l'ordre de 40%.

Impact sur les agriculteurs

Le semis direct n'est pas seulement un mode de gestion du sol différent, mais une philosophie d'exploitation durable de cette ressource sol, en complète harmonie avec la nature.

31. Source : de nombreux chercheurs américains, dont Resck et al., 1991 ; Kem et Johnson, 1993 ; Reicosky et Lindstrom 1995 ; Reeves, 1993, 1997 ; Lal, 1993, 1995, 1997.

En adoptant le semis direct, soit en rompant avec la tradition mécanisée des terres, l'agriculteur rentre dans une véritable école de formation dans la propre nature elle-même, puisque c'est elle qui, bien gérée, va lui fournir les bases renouvelables et praticables de ce système, au coût le plus bas possible.

La gestion des écosystèmes cultivés par le semis direct se révèle un outil très performant de professionnalisation continue de l'agriculteur.

**Et en France, ces techniques présentent-elles un intérêt ? Peuvent-elles être adaptées ?
Vers un transfert Sud-Nord.**

Le succès du semis direct dans les conditions climatiques subtropicales du Sud du Brésil et en Argentine (*avec plus de 4,4 millions d'hectares de semis direct*), qui sont assez proches des conditions tempérées, pour des productions similaires telles que le soja, le maïs, le blé, le tournesol, milite pour que ces techniques conservatoires avec couverture permanente des sols soient également développées en France et dans les autres pays du Nord.

Des arguments très forts sont communs à toutes les écologies : aux plans agronomique et économique il est impératif de supprimer totalement l'érosion des sols, de préserver, voire restaurer les niveaux de matière organique, l'activité biologique efficace au profit des cultures, de fermer le système sol-cultures, pour minimiser les pertes en éléments nutritifs, et également d'éviter la très forte pollution des nappes par les nitrates, et par les molécules de pesticides ; soit donc au total, de mieux contrôler les flux externes et internes du sol, rendre ce dernier plus efficace en augmentant sa capacité de production naturelle pour économiser les intrants chimiques, produire plus propre, préserver *in fine* l'environnement et la santé de ses habitants. La nécessité de réduire les coûts de mécanisation est également au coeur des préoccupations de l'agriculture des pays développés du Nord.

À tous ces arguments qui conditionnent la survie de l'agriculture durable, propre et rentable (*à court terme sans subventions*) en régions tempérées, le semis direct sur couverture permanente³² du sol peut apporter des réponses plus performantes que les meilleures techniques actuelles : en effet seule la couverture permanente de la surface peut diminuer significativement l'utilisation d'herbicides et protéger totalement le sol contre leur pollution (*cf. Dossier "Comment réduire les doses et les coûts des herbicides en semis direct" en fin d'annexe*). En outre, le maintien d'une couverture permanente exigera obligatoirement la pratique systématique dans l'assolement de l'interculture d'hiver et/ou de printemps avec des plantes "pompes biologiques" qui soient capables, comme sous les tropiques, de recycler au cours de la même année climatique, les nitrates et les bases lessivés en profondeur.

Il est certainement plus facile³³ de fermer le système sol-plante sous climat tempéré que sous climat tropical humide (*moindre drainage interne en sols tempérés*).

La présence obligatoire des intercultures doit garantir, à la fois, une forte recharge en carbone de la surface (*diminuer aussi l'émission des gaz à effet de serre, en particulier le CO₂*), et dans le sol par l'apport et le travail des racines qui constituent avec la faune associée, le squelette organique de sustentation du sol, lui conférant des propriétés de forte résistance à la déformation (*à l'image du béton armé*). Cette propriété mécanique du profil cultural, renforcé par l'effet amortisseur de la couverture en surface, permet aux machines de transiter sur la surface, pratiquement sans limitation, abaissant ainsi le coût d'utilisation des engins agricoles (*cf. Dossier "Etats du profil cultural et choix des équipements en semis direct" en annexe*).

De plus, le choix de ces plantes dans l'interculture de printemps, doit être guidé aussi par leur capacité à fixer gratuitement l'azote de l'air³³, pour économiser l'azote engrais.

En France actuellement, la surface cultivée selon ces principes, sans jamais travailler le sol, en semant directement dans une couverture permanente, est minime. Les techniques dites de travail du sol simplifiées (TCS) qui utilisent un travail mécanique minimum ont déjà beaucoup contribué à limiter les coûts de mécanisation, mais remanient l'horizon 0-10 cm, celui qui est déterminant en semis direct et qui confère au sol tous ses avantages décisifs (*fonction alimentaire soutenue par une activité biologique intense, efficace et épuratrice, forte résistance*

32. Contrôle des mauvaises herbes par effets d'ombrage + allélopathiques.

33. Il faut identifier rapidement les espèces capables d'assurer ces fonctions.

mécanique à la déformation, etc...).

La seule équipe en France, qui actuellement s'oriente vers cette agriculture en semis direct sur couverture permanente, appartient au GDA de Champeigne nord dans le val de Loire, sur une surface d'environ 2 200 ha, avec 17 agriculteurs³⁴. Leur objectif est de produire du blé à 60F/q, l'excédent et les primes servant à rémunérer le travail et la gestion de l'agriculture.

Le meilleur coût de production du Groupe est de 56F/q, alors qu'un agriculteur en travail conventionnel dépense en moyenne 131 F/q.

La voie du semis direct sur couverture permanente des sols mérite certainement d'être exploitée pour atteindre à brève échéance les objectifs technico-économiques et sociaux imposés par la globalisation de l'économie mondiale. Les inconvénients les plus évidents à prévoir pour la pratique continue du semis direct en France, comme sous les tropiques, peuvent apparaître avec le renforcement du pouvoir pathogène des champignons du sol et l'augmentation des attaques de limaces favorisées par la présence permanente de matière organique, à la surface du sol. Mais les avantages (*à adapter*) du semis direct sont certainement bien plus nombreux que ses inconvénients.

En tout état de cause, le semis direct peut constituer en France et dans les pays du Nord, non seulement une formidable aventure technique et humaine, nécessaire à la protection de l'environnement et à la santé des hommes, mais aussi, un renouveau, un second souffle indispensable pour les sciences agronomiques à l'aube du 21^{ème} siècle.

34. Sous l'impulsion de Mr. J.C. Quillet, agriculteur.

Généralisation, extension de ces modes de gestion durable de la ressource sol, au moindre coût.

Le CIRAD pilote un réseau international sur la gestion agrobiologique des sols en Amérique Latine, Afrique, Madagascar, La Réunion et très prochainement en Asie (*Laos, Vietnam*), où ces concepts et pratiques sont en cours d'ajustement et de développement dans des conditions écologiques tropicales très contrastées.

• **Au Brésil :**

- **Dans l'état du Maranhão** au Nord en ZTH, pour le contrôle des riz rouges, véritables pestes végétales, dans la culture de riz irrigué chez les petits producteurs,

- **Dans les états de São Paulo et Goiás**, pour la mise au point de la culture cotonnière de haute technologie, préservatrice de l'environnement, sous pluviométrie comprise entre 1 000 et 1 600 mm et sur sols ferrallitiques dérivés de basaltes à très fortes pentes ; dans cette écologie, les techniques de semis direct permettent de tirer parti, au moindre coût et de remettre en culture des sols infestés par la peste végétale *Cyperus rotundus* et les nématodes.

• **En Afrique :** En Côte d'Ivoire, au Gabon, à Madagascar, à l'Île de la Réunion pour les petites agricultures familiales les plus déshéritées, avec des niveaux d'intrants chimiques minimums, voire nuls comme à Madagascar, sur les sols ferrallitiques acides des Hauts Plateaux. Dans cette région où une culture alimentaire de subsistance comme le maïs produit 300 à 400 Kg/ha pour 200 à 230 jours de travail manuel à l'hectare, le semis direct a substitué le labour à la main. Le sol est paillé, soit avec de la biomasse extérieure à la parcelle provenant de la jachère naturelle, soit avec de la biomasse produite dans la propre parcelle grâce à des successions annuelles du type haricot-avoine, en rotation avec du riz pluvial, du maïs associé à des légumineuses. Sur les sols les plus pauvres, l'écobuage est pratiqué sur la ligne de semis pour libérer de la fertilité et les interlignes sont paillés pour supprimer les sarclages. La productivité des cultures a été multipliée par 5 à 10, les temps de travaux à l'hectare ont été réduit de 50 à 70%. Ces techniques se diffusent rapidement et spontanément de paysan convaincu à paysan intéressé. Des zones considérées comme incultes peuvent être maintenant cultivées. Ces techniques de semis direct sont en cours d'ajustement sous conditions pédoclimatiques très variées, depuis les écologies soudano-sahéliennes, à tropicale humide, jusqu'à subtropicale d'altitude ; sur les sols les plus dégradés d'Afrique et de Madagascar, le semis direct se montre la technique biologique la plus efficace pour contrôler une peste végétale très répandue : le *Striga*, qui oblige les agricultures villageoises à quitter leur terroir pour défricher de nouvelles terres conquises sur la forêt.

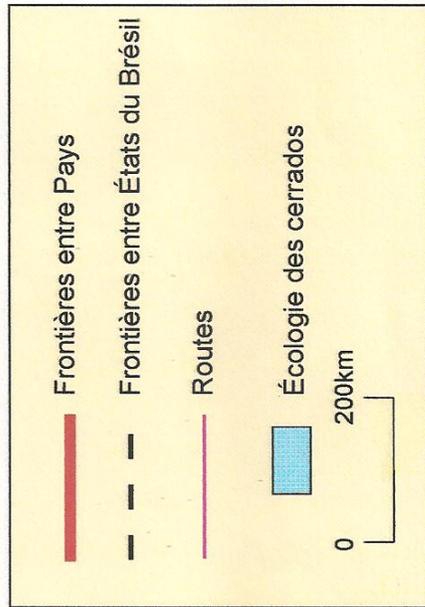
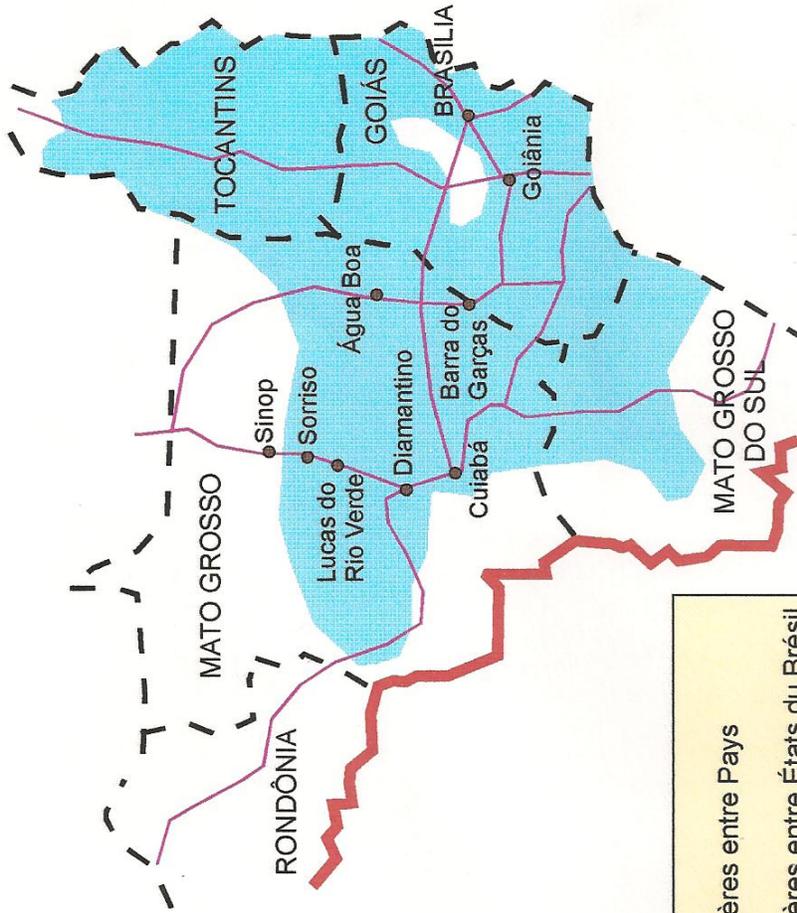
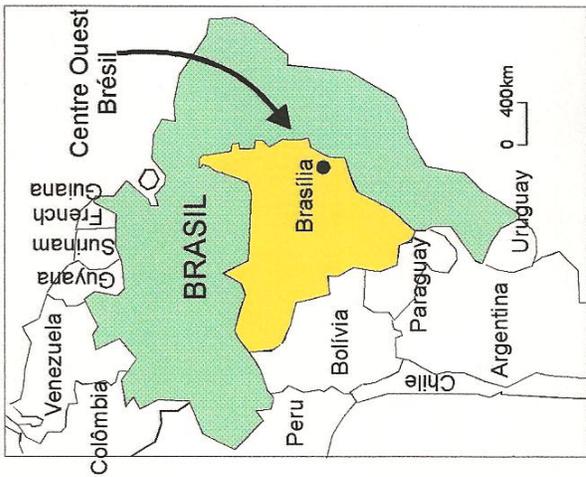
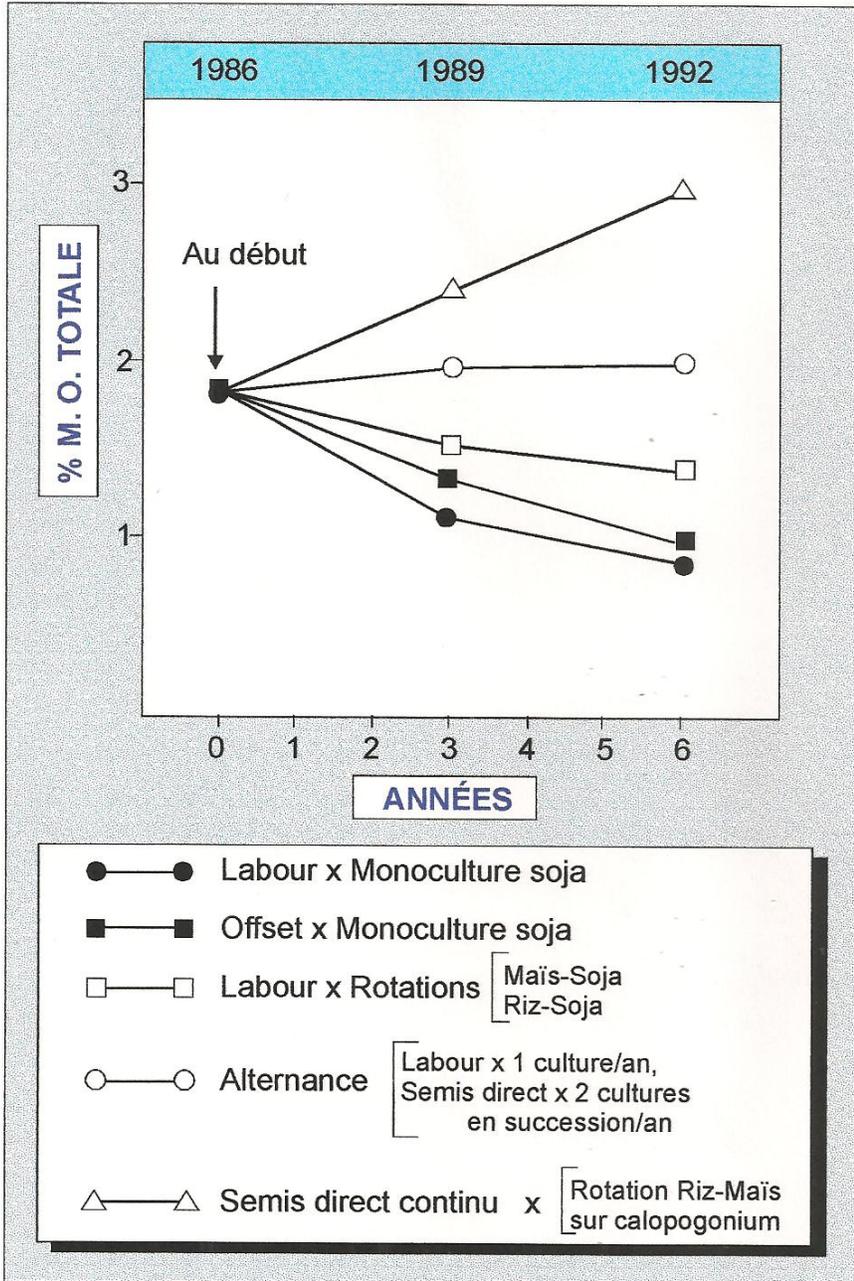


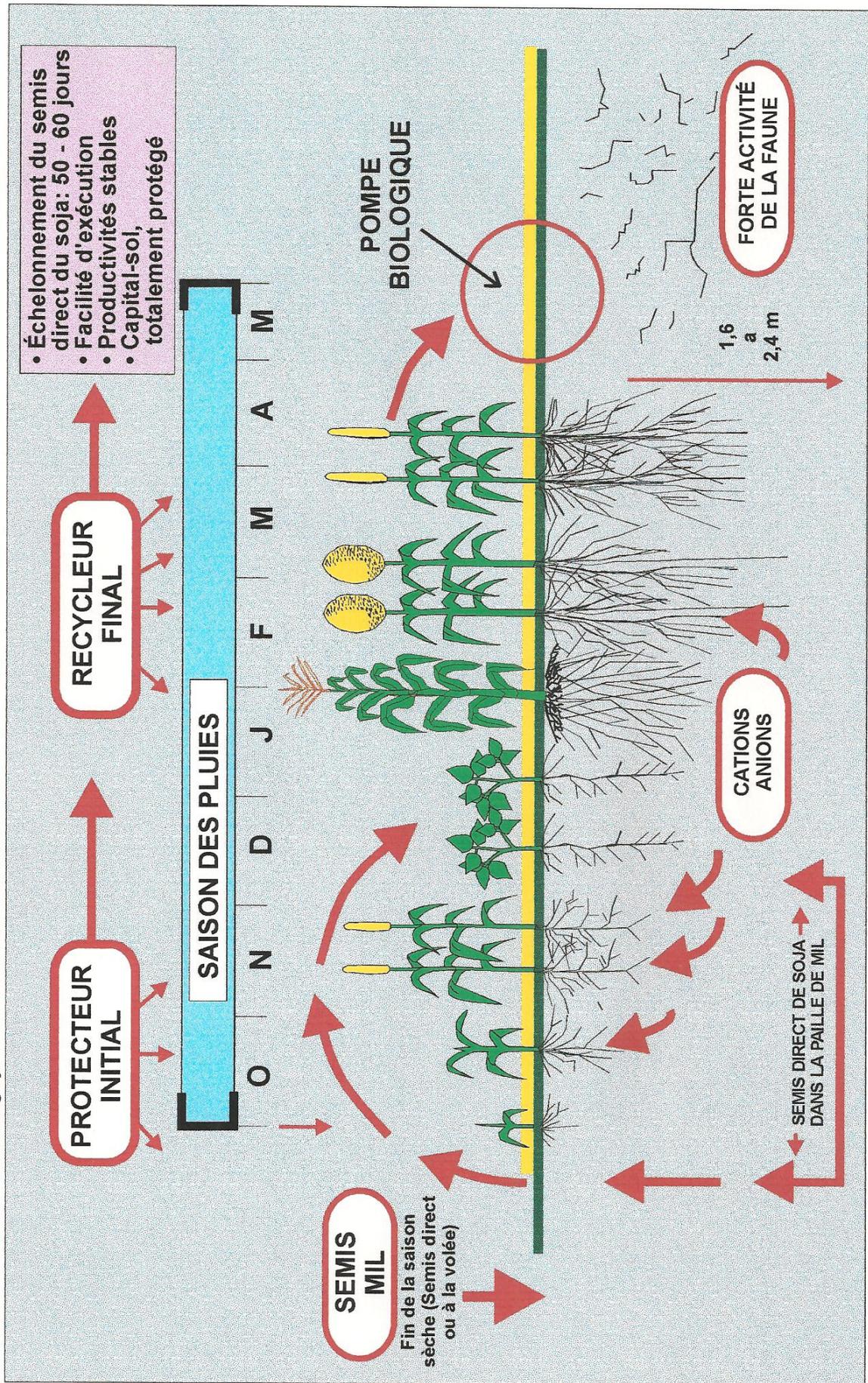
FIG. 1. ÉVOLUTION DU TAUX DE MATIÈRE ORGANIQUE TOTALE (M. O. %) SUR 6 ANS, DANS L'HORIZON 0-30cm, EN FONCTION DES MODES DE GESTION DU SOL ET DES CULTURES - MILIEU CONTRÔLÉ - ÉCOLOGIE DES CERRADOS HUMIDES - MT -



SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac., Fazenda Progresso, Lucas do Rio Verde - MT 1986/92

FIG. 2 "SYSTÈME MAINTENEUR DE FERTILITÉ" POUR LA CULTURE DE SOJA

L. Séguy, S. Bouzinac - MT/1993



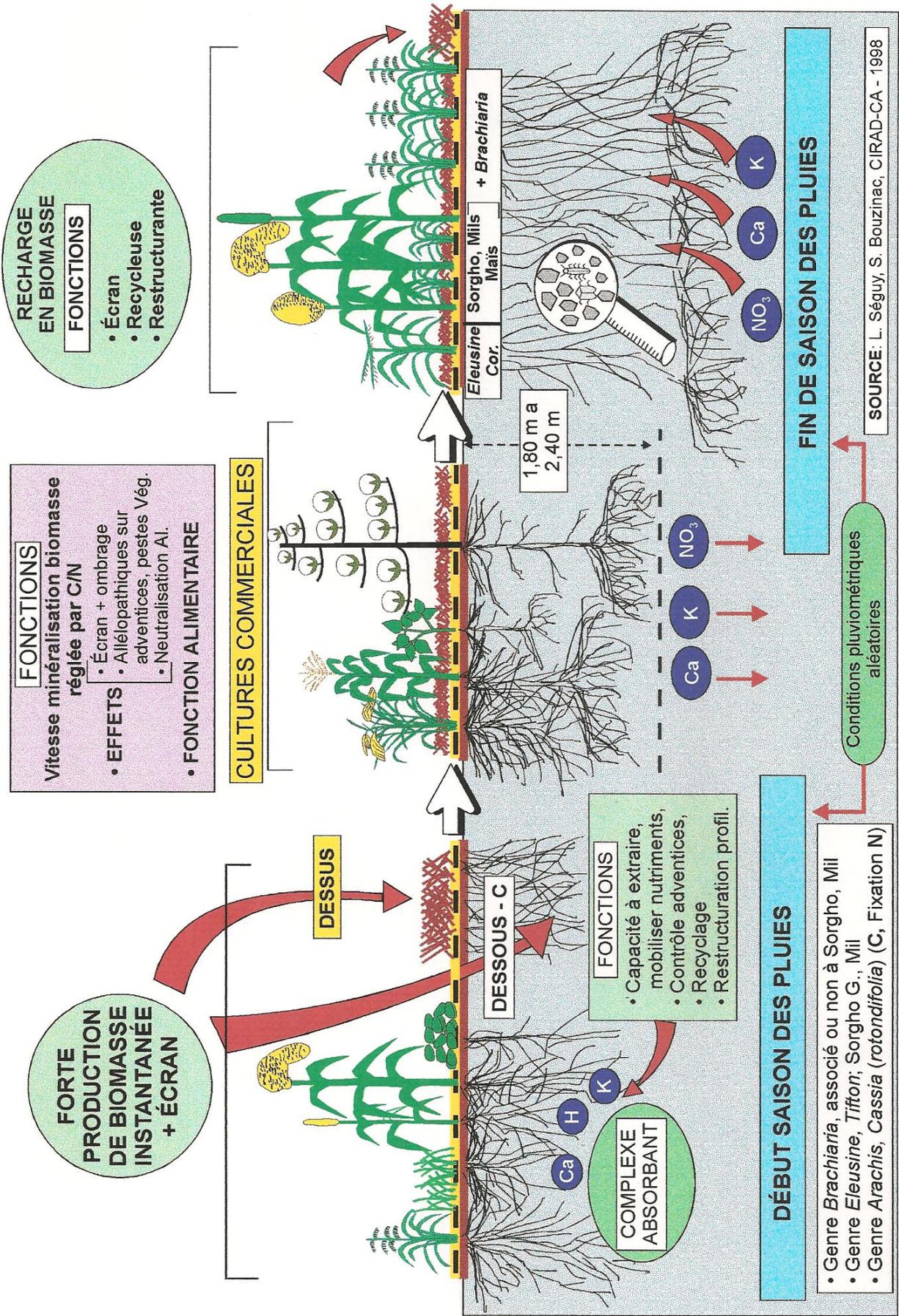
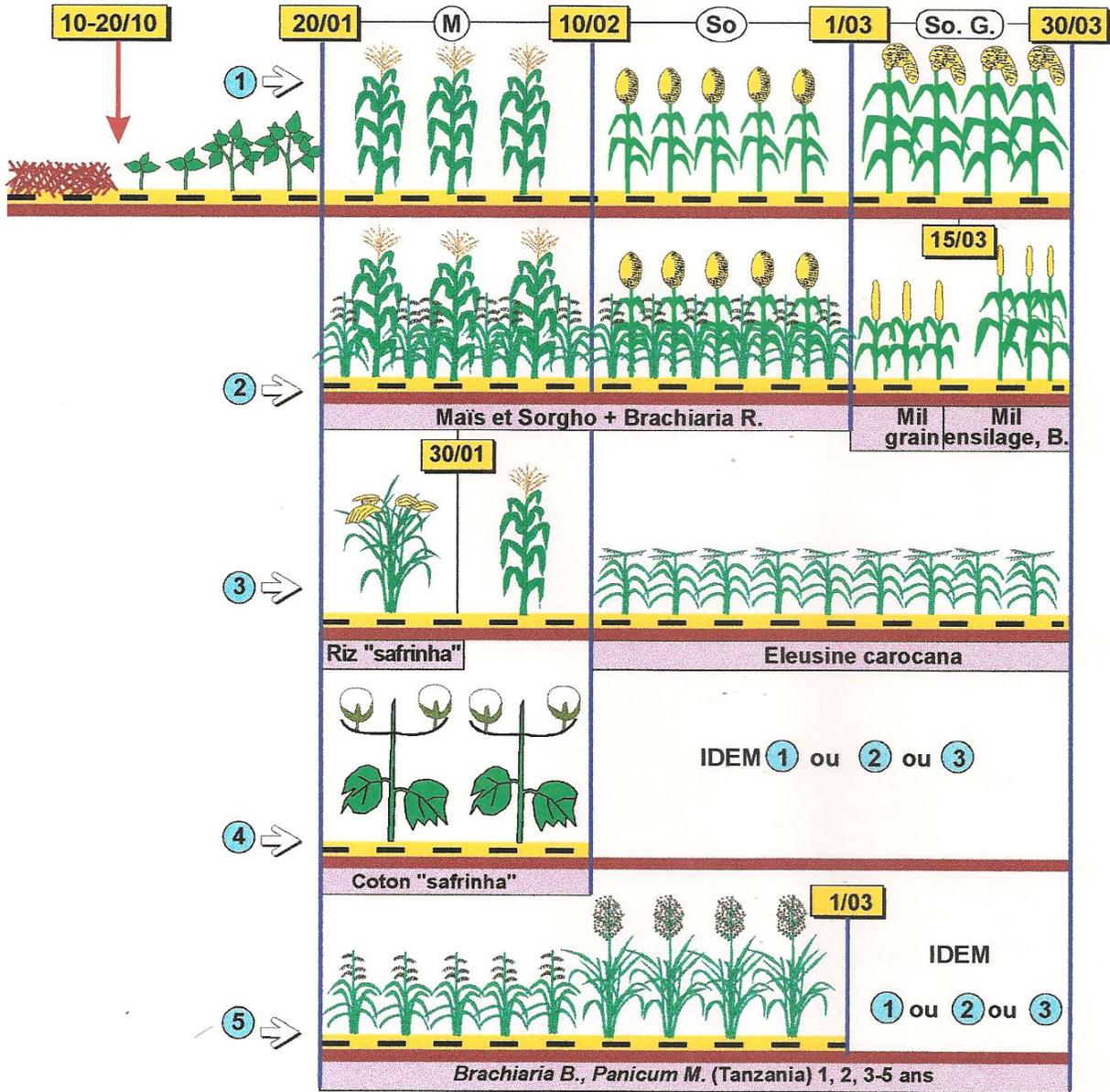


FIG. 3 FONCTIONS DES POMPES BIOLOGIQUES EN SEMIS DIRECT - ZONE TROPICALE HUMIDE - ZTH

FIG. 4 LES SYSTÈMES DE SEMIS DIRECT DU SOJA
DANS LA ZONE TROPICALE HUMIDE DES CERRADOS ET FORÊTS DU CENTRE
NORD MATO GROSSO - (Frontières agricoles du sud de l'Amazonie)

SOURCE: Séguy L., Bouzinac S., CIRAD - Maronezzi A. C., AGRONORTE - SORRISO, MT - 1998

SOJA CYCLE COURT



SOJA CYCLE MOYEN

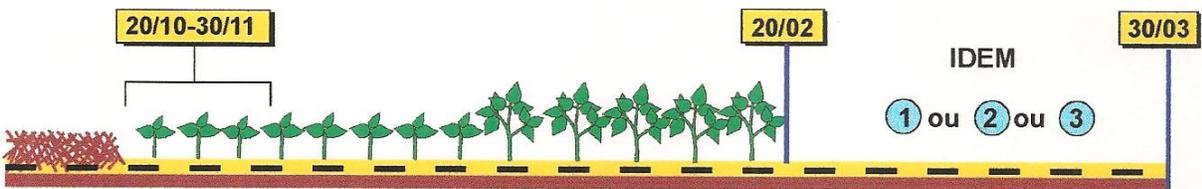
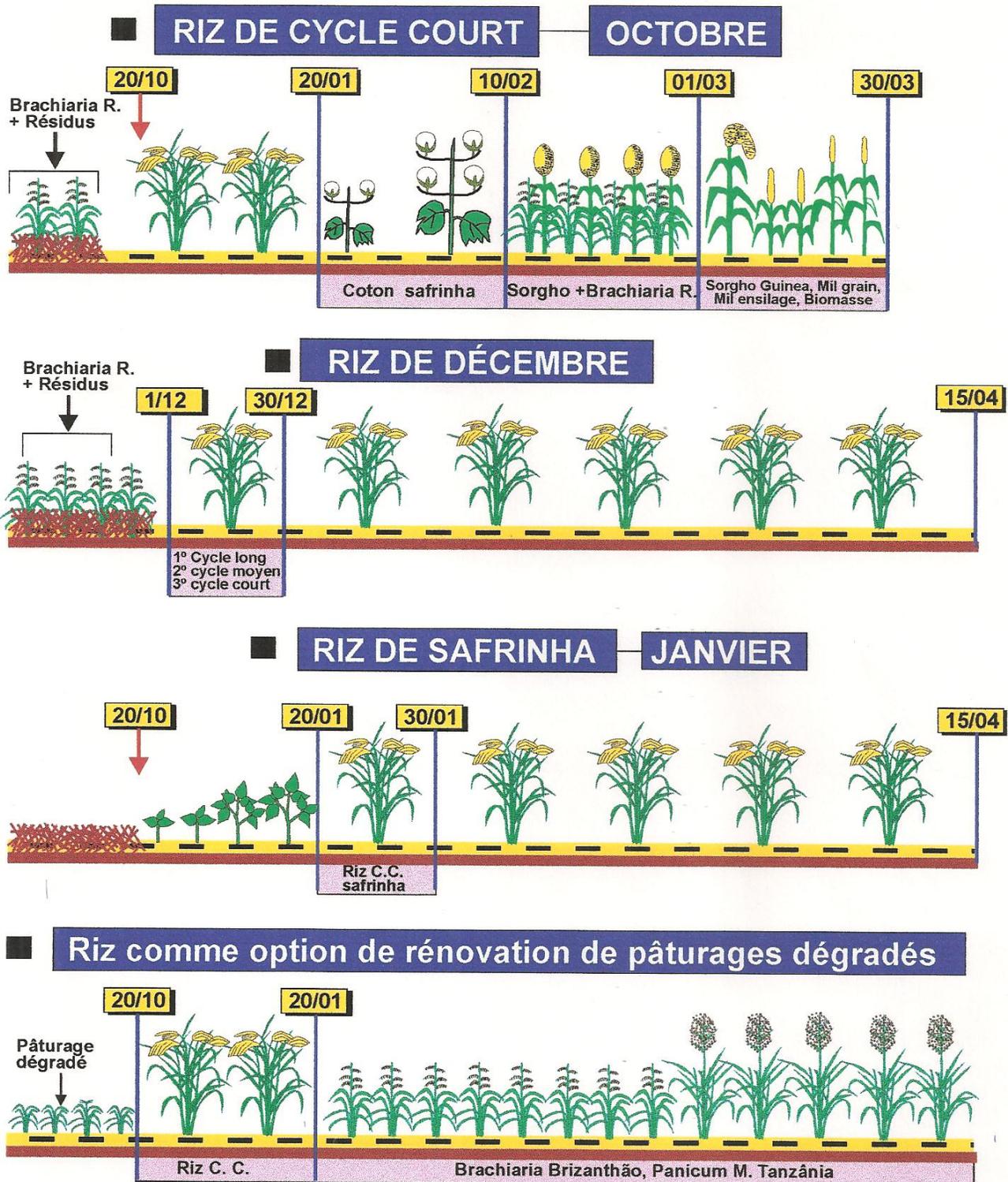


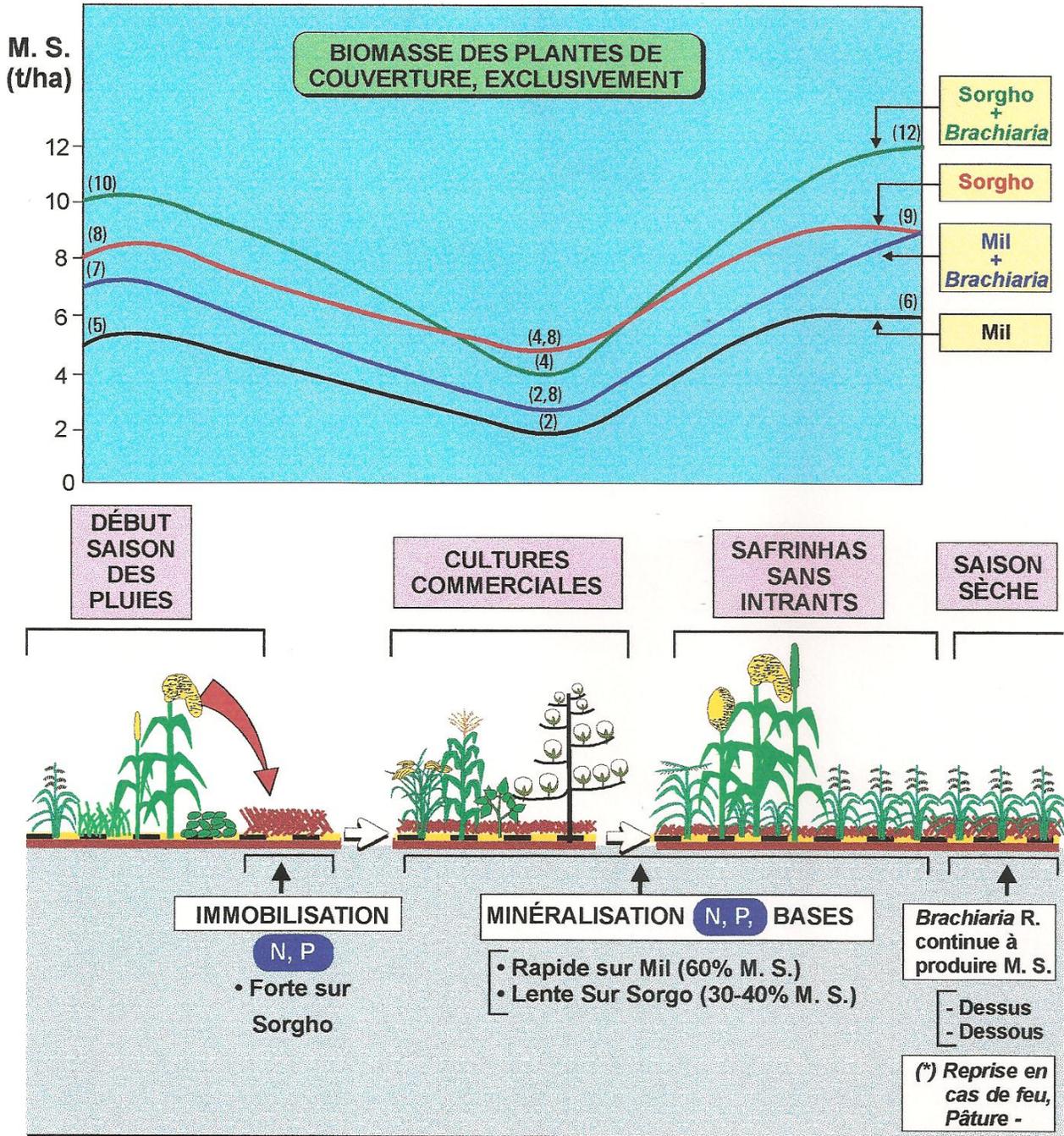
FIG. 5 LES SYSTÈMES DE SEMIS DIRECT DU RIZ PLUVIAL DE HAUTE TECHNOLOGIE DANS LA ZONE TROPICALE HUMIDE DES CERRADOS ET FORÊTS DU CENTRE NORD MATO GROSSO (Frontières agricoles du sud de l'Amazonie)



SOURCE: Séguy L., Bouzinac S., CIRAD-CA
Maronezzi A. C., AGRONORTE - Sorriso, MT - 1998

FIG. 6 ÉVOLUTION DE LA MATIÈRE SÈCHE DES PLANTES DE COUVERTURE AU DESSUS DU SOL DANS LES SYSTÈMES DE CULTURE EN FONCTION DU TYPE DE COUVERTURE (*Pompe biologique*)

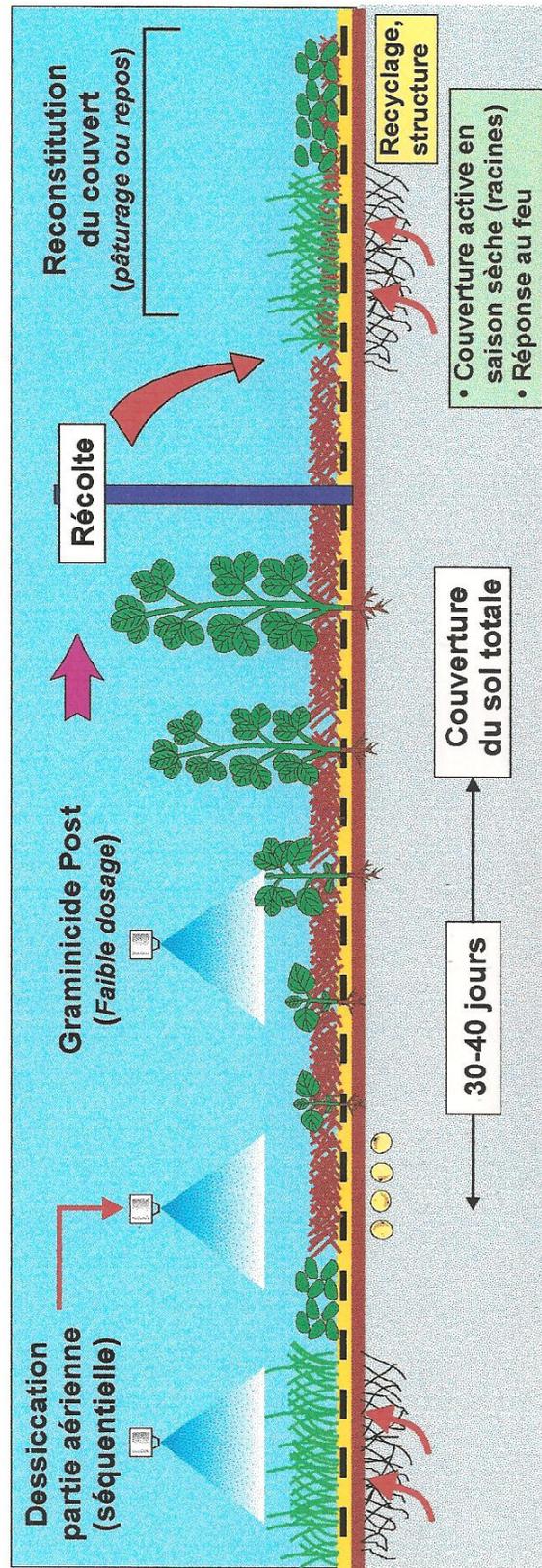
- Sols ferrallitiques de la Zone Tropicale Humide du Centre Nord Mato Grosso - Brésil -



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

FIG. 7 LES SYSTÈMES DE CULTURE EN SEMIS DIRECT SUR COUVERTURES VIVANTES ⁽¹⁾ - PRINCIPES DE BASE

1. COUVERTURES À STOLONS ET RHIZOMES

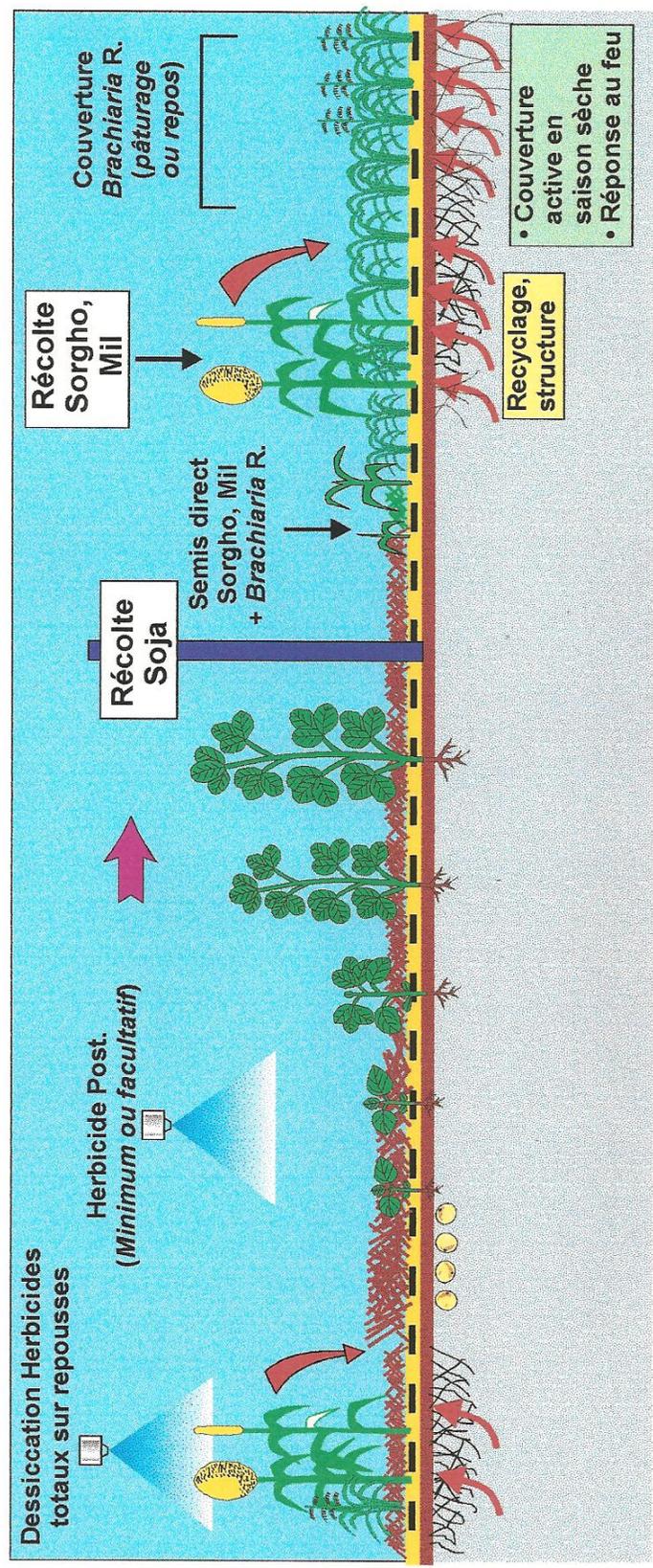


- (1)
- Genres *Cynodon* (*Tifton*), *Arachis*, *Pennisetum C.*, *Paspalum*, *stentophyllum*, *Axonopus*
 - **Systèmes:** Successions annuelles
Soja, Riz, Coton, Maïs + Pâturage

SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac - CIRAD CA - GEC, 1993

FIG. 8 LES SYSTÈMES DE CULTURE EN SEMIS DIRECT SUR COUVERTURES VIVANTES - PRINCIPES DE BASE

2. COUVERTURES ASSOCIANT POMPES BIOLOGIQUES⁽¹⁾ + BRACHIARIA R.



- (1)
- Pompes biologiques: Sorgho, Mils, + *Brachiaria R.*
 - Systèmes possibles avec Soja, Riz haute technologie, Coton -

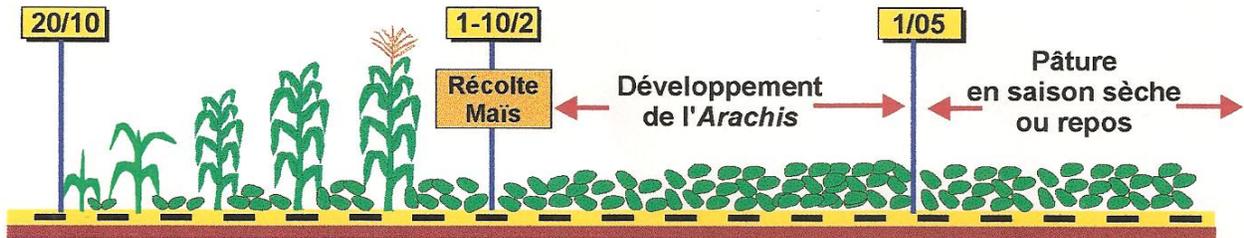
SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac - CIRAD CA - GEC, 1993

FIG. 9-A

**LES SYSTÈMES DE CULTURE EN SEMIS DIRECT SUR TAPIS VIVANTS FOURRAGERS:
LES SUCCESSIONS ANNUELLES "PRODUCTION DE GRAINS + PÂTURAGE"**

1^{ère} CÉRÉALES (Riz, Maïs) SUR *Arachis Pintoï* ou *Repens*

1^{ère} ANNÉE → INSTALLATION DE L'*Arachis*



2^{ème} ANNÉE → Riz ou Maïs, Sorgho

CAS DU RIZ

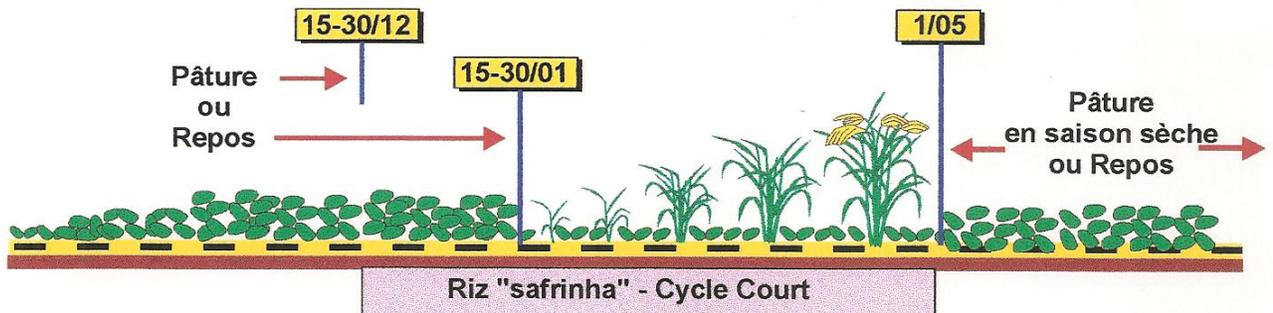
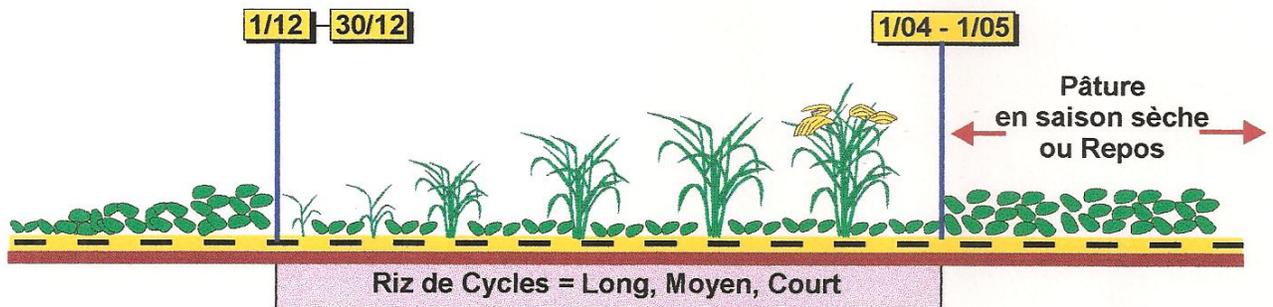
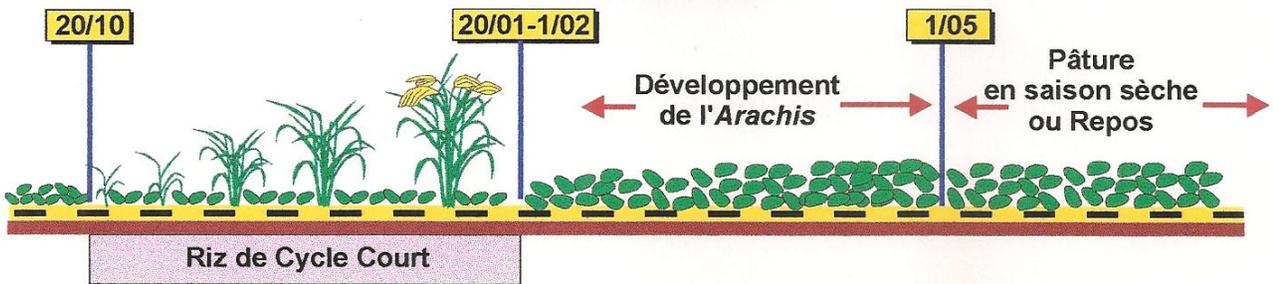
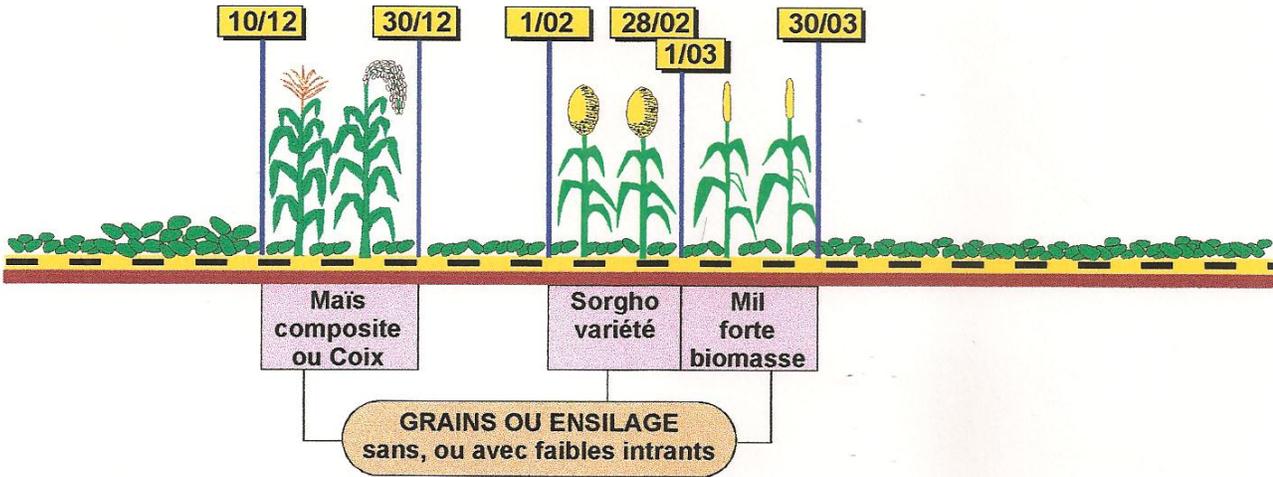
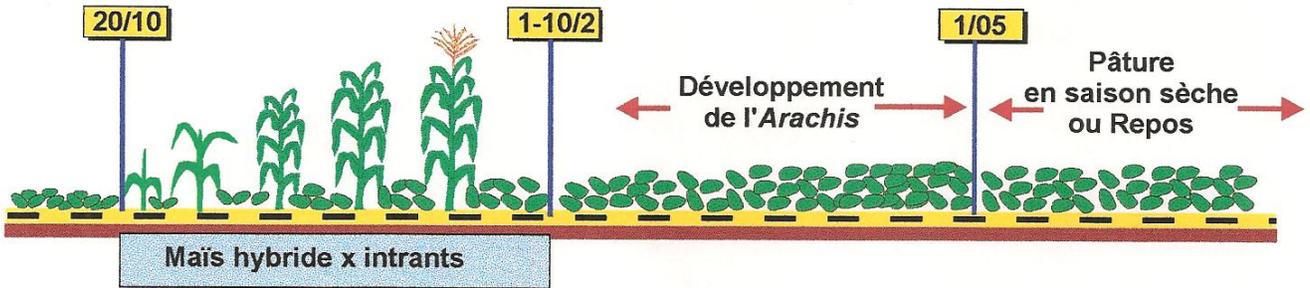


FIG. 9-B

CAS DU MAÏS, SORGHO, COIX, MIL



CAS DU COTON

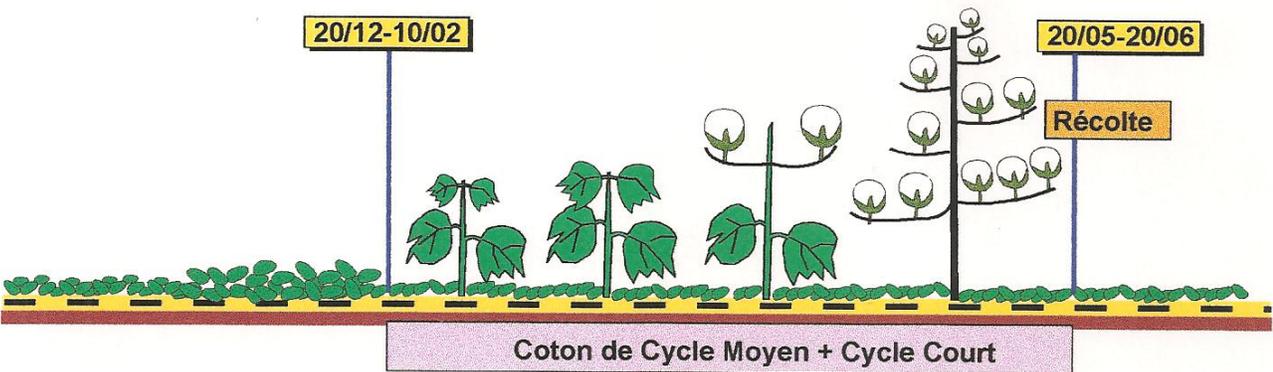
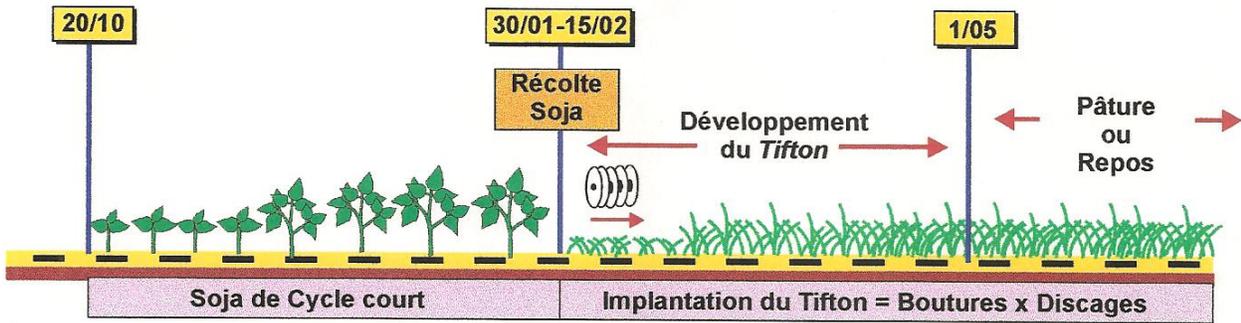


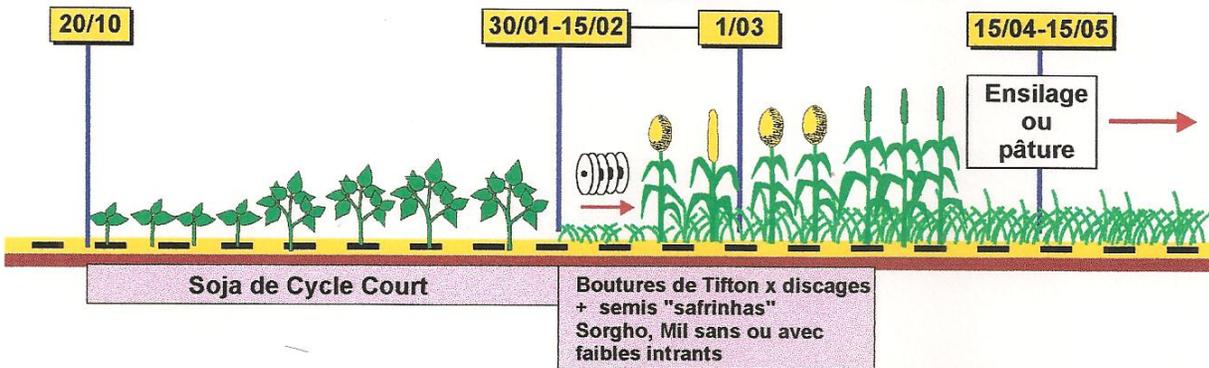
FIG. 10-A

2^{ème} **SOJA, COTON SUR CYNODON TIFTON**

1^{ère} ANNÉE → **INSTALLATION DU TIFTON**



AUTRE TECHNIQUE D'IMPLANTATION



2^{ème} ANNÉE ET SUIVANTES → **SEMIS DIRECT SOJA, COTON**

LE CAS DU SOJA

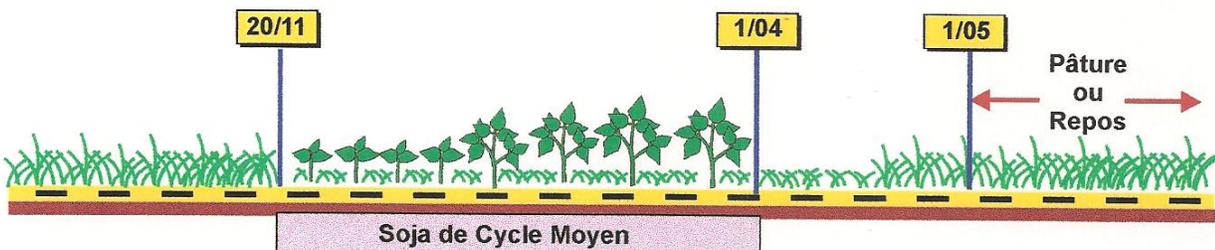
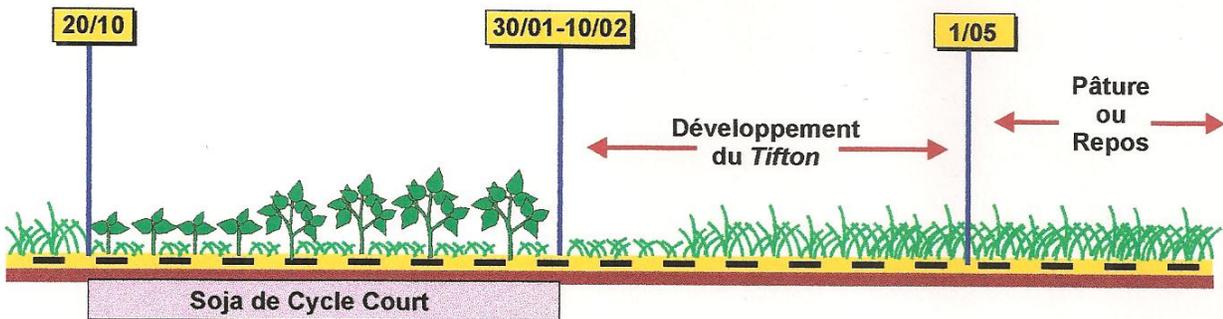
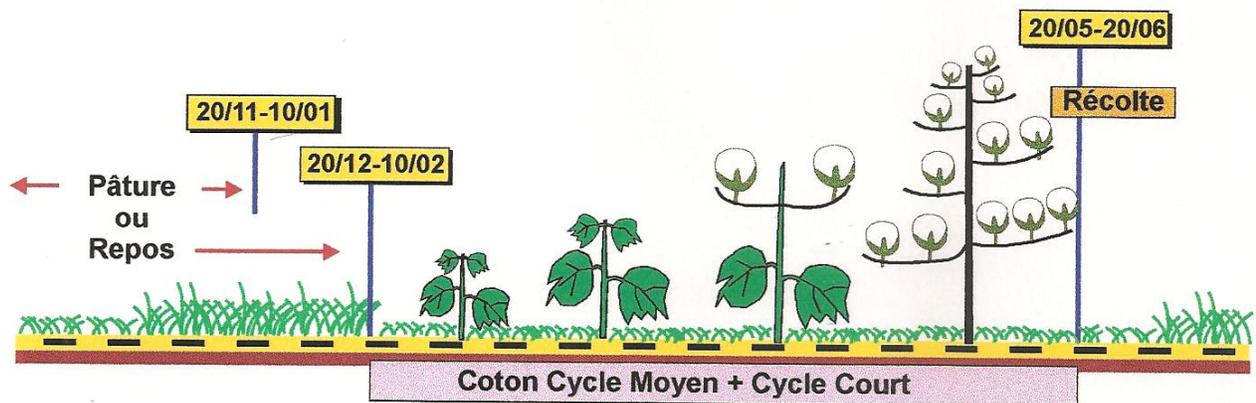
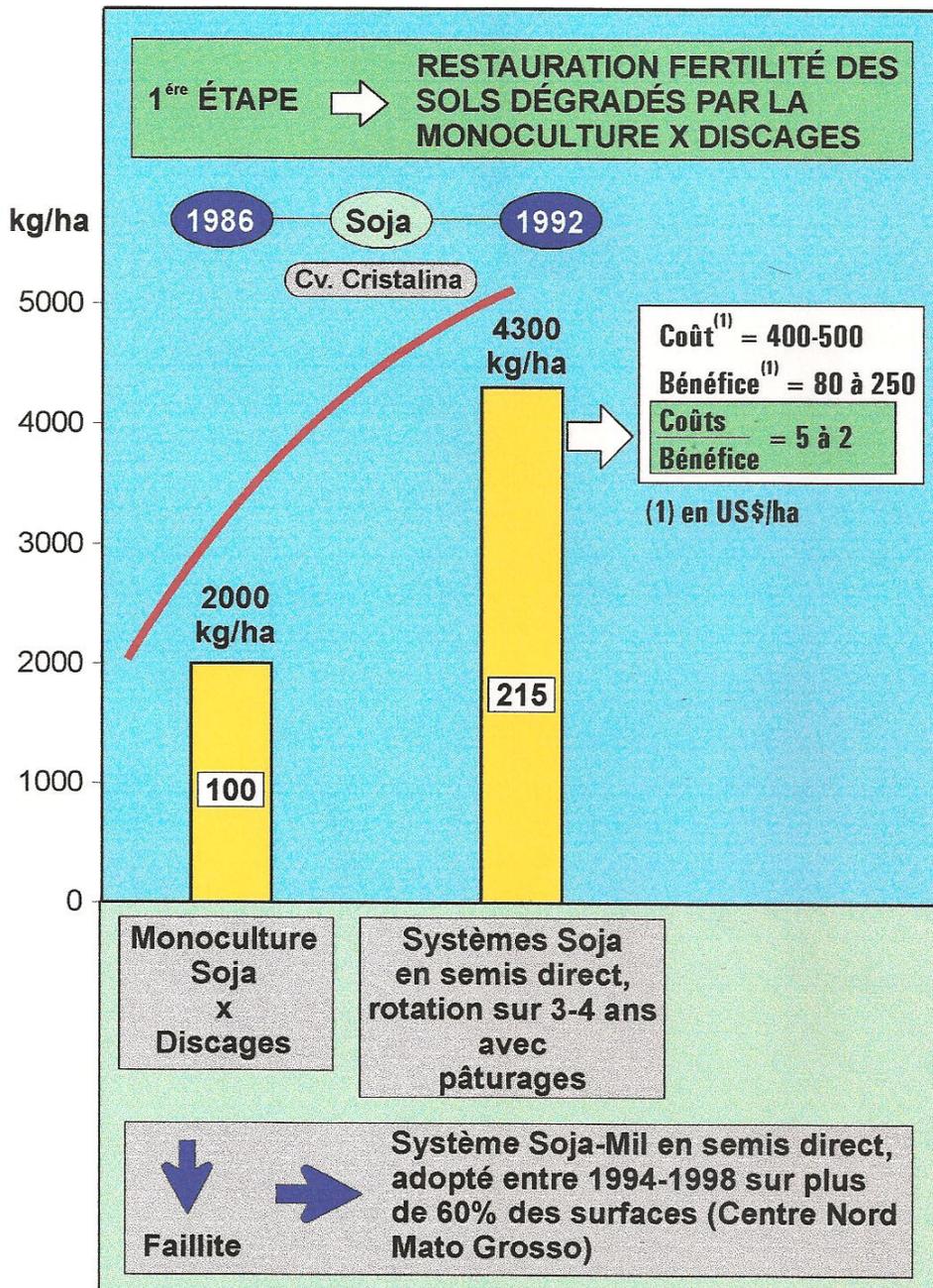


FIG. 10-B

LE CAS DU COTON

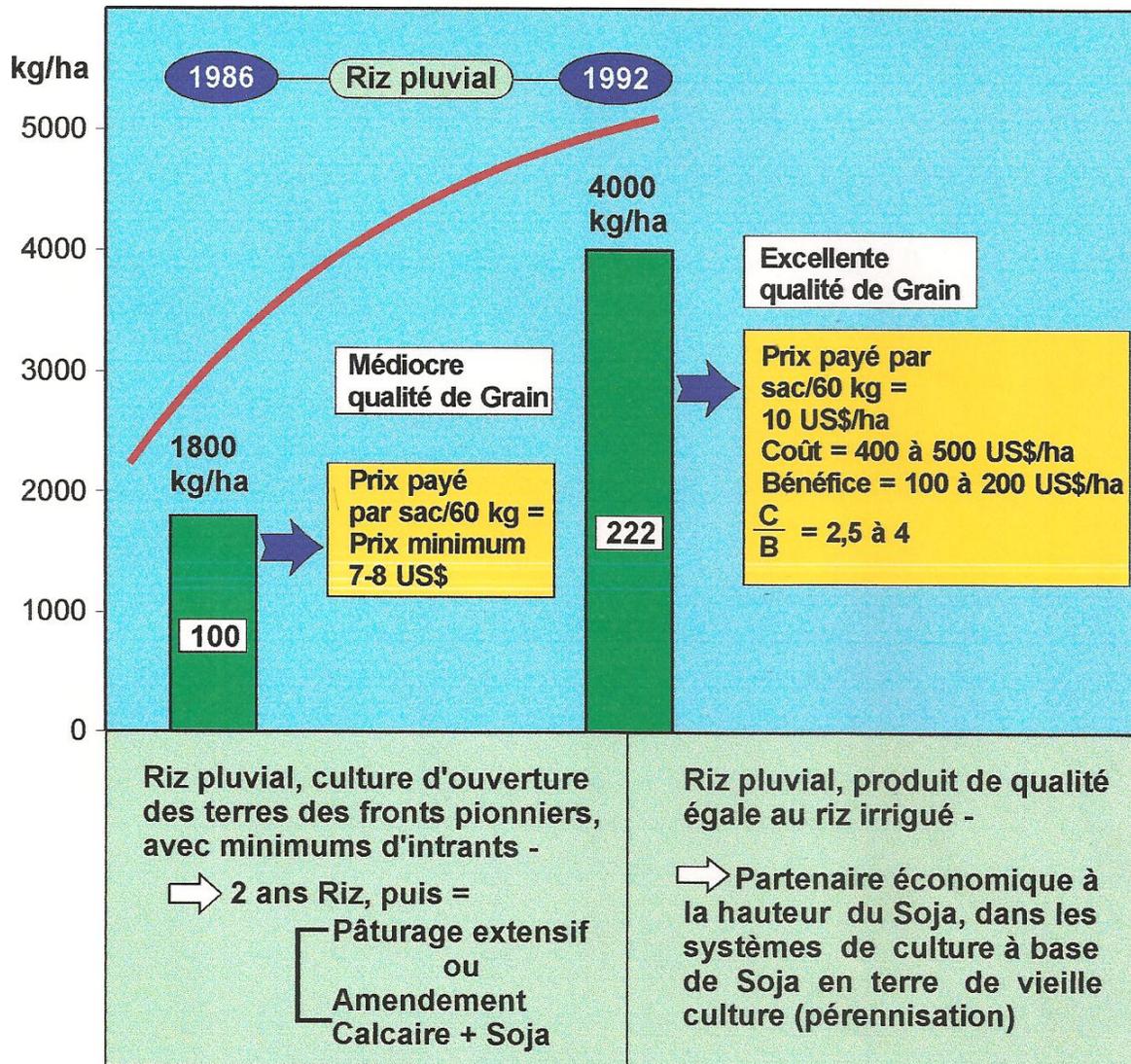


**FIG. 11 PROGRÈS TECHNOLOGIQUES RÉALISÉS
PAR LA RECHERCHE ET SES PARTENAIRES
DU DÉVELOPPEMENT SUR LA CULTURE
DE SOJA- 1986-1998**



SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD CA - GEC; M. Matsubara; A. Trentini, N. A. Cortes, Lucas do Rio Verde - MT - 1993

**FIG. 12 PROGRÈS TECHNOLOGIQUES RÉALISÉS
PAR LA RECHERCHE ET SES PARTENAIRES
DU DÉVELOPPEMENT SUR LA CULTURE
DU RIZ PLUVIAL- 1986-1998**



SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD CA - GEC; M. Matsubara; A. Trentini, N. A. Cortes, Lucas do Rio Verde - MT - 1993

**FIG. 13 PROGRÈS TECHNOLOGIQUES RÉALISÉS
PAR LA RECHERCHE ET SES PARTENAIRES
DU DÉVELOPPEMENT - 1986-1998**

2^{ème}
ÉTAPE



**INTÉGRATION DE TOUTES LES CULTURES
EN SEMIS DIRECT DANS SYSTÈMES DIVERSIFIÉS
DE PRODUCTION EXCLUSIVE DE GRAINS OU
INTÉGRÉS AVEC ÉLEVAGE.**

**• CRÉATION DE MATÉRIEL GÉNÉTIQUE DE
HAUTE VALEUR AJOUTÉE.**

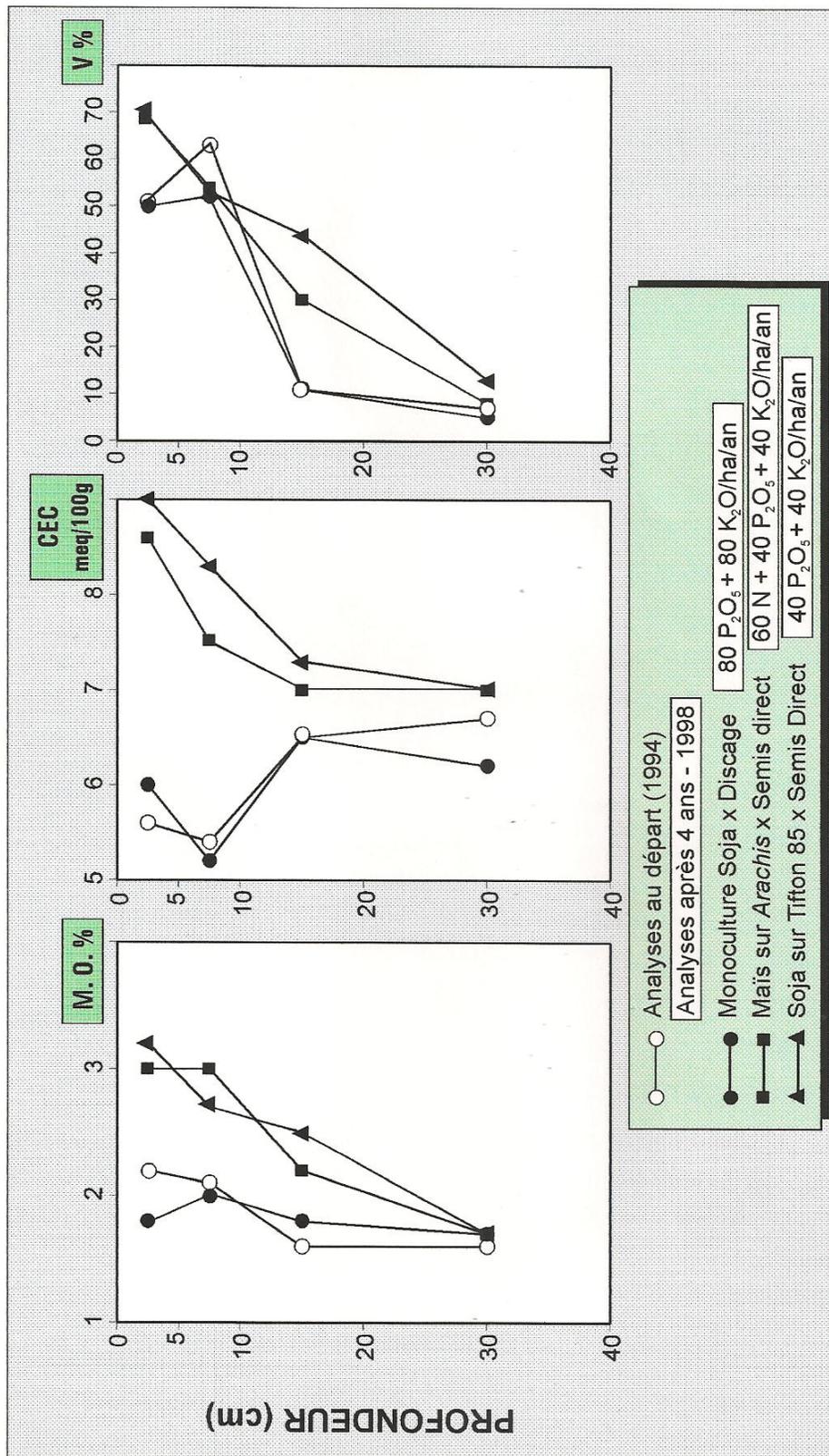
(*) Systèmes non encore diffusés. reproductibles

Performances des cultures dans les systèmes, en semis direct - 1998 -	Coût (C) US\$/ha	Bénéfice(B) US\$/ha	C/B
• Soja + Safrinha - Soja cristalina RCH → 4700 kg/ha + Safrinhas + <i>Brachiaria</i>	480 à 530	250 à 360	1,5 à 1,9
• Soja sur couverture vivante de Tifton → 3200 kg/ha	275 à 300	240 à 280	1,0 à 1,1
• Riz pluvial haute technologie → 4200 à 6000 kg/ha (Prix payé par sac 60 kg = 12 à 16 US\$)	500 à 650	300 à 500	1,3 à 1,7
• Riz pluvial haute technologie comme culture de réforme des pâturages → 3200 kg/ha	500	150	3,3
• Coton comme culture principale → 2500 à 3200 kg/ha	900 à 980	475 à 830	1,2 à 1,9
• Coton comme safrinha en succession de Soja ou Riz de cycle court → 1800 à 2400 kg/ha	450 à 550	500 à 800	0,7 à 0,9

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

Safrinha = Culture de succession - sans intrants -

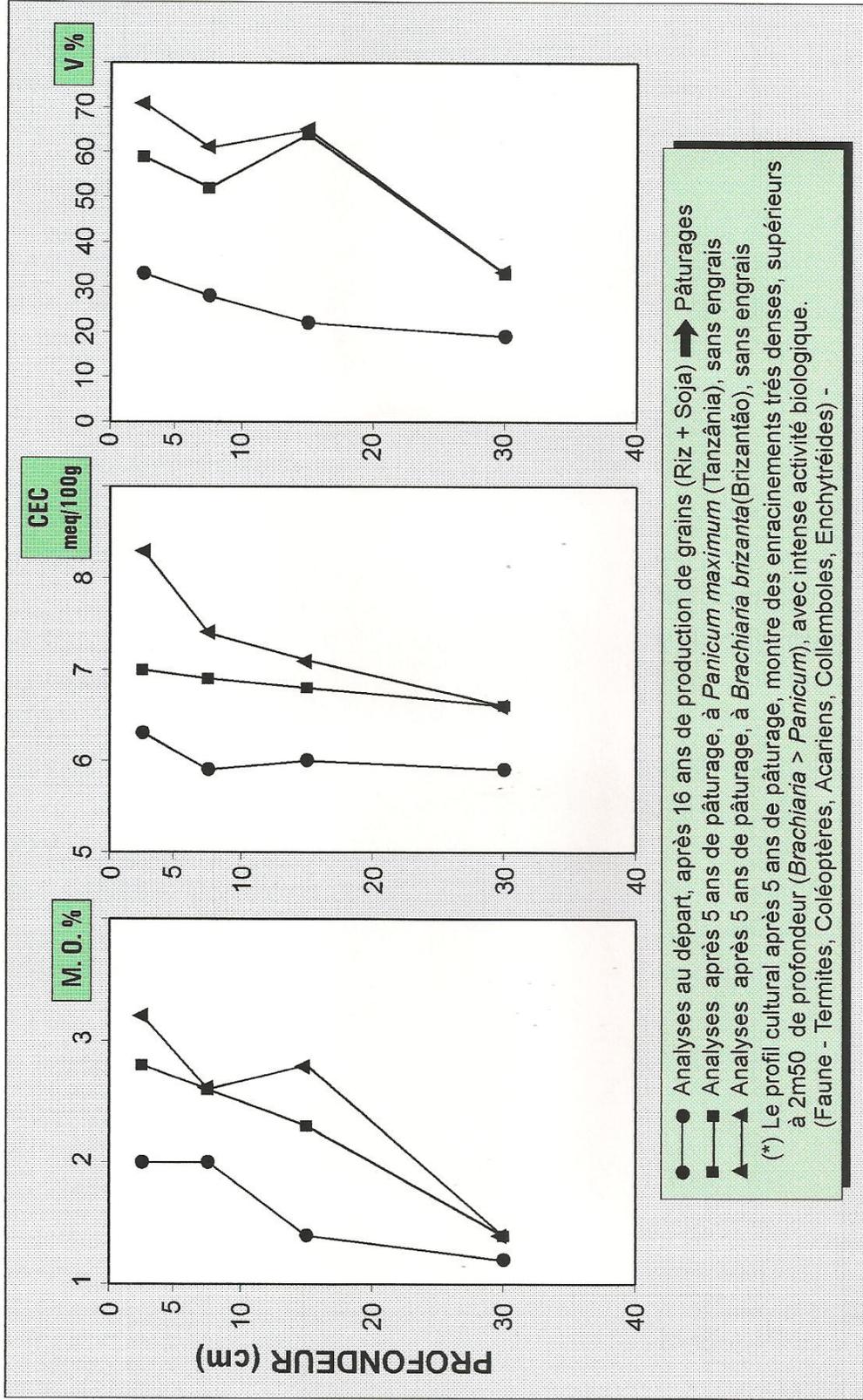
FIG. 14 ÉVOLUTION SUR 4 ANS DU TAUX DE MATIÈRE ORGANIQUE (M. O. %), DE LA CEC ET DU TAUX DE SATURATION DE BASES (V %), EN FONCTION DU MODE DE GESTION DE LA RESSOURCE SOL ET DES CULTURES - ZONE TROPICALE HUMIDE DU SUD DE L'AMAZONIE (ZTH)
 - Sols ferrallitiques oxydés sur roche acide - Écologie de forêts - Centre Nord Mato Grosso - Sinop - MT - 1999.



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

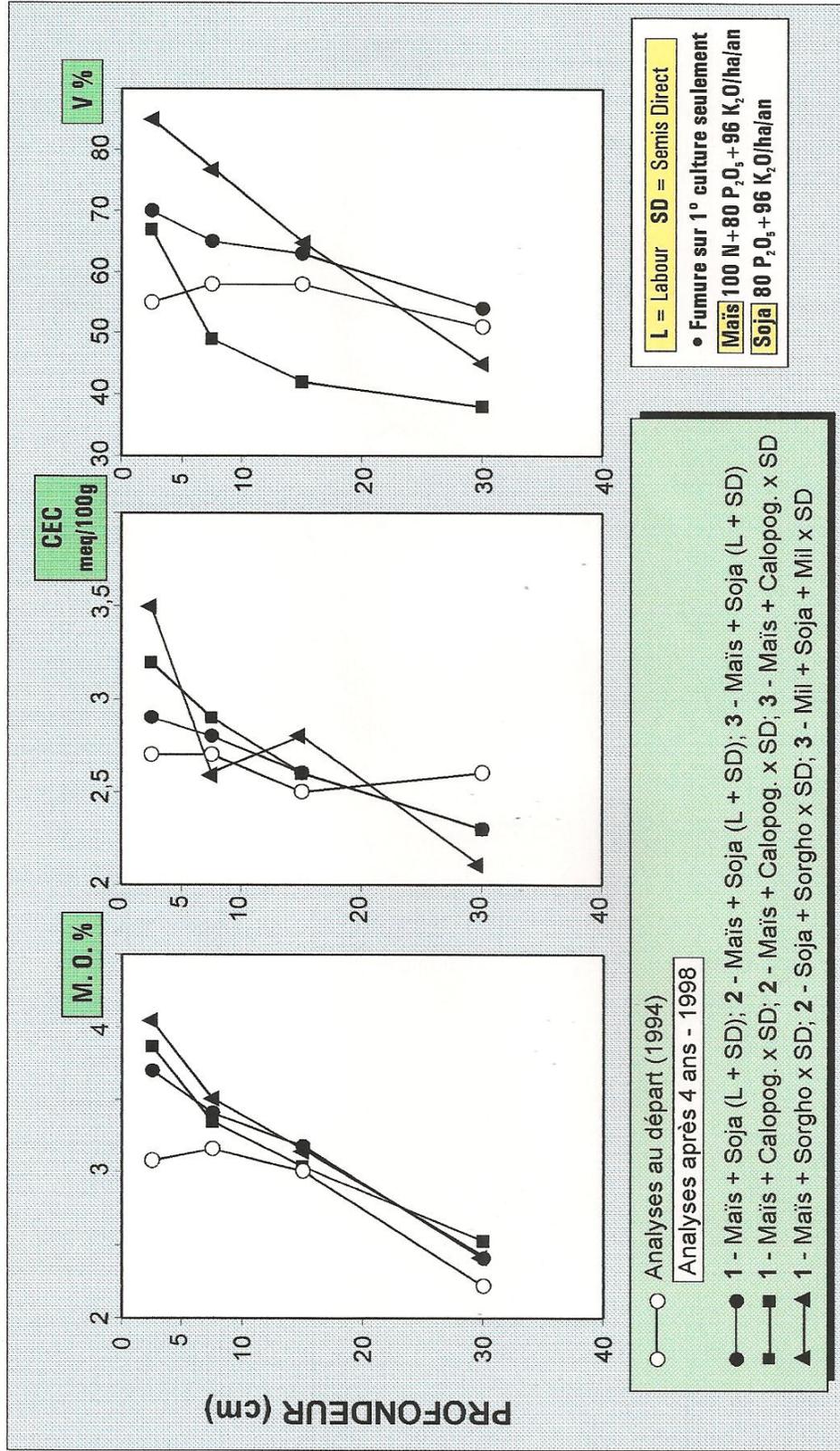
FIG. 15 ÉVOLUTION DU TAUX DE MATIÈRE ORGANIQUE (M. O. %), DE LA CEC ET DU TAUX DE SATURATION DE BASES (V %), APRÈS 5 ANS DE PÂTURÉ SUR *Brachiaria brizanta* (Brizantão) ET *Panicum maximum* (Tanzânia), AVEC UNE CHARGE DE 1,7 UGB/ha, SANS ENGRAIS
 - Écologie des savanes humides · Fazenda Progresso · Centre Nord Mato Grosso · Lucas do Rio Verde · MT · 1998 ·

SOLS FERRALLITIQUES ROUGE - JAUNES



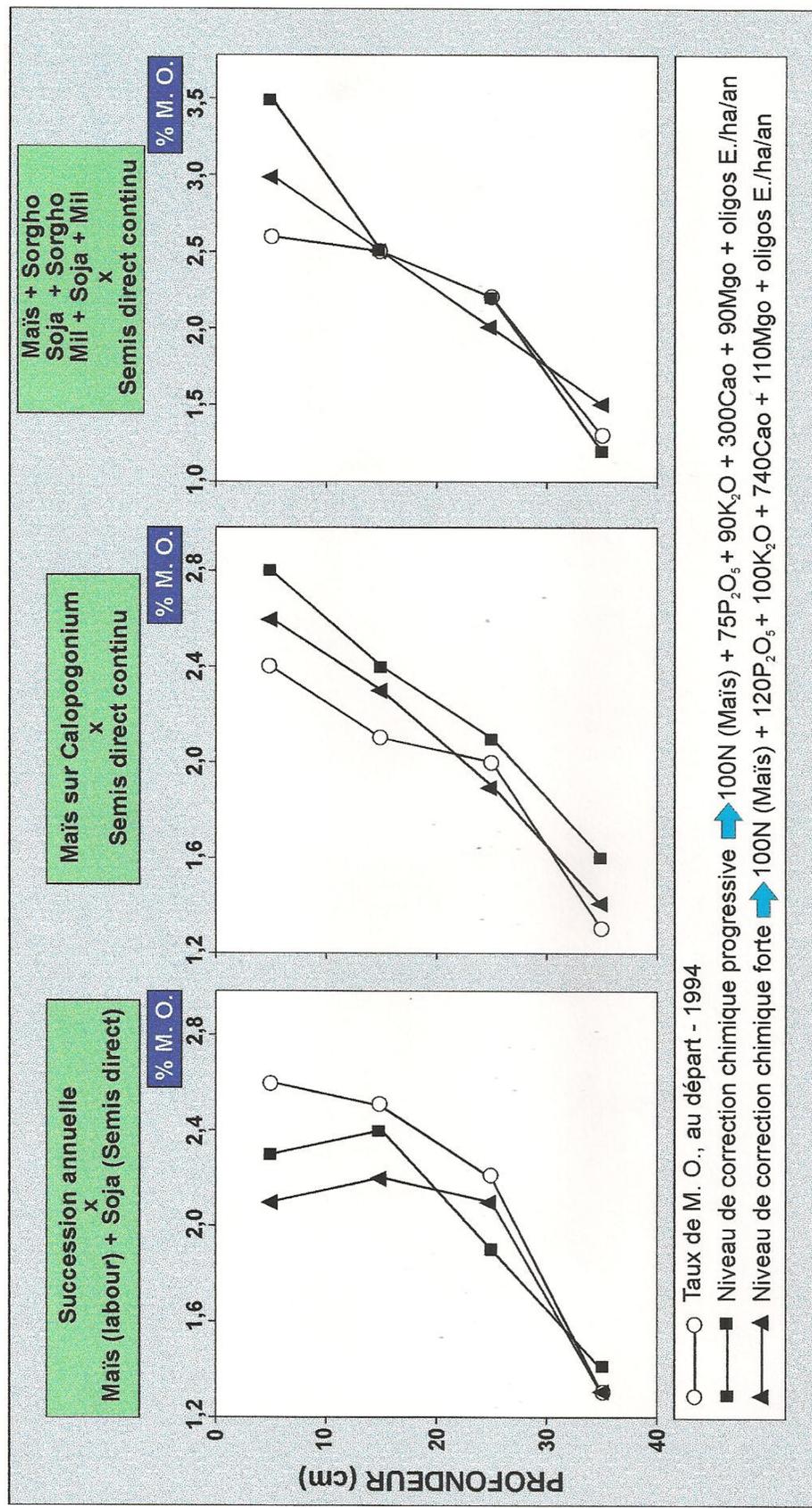
SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD CA - GEC; - Munefumi Matsubara, Fazenda Progresso - MT - 1998

FIG. 16 ÉVOLUTION DU TAUX DE MATIÈRE ORGANIQUE (M. O. %), DE LA CEC ET DU TAUX DE SATURATION DE BASES (V %), EN FONCTION DU MODE DE GESTION DE LA RESSOURCE SOL ET DES CULTURES - ZONE TROPICALE HUMIDE (ZTH) DE L'OUEST AFRICAIN.
 - Sols ferrallitiques jaunes sur roche acide - Boumango - République du Gabon - 1998



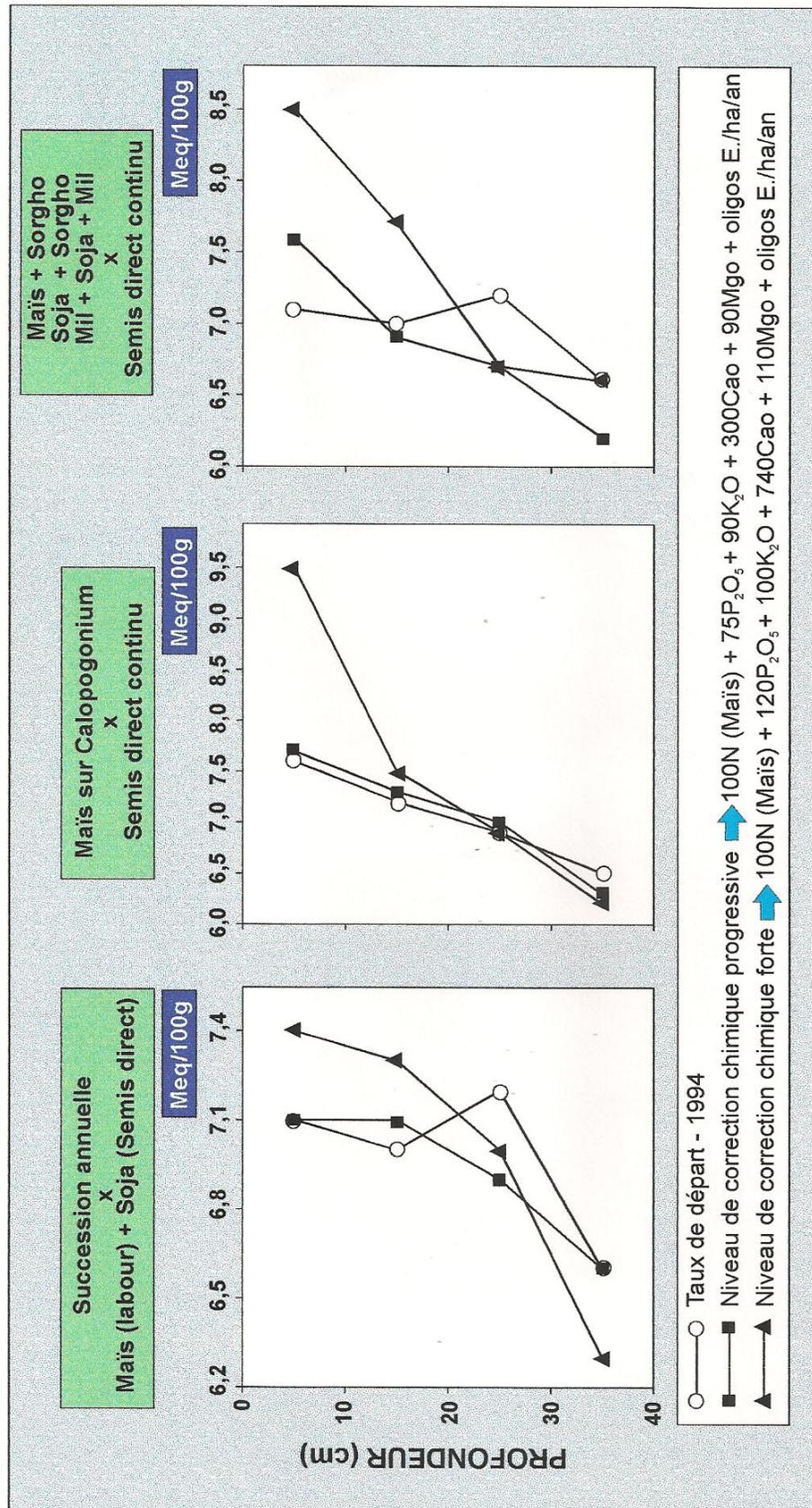
SOURCE: S. Boulakia, G. Delafond, L. Séguy - CRAB - SIAEB - Boumango, GABON

FIG. 17 ÉVOLUTION SUR 3 ANS, DU TAUX DE MATIÈRE ORGANIQUE (M. O. %), EN FONCTION DU MODE DE GESTION DE LA RESSOURCE SOL ET DES CULTURES
 Zone Tropicale Humide (ZTH) de l'ouest Africain -
 Sols ferrallitiques jaunes sur roche acide - Boumango - Gabon - 1999



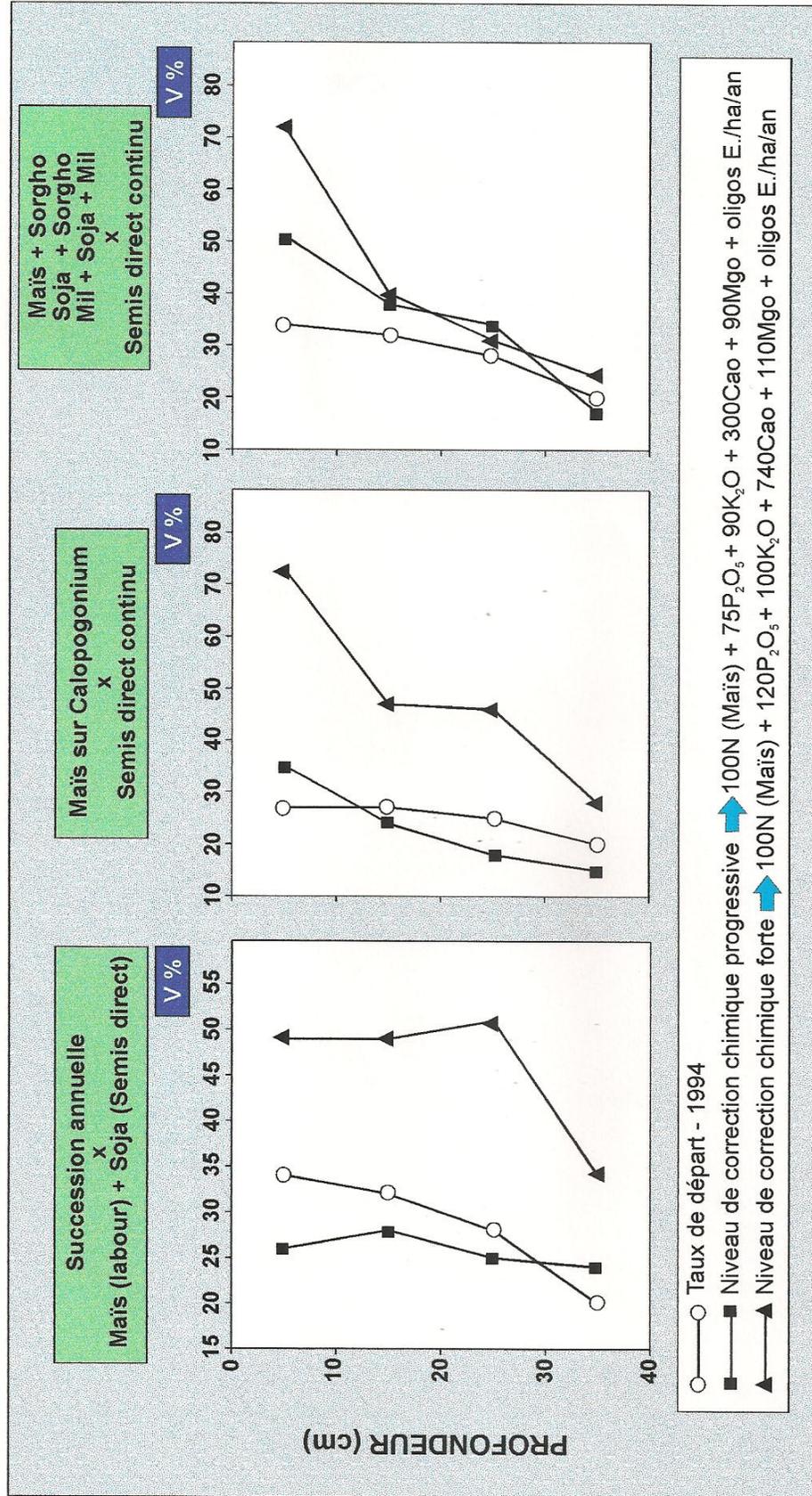
SOURCE: S. Boulakia, G. Delafond, L. Séguy - CRAB - SIAEB - Boumango, GABON

**FIG. 18 ÉVOLUTION SUR 3 ANS, DE LA CAPACITÉ D'ÉCHANGE CATIONIQUE
(CEC EN meq/100g, à pH 7,0) EN FONCTION DU MODE DE
GESTION DE LA RESSOURCE SOL ET DES CULTURES
Zone Tropicale Humide (ZTH) de l'ouest Africain -
Sols ferrallitiques jaunes sur roche acide - Boumango - Gabon - 1999**



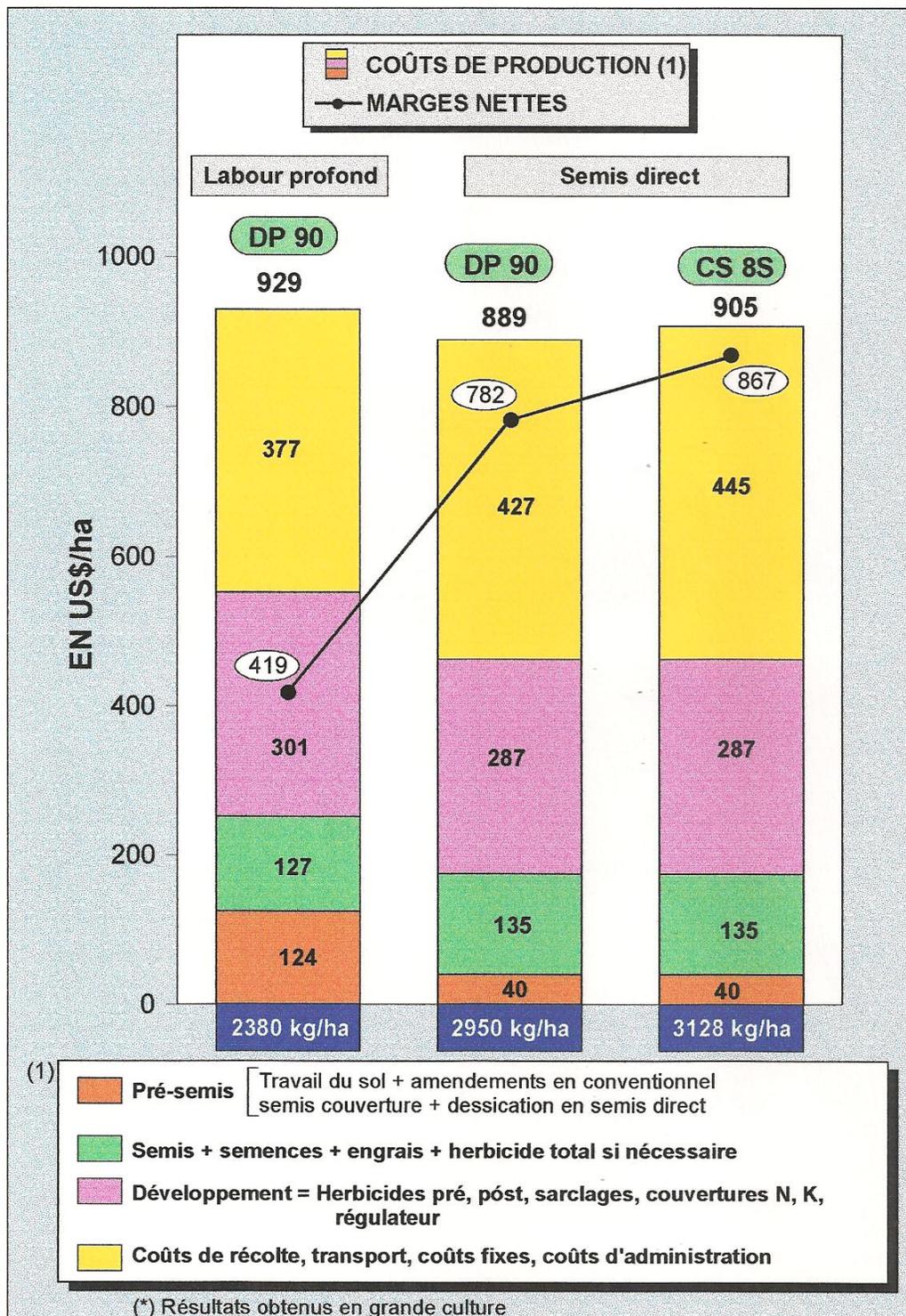
SOURCE: S. Boulakia, G. Delafond, L. Séguy - CRAB - SIAEB - Boumango, GABON

FIG. 19 ÉVOLUTION SUR 3 ANS, DU TAUX DE SATURATION EN BASES ÉCHANGEABLES (VEN %) EN FONCTION DU MODE DE GESTION DE LA RESSOURCE SOL ET DES CULTURES
 Zone Tropicale Humide (ZTH) de l'ouest Africain - Sols ferrallitiques jaunes sur roche acide - Boumango - Gabon - 1999



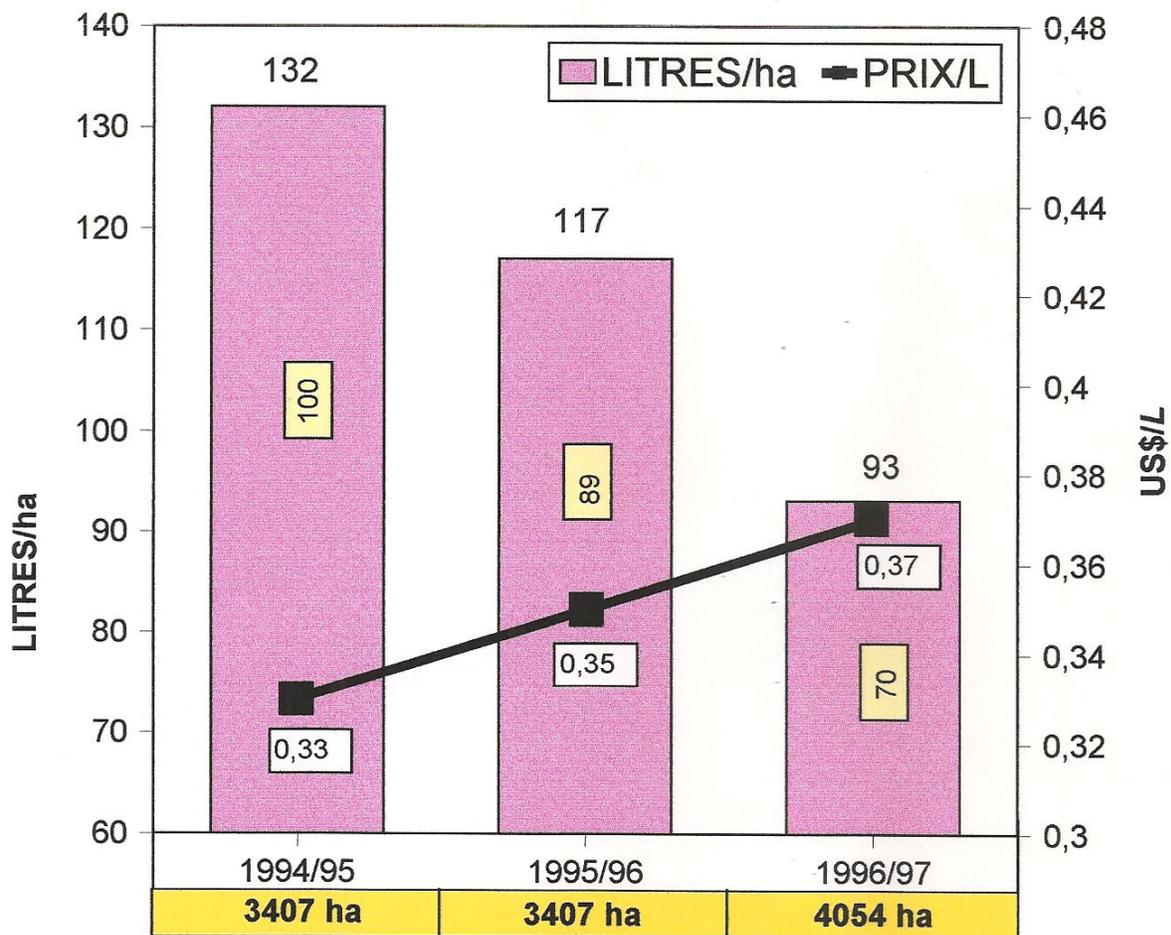
SOURCE: S. Boulakia, G. Delafond, L. Séguy - CRAB - SIAEB - Boumango, GABON

FIG. 20 COÛTS DE PRODUCTION DÉTAILLÉS ET MARGES NETTES EN US\$/ha DE DEUX VARIÉTÉS DE COTON EN FONCTION DE 2 SYSTÈMES DE GESTION DU SOL - SOL FERRALLITIQUE SUR BASALTE, DÉGRADÉ, DE BAS DE PENTE - FAZENDA SANTA JACINTA - ITUVERAVA, SP - 1998



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

FIG. 21 ÉVOLUTION DE LA CONSOMMATION DE DIESEL (L/ha) ET DE SON PRIX/L - FAZENDA CANADÁ - GROUPE MAEDA - 1994 à 1997



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

FIG. 22 Rendements des équipements et indices technico-économiques comparés entre système conventionnel et semis direct sur 38 000 hectares dans l'état du Mato Grosso [Rondonópolis, 1995 (1)]

Critères d'évaluation	Travail mécanisé conventionnel	Semis direct	Différence %
Surface (ha) travaillée par tracteur de 90 HP	163,6	276,9	+ 70%
Índice HP/ha	0,556	0,325	+ 70%
Surface (ha) semée par semoir de 9 lignes	426,6	612,0	+ 43,4%
Índice ha/ligne	47,7	68,0	+ 43,4%
Investissement en tracteurs (US\$/ha)	271,0	158,6	- 41,4%
Investissement en semoir (US\$/ha)	32,8	29,4	- 10,3%

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

**FIG. 23 UN MODE DE DÉFRICHEMENT MOINS
DESTRUCTEUR DE LA RESSOURCE SOL**

- Sols ferrallitiques hydratés
- Écologie des forêts du sud amazonie - Sinop/MT, 1998

DESCRIPTIF

- Abattage de la forêt, en fin de saison des pluies (MARS) et non en saison sèche
- Laisser, en l'état la végétation sur le sol pendant un an → Toute la matière organique peu lignifiée retourne au sol
- À la saison sèche suivante, le chantier de brûlis de la biomasse restante (troncs, branchages, lianes) commence, par les 4 côtés du chantier = le brûlis avance sur les 4 flancs de l'extérieur vers l'intérieur. Le bois se consume doucement et il est progressivement poussé vers l'intérieur du chantier par des engins à griffes frontales -

Défrichage traditionnel		Défrichage moins destructeur	
Temps en h/ha	Coût (US\$/ha)	Temps en h/ha	Coût (US\$/ha)
7 à 7,5	350 à 375	8,5	425

**FIG. 24 UN MODE DE DÉFRICHEMENT MOINS
DESTRUCTEUR DE LA RESSOURCE SOL**

- Sols ferrallitiques hydratés
- Écologie des forêts du sud amazonie - Sinop/MT, 1998

**SÉQUENCE DE CULTURES À
PARTIR DU DÉFRICHEMENT**

Année 1 → Riz pluvial (CIRAD 141)

Année 2 → Riz pluvial (CIRAD 141)

**Année 3 → Soja + Maïs associé à
*Brachiária R.***

**Année 4 → Soja + Maïs associé à
*Brachiária R.***

Année 5 → Riz pluvial (CIRAD 141)

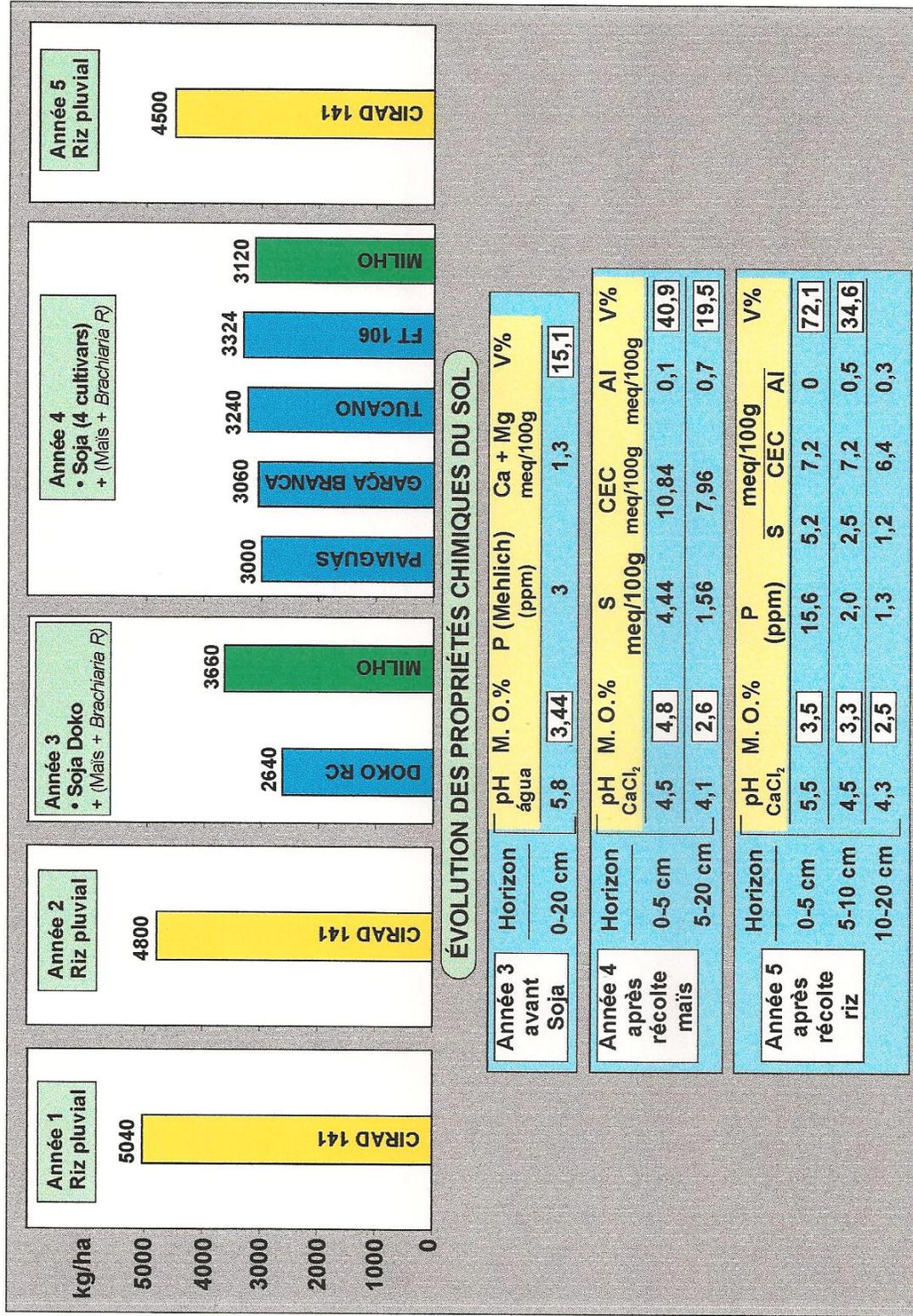
- Fumure Riz années 1, 2 et 5 = 40 N + 80 P₂O₅ + 60 K₂O/ha/an
- Fumure année 3

Soja = 64 P ₂ O ₅ + 64 K ₂ O + 100 kg cal. Filler/ha
Maïs en succession + <i>Brachiaria</i> = 28 N + 70 P ₂ O ₅ + 70 K ₂ O/ha
- Fumure année 4

Soja = 64 P ₂ O ₅ + 64 K ₂ O/ha
Maïs en succession + <i>Brachiaria</i> = 28 N + 70 P ₂ O ₅ + 70 K ₂ O/ha

Fig. 25 PRODUCTIVITÉ DES CULTURES APRÈS UN DÉRICHEMENT MOINS DESTRUCTEUR SANS APPLICATION D'AMENDEMENT

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



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

**FIG. 26 ÉCOSYSTÈME FORESTIER AMAZONIEN
ET
MEILLEURS SYSTÈMES DE SEMIS DIRECT**
• Sols ferrallitiques du sud du bassin amazonien - Sinop/MT, 1999

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

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

FIG. 27 ÉCOSYSTÈME FORESTIER AMAZONIEN ET

MEILLEURS SYSTÈMES DE SEMIS DIRECT

- Soils ferrallitiques du sud du bassin amazonien - Sinop/MT, 1999

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

SOURCE: 6. Cerri et al., 1992; 7. Cabral, 1991; Leopoldo et al., 1987; 8. Pimentel da Silva et al., 1992;

9. Stark et Jordan, 1978; Lucas et al., 1993; Luizão et al., 1992; 10. Séguy L. et Bouzinac S., CIRAD/GEC - 1990-99.

**ÉTATS DU PROFIL CULTURAL AU SEMIS
ET
CHOIX DES ÉQUIPEMENTS
DE SEMIS DIRECT**

**L. Séguy, S. Bouzinac,
CIRAD CA - GEC, 1999**

**LE SUCCÈS, ET LA PÉRENNISATION DU SEMIS DIRECT
DÉPENDENT
DE PROPRIÉTÉS PHYSIQUES INCONTOURNABLES DU PROFIL CULTURAL**

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

- ➔ LA CRÉATION, PUIS LE MAINTIEN (*entretien*) D'UN ESPACE PORAL FAVORABLE À TOUTES LES CULTURES COMMERCIALES DES MEILLEURES ROTATIONS (*Critères agronomiques et technico-économiques*)
- ➔ UNE FORTE RÉSISTANCE À LA DÉFORMATION (*état de surface*) ET AU TASSEMENT, DÙE AU TRAFIC DES MACHINES, EN SOL HUMIDE -

**LA RÉSISTANCE MÉCANIQUE DU PROFIL CULTURAL À LA DÉFORMATION
ET AU TASSEMENT, EN SEMIS DIRECT**

DÉPEND, À LA FOIS, DE:

↑ L'IMPORTANCE ET LA NATURE DE LA COUVERTURE DU SOL EN
SURFACE (*couverture morte, couverture vive* → *Stolons*) QUI JOUE
LE RÔLE D'AMORTISSEUR

+

↑ L'IMPORTANCE ET LA NATURE DE LA TRAME RACINAIRE DANS
LE PROFIL CULTURAL, QUI JOUE LE MÊME RÔLE QUE LE FER
DANS LA RÉSISTANCE MÉCANIQUE DU BÉTON ARMÉ → SQUELETTE
ORGANIQUE DE SOUTIEN DU SOL -

*(Importance prépondérante des systèmes racinaires fasciculés des
graminées, des Rhizomes, Stolons)*

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

L'ESPACE PORAL FAVORABLE À LA PÉRENNISATION DU SEMIS DIRECT
(Profil cultural "régulateur" → Forte porosité, ressuyage rapide + forte capacité de rétention en H₂O) EST CRÉÉ, PUIS MAINTENU, GRÂCE, SIMULTANEMENT =

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

- AU TRAVAIL BIOLOGIQUE DES SYSTÈMES RACINAIRES DES CULTURES COMMERCIALES EN ROTATION
- AU TRAVAIL BIOLOGIQUE DES SYSTÈMES RACINAIRES DES CULTURES BIOMASSES DE COUVERTURE (*Pompes biologiques*) QUI REMPLACENT LE TRAVAIL MÉCANIQUE DU SOL -

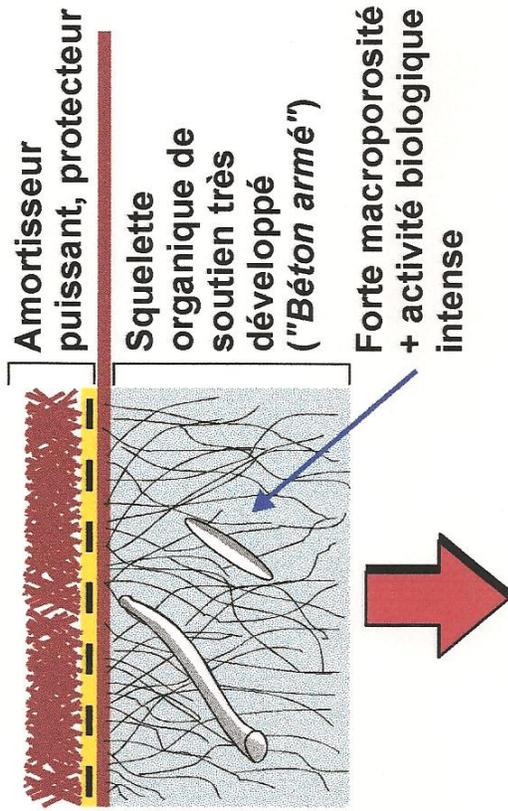
Ex: [Sorgho, Mil, en culture pure ou associés au *Brachiaria*,
Pâturage à *Panicum*, *Brachiaria*, en rotation avec la production de grains

- AU TRAVAIL DE LA FAUNE ASSOCIÉE = MACROFAUNE, MÉSOFAUNE RÉSIDENTE (*Bousiers, termites, vers de terre etc.*)

PROFILS TYPES EN SEMIS DIRECT

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

SEMIS DIRECT BIEN GÉRÉ

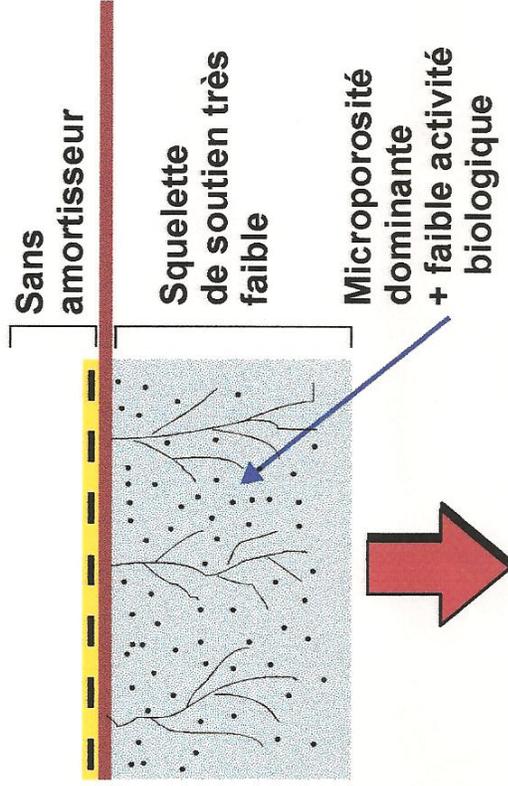


- **PROFIL CULTURAL RÉSISTANT**
Au tassement et à la déformation ("Béton armé")

Ex: Les meilleures plantes de couverture =
 - *Brachiaria* pur ou associé aux Sorghos, Milis
 - *Eleusine coracana*
 - Les Sorghos guinea

➔ **SEMIS DIRECT PÉRENNISÉ**, Sans nécessité de reniveler (et/ou retravailler) le sol -

SEMIS DIRECT MAL GÉRÉ



- **PROFIL CULTURAL NON RÉSISTANT**
Au tassement et à la déformation

Ex: "Safrinhas type Mil", Sorgho, sensibles au photopériodisme, semées trop tard ➔ très faible biomasse =

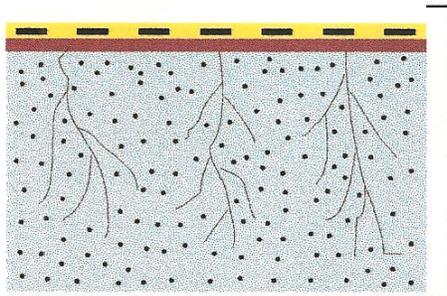
- dessus
- dessous

(*) Pollution de surface, facilitée par plantes perennes = *Panicum m.*, *Andropogon g.*

➔ **NECESSITÉ DE RENIVELER LE SOL** lors de l'implantation des safrinhas

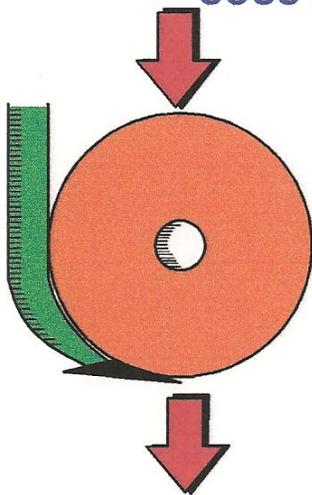
PROBLÈMES DE LEVÉE, EN SEMIS DIRECT MAL GÉRÉ

SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD CA - GEC,
Goupe Maeda, Agronorte, 1999



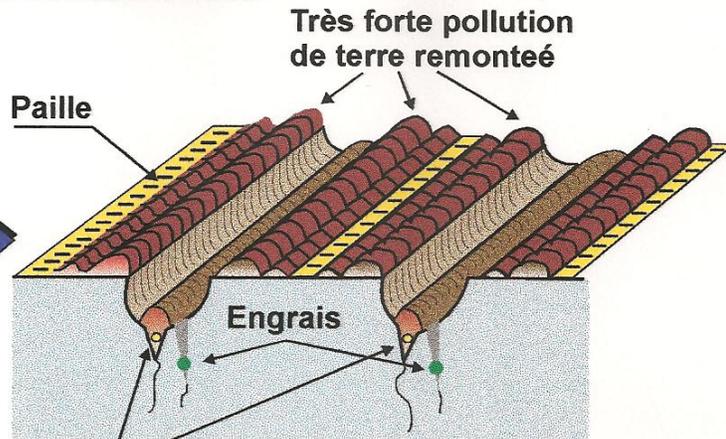
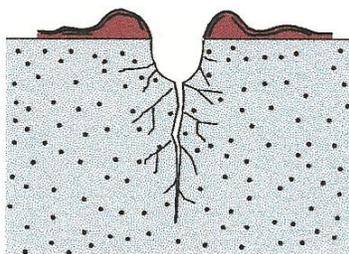
← **PROFIL CULTURAL
COMPACTÉ**

**ÉQUIPEMENT OBLIGATOIRE POUR DÉCOMPACTER
SOUS LA LIGNE DE SEMIS**



← **GRAND DISQUE OUVREUR À
L'AVANT, ÉQUIPÉ D'UN
COUTRE DROIT QUI DISTRIBUE
L'ENGRAIS SOUS LA LIGNE**

FORTE PERTURBATION DE LA SURFACE



- Macroporosité éphémère sous la ligne
- Microporosité dominante
- Profil peu poreux, réducteur,
- Ressuyage lent.

- Semences enterrées profondément en cas de forte pluie
- Formation postérieure de forte croûte sur la ligne de semis
- Forte pollution par les adventices

RISQUE TRÈS ÉLEVÉ DE LEVÉE HÉTÉROGÈNE

GARANTIE DE BONNE LEVÉE EN SEMIS DIRECT BIEN GÉRÉ

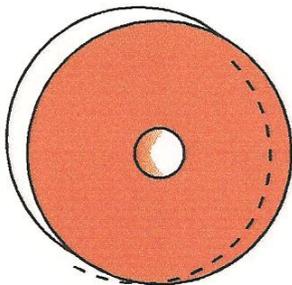
SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD CA - GEC, Goupe Maeda, Agronorte, 1999



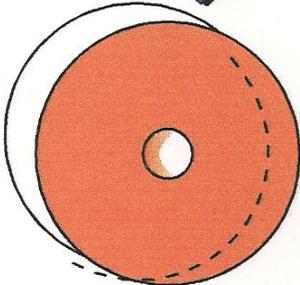
PROFIL CULTURAL POREUX, BIEN PROTÉGÉ
("Béton armé")

RISQUE DE REMONTÉE DE TERRE, FAIBLE À NUL, MÊME EN SOL TRÈS HUMIDE (*Squelette de soutien racinaire très développé*)

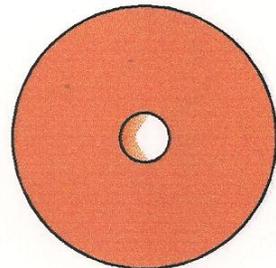
ÉQUIPEMENT RECOMMANDÉ



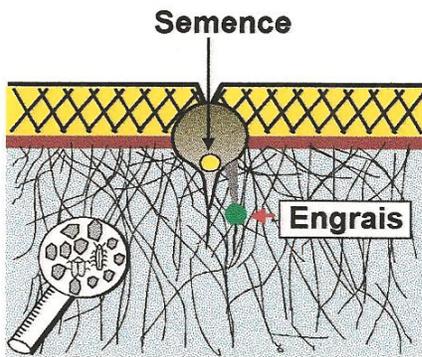
Double disque dissymétrique
Semences



Double disque dissymétrique
Engrais

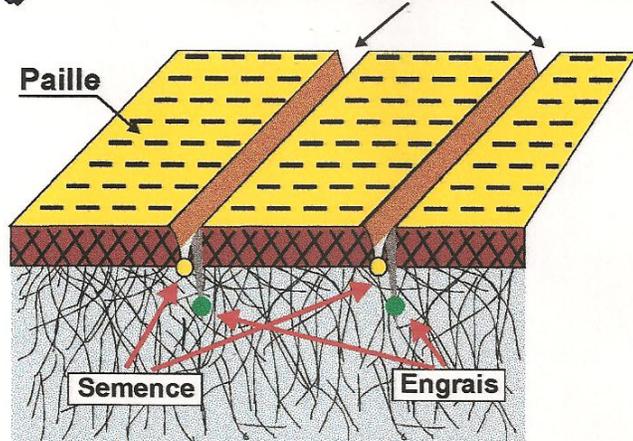


Disque ouvreur
(*facultatif, fonction biomasse*)



- Forte macroporosité
- Ressuyage rapide
- Profil cultural bien aéré -

Semis sans pollution de terre



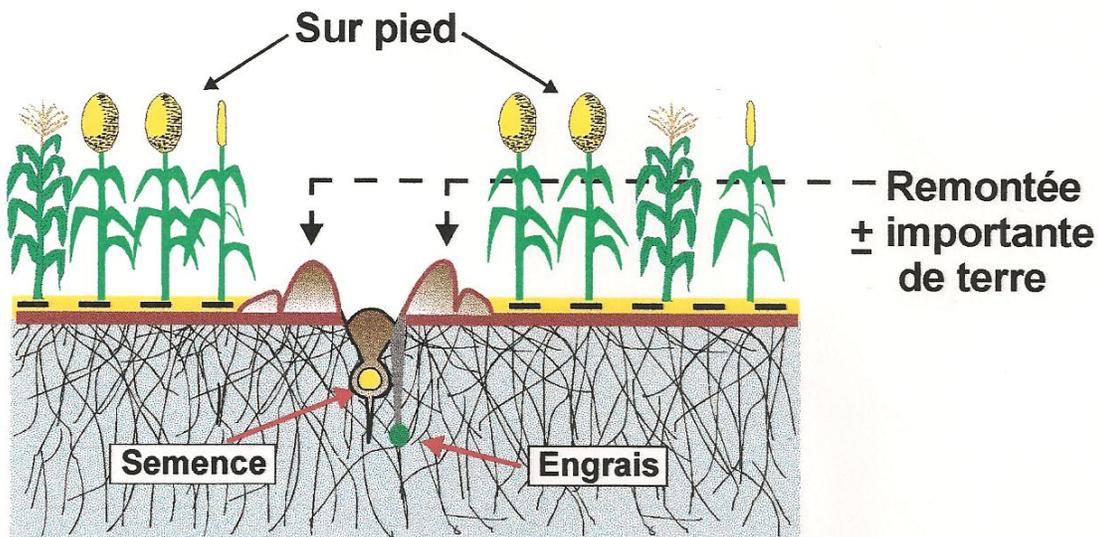
- Semis superficiel totalement protégé des fortes pluies, des risques de sécherese

LEVÉE PARFAITE

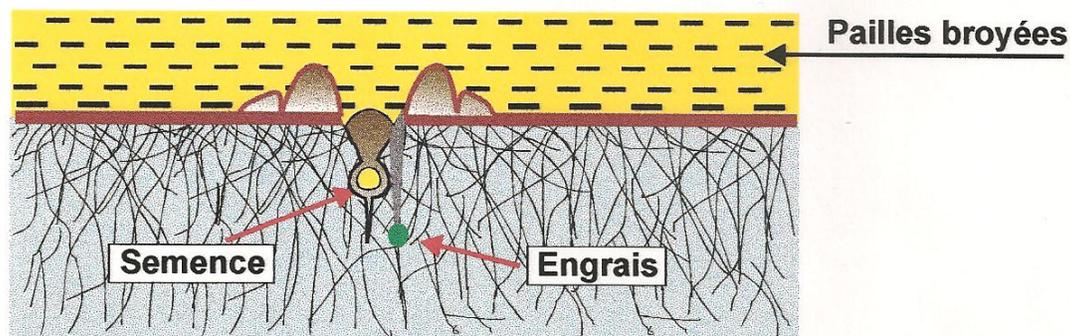
SEMIS DIRECT EN SOL TRÈS HUMIDE (Terres collantes = argileuse, argilo - sableuse)

SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD CA - GEC,
Goupe Maeda, Agronorte, 1999

1 → SEMIS DIRECT RÉALISÉ SUR BIOMASSE DESSÉCHÉE



2 → BROYAGE DE LA BIOMASSE IMMÉDIATEMENT APRÈS SEMIS



- Couverture totale de la surface par la biomasse broyée
- Semences totalement protégées (*fortes pluies, sécheresse*)
- Les semences des adventices remontées avec la terre au semis, sont remises sous ombrage de la biomasse broyée.

**COMMENT RÉDUIRE LES DOSES ET COÛTS
DES HERBICIDES,
DANS LES SYSTÈMES DE CULTURE EN SEMIS DIRECT,
DANS LES RÉGIONS TROPICALES CHAUDES ET HUMIDES
DU CENTRE - OUEST DU BRÉSIL**

L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD CA - GEC, 1999
A. Maronezzi, Agronorte
N. Maeda, M. A. Ide, A. Trentini, Grupo Maeda

DEUX RÈGLES FONDAMENTALES ET COMPLÉMENTAIRES DOIVENT ÊTRE RESPECTÉES

SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD CA - GEC, 1999
A. Maronezzi, Agronorte
N. Maeda, M. A. Ide, A. Trentini, Grupo Maeda

1. Choisir les couvertures de la surface du sol (*précédentes des cultures commerciales*), les plus efficaces pour le contrôle naturel (*sans coût*) des adventices les plus compétitives ➔ COUVERTURES SUPPRESSIVES

Ex.:

- *Brachiaria R.*, associé ou non, au Sorgho, Mil
- Sorgho pur ou associé au *Brachiaria R.*
- *Eleusine coracana* pure ou associée avec Crotalaria S., R.
ou Cajanus C.

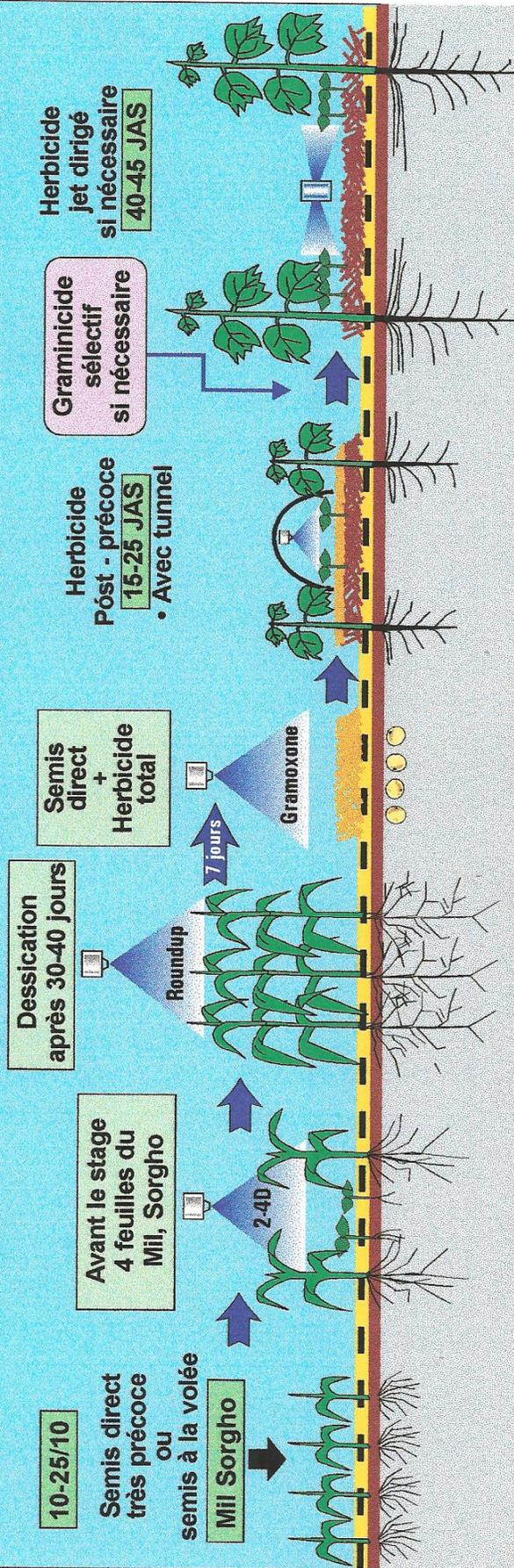
2. Effectuer un traitement herbicide post-précoce sur dicotylédones, de faible dosage (*faible coût*)

CAS DU SEMIS DIRECT DE COTON

SUR SEMIS DIRECT DE COTON DE L'ANNÉE PRÉCÉDENTE

• Sud de l'état de Goiás, nord de l'état de São Paulo

- Semis direct de coton à 75 cm d'espacement entre lignes -
- + • Variété vigoureuse, de rapide croissance initiale, résistante aux nématodes



0,5 a 1 l/ha
2-4D amine

1 a 1,5 l/ha
Roundup

1 l/ha
Gramoxone
si nécessaire

Gramoxone (Paraquat) 0,5 l/ha
ou
Réglone (Diquat) 0,5 l/ha
ou
Mélange des deux + huile minérale

Daconate (MSMA) 3 l/ha + si nécessaire, 1 l/ha Diuron

* Repousses du Cotonnier éliminées avec 2-4D amine après la récolte (1,5 l/ha)

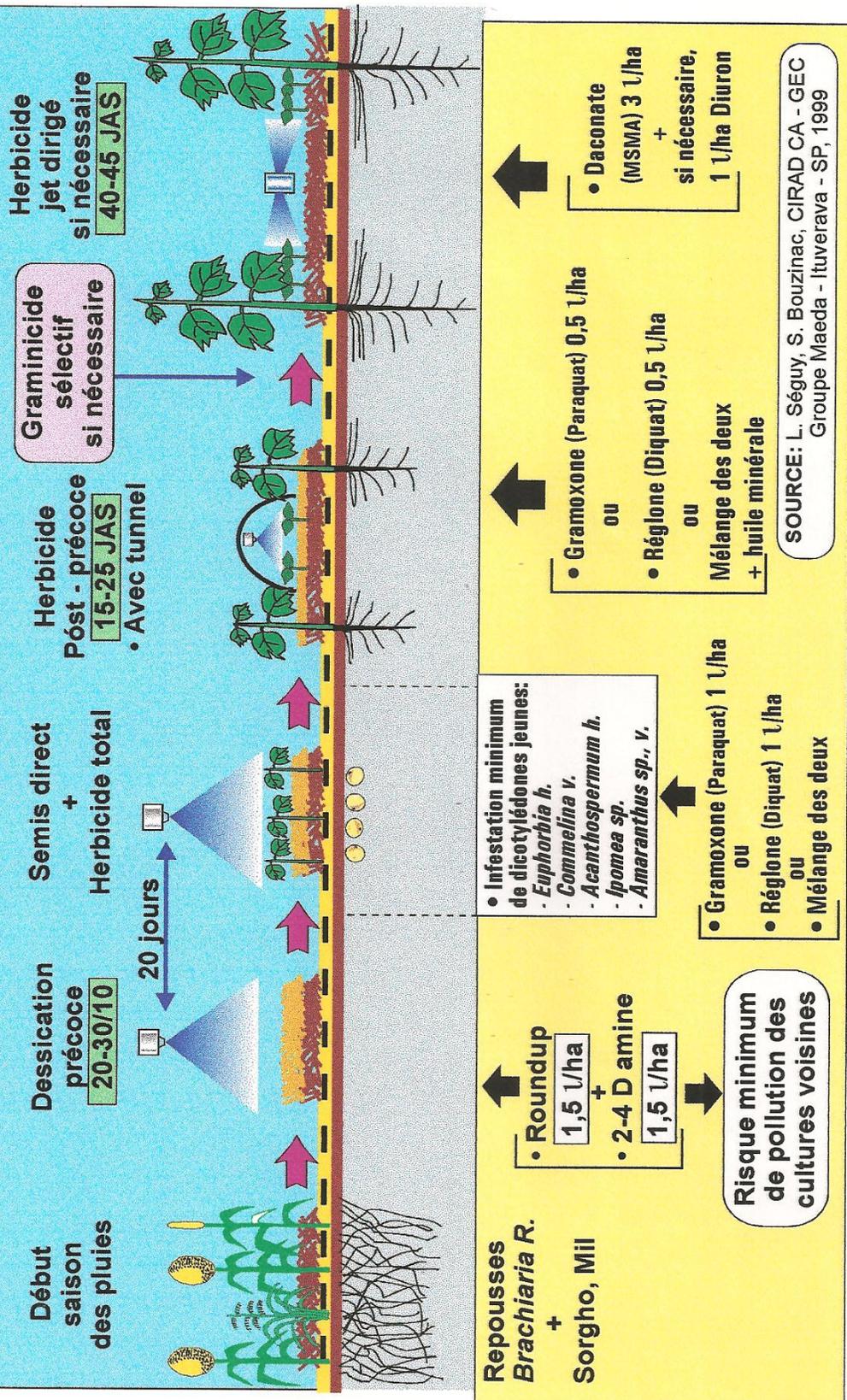
SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD CA - GEC
Groupe Maeda - Ituverava - SP, 1999

CAS DU SEMIS DIRECT DE COTON APRÈS LES SUCCESSIONS

• Sud de l'état de Goiás, nord de l'état de São Paulo

- Soja + Sorgho
- Soja + Sorgho ou Mil, associés au *Brachiaria R.*

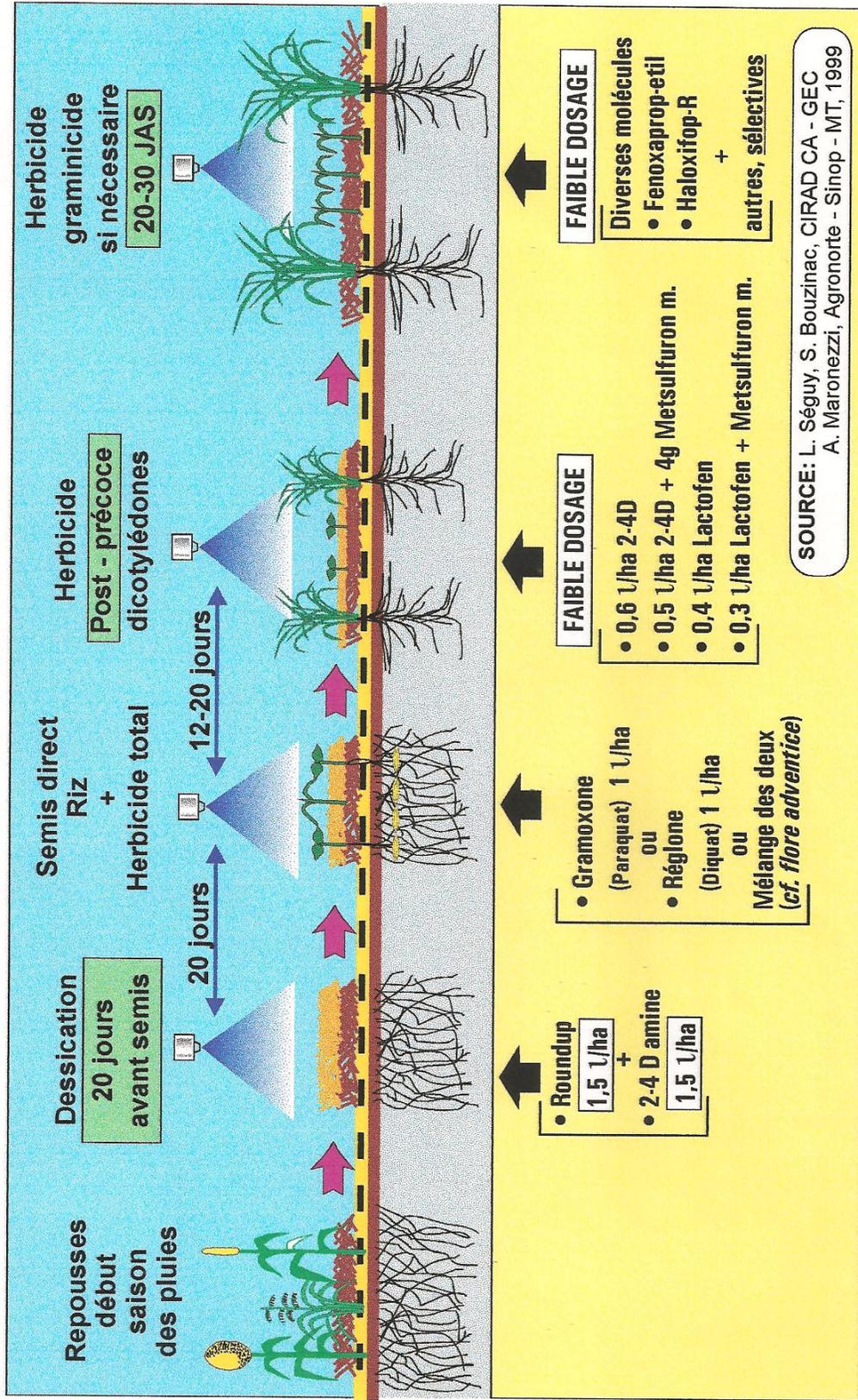
- Semis direct de Coton, à 75 cm d'espacement entre lignes -
- + Variété vigoureuse, de rapide croissance initiale -



SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD CA - GEC Groupe Maeda - Ituverava - SP, 1999

CAS DU SEMIS DIRECT DE RIZ PLUVIAL DE HAUTE TECHNOLOGIE

• Variétés Agronorte



CALENDRIER D'IMPLANTATION DES CULTURES, EN SEMIS DIRECT

ORDRE DE PRIORITÉ →

- 1 - Mil, Sorgho pool pour semis direct tardif de Coton sur Coton - 10/10 - 25/10
 - 2 - Soja - Semis échelonné de 2 variétés de cycles différents - 15/10 - 30/11
 - 2 - Coton
- 1° → Après les successions Soja + Safrinhas de l'année précédente - 20/10 - 20/11
 2° → Sur paille de Mil, Sorgho semés en octobre - 20/11 - 10/12

