

UN DOSSIER DU SEMIS DIRECT

SYSTÈMES DE CULTURE ET DYNAMIQUE DE LA MATIÈRE ORGANIQUE

L. Séguy
S. Bouzinac
A. C. Maronezzi



SYSTÈMES DE CULTURE ET DYNAMIQUE DE LA MATIÈRE ORGANIQUE

L. Seguy¹, S. Bouzinac², A. C. Maronezzi³

- 1 - Agronome du CIRAD-CA, en poste au Brésil, animateur du Réseau Semis Direct du programme GEC du CIRAD.
C.P. 504 Agência Central CEP 74001-970 - Goiânia-Go/Brésil
e-mail = lseguy@zaz.com.br
- 2 - Agronome du CIRAD-CA, travaille en équipe avec L. Séguy au Brésil et sur le Réseau Semis Direct du CIRAD
C.P. 504 Agência Central CEP 74001-970 - Goiânia-Go /Brésil
- 3 - Agronome et directeur de l'entreprise de recherche privée AGRONORTE, Partenaire du CIRAD au Brésil
Rua Colonizador Ênio Pipino, nº 993 Setor Industrial Sul
CEP 78550-000 - SINOP - MT / Brésil
e-mail = agronort@terra.com.br

Février 2001

AVANT - PROPOS

L'Histoire agronomique qui est présentée dans ce document, raconte la construction d'une révolution technologique à la portée aussi bien des grandes agricultures modernes mécanisées, engagées dans la mondialisation, que des petites agricultures familiales, même les plus deshéritées. C'est l'histoire des techniques de Semis Direct, ou comment passer des systèmes destructeurs de la ressource sol, hérités du transfert Nord-Sud de technologies, solidement ancrées dans les pratiques traditionnelles, à des systèmes de gestion durable qui permettent de préserver totalement l'environnement et d'améliorer la capacité de production du patrimoine sol, à court, moyen et long termes, avec beaucoup moins de travail à l'hectare, une grande simplification des travaux agricoles, tout en ayant une flexibilité accrue dans leur exécution et une bien moindre pénibilité.

Cette histoire agronomique est d'abord celle d'une méthodologie d'intervention de la Recherche, qui agit pour et avec les agriculteurs, dans leur milieu. Elle offre aux agriculteurs un très large choix de technologies et scénarios réels de développement, une vision, comparative au cours du temps, de leurs possibilités réelles agronomiques et technico-économiques, face aux systèmes traditionnels en vigueur. Elle permet aussi dans le même temps aux agronomes et aux chercheurs de toutes les disciplines de produire des connaissances scientifiques pour expliquer, prévoir le fonctionnement des écosystèmes cultivés, évaluer de manière anticipée par rapport à leur adoption par les agriculteurs les impacts sur l'environnement (*érosion, qualité biologique des sols*). C'est donc une démarche conceptuelle globale de Recherche-Action qui permet de mettre en regard : performances de production des systèmes, leurs modes de fonctionnement et impacts environnementaux, leurs limites d'application et possibilités d'extrapolation, dans une démarche préventive qui élabore des solutions réelles avec les agriculteurs, offre des choix stratégiques aux décideurs pour concilier les exigences de la société civile (*impacts environnementaux, qualité et traçabilité des produits*), des scientifiques (*limitation de l'effet de serre, pollution des nappes et des cours d'eau, protection des infrastructures, ...*) et les objectifs des agriculteurs et de l'agriculture durable en général.

La démarche utilisée a comme priorité principale de construire, d'abord dans la pratique, mais aussi dans la théorie, les bases d'une véritable révolution agricole bâtie sur le nouveau paradigme du Semis Direct sur couverture végétale permanente des sols. Lorsqu'elle est appliquée à des éco et agrosystèmes très différenciés de la planète, elle peut permettre d'identifier les lois essentielles de très large applicabilité du fonctionnement des systèmes de culture, pour promouvoir leur adaptation à très grande échelle. La démarche montre également que, à l'amont de toute recherche thématique qui doit alimenter le progrès constant des systèmes de culture durables, il est impératif de bâtir d'abord une modélisation raisonnée *in situ* des systèmes de culture et d'en assurer ensuite la maîtrise pratique, rigoureuse dans leur conduite (*la science doit être en connexion directe avec les réalités et possibilités agricoles d'aujourd'hui et de demain*).

A partir de cette démarche d'intervention, les auteurs analysent les performances comparées des systèmes de culture pratiqués avec travail du sol et en Semis Direct, dans diverses grandes éco-régions du monde tropical. Les résultats obtenus attirent un certain nombre de conclusions de portée très générale:

- Si la destruction de la matière organique (M.O.) des sols soumis à des modes de gestion inadaptés, peut être très rapide, sa reconstruction peut aller aussi vite en semis direct, en pratiquant les systèmes de culture construits à cet effet.
- Le pouvoir de séquestration du carbone dépend d'abord de la nature des systèmes de culture créés dans chaque région; les plus performants à cet égard

sont ceux qui produisent un maximum de matière sèche de résidus aussi bien à la surface du sol que dans le profil cultural, tout au long de la saison pluvieuse, mais aussi en saison sèche, au moment où les conditions de minéralisation de la M.O. sont ralenties. Le choix des plantes de couverture est aussi déterminant : les plus efficaces sont celles qui sont les plus puissantes, qui sont capables d'assurer le mieux les fonctions à la fois de protection de surface, de restructuration du profil, de recyclage profond des nutriments qui exige l'utilisation de l'eau profonde du sol, accroissant ainsi la capacité de production des systèmes en matière sèche, même en saison sèche, à l'image de l'écosystème forestier.

- Dans les meilleurs systèmes en Semis Direct (SD), les niveaux de M.O. peuvent ainsi rapidement rejoindre, voire dépasser ceux des écosystèmes naturels, même en partant de conditions très dégradées au départ.
- L'évolution des performances de la production agricole, qui intéresse en premier lieu les agriculteurs, accompagne celle de la M.O. = les systèmes de culture les plus productifs, les plus stables, les plus attractifs économiquement et de moindre risque, sont aussi ceux qui séquestrent le plus de carbone. Dans ces systèmes, la part de la fertilité gratuite construite en Semis Direct par voies physique et organo-biologique prend de plus en plus d'importance au cours du temps dans la capacité de production du sol : la productivité augmente avec moins d'engrais minéral, le potentiel du sol s'accroît.
- Si tous les exemples présentés sont démonstratifs à cet égard, celui des sols ferrallitiques de la ZTH, qui sont vides chimiquement, révèlent aujourd'hui des capacités de production durables, nulle part ailleurs égalées, en présence de fumure minérale très faible: sur la même année agricole, il est ainsi possible de produire (*et de reproduire*) 6 à 7 t/ha de riz pluvial (*qualité supérieure de grain*) ou 4 à 5 t/ha de soja, puis en succession 3 à 5 t/ha de céréales "pompes biologiques", associées à des espèces fourragères qui formeront un pâturage durant la saison sèche, pouvant supporter 1,5 à 2 têtes de bétail à l'hectare sur 3 mois; les résultats de ces 3 cultures annuelles successives qui couvrent les 12 mois de l'année, sont obtenus en semis direct, et consomment au total de 50N à 115N.ha⁻¹.an⁻¹, suivant que la culture en tête de succession est respectivement du soja ou du riz, 100 à 110 P₂O₅.ha⁻¹.an⁻¹, 100 à 130 K₂O.ha⁻¹.an⁻¹.
- Il est également possible de produire entre 3.000 et 4.600 kg/ha de coton en Semis Direct sur puissantes biomasses de couverture, en rotation avec les successions précédentes.
- Les meilleurs systèmes en Semis Direct produisent entre 26 et 32 t de résidus de matière sèche par hectare et par an ; les systèmes les plus faciles à pratiquer (*souvent les moins performants*) ont conquis plus de 6 millions d'hectares en moins de 10 ans dans les cerrados du Centre-Ouest Brésilien.
- Enfin, la ZTH apparaît comme un simulateur d'élection pour l'étude de la dynamique du carbone : elle est le lieu où la minéralisation de la M.O. est la plus active et intense, et où les cycles de destruction-accumulation de l'humus sous l'action anthropique peuvent être le plus rapidement perceptibles, analysables, et par là même permettent de raccourcir l'espace-temps pour l'évaluation de la dynamique du carbone.
- Il est évident que l'histoire de cette révolution en marche est une œuvre collective pour laquelle diverses institutions se sont cooptées, ont uni leurs

efforts, mettant ainsi en évidence la nécessité impérieuse, ressentie par tous, face à la dégradation désastreuse des systèmes cultivés, de gérer les sols tropicaux autrement.

Que soient chaleureusement remerciées les institutions qui ont contribué à construire ces nouveaux modes de gestion des sols, préservateurs de l'environnement : l'EMBRAPA (CNPAP) au départ, la Fondation ABC du Paraná, les agriculteurs M. Matsubara, W. et J. Taffarel, les coopératives COOPERLUCAS, COOASOL et COMICEL du Mato Grosso, et plus récemment l'APDC, POTAFOS, et les partenaires direct du CIRAD : les agriculteurs P. Machado, J. N. Lazarini, le groupe MAEDA et l'entreprise AGRONORTE PESQUISA.

Un tel partenariat exemplaire montre comment diverses institutions, en unissant leurs efforts, peuvent, en peu de temps et avec des moyens souvent modestes, amorcer la construction d'une véritable révolution agricole, difficilement imaginable dans le seul cadre de la recherche traditionnelle. C'est une chance unique à saisir pour la recherche, si ses objectifs sont bien de contribuer à l'amélioration rapide, et avec tous les acteurs, de la gestion durable des ressources naturelles, dont son bien le plus précieux : le patrimoine sol.

Lucien SEGUY

TABLE DES MATIÈRES

I. INTRODUCTION

II MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. DÉMARCHE GÉNÉRALE DE LA RECHERCHE-ACTION ET ÉCHELLES D'INTERVENTION

2.2. LA CRÉATION DE L'OFFRE TECHNOLOGIQUE "Système de culture" AVEC LES AGRICULTEURS

2.3. LA VALIDATION DES SYSTEMES DE CULTURE

2.4. LA FORMATION

2.5. SUIVI - ÉVALUATION ET ANALYSE D'IMPACTS

2.5.1. SUIVI -ÉVALUATION

2.5.2. ANALYSES D'IMPACTS

2.6. CHOIX DES ÉCO-RÉGIONS

III RÉSULTATS

3.1. DYNAMIQUE DE LA MATIÈRE ORGANIQUE EN FONCTION DE LA NATURE DES SYSTÈMES

3.2. DYNAMIQUES DU CARBONE DE LA CEC ET DU TAUX DE SATURATION (V%)

3.3. LES PERFORMANCES AGRONOMIQUES, TECHNIQUES ET ÉCONOMIQUES DES SYSTÈMES DE CULTURE ET LEUR MISE EN REGARD AVEC LA DYNAMIQUE DE LA M.O.

3.3.1. ÉCO RÉGION DE LA ZONE TROPICALE HUMIDE (ZTH).

3.3.2. ÉCO RÉGION DES FORÊTS TROPICALES SUR BASALTE DU CENTRE-OUEST BRÉSILIEN (*Sud de l'état du Goiás, Nord de l'état de São Paulo*).

3.3.3. ÉCO-RÉGION DES HAUTS PLATEAUX MALGACHES

IV DISCUSSION

4.1. LES CONCEPTS NOVATEURS DE GESTION DURABLE DE LA RESSOURCE SOL = LE SEMIS DIRECT SUR COUVERTURE VÉGÉTALE PERMANENTE

- . Le concept de biomasse renouvelable, appelée « Pompe biologique »
- . Le concept de multifonctionnalité

4.2. ESSAI DE SYNTHÈSE

V CONCLUSIONS

VI RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

VII ANNEXES

FONCTIONNEMENT DU SEMIS DIRECT EN ZTH DES SAVANES ET DES FORÊTS DU CENTRE-OUEST BRÉSILIEN

DOSSIERS PHOTOS :

+ LA DESTRUCTION DU PATRIMOINE SOL TROPICAL OU L'ÉCHEC DU TRANSFERT NORD-SUD DE GESTION DU SOL

+ CONTRÔLE TOTAL DE L'ÉROSION ET RESTAURATION DE LA FERTILITÉ DES SOLS PAR VOIE ORGANO-BIOLOGIQUE PAR LE SEMIS DIRECT SUR COUVERTURE VÉGÉTALE

+ LES SYSTÈMES DE CULTURE EN SEMIS DIRECT LES PLUS PERFORMANTS EN ZTH

+ QUELQUES IMAGES DU SEMIS DIRECT À MADAGASCAR

I - INTRODUCTION

DEMAIN, CONCILIER = les exigences de la science et de la société civile pour la sauvegarde de la planète et la production de nourriture saine, avec les objectifs de l'agriculture durable et ceux des agriculteurs.

- . À l'entrée de ce nouveau millénaire, l'agriculture mondiale va devoir effectuer une véritable révolution pour s'adapter à la fois à la mondialisation des marchés et des connaissances, à la pression croissante des consommateurs qui exigent des produits sains et de qualité, et à celle des scientifiques et de la société civile en général pour la sauvegarde de la planète.
- . Les stratégies et modèles de développement vont avoir à prendre en compte la nécessité de produire plus par unité de ressources naturelles, et ce faisant, qu'il est impératif de réduire, voire supprimer les effets négatifs provoqués par l'activité agricole sur la nature.
- . Si cette révolution reste encore à faire à l'échelle de la planète, la dernière décennie du siècle dernier a vu surgir, sous la pression des catastrophes écologiques mondiales à répétitions, une conscience collective en faveur de la protection de l'environnement. L'agriculture de conservation a déjà réalisé à cet égard une véritable révolution dans les pratiques et les esprits, en particulier sur le continent américain, et surtout au Brésil qui constitue l'exemple le plus significatif grâce au développement exponentiel de la gestion des sols et des unités de paysage, en Semis Direct.
- . Au-delà de la question essentielle à résoudre au niveau planétaire qui concerne la préservation à long terme du potentiel de production du patrimoine sol pour répondre à la demande croissante d'aliments, se pose également la question fondamentale relative à la gestion des pollutions engendrées par l'activité agricole sur l'environnement, et en particulier, l'impact causé par le travail intensif du sol qui rejette plus de CO₂ vers l'atmosphère que le parc automobile mondial (*Reiscoosky D.C., et al. 1995*), alimentant ainsi de manière significative l'effet de serre. Le stock de Carbone organique des sols du monde représente, en importance, le 3^o pool du globe, après les océans et le réservoir géologique terrestre (*Eswaran H. et al., 1993; Lal R. et al., 1995; Batjes N.H., 1996*). La perte historique du carbone organique par l'action anthropique a été estimée entre 66 et 90 milliards de tonnes dont 19 à 32 milliards dus à l'érosion du sol, 44 à 58 milliards imputables à l'oxydation provoquée par la déforestation, le brûlis de la végétation naturelle et l'oxydation microbienne stimulée par le travail du sol (*Lal R. et al., 1999*). Actuellement, des estimations issues de travaux de recherche récents (*Lal R. et al., 1995 ; IPCC.,1995*) montrent que le volume de CO₂ émis vers l'atmosphère contribue pour 50% de l'effet de serre, et que l'activité agricole représente plus de 23% du total émis.
Ces estimations traduisent parfaitement le rôle fondamental que peut avoir la gestion de l'activité agricole dans le rejet de CO₂ vers l'atmosphère et invitent tous les responsables de la profession à bâtir rapidement des modes de gestion de l'espace cultivé qui réduisent ces émissions et permettent au contraire de stocker le carbone dans les sols, de les recharger en matière organique qui constitue "l'or noir, le sang" de la terre et dont les multiples vertus sur la capacité de production des sols à long terme et au moindre coût, ne sont plus à démontrer.
Sur le continent américain, siège actuel de cette révolution agricole (*U.S.A. et surtout Brésil et pays du Cône Sud*), de nombreux travaux de recherche conduits dans des écosystèmes et agrosystèmes très contrastés sur des modes différenciés

de gestion des sols de longue durée montrent que, aussi bien sous climat tempéré que tropical et subtropical, les systèmes de culture pratiqués en semis direct¹ sans jamais travailler le sol, comparés aux mêmes systèmes de culture qui utilisent les diverses techniques conventionnelles de travail du sol, permettent d'augmenter très significativement la teneur en matière organique des sols (*Cambardella C.A et Elliot E.T., 1994; Dick W.A. et al., 1998; Bayer C. et al., 2000; Sá J.C.M. et al., 2000 a & b*).

- . Tous les spécialistes s'accordent pour avancer, qu'en 10 ans, le Brésil, qui compte aujourd'hui plus de 13 millions d'hectares cultivés en Semis Direct, a préservé plus de 1 milliard de tonnes de sol arable, économisé plus de 11 milliards de dollars, 1,3 milliard de litres de combustible et séquestré plus de 500 millions de tonnes de CO₂ (*Borges G. et al., 2000*).
- . Ces résultats, confirmés déjà sur de longues périodes, même s'ils sont très porteurs d'espoir et rassurants sur l'avenir de la planète dans sa capacité à produire plus, durablement et au moindre coût et en polluant moins (*Elliot E.T., 1986; Reicosky D.C. et al., 1995*), sont encore insuffisants pour bien expliciter scientifiquement et bien maîtriser dans la pratique, la dynamique du carbone en fonction de la nature des systèmes de culture pratiqués et surtout pour construire les systèmes conservateurs de demain, qui devront être encore plus performants à cet égard, tout en satisfaisant au cahier des charges de l'agriculture durable et aux objectifs de agriculteurs.
- . Depuis plus de 20 ans au Brésil, 15 ans à l'île de la Réunion et plus de 10 ans à Madagascar, qui est un véritable kaléidoscope des écosystèmes subtropicaux et tropicaux de la planète, et plus récemment en Asie (*Laos, Vietnam*), le CIRAD construit, avec ses partenaires du Sud de la recherche et du développement, des systèmes de culture en Semis Direct¹ qui doivent répondre à ces exigences et aux questions fondamentales suivantes qui sont au cœur du mandat de la Recherche Agronomique:
 - L'objet scientifique "dynamique du carbone avec ses vertus ou ses effets de nuisance" ne doit-il pas être replacé dans le cadre de la construction de systèmes de culture et de production appropriables par les agriculteurs et qui soient les plus performants possibles aux plans de l'écologie, de l'agronomie et de la socio-économie, au même titre que les objets "dynamique des nitrates, du potassium, du calcium et du Phosphore" dont les impacts pour l'environnement peuvent également être désastreux ?
 - Comment la Recherche Agronomique peut-elle créer et avec quels outils opérationnels, sur les moyen et long termes et avec les agriculteurs dans leurs milieux, des systèmes de culture et de production qui soient à la fois les plus efficaces pour le pouvoir de séquestration du carbone organique et qui satisfassent les objectifs des agriculteurs aussi bien à court qu'à moyen et long termes et ceux des agricultures durables en général ?

¹ Definition: le semis direct (SD) est un système conservatoire de gestion des sols et des cultures, dans lequel la semence est placée directement dans le sol qui n'est jamais travaillé. Seul, un petit trou ou un sillon est ouvert, de profondeur et largeur suffisantes avec des outils spécialement conçus à cet effet pour garantir une bonne couverture et un bon contact de la semence avec le sol. Aucune autre préparation du sol n'est effectuée. L'élimination des mauvaises herbes, avant et après le semis, pendant la culture est faite avec des herbicides, les moins polluants possibles pour le sol qui doit toujours rester couvert.

- . Dans cet état d'esprit, cet article est consacré successivement:
 - à la présentation de notre méthodologie générale d'intervention sur les systèmes de culture qui agit en prise directe dans le milieu et avec la participation effective des acteurs du développement,
 - à l'analyse des tendances d'évolution de la matière organique en fonction de la nature des systèmes de culture existants et des systèmes novateurs, préservateurs de l'environnement ; les résultats sont discutés et comparés avec ceux obtenus dans d'autres grandes éco-régions du monde, principalement aux U.S.A. en climat tempéré et au Brésil subtropical.
 - enfin, à l'évaluation des performances agronomiques, techniques et économiques des systèmes de culture, leur évolution au cours du temps ; les résultats des meilleurs systèmes appropriables sont mis en regard avec leur capacité à séquestrer le carbone et à conserver la capacité de production du patrimoine sol à moyen terme et au moindre coût.
- . Compte tenu du très grand nombre de résultats déjà accumulés en matière de performances des systèmes de culture sur le Réseau Semis Direct du CIRAD, nous ne retiendrons dans cet article que quelques exemples très contrastés aux plans écologique et socio-économique qui ont fait leurs preuves démonstratives sur la durée et qui alimentent très activement et significativement la diffusion et l'appropriation par les agriculteurs des systèmes de culture préservateurs de l'environnement.

II - MATÉRIEL ET MÉTHODES

- ◆ L'essentiel du travail de Recherche-Action consiste, en partant de diverses situations pédoclimatiques et socio-économiques régionales (*diagnostic initial, typologie des exploitations qui conduisent à l'analyse des contraintes majeures pour la fixation d'agricultures durables*), à adapter, à construire, pour et avec les agriculteurs, dans leurs milieux, des systèmes de culture durables bâtis sur des techniques de gestion conservatoire des sols facilement appropriables par les agriculteurs. Ces systèmes doivent d'abord améliorer, restaurer puis maintenir la capacité de production du sol à long terme avec l'utilisation d'un minimum d'intrants, voire sans intrants, dans un environnement totalement protégé (*échelles des unités de paysage, des terroirs, des bassins versants*).

- ◆ Les objectifs sont, simultanément , et dans une démarche à la fois holistique et heuristique :
 - de bâtir avec les agriculteurs des solutions pratiques et appropriables pour surmonter les obstacles à la fixation des agricultures tropicales (*critères des agriculteurs, développeurs et chercheurs*),
 - d'expliquer et de modéliser le fonctionnement des agro-systèmes cultivés, durables, pour pouvoir les adapter rapidement à d'autres écosystèmes et agrosystèmes tropicaux,
 - d'analyser et d'évaluer préventivement leurs impacts : sur l'évolution de la fertilité des sols à l'échelle d'unités de paysage représentatives des terroirs et des bassins versants, sur le comportement et la mentalité des agriculteurs et des sociétés rurales.

2.1. DÉMARCHE GÉNÉRALE DE LA RECHERCHE-ACTION ET ÉCHELLES D'INTERVENTION

La démarche de Recherche-Action comporte 3 étapes étroitement imbriquées (Séguy L.; 1994, 2001b ; Séguy L et al., 1996, - cf. Fig 1) :

- Un diagnostic initial (*situation de départ*), puis permanent (*analyse des impacts des innovations sur le milieu*),
- La création de systèmes de culture plus performants avec les agriculteurs, en partant de systèmes traditionnels (*montage de vitrines de l'offre technologique sur critères simultanément agronomiques, techniques, socio-économiques*),
- La contribution à l'appropriation des systèmes de culture choisis par les agriculteurs (*diffusion à l'échelle des Fazendas de référence et des terroirs avec appui à l'organisation des agriculteurs = filières commerciales, crédits, intrants, transformation des produits, gestion du foncier, création d'associations de producteurs en semis direct*),
- Et la formation continue de tous les acteurs du développement (*agriculteurs, vulgarisateurs, agronomes, chercheurs*).

Les échelles d'intervention de la Recherche-Action

- D'abord 2 échelles complémentaires pour construire, dès le départ, les conditions de reproductibilité régionale des résultats appropriables par les agriculteurs:
 - + Les systèmes de culture, au niveau de la parcelle cultivée
 - + Les toposéquences ou transects des unités de paysage représentatives, encadrant la variabilité du facteur état de fertilité du sol, dans lesquelles sont inclus les systèmes de culture traditionnels (*référence*) et les nouveaux systèmes (*novateurs*) en semis direct, plus performants. Ce niveau d'échelle d'intervention constitue la "vraie grandeur" opérationnelle, qui permet de prendre en compte les flux et transferts de matières qui conditionnent le potentiel de production des unités de paysage (*flux hydriques, transports solides et en solution, gradients de fertilité, histoires parcellaires, etc...* cf. Fig. 2, 3 et 4)

- On déduit de cette première étape de construction des systèmes de culture à l'échelle des toposéquences représentatives, avec les producteurs, tous les éléments nécessaires à la fixation de scénarios d'agriculture durable au niveau de fazendas de référence et des terroirs. Ce niveau d'échelle d'application aux fazendas de référence et terroirs permet d'éprouver l'offre technologique (*systèmes de culture diversifiés en semis direct*), en prenant en compte les contraintes socio-économiques des sociétés rurales et de contribuer à la diffusion en intervenant alors sur l'organisation des agriculteurs (*filières commerciales, crédit, intrants, gestion du foncier, création d'associations de producteurs en semis direct*),

- Cette dynamique de création-diffusion et de formation permet, grâce à ces différents niveaux d'échelle :
 - + L'apprentissage de la maîtrise technique des systèmes par les agriculteurs et l'incorporation de la praticabilité dans les innovations,
 - + de faciliter la diffusion spontanée des systèmes en semis direct,
 - + d'amplifier la diffusion et de contribuer efficacement à l'appropriation des systèmes par les producteurs en révélant des agriculteurs créateurs de l'innovation, charismatiques et souvent leaders influents, qui jouent le rôle de consultant-adaptateur des technologies au sein des communautés villageoises et réalimentent efficacement l'appareil de recherche (*feed-back*).

2.2. LA CRÉATION DE L'OFFRE TECHNOLOGIQUE "Systèmes de culture" AVEC LES AGRICULTEURS

- . La recherche-action crée dans chaque grande éco-région avec ses partenaires du développement (*agriculteurs, vulgarisateurs*) un double dispositif opérationnel à vocations complémentaires :
 - **Des unités expérimentales "systèmes de culture"**, en milieu contrôlé par la recherche et les agriculteurs = elles représentent des vitrines de l'offre technologique (*Matrices des systèmes*),
 - **Des fazendas de référence, en milieu réel** où sont appliqués à très grande échelle, un ou plusieurs systèmes de culture issus des matrices, choisis par les producteurs qui les appliquent en l'état ou les réadaptent à leurs propres objectifs. Cet ensemble constitue un dispositif d'intervention multilocal de longue durée qui recouvre la variabilité pédoclimatique et socio-économique régionale (*Fig. 3, 4 et 5*).

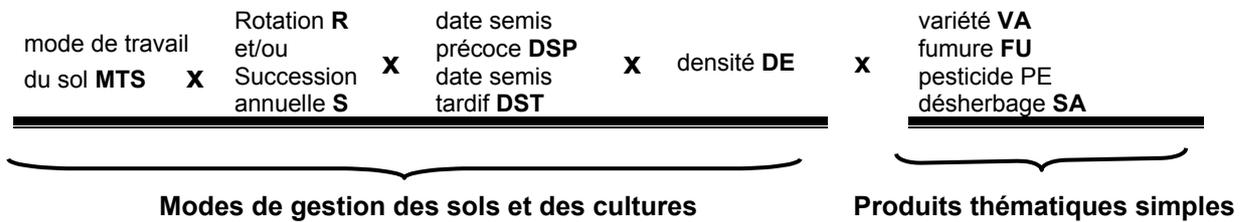
- Les systèmes de culture (*traditionnels + novateurs*) sont organisés en "matrices des systèmes", sur toposéquences représentatives du milieu physique et du paysage agricole. Partant des systèmes traditionnels, les nouveaux systèmes sont élaborés par l'incorporation progressive, systématique et contrôlée de facteurs de production plus performants (*modes de gestion des sols et des cultures, produits thématiques tels que variétés, niveaux de fumure, Fig. 6 et 7*). La construction des matrices "systèmes de culture" obéit à des règles précises (cf. *Séguy L. , 1994 , 2001b*) qui permettent l'interprétation des effets directs et cumulés des composantes des systèmes au cours du temps, aussi bien sur leurs performances de production que sur leurs impacts sur la fertilité des sols, la biologie des adventices ou des insectes ravageurs, etc... (*Tableau 1.*).

Les matrices "systèmes de culture" et le réseau multilocal de fazendas de référence, constituent les supports opérationnels de l'étude; ces dispositifs expérimentaux, qui sont de longue durée, représentent à la fois:

- **Un lieu d'action, de création de l'innovation et de formation des acteurs**, dans lequel le montage matriciel des systèmes permet d'évaluer leurs performances comparées agronomiques, techniques dans les mêmes conditions de sol et climat, et de les classer au cours du temps (*réponses de leur stabilité ou fluctuations par rapport aux risques climatique et économique*), d'extraire des lois de fonctionnement des systèmes (*conditions de reproductibilité => modélisation*) ;
 - **Un laboratoire de veille, précieux pour les scientifiques**, en permettant d'évaluer, de manière anticipée par rapport à l'adoption des systèmes leurs impacts sur l'environnement (*érosion, qualité biologique des sols, externalités, xénobiotiques*) [cf. *concepts de Chaussod R., 1996*]. C'est donc un lieu privilégié pour mettre en regard = performances de production des systèmes, modes de fonctionnement et impacts environnementaux, dans une démarche préventive qui offre des solutions réelles aux agriculteurs et décideurs pour concilier les exigences de la société civile (*impacts environnementaux*) et les objectifs des agriculteurs (*Productivités des systèmes, du travail, des marges, etc...*).
 - **Le maintien de la mémoire vive** = les systèmes traditionnels et leurs évolutions y sont maintenus pour mesurer les progrès accomplis (*performances agronomiques et technico-économiques, impacts sur l'environnement*) au cours du temps. De même, les systèmes le plus destructifs de la ressource sol doivent être représentés tout au long de l'étude; Ils sont les témoins vivants de ce qu'il ne faut pas faire, et indispensables à la formation (*chronoséquences d'évolution des systèmes contrôlés*).
 - **Un vivier de systèmes de culture qui réunit l'agriculture d'hier (avec travail du sol), l'agriculture d'aujourd'hui (les cultures des agriculteurs conduites en système de Semis Direct) et l'agriculture de demain (systèmes en Semis Direct, construits sur une plus grande diversité de cultures, sur l'intégration de l'agriculture, de l'élevage et de l'arbre dans l'espace cultivé).**
- ◆ Tous les systèmes de culture sont conduits avec 3 niveaux de fumure (*Fig. 6 et 7*):
- La fumure traditionnelle ou recommandée par la recherche, les organismes de développement ou celle qui est utilisée par la majorité des agriculteurs de la région
 - Un niveau de fumure faible, qui correspond, en gros, seulement aux exportations par grains des cultures
 - Une fumure non limitante (*expression du potentiel agronomique dans l'offre pédoclimatique locale*).

TABEAU 1 = CONSTRUCTION DYNAMIQUE DES SYSTÈMES DE CULTURE

1. Composantes des systèmes



**2. Création progressive des systèmes de culture
(t = traditionnel ; a = amélioré)**

- Modélisation du système traditionnel (système de référence)

$$MTS_t \times R_t \times \begin{Bmatrix} DSP \\ DST \end{Bmatrix} \times DE \times \begin{Bmatrix} VA_t \\ FU_t \\ PE_t \\ SA_t \end{Bmatrix}$$
- Introduction de modes de travail du sol améliorés (MTS_{a1}, MTS_{a2}...)

$$\begin{Bmatrix} MTS_t \\ MTS_{a1} \\ MTS_{a2} \\ \dots \end{Bmatrix} \times R_t \times \begin{Bmatrix} DSP \\ DST \end{Bmatrix} \times DE \times \begin{Bmatrix} VA_t \\ FU_t \\ PE_t \\ SA_t \end{Bmatrix}$$
- Chaque mode de travail du sol est croisé avec de nouvelles rotations incluant des successions annuelles (Ra₁, Ra₂...; S₁, S₂)

$$\begin{Bmatrix} MTS_t \\ MTS_{a1} \\ MTS_{a2} \\ \dots \end{Bmatrix} \times \begin{Bmatrix} R_t \\ Ra_1 \\ Ra_2 \\ \dots \end{Bmatrix} \times \begin{Bmatrix} S_1 \\ S_2 \\ \dots \end{Bmatrix} \times \begin{Bmatrix} DSP \\ DST \end{Bmatrix} \times DE \times \begin{Bmatrix} VA_t \\ FU_t \\ PE_t \\ SA_t \end{Bmatrix}$$
- Chaque rotation et chaque succession sont croisées avec:
 - 2 dates de semis (*précoce, tardive*);
 - 2 densités de plantation (*traditionnelle, améliorée*);
 - plusieurs variétés (*Traditionnelles, améliorées*).
 Les modes de désherbage Sont également testés.

$$MTS \times \begin{Bmatrix} R_{a1} \\ R_{a2} \dots \\ R_{tx} \dots \end{Bmatrix} \times \begin{Bmatrix} S_1 \\ S_2 \end{Bmatrix} \times \begin{Bmatrix} DSP \\ DST \end{Bmatrix} \times \begin{Bmatrix} DE_t \\ DE_a \\ \dots \end{Bmatrix} \times \begin{Bmatrix} VA_t \\ VA_a \\ \dots \end{Bmatrix} \times \begin{Bmatrix} FU \\ PE \\ \dots \end{Bmatrix}$$

Exemple de constitution d'une matrice expérimentale. Dans ce cas, l'ordre des facteurs limitants diagnostiqués dans les systèmes de production traditionnels est le suivant, en commençant par le plus important : le mode de travail du sol, la rotation, les dates de semis, les peuplements végétaux puis les produits thématiques simples (*variété, fertilisation...*). La nature et le niveau d'intensification des composantes de la matrice est fonction à la fois de la hiérarchisation des problèmes à résoudre et des possibilités de progrès (*technologies disponibles ou non*) (Séguy L., 1994).

Le terme de succession annuelle signifie que plusieurs plantes sont cultivées dans l'année : une succession annuelle constitue donc un élément d'une rotation.

Ces 3 niveaux de fumure combinés aux modes différenciés de gestion des sols et des cultures doivent permettre de mettre en évidence au cours du temps :

- L'importance des possibilités de restauration de la fertilité au sens large **par la voie organo-biologique** (*Vitesse de restauration, importance → productivité de matière sèche totale en fonction des niveaux de fumure minérale, expression du potentiel de production du sol au cours du temps*) et la preuve de la fermeture du système "sol-cultures" (Séguy L. et al., 1996, 1998 e) sans pertes de nutriments, grâce aux systèmes de culture en Semis Direct conduits avec la fumure faible qui couvre seulement les exportations par grains.
- L'importance capitale et prépondérante de la gestion prioritaire des propriétés physiques et biologiques (*étroitement liées*) dans l'expression des performances agronomiques des systèmes de culture au cours du temps, par rapport à celle des propriétés chimiques, dans les sols tropicaux (*ferrallitiques et ferrugineux dominants, plus ou moins dégradés*).

CONTENU DES MATRICES "SYSTÈMES DE CULTURE", pérennisées:

Elles réunissent sur la même unité expérimentale et dans les mêmes conditions pédoclimatiques =

- le ou les systèmes traditionnels représentatifs de la région,
- des systèmes novateurs, préservateurs de l'environnement en constante évolution, qui font appel à de nouvelles techniques de Semis Direct, inspirées directement du fonctionnement de l'écosystème forestier = le Semis direct sur couvertures permanente du sol (Séguy L. et al., 1996, 1998 e).

Trois grands types de systèmes de culture ont été construits par le CIRAD-CA à l'image de l'écosystème forestier (voir Fig. 86 en annexe et Fig. 8 à 10) :

- . - ceux sur couvertures mortes,
- . - ceux sur couvertures vivantes,
- . - ceux sur couvertures à vocation mixte.

+ Dans les systèmes avec couverture morte permanente, la couverture du sol est assurée, en plus des résidus de récolte des cultures commerciales, par une culture de biomasse végétale (*espèce à vocation de production de grains*), extrêmement puissante, qui est implantée avant ou après la culture commerciale, en conditions pluviométriques généralement marginales (*cf. Fig. 8*). Cette forte biomasse est desséchée aux herbicides totaux immédiatement avant le semis direct de la culture commerciale qui s'effectue dans la couverture grâce à des semoirs spécialement conçus à cet effet.

+ Dans les systèmes avec couverture vivante permanente, cette dernière est toujours une espèce fourragère pérenne grâce à ses organes de multiplication végétative (*Stolons, rhizomes*) ; la culture commerciale est implantée sur la couverture dont on a seulement desséché la partie aérienne (*en préservant totalement les organes de reproduction végétative par des herbicides appropriés peu coûteux et peu polluants*). La couverture est maintenue à l'état de vie ralentie, non compétitive pour la culture commerciale (*à l'aide d'herbicides sélectifs, utilisés à très faible dose*), jusqu'à ce que la culture commerciale gérée à cet effet, assure un ombrage total au-dessus d'elle ; dès que la culture commerciale mûrit, elle laisse pénétrer la lumière et la couverture vivante recouvre rapidement le sol à nouveau et peut être pâturée par les animaux après la récolte (*successions annuelles = production de grains + production de viande ou de lait, cf. Fig. 9*).

+ Les systèmes mixtes (*cf. Fig. 10*) sont intermédiaires entre les deux modèles précédents et sont bâtis sur des successions annuelles qui comprennent : 1

culture commerciale + 1 culture biomasse pour production de grains, associée à une culture fourragère ; on récolte donc les 2 cultures successives pendant la saison des pluies, suivies d'une production de viande ou lait pendant la saison sèche qui est assurée par la culture fourragère (*cf. Fig. 10*).

Ce sont la longueur de la saison des pluies et l'importance de la pluviométrie qui déterminent les possibilités d'application de l'un ou l'autre type de système en Semis Direct sur couverture permanente des sols.

2.3. LA VALIDATION DES SYSTEMES DE CULTURE choisis par les agriculteurs (*unités de recherche ouvertes en permanence aux acteurs*), au niveau de la région se fait dans des "fazendas de référence" représentatives (*milieu physique x milieu socio-économique*) et sur des terroirs, qui sont pilotés par des agriculteurs leaders, charismatiques ; ces derniers, si nécessaire, ajustent encore, affinent les systèmes par rapport à leurs objectifs et surtout amplifient la diffusion régionale (*agriculteurs consultants*).

C'est à ce niveau des fazendas de référence et des terroirs que sont recueillies les performances des systèmes novateurs en milieu réel par rapport aux systèmes en vigueur (*critères agronomiques, techniques, économiques*) et que peuvent être aussi évalués les impacts sur l'environnement (*sols, externalités, etc. ...*), sur la mentalité des acteurs, ainsi que les possibilités d'évolution de l'économie régionale. Des banques de données de références sont ainsi établies dans chaque région.

2.4. LA FORMATION des divers acteurs du développement s'effectue tout au long du processus de création-diffusion = milieu contrôlé, milieu réel.

L'ensemble du dispositif de Recherche-Action sert de support à la formation de jeunes agronomes des pays tropicaux, des chercheurs, des vulgarisateurs et des producteurs.

Les médias sont constamment sollicités (*journaux spécialisés, presse et TV locales*) pour diffuser l'innovation.

Toutes les activités de Recherche-Action du CIRAD en partenariat avec les pays du Sud constituent un véritable réseau d'adaptation et de validation des techniques de gestion conservatoire de la ressource sol (*semis Direct sur couverture végétale*) dans le monde rural tropical et subtropical ; la démarche générale d'adaptation-validation repose surtout sur l'exploitation des lois de fonctionnement des systèmes de large applicabilité (*Travailler plutôt sur les points communs entre les divers écosystèmes et agrosystèmes que sur leurs différences*).

2.5. SUIVI - ÉVALUATION ET ANALYSE D'IMPACTS

2.5.1. SUIVI -ÉVALUATION

Il est fonction des échelles d'intervention :

+ **À l'échelle de la parcelle**, sont évaluées les performances comparées de systèmes de culture au cours du temps, en termes :

a) **agronomiques** = productivité de matière sèche des cultures commerciales ou alimentaires (*biomasses aériennes = grains + pailles, et biomasses racinaires*), et leurs teneurs en nutriments ; Productivité des cultures "biomasses de couverture" ou "pompes biologiques" qui exercent leur

multifonctionnalité sur les sols et qui constituent le lit sur lequel s'effectue le semis des cultures commerciales ; sont enregistrés :

- Les rendements en matière sèche des parties aériennes et racinaires et leur dynamique de croissance,
- leur contenu en nutriments = C, N, P, Ca, Mg, K, S et oligo-éléments.

Ces mesures sont effectuées systématiquement :

- Avant le semis direct des cultures commerciales,
- Après leur récolte en grains et après celle des biomasses de couverture installées en succession.

L'enregistrement de ces paramètres renseigne sur la dynamique du carbone et des nutriments issus de la minéralisation des résidus de récolte de cultures commerciales et des biomasses de couverture provenant aussi bien des parties aériennes que racinaires (*Fonctions: alimentaire des couvertures, recycleuse et restructurante, de recharge en carbone*).

La fonction des biomasses de couverture relative au contrôle des adventices annuelles ou pérennes (*effets d'ombrage ou allélopathiques*) est également évaluée :

- au cours du cycle des cultures commerciales,
- après la récolte des biomasses de couverture, en saison sèche.

Sont également suivis, dans chaque système de culture, le parasitisme des sols et des cultures, l'évolution de la flore adventice.

b) techniques = faisabilité technique de systèmes de culture, capacité de travail des équipements mécanisés et de la main d'œuvre, leur flexibilité d'utilisation, leur pénibilité.

c) économiques = coûts de production, marges brutes et nettes, rapports coûts/Bénéfice; dans le cas des agricultures manuelles, le nombre de jours de travail et la valorisation de la journée de travail.

Le recueil de ces données minimums permet, dans tous les cas :

- de classer les systèmes de culture à partir de leurs performances annuelles et inter-annuelles, aux plans agronomique, technique et économique.
- de comparer et comprendre leurs modes de fonctionnement agronomiques principaux au cours du temps (*Relations Sol-Cultures*), de les évaluer, de les classer face aux risques climatiques majeurs ;
- d'identifier les systèmes les plus stables et de moindre risque du point de vue de la gestion économique face à la variabilité climatique et économique.

+ À l'échelle de la toposéquence (*Transect d'une unité de paysage*)

- Dynamique de l'érosion et du ruissellement (*qualitatif - photos*),
- Evaluation des externalités = charge solide, teneurs en nitrates, bases, P, molécules xénobiotiques, recueillis dans la partie aval des toposéquences (*Fig. 3 et 4*).

+ À l'échelle des terroirs (*milieu réel*)

- Performances comparées des systèmes de culture et de production à partir des mêmes critères, simultanément = agronomiques, techniques et économiques.

- Diffusion spontanée des systèmes de culture en Semis Direct (*importance, points forts et faibles*)
- Identification des agriculteurs leaders formateurs d'opinion (*diffuseurs - consultants*).
- Modification des systèmes de culture et de production de l'occupation de l'espace ; place de l'arbre dans l'espace cultivé, de la jachère.

À l'Echelle régionale

- À partir du réseau expérimental (*matrices + fazendas de référence*), création de références agronomiques et technico-économiques régionales (*banque de données*) sur les systèmes de culture en Semis Direct sur couvertures végétales.
- Modélisation du fonctionnement comparé des systèmes de culture (*lois de fonctionnement des agrosystèmes et possibilités d'extrapolation pour d'autres écologies*).

2.5.2. ANALYSES D'IMPACTS

SUR LE SOL

Evolution de la fertilité des sols (*échelle des toposéquences, des systèmes de culture et de production, du milieu naturel*) :

Analyses de routine : Propriétés chimiques dont pH, S, CEC, P total et échangeable (*Résine*), oligo-éléments ; **Propriétés physiques** = M.O., N organique, propriétés hydrodynamiques = eau utilisable, sa vitesse d'infiltration sous cultures, la typologie des agrégats et de l'espace poral ; la caractérisation et le suivi permanent du profil cultural et en particulier de la dynamique de colonisation racinaire (*vitesse, caractéristiques d'exploration du profil*).

Analyses plus fines, nécessaires pour quantifier la dynamique du carbone et des ions : la dynamique des nitrates, de Ca et K (*Type de fonctionnement du système "Sol-cultures" : ouvert ou fermé [concept Séguy L., 1996]*) . **Les Propriétés biologiques** = caractérisation de la faune (*macro et méso*), biomasse microbienne, biomasse microbienne/C, C et N organique, dynamique du C (*Cerri C. et al, 1985*) (C^{13}/C^{12}), méthode du fractionnement granulométrique des matières organiques (*Feller C., 1995*), indice d'activité biologique globale (*Bourguignon C., 1995/2000 communications personnelles*).

SUR LES EXTERNALITÉS

À l'échelle de toposéquences représentatives ou portions de bassins versants =

- Entretien des infrastructures = routes, pistes, aménagements hydrauliques (*opérations coûts*),
- Rivières, puits, nappes phréatiques = pollution au sens large.

SUR LA MENTALITÉ DES AGRICULTEURS

- Relations avec l'environnement (*culture de l'arbre, embocagement, respect de la faune*).
- Prise en compte de la qualité de la production.
- Organisation de la profession agricole (*clubs et associations de semis direct, autres types d'organisation*).
- Nature de leurs décisions, vision de leur avenir.

SUR L'ECONOMIE RÉGIONALE

- Filières commerciales, marchés, transformation de la production
- Circuits d'approvisionnements en facteurs de production, en crédits.
- Place de l'agriculture dans l'économie régionale.

2.6. CHOIX DES ECO-REGIONS

Dans le cadre de cette étude, 3 grandes écologies ont été retenues à titre d'exemples démonstratifs ; elles sont très contrastées aux plans géomorphologique, pédologique, climatique et socio-économique, et, toutes, sont soumises à une érosion intense lorsque les sols sont travaillés.

- **La zone Tropicale Humide (ZTH)**, représentée par la région des Fronts Pionniers du Sud du Bassin amazonien au Brésil (11 à 12° de latitude Sud) et la région de Boumango, au Gabon, en Afrique de l'Ouest (2° latitude N). C'est le domaine des sols ferrallitiques sur roche acide, fortement désaturés sous un climat chaud à très forte pluviométrie annuelle de type modal ou bimodal, comprise entre 2.000 et plus de 3.000 mm, répartie sur 7 à 8 mois. Les unités géomorphologiques les plus représentées sont des collines en demi-orange dont la pente varie de 2 à plus de 6%. Deux grands écosystèmes y sont juxtaposés = celui des FORÊTS et celui des CERRADOS (*Savanes*).

- **La zone des Forêts Tropicales du Centre-Ouest Brésilien** (17° de latitude Sud), représentative des sols ferrallitiques rouges-foncés à fortes potentialités sur roche basaltique (*Les trapps basaltiques occupent 750.000 km² au Brésil*); le climat est plus frais en saison sèche et la pluviométrie variable d'une année sur l'autre est comprise entre 900 et 1.600 mm, sur 6 mois. Les unités géomorphologiques sont constituées de doigts basaltiques à fortes pentes (6 à 20%).

Ces 2 grandes zones ouvertes à l'agriculture dans la fin des années 70 sont le siège d'une agriculture mécanisée pratiquée sur de grandes fazendas dominantes et centrée sur des productions de cultures industrielles telles que le soja et le coton ou alimentaires comme le riz, le maïs ou encore l'élevage extensif.

- **La région des Hauts Plateaux de l'île de Madagascar** qui bénéficie de conditions climatiques subtropicales, fraîches et humides (19° de latitude Sud), avec une altitude comprise entre 1.200 et 2.000 m, et soumise à un régime cyclonique de pluies ; La pluviométrie varie de 1.200 à 1.800 mm et les pluies peuvent être exceptionnellement agressives sous les cyclones. Les sols sont ferrallitiques sur socle cristallin (*Site d'Ibity*) ou sur alluvions lacustres anciennes (*site de Sambaina*), ils sont généralement riches en matière organique de très faible activité. Si l'agriculture concentre ses activités sur la riziculture irriguée des vallées d'altitude, pratiquée manuellement et en traction animale, sous la densité croissante d'occupation des sols, elle colonise de plus en plus les collines exondées à très fortes pentes (*Tanety*), couvertes de sols ferrallitiques humifères très fortement désaturés ; l'agriculture pratiquée manuellement est de très faible productivité sans intrants chimiques, les sols sont labourés à la pelle traditionnelle (*angady*).

Si la zone tropicale humide (ZTH) constitue le domaine où la minéralisation de la matière organique est la plus active, à l'inverse la région des hautes terres malgaches, à climat frais et humide, est le siège d'une minéralisation plus lente de la M.O. ; la zone des Forêts Tropicales du Centre-Ouest du Brésil peut être

considérée comme intermédiaire entre les deux précédentes, de ce point de vue.

(*) *Les figures 11, 12 et 13 présentent les principaux systèmes de culture en Semis Direct, préservateurs de la ressource sol, qui ont été construits dans ces 3 grandes éco-régions, et qui sont le support de notre étude.*

III - RÉSULTATS

(*) *Ils ont été établis à partir d'expérimentations de longue durée sur les systèmes de culture (matrices systèmes en milieu contrôlé et fazendas de référence en milieu réel), sur des surfaces représentatives des conditions réelles d'exploitation régionale (vraie grandeur opérationnelle) et sur un espace temps qui va de 4 ans au minimum à plus de 20 ans. Seules les chronoséquences les plus illustratives pour la dynamique du carbone ont été retenues. Les quantités de carbone ont été déduites de celle de la matière organique en divisant par 2 et en prenant en compte la densité apparente mesurée des horizons de sol concernés, dans chaque système de culture.*

Les sols ont été analysés sur la base d'un échantillon moyen par parcelle système de 600 m², lui-même composé de 6 sous échantillons prélevés sur les diagonales de la parcelle, sur lesquels ont été analysés au préalable, les caractéristiques de distribution des propriétés physico-chimiques (Ecart type, intervalle de confiance).

3.1. DYNAMIQUE DE LA MATIÈRE ORGANIQUE EN FONCTION DE LA NATURE DES SYSTÈMES

Avant d'aborder cette dynamique, il est important d'en fixer les limites ; les climats tropicaux sont particulièrement agressifs pour la ressource sol dès que le couvert végétal a disparu, et leurs effets deviennent très rapidement désastreux lorsqu'ils sont amplifiés par des pratiques agricoles catastrophiques = l'érosion sous toutes ses formes, affecte le patrimoine sol et peut même l'entraîner, dans son entier, vers les parties basses du modelé. Il est difficile, dans ce cas, de différencier avec précision sous la rubrique des pertes en matières organiques, la part qui revient à l'érosion de celle qui est imputable à la minéralisation dans les systèmes pratiqués. Les bilans précis de carbone sont ainsi difficiles et coûteux à établir, à l'échelle des systèmes de culture et plus encore à celle des unités de paysage, chaque fois que les processus d'érosion sont mis en jeu. Toutefois, deux cas échappent à ces limitations expérimentales = le premier, lorsque la topographie est strictement plane, le second, lorsque le sol est totalement protégé par une couverture végétale permanente ; dans ce dernier cas, le facteur topographie n'a plus d'importance (*Séguy L. et al., 1996*).

Dans le cadre de notre étude dans les 3 grandes éco-régions, seules les chronoséquences "systèmes de culture" 1, 2 et 3 établies en ZTH de forêt appartiennent à une topographie plane, d'où l'érosion est quasi-absente quelles que soient les pratiques agricoles employées. Toutes les autres chronoséquences sont fortement affectées par l'érosion dès lors que le sol n'est plus couvert de manière permanente et travaillé.

Enfin, en toutes situations, quelle que soit la nature du sol et la topographie, la gestion des sols et des cultures en semis direct sur couverture permanente morte ou vive élimine totalement le processus d'érosion des sols et permet ainsi de mieux cerner la dynamique du carbone en fonction de la nature des systèmes pratiqués.

. En ZTH, dès le défrichement de la forêt, exécuté pourtant dans les conditions opérationnelles les moins préjudiciables possibles pour la ressource sol (cf. *techniques Séguy L. et al. 2000*), la perte en carbone est très importante sur les 2 ans qui suivent l'opération d'abattage : -2,5 MgC.ha⁻¹.an⁻¹ dans l'horizon 0-10 cm, le plus directement exposé et de -1,25 MgC.ha⁻¹.an⁻¹ dans l'horizon 10-20 cm (cf. *chronoséquence 3. Fig. 16*).

L'utilisation des engins à disques est incontournable pour la mise en culture au cours des 2 années qui suivent le défrichement, pour retirer progressivement les bois restés en terre, niveler le sol ; ces 2 premières années étaient, au début des années 80, consacrées à la culture de riz pluvial² avec un minimum d'intrants ; ensuite, passage au soja après amendements calco-magnésiens, ou au pâturage extensif (*Brachiaria decumbens*, puis *brizantha*). Plus récemment, le soja a été de plus en plus utilisé comme culture d'ouverture des terres neuves.

En zone forestière, le système de monoculture de soja, à une seule culture annuelle qui n'utilise pas tout le potentiel hydrique disponible, pratiqué aux engins à disques (3 à 5 passages en sol le plus souvent humide) conduit toujours sur des périodes de 5 ans des pertes moyennes en carbone de -1 à -1,2 MgC.ha⁻¹ et par an (chronoséquences 1 et 2. Fig. 14 et 15). Partant de cette situation, la poursuite du même système pendant encore 3 ans conduit encore à perdre du carbone, mais de manière plus lente, sur un rythme annuel moyen de -0,5 à -0,7 MgC.ha⁻¹ comme le montrent les chronoséquences 1 et 2 et les Fig. 14 et 15 (amortissement de la courbe de pertes en C, cf. Fig. 30).

Par contre, si immédiatement après le défrichement, on utilise un système de culture à base de graminées dominantes sur 5 ans :

. 2 ans de riz x discages, suivi de 2 ans de Semis Direct de la succession annuelle soja + maïs associé à *Brachiaria ruziziensis* et de semis direct de riz pluvial + *Brachiaria ruz.* en 5^e année, le taux de matière organique des horizons supérieurs du sol (0-10 cm et 10-20 cm) remonte très vite, pour rejoindre voire dépasser le statut organique du profil originel sous forêt: on retrouve le même niveau de M.O. dans l'horizon 0-10 cm, et un niveau supérieur dans l'horizon 10-20 cm (cf. chronoséquence n° 3 - Fig. 16).

Ce système de culture permet sur 5 ans, à partir du défrichement, soit en partant d'un profil de sol originel qui a déjà perdu entre 26 et 28% de M.O. au cours des opérations de défrichement, de séquestrer annuellement + 0,9 MgC.ha⁻¹ dans l'horizon 0-10 cm et + 1,32 MgC.ha⁻¹ dans le niveau 10-20 cm.

Si, toujours en partant d'un sol déjà dégradé (propriétés physiques et biologiques) par 5 ans de monoculture de soja à une seule culture annuelle, on pratique sur les 3 ans suivants, et en semis direct, des systèmes à 2 cultures annuelles en succession (utilisation d'un potentiel hydrique supérieur) le taux de matière organique du sol remonte vite, mais de manière différenciée, en fonction de la nature des systèmes (cf. chronoséquence 1, Fig. 14), conduisant à des variations importantes des quantités moyennes annuelles de C séquestré :

- + 0,83 MgC.ha⁻¹ pour la succession annuelle soja + mil (hor. 0-10 cm),
- + 1,16 MgC.ha⁻¹ pour la succession annuelle soja + sorgho (hor. 0-10 cm),
- + 1,33 MgC.ha⁻¹ dans l'horizon 0-10 cm et +1,40 Mg.ha⁻¹ dans le niveau 10-20 cm pour la succession annuelle soja + sorgho ou mil associés à *Brachiaria ruziziensis*, dans laquelle ce dernier continue à produire de la biomasse verte après la récolte du sorgho et sur toute la durée de la saison sèche (par biomasses aériennes et racinaires);
- + 1,66 MgC.ha⁻¹ dans l'horizon 0-10 cm et + 1,8 Mg.ha⁻¹ dans l'horizon 10-20 cm avec le système Riz + *Eleusine coracana* en première année, suivi de soja + *Eleusine cor.* en 2^e année et de riz + *Eleusine cor.* en 3^e année, soit

² La partie relative aux 15 ans de la chronoséquence 3 en zone forestière (Fig. 16) et la chronoséquence des Cerrados (Fig. 17) comportent en réalité, 2 à 3 ans de riz immédiatement après défrichement. Cette culture fait partie intégrante de l'opération défrichement-ouverture des terres ; elle restitue entre 7 et 11 t/ha/an de résidus à C/N élevé, qui permettent de maintenir le taux de M.O. du profil cultural au départ (Séguy L. et al., 1996).

5 graminées sur 3 ans, dont 3 cycles d'*Eleusine coracana*, graminée annuelle qui possède le système racinaire le plus puissant de toutes les espèces que nous avons testées à ce jour (*biomasse sèche racinaire supérieure à 5 t/ha dans le seul horizon 0-50 cm, en 80 jours*).

Toujours en partant du même état de dégradation du profil cultural, après 5 ans de monoculture de soja x discages, les systèmes de Semis Direct du soja et maïs sur couvertures vivantes pérennes, respectivement de *Cynodon d. tifton* et *Arachis p.*, permettent également de séquestrer très efficacement le carbone; sur 3 ans la quantité annuelle de C séquestré est de :

- + 1,5 MgC.ha⁻¹ dans l'horizon 0-10 cm et de + 0,8 Mg.ha⁻¹ dans le niveau 10-20 cm pour le système plus performant : soja sur Tifton,
- + 1,0 MgC.ha⁻¹, mais seulement dans l'horizon 0-10 cm, pour le système maïs sur Arachis pintoï.

. EN SOLS DE CERRADOS DE LA ZTH (Brésil et Gabon)

Sous les mêmes conditions pluviométriques que sous forêt, mais sur des unités de paysage plus pentues (*de 2% au sommet des croupes à plus de 8% dans la partie basse des toposéquences*), où le ruissellement et l'érosion peuvent exercer des ravages, les sols, déjà moins bien pourvus en M.O. au départ que sous forêt, lorsqu'ils sont soumis aux mêmes systèmes à une seule culture par an de monoculture de soja pratiquée aux engins à disques (*qui succèdent en général à 1 ou 2 cultures successives de riz d'ouverture des terres neuves*), perdent en 10 ans jusqu'à 66% de la matière organique dans l'horizon 0-10 cm et 50% dans le niveau 10-20 cm (*cf. chronoséquence du Cerrado et Fig. 17*).

Cette gestion inadéquate du capital-sol conduit ainsi à une perte moyenne annuelle de -0,95 Mg.ha⁻¹ dans l'horizon 0-10 cm et de -0,66 Mg.ha⁻¹ dans l'horizon 10-20 cm (*processus cumulés d'érosion laminaire + minéralisation accélérée de la M.O.*), La perte de M.O., très rapide au début, s'amortit ensuite vers le taux minimum de 1% dans l'horizon 0-20 cm (*Fig. 17 et 30*).

Partant de ce profil cultural appauvri après 10 ans de mauvaise gestion, 6 ans de pratique continue du système de Semis Direct, bâti sur la succession annuelle soja + mil ou sorgho, permet de regagner 1% de M.O. dans l'horizon 0-10 cm et 0,4% dans le niveau 10-20 cm. La séquestration annuelle de carbone dans ce système où l'érosion est complètement contrôlée, est de +0,83 MgC.ha⁻¹ dans l'horizon 0-10 cm et de + 0,40 Mg.ha⁻¹ dans l'horizon 10-20 cm (*chronoséquence du cerrado. Fig. 17 et 21*).

Après cette période de 6 ans et partant de ce profil cultural en partie restauré en M.O. par le système de Semis Direct, si l'on implante, toujours en Semis Direct, des espèces fourragères qui seront pâturées pendant 5 ans d'affilée sans apport d'intrants (*1,8 UGB/ha*), le taux de M.O. du sol augmente plus rapidement et la quantité de carbone séquestré annuellement est plus élevée sous l'espèce *Brachiaria brizantha* (cv. *Brizantão*) que sous l'espèce *Panicum maximum* (cv. *Tanzânia*) :

- + 0,7 MgC.ha⁻¹ pour cette dernière dans l'horizon 0-10 cm, contre
- + 0,9 MgC.ha⁻¹ sous le brizantão dans le même horizon ;

- Dans l'horizon 10-20 cm, le taux de séquestration annuel de C est très élevé sous *Brachiaria b.* avec + 1,68 MgC.ha⁻¹ contre + 1,08 MgC.ha⁻¹ sous *Panicum m.*;

Ces espèces rechargent donc fortement le profil cultural en dessous de 10 cm de profondeur (*cf. séquence Cerrado, Fig. 17*).

Des résultats similaires de séquestration de C sous Semis Direct ont été obtenus dans les savanes gabonaises, sous des conditions pédoclimatiques proches et à partir de systèmes de culture à base de grains semblables, que nous

avons transférés depuis le Brésil (*cf. chronoséquence Gabon ; Boulakia, S. et al, 1999 - cf. Fig. 18 et 21*). Comme dans le cas des fronts pionniers de la ZTH du Brésil, le travail profond du sol pratiqué tous les ans à l'entrée d'une succession annuelle maïs + soja, conduit à la perte progressive de M.O. ; les pertes annuelles de C, sont sur 3 ans de $-1,0 \text{ MgC.ha}^{-1}$ dans l'horizon 0-10 cm, et $-0,7 \text{ MgC.ha}^{-1}$ dans l'horizon 10-20 cm, en présence d'une forte fumure minérale annuelle ; Lorsqu'un niveau moyen à faible de fumure minérale est utilisé, la perte annuelle de C est plus faible (*cf. chronoséquence Gabon. Fig. 18 et 21*).

Comme dans les cerrados brésiliens, la pratique, en Semis Direct continu, de systèmes à 2 cultures annuelles en succession dominés par les graminées, voisins de ceux utilisés au Brésil, conduit à des niveaux de séquestration annuelle de C identiques à ceux observés au Brésil : $+ 1,0 \text{ MgC.ha}^{-1}$ dans l'horizon 0-10 cm et $+ 0,8 \text{ MgC.ha}^{-1}$ dans l'horizon 10-20 cm (*cf. chronoséquence Gabon, Fig. 18 et 21*).

. DANS L'ECO-RÉGION DES FORÊTS TROPICALES SUR SOLS FERRALLITIQUES SUR BASALTE À TEXTURE ARGILEUSE (60% d'argile dans l'horizon 0-20 cm) DU CENTRE OUEST BRÉSILIEN (Sud de l'état de Goiás).

Sous culture cotonnière, la comparaison des systèmes de culture construits sur le travail annuel du sol et sur Semis Direct sur couverture morte, comme dans le cas de la ZTH, montre des tendances d'évolution de la MO similaires, mais de moindre intensité :

- + Que ce soit sur sol déjà très érodé de bas des fortes pentes ou sur sol de mi-pente peu érodé, la pratique continue du travail du sol associée à la monoculture de coton, entraîne des pertes significatives en matière organique dans les horizons de surface, par érosion laminaire conjuguée à une minéralisation forte de la M.O., non compensée par les restitutions des seuls résidus de récolte ; Sur une période de 4 ans, les pertes moyennes annuelles en C sont de $-0,25 \text{ MgC.ha}^{-1}$ dans l'horizon 0-10 cm et de $-0,45 \text{ MgC.ha}^{-1}$ dans le niveau 10-20 cm.
- + Le système de Semis Direct bâti sur les successions annuelles mil ou sorgho + Cotonnier conduit, comme dans la ZTH, à une recharge rapide en M.O. du profil cultural en 4 ans, d'autant plus importante que l'état initial du sol est plus appauvri en M.O. (*cf. chronoséquences des forêts tropicales du Sud de l'état de Goiás, voir Fig. 19 et 22*) :
 - Sur sol peu érodé de mi-pente, la recharge moyenne annuelle en C est de $+0,5 \text{ MgC.ha}^{-1}$ et ne porte que sur l'horizon 0-10 cm,
 - Sur sol très érodé de bas de pente, la quantité moyenne annuelle de C séquestré est voisine de $0,9 \text{ MgC.ha}^{-1}$ aussi bien dans le niveau 0-10 cm que dans l'horizon 10-20 cm.

. SUR LES HAUTES TERRES MALGACHES

À relief montagneux, climat subtropical fais et humide sous forte influence cyclonique, le labour profond des sols à l'outil traditionnel (*Angady*) entraîne toujours une très forte érosion du profil cultural et des pertes importantes en M.O. =

- Sur le site d'Ibity sur socle cristallin (*46% d'argile dans l'horizon 0-20 cm*), les pertes en M.O. sur 5 ans sont de 24% dans l'horizon 0-10 cm et de 40% dans le niveau 10-20 cm, ce qui correspond à des pertes moyennes annuelles de C., respectivement de $-1,0$ et $-1,4 \text{ Mg.ha}^{-1}$;
- Sur le site de Sambaina sur alluvions lacustres anciennes, sur sol plus argileux (*60% d'argile dans l'horizon 0-20 cm*) moins susceptible à l'érosion, les pertes moyennes annuelles sur 5 ans sont de $-0,48 \text{ MgC.ha}^{-1}$ dans l'horizon 0-20 cm (*cf. chronoséquences des hauts plateaux malgaches, Fig.20 et 23*).

Comme dans les grandes éco-régions précédentes, mais en conditions pédoclimatiques beaucoup plus favorable à la conservation de la matière organique, les systèmes de culture pratiqués en Semis Direct conduisent sur les 2 sites et sur 5 ans à des recharges très importantes en M.O., du profil cultural :

- Sur le site d'Ibity, dans la succession annuelle avoine + haricot, la séquestration moyenne annuelle est de + 1,7 Mg.ha⁻¹ dans l'horizon 0-10 cm et de + 1,3 Mg.ha⁻¹ dans le niveau 10-20 cm ;
- Sur le site de Sambaina, sur la même période, la séquestration moyenne annuelle de C atteint + 1,8 Mg.ha⁻¹ avec Semis Direct sur couverture morte (*soja + maïs associé au Desmodium*) et jusqu'à + 2,4 Mg.ha⁻¹ sur couverture vive permanente (*soja sur Pennisetum clandestinum "kikuyu"*), dans l'horizon 0-20 cm.

En conclusion de ce chapitre, plusieurs règles générales peuvent être énoncées concernant la dynamique du carbone en fonction des systèmes de culture, dans diverses grandes éco-régions tropicales et subtropicales :

❶ Dans tous les cas étudiés, les techniques de travail du sol (*discage, labours*) combinées à des systèmes de monoculture à 1 seule culture par an qui n'utilise qu'une faible partie du potentiel hydrique disponible, conduisent toujours à des pertes de matière organique dont l'importance varie en fonction des conditions de climat, sol, pente, techniques de travail du sol et l'état de dégradation du profil cultural =

- En ZTH, en zone de forêt sur modelé plat, les pertes sur sols travaillés aux engins à disques portent surtout sur l'horizon 0-10 cm et varient entre -0,7 et -1,2 MgC.ha⁻¹.an⁻¹ mais peuvent également affecter l'horizon 10-20 cm, comme dans le cas des cerrados où le modelé est plus pentu et l'érosion plus active.
- En zone subtropicale d'altitude à relief montagneux, les sols ferrallitiques sur socle cristallin, soumis à un régime cyclonique des pluies, peuvent perdre entre -1,0 et -1,4 Mg.ha⁻¹.an⁻¹ lorsqu'ils sont travaillés à la pelle traditionnelle (*labour profond à l'angady*).
- En zone de forêts tropicales sur coulées basaltiques à fortes pentes du Centre-Ouest brésilien (*Sud du Goiás*), les sols ferrallitiques plus argileux et à fortes potentialités se montrent moins sensibles à ces modes de gestion et ne perdent que -0,2 à -0,45 Mg.ha⁻¹.an⁻¹.

❷ Tous les systèmes de culture en Semis Direct sur couverture végétale permanente, permettent, dans toutes les situations pédoclimatiques, de recharger le profil cultural en M.O., et de contrôler totalement l'érosion, quelle que soit la pente, la pluviométrie et le type de sol .

❸ Si l'importance de la séquestration de C dépend des conditions de sol et de climat (*le climat subtropical d'altitude frais et humide est celui qui favorise le plus l'accumulation de C*), elle est surtout conditionnée dans chaque grande éco-région par la nature des systèmes de culture pratiqués en Semis Direct et par l'état de dégradation physico-biologique du profil cultural au départ ; en ZTH, où les conditions climatiques sont idéales pour le fonctionnement maximum du "réacteur minéralisation de la M.O.", le taux de séquestration annuel de C peut ainsi varier du simple au double en fonction de la nature des systèmes pratiqués,

❹ Quel que soit le type de sol et les conditions climatiques, plus le profil cultural de départ est déstructuré et appauvri en M.O. et plus la recharge en carbone est rapide ensuite, en semis direct, avec des successions annuelles où les graminées jouent

un rôle dominant (*mil, mais surtout sorgho, Eleusine cor., avoine, espèces fourragères*)

⑤ Sous moindre pluviométrie (900 à 1 600 mm), avec des sols argileux naturellement bien structurés et riches en M.O. comme les sols rouges-foncés sur basalte du Sud de Goiás, sols travaillés aux disques et en monoculture de coton sur fortes pentes, les pertes en M.O. sont nettement inférieures à celles de la ZTH et sont surtout localisées sur des griffes d'érosion (*érosion linéaire dominante*)

⑥ Le climat frais et humide d'altitude sur les hautes terres malgaches est celui qui permet de séquestrer le plus de carbone annuellement, lorsque des graminées pérennes très puissantes servent de support dominant aux systèmes de Semis Direct (*Pennisetum clandestinum*) : De +1,8 à +2,4 Mg.ha⁻¹ dans l'horizon 0-20 cm.

⑦ Le taux de séquestration de C dans les systèmes de Semis Direct les plus performants peut être aussi rapide et aussi important que le sont les pertes sous gestion inadéquate avec travail du sol ; les systèmes en Semis Direct les plus efficaces à cet égard sont ceux qui utilisent des successions annuelles à base de "biomasses de couverture" ou "pompes biologiques", très fortes pourvoyeuses de biomasse (*matière sèche aérienne et racinaire*) telles que mils, sorghos associées à *Brachiaria ruz., Eleusine coracana, Cynodon dactylon*, en ZTH, les espèces fourragères pérennes des genres *Pennisetum (clandestinum)* et *Desmodium (intortum)* en zone subtropicale d'altitude ; ils conduisent, même sur de courtes périodes de 3 à 5 ans, à recouvrer les taux de M.O. des écosystèmes originels, voire de les dépasser.

⑧ La recharge en Carbone et à court terme du profil cultural sous les meilleurs systèmes de Semis Direct, porte de manière préférentielle sur l'horizon 0-10 cm, mais aussi sur l'horizon 10-20 cm, lorsque des espèces fourragères sont utilisées dans la rotation telles que les genres *Brachiaria, Eleusine, Cynodon, Pennisetum*.

La comparaison des résultats obtenus avec ceux d'autres auteurs des régions tropicales et subtropicales, met en évidence :

- Une bonne concordance avec les résultats produits par Corraza E.J. et al. (1999) dans l'éco-région des cerrados du Centre-Ouest brésilien, qui montrent un taux de séquestration annuel de C de +2,18 MgC.ha⁻¹.
- Dans la région Sud du Brésil, en conditions subtropicales, les résultats récents obtenus par Amado T.J. et al. (1999), Bayer C. et al. (2000) et Sá J.C.M. et al. (2000 a & b) avec des taux annuels de séquestration de C de + 1,6, de 1,33 et de 0,99 Mg.ha⁻¹ respectivement, sont assez comparables à ceux que nous avons obtenus sur les hauts plateaux malgaches en climat subtropical frais et humide, avec des taux variant entre 1,3 et 2,4 MgC.ha⁻¹.
- Comme dans la présente étude, des exemples au Kentucky (USA) en climat tempéré et à Ponta Grossa dans le Brésil subtropical cités par Sá J.C.M. et al (2000) montrent que le stock de carbone accumulé pendant de longues périodes (15 à 20 ans) sous Semis Direct peut être supérieur à celui des écosystèmes sous végétation naturelle et qu'il concerne préférentiellement l'horizon 0-10 cm (*Lal R., 1997 ; Dick W.A. et al, 1998 ; Kern J.S. & Johnson M.G., 1993*).
- Autre conclusion concordante de cette étude avec ceux des auteurs déjà cités : Bien que le taux de décomposition de la M.O. en régions tropicales et subtropicales soit de 5 à 10 fois plus élevé que dans les régions tempérées (*Lal R. et Logan T.J., 1995*), les gains de M.O. dus à la pratique continue du Semis Direct peuvent y être équivalents voire supérieurs : c'est la nature des systèmes pratiqués en Semis Direct qui permet d'expliquer ce paradoxe.

3.2. DYNAMIQUES DU CARBONE DE LA CEC ET DU TAUX DE SATURATION (V%)

Les sols ferrallitiques du Brésil, support de l'étude : rouges - jaunes plus ou moins hydratés sur roche acide, appartiennent aux oxisols de la classification des USA (*acrustox*), de même que les sols ferrallitiques rouges-foncés sur basalte (*haplustox*). Dans tous les cas, 60 à 80% de la CEC est imputable à la Matière organique (*Van Raij B., 1991*) et les sols sont vides chimiquement, toujours carencés en P, Ca, Mg, K, Zn, fréquemment en Bore, Cuivre (*Sheid Lopes A., 1984*), offrent une CEC effective basse, soit une faible capacité de rétention vis à vis des ions (*donc, des engrais*) qui peuvent être facilement lessivés.

Sur toutes les chronoséquences présentées, les tendances d'évolution de la CEC, suivent strictement celles de la M.O. = Sous les systèmes de culture qui perdent de la M.O. (*avec travail du sol x monoculture*), la CEC des horizons de surface baisse ; à l'inverse, elle s'accroît et dans les mêmes proportions que la M.O., lorsque le taux de cette dernière augmente dans les systèmes en Semis Direct. Avec les techniques de Semis Direct, on crée un pouvoir de rétention des engrais minéraux proportionnel au niveau de séquestration du C, et on peut ainsi limiter leurs pertes par lixiviation (*Fig. 24 à 29*).

Le Semis Direct influence également de manière significative le taux de saturation des horizons supérieurs du profil cultural (*Fig. 24 à 29*) et principalement l'horizon 10-20 cm où les variations se montrent les plus sensibles (*Séguy L. et al 2001 c*). Pour un même niveau de fumure minérale appliqué, le taux de saturation suit les variations de la M.O. et de la CEC. Le cas le plus démonstratif à cet égard est celui de la chronoséquence cerrados de la ZTH, dans laquelle les espèces fourragères implantées en Semis Direct pendant 5 ans, jouent le rôle de "pompes à cations" et remontent fortement le taux de saturation des horizons de surface, comme si de très fortes doses d'amendements calco-magnésiens avaient été appliquées, alors qu'aucune fumure minérale, ni aucun amendement n'ont été apportés au cours de ces 5 ans (*Fig. 26*).

Des profils culturaux effectués tous les ans, dans toutes les chronoséquences, sur les cultures "biomasses de couverture" "pompes biologiques" de succession, montrent que les enracinements de ces cultures sont très profonds en sols ferrallitiques et dépassent le plus souvent 2 m à 2,5 m de profondeur à la floraison ; elles ont, de ce fait, la capacité de remonter, recycler tous les ans, les bases et les nitrates qui ont échappé aux cultures commerciales . C'est le cas des espèces des genres : sorgho, *Brachiaria*, *Panicum*, *Eleusine*, *Crotalaires*, *Pennisetum*, *Cynodon*, fermant ainsi le système « Sol-Cultures » (*concepts Séguy L. et al 1996*).

En définitive, les systèmes de culture en Semis Direct les plus performants pour la séquestration de carbone, sont également ceux qui offrent la CEC les plus élevées dans la couche 0-20 cm ; la remontée des taux de saturation en Semis Direct, plus sensiblement marquée dans l'horizon 10-20 cm que dans -0-10 cm, indique l'efficacité des "biomasses de couverture" ou "pompes biologiques" dans leur capacité, dans la même année agricole, à remonter les bases déjà hors d'atteinte des cultures commerciales ou alimentaires (*cette capacité doit aussi s'exprimer pour le recyclage des nitrates*). Ces résultats expliquent parfaitement le concept de "fermeture du système sol-culture", à l'image du fonctionnement de l'écosystème forestier où les nutriments sont constamment recyclés avec un minimum de pertes, dans le système sol-plante (*Séguy L. et al, 1998 e, 1999*).

3.3. LES PERFORMANCES AGRONOMIQUES, TECHNIQUES ET ÉCONOMIQUES DES SYSTÈMES DE CULTURE ET LEUR MISE EN REGARD AVEC LA DYNAMIQUE DE LA M.O.

3.3.1. ÉCO RÉGION DE LA ZONE TROPICALE HUMIDE (ZTH).

Les travaux de recherche conduits par la CIRAD-CA et ses partenaires brésiliens de la recherche et du développement ont montré, entre 1984 et 2000, que les potentialités agricoles des sols ferrallitiques sont identiques sous forêt et sous Cerrados, dès lors que les opérations de défrichement suivies des trop nombreux passages d'engins à disques ont exercé leur œuvre destructrice sur la structure du sol et la matière organique originelle (Séguy L et al, 1996, 1998 e).

L'évolution des performances agronomiques des systèmes de culture à base de riz pluvial et soja, créés par la Recherche a été reconstituée pour la période 1986-2000 =

- a) **Sur les moyen et long termes**, les figures de synthèse 30, 31 et 32 qui retracent cette évolution, montrent comment, en partant de système de monoculture à une seule culture par an, la Recherche a bâti successivement : des systèmes à 1 seule culture par an, en rotation (*Céréale-Légumineuse*), puis des systèmes alternant 2 cultures annuelles en succession avec une seule culture l'année suivante et enfin des systèmes à 2 cultures annuelles en succession + pâturage avec embouche du bétail en saison sèche.
- Partant de systèmes à une seule culture par an qui n'utilisaient qu'une fraction du potentiel hydrique disponible, les travaux de recherches sur les systèmes de culture (*à partir des matrices pérennisées*) ont progressivement exploité la ressource sol toute l'année et une offre hydrique bien supérieure, même en saison sèche à l'image de l'écosystème forestier, en utilisant l'eau profonde (*au-delà de 2 m*).
 - L'augmentation progressive de la production agricole par hectare, a été conquise principalement par la maîtrise progressive des techniques de Semis Direct qui ont permis à la fois : l'accès permanent aux terres pour les machines avec des capacités et flexibilité d'utilisation accrues, un arrêt total de l'érosion et l'augmentation graduelle de la fertilité des sols qui a conduit à produire de plus en plus au moindre coût.
 - La productivité du soja, principale culture de la région, est passée ainsi de 1.700 kg/ha en 1986 à plus de 4.600 kg/ha en l'an 2000 ; celle du riz pluvial sur la même période et passée de 1.800 - 2.000 kg/ha à plus de 8.000 kg/ha, accompagnée d'une véritable révolution sur la qualité de grains, qui est aujourd'hui supérieure ou égale à celle des meilleures variétés irriguées (Séguy L., et al., 1998 d) [Fig. 31 et 32].
 - La productivité des cultures principales a donc pratiquement triplé en 15 ans ; les progrès spectaculaires réalisés sont imputables plus aux avancées décisives qui ont été progressivement construites et conquises en matière de gestion des sols et des cultures en Semis Direct qu'à celles de l'amélioration variétale (Séguy L., Bouzinac S. et al, 1992/2000, 1996).
 - La productivité totale par hectare des systèmes de culture qui se sont graduellement diversifiés, a considérablement avancé sur la même période grâce aux cultures de succession annuelles telles le maïs, le mil, le sorgho et l'Eleusine qui produisent entre 2.000 et 4.000 kg/ha avec un minimum d'intrants ou sans intrants (*cultures appelées "safrinhas"*) et qui peuvent être suivies d'embouche en saison sèche lorsque des cultures fourragères leurs

sont associées. Si la valeur commerciale de ces cultures de succession est encore assez dérisoire dans la région, elles peuvent toutefois servir à l'alimentation du bétail en saison sèche et être converties avec profit en production de viande ou de lait. Les meilleurs systèmes de culture en semis direct permettent ainsi de produire aujourd'hui sur une année = 4.500 kg/ha de soja ou plus de 6.000 kg/ha de riz, suivis de 1.500 à 3.000 kg/ha de maïs ou sorgho ou mil ou Eleusine cor. et de 65 à 90 kg/ha de viande en saison sèche (*entre 100 et 120 \$US/ha*) [Cf. Fig. 52].

La production de matière sèche aérienne totale par hectare est passée de 4 à 8 t/ha en 1986 pour les systèmes de départ à une seule culture annuelle, à 25-28 tonnes/ha en l'an 2000 pour la moyenne des meilleurs systèmes en Semis Direct (Fig. 31 et 32).

La variation des teneurs en M.O. des horizons de surface, a suivi strictement celle de la production de matière sèche totale aérienne : les systèmes les plus productifs en Semis Direct ont accumulé, en moyenne, entre 1992 et 2000 entre 1,7 et 2,1% de M.O. sur 8 ans (Fig. 31 et 32).

- b) Sur le très court terme :** La supériorité des techniques de Semis Direct sur celles de travail du sol s'exprime déjà dès les 2 premiers mois de la saison des pluies sur lesquels s'effectuent les semis échelonnés des cultures principales de soja et riz. Des expérimentations conduites en vraie grandeur qui sont parties intégrantes des chronoséquences étudiées en zone de forêt et de cerrados, montrent que, en semis direct, un semis effectué 60 jours après les premières pluies utiles ne perd que 12 à 24% de la productivité initiale pour le soja, et maintient celle du riz pluvial, par rapport aux semis précoces réalisés aux premières pluies (Fig. 33 et 34). A l'inverse sur labour, entretenu propre aux engins à disques sur la même période de 60 jours, le semis effectué 2 mois après les 1^o pluies utiles perd entre 19 et 27% de sa productivité initiale pour le soja (Fig. 33) et entre 36 et 70% pour le riz pluvial (Fig. 34), en fonction du niveau de fumure minérale appliqué.

Dès le début des pluies, le semis direct sur couverture végétale s'avère un système "mainteneur de la fertilité" par ses effets de protection sur le sol, le maintien de la structure par le système racinaire en croissance de la biomasse de couverture, et sa pleine utilisation du pic initial de minéralisation de la M.O. aux premières pluies, dont les nutriments sont recyclés dans la biomasse de couverture en croissance, alors qu'ils sont perdus sous sols nus, exposés aux pluies.

- c) Sur les 5 dernières années,** qui ont bénéficié de tous les progrès acquis dans la construction pendant 15 ans de systèmes de culture en Semis direct toujours plus performants et également d'un niveau de maîtrise technique encore affiné, l'analyse des performances agronomiques comparées des systèmes de culture dans les chronoséquences 1, 2 et 3 de l'écologie de forêt, met en évidence =

- **Concernant la culture de soja dans la chronoséquence 1,** où sont comparés, sur les 3 dernières années, divers systèmes de culture en Semis Direct sur couvertures mortes avec le système de monoculture de soja travaillé aux engins à disques =

. La productivité du soja, aussi bien de cycle court (*cv. Conquista*) que de cycle moyen (*cv. FT 114*) est toujours nettement supérieure sur les systèmes de semis direct que sur le témoin travaillé. L'écart de rendements s'accroît d'année en année à l'avantage du Semis Direct ; il est proportionnel à l'importance de la biomasse sèche sur laquelle est implanté le soja en semis direct = en présence d'un très faible niveau de

fumure minérale ($40 P_2O_5 + 40 K_2O$), cet écart de rendement en faveur du semis direct va de 13 à 17% en première année, à 30 à 42% en troisième année pour les meilleurs systèmes, quel que soit le cycle de la variété (Fig. 37, 38). Lorsque la fumure apportée double ($ON + 80 P_2O_5 + 80 K_2O$), les écarts en faveur des meilleurs systèmes en semis direct vont de 15 à 25% en première année pour les 2 cycles variétaux à 18-24% pour le cycle court et 31 à 47% pour le cycle moyen en troisième année (Fig. 37, 38 et 40).

. À titre d'exemple, en 3^e année, le cycle court produit 2.233 kg/ha sur le témoin travaillé contre 2.957 kg/ha pour la moyenne des meilleurs systèmes en semis direct en présence de la fumure faible ; 2.984 kg/ha contre 3.500 kg/ha en présence de la fumure double (Fig. 39).

. Dans les mêmes conditions, le cycle moyen produit 2.547 kg/ha sur le témoin contre 3.575 kg/ha en Semis direct avec fumure faible, et 3.166 contre 4.580 kg avec fumure double (cf. Fig. 39).

+ La productivité du Riz pluvial est, comme celle du soja, toujours plus élevée en semis direct que sur sol travaillé. La productivité moyenne des 3 meilleures variétés est en 1997/98 de 5.420 kg/ha en semis direct sur couverture morte d'*Eleusine coracana*, contre 4.260 kg/ha sur labour dans la même rotation, soit un gain de productivité de 23% en faveur du semis direct. En 1998/99, dans la même rotation le rendement moyen du semis direct pour ces mêmes cultivars est de 5.025 kg/ha contre 2.885 kg/ha sur labour, soit un gain de rendement de 43% pour le semis direct (Fig. 42). L'état sanitaire du matériel génétique est, en outre, toujours nettement meilleur sur semis direct que sur labour pour les principales maladies fongiques de l'appareil végétatif et reproducteur (Seguy L. et al, 1998 c et d) [Fig. 42].

Sur ces 3 années consécutives, les meilleurs cultivars créés par l'entreprise AGRONORTE en collaboration avec le CIRAD, confirment leurs rendements très élevés au niveau régional en semis direct : pour les cycles courts entre 3.500 et 5.000 kg/ha avec basse technologie, et de 4.500 à plus de 6.000 kg/ha avec haute technologie. Avec les mêmes niveaux technologiques, les cycles moyens produisent respectivement entre 4.800 - 5.200 kg/ha et 5.300 à plus de 6.000 kg/ha (*pointes de productivité entre 7.000 et 8.500 kg/ha sur les fazendas de référence*). [Cf. Fig. 41].

. Si la productivité du soja en semis direct est étroitement corrélée à la production de biomasse sèche des graminées, le riz pluvial suit la même réponse dès lors que la nutrition azotée n'est pas limitante (Fig. 35 et 36). Les biomasses qui induisent les productivités les plus élevées du riz pluvial sont des associations entre des graminées qui ont les systèmes racinaires les plus puissants (Séguy L. et al., 1998 d) et des légumineuses fixatrices d'azote (*Résultats 2000 et 2001 non publiés*).

. La productivité des biomasses de couverture s'accroît avec le temps et ceci d'autant plus rapidement que le niveau de fumure minérale appliqué à la culture principale est plus faible, mettant ainsi en évidence l'accroissement progressif de la capacité de production du sol due à la gestion biologique du profil cultural au sens large (Fig. 40).

. Les systèmes de semis direct sur couvertures mortes les plus productifs en biomasse sèche par an, sont aussi ceux qui produisent le plus de soja et qui séquestrent le plus de carbone (Fig. 35 et 36).

- **Dans la chronoséquence 2**, où sont comparés sur les 3 dernières années, 2 systèmes en semis direct **sur couvertures vivantes** par rapport au témoin travaillé, l'un relatif au soja, l'autre au maïs:

- + **Sur la culture de soja** (cv. *Emgopa 313*), le système en semis direct sur tifton (*Cynodon d. hybride*, n° 85) montre une productivité de grains en accroissement tous les ans, quel que soit le niveau de fumure ; à l'inverse, sur le témoin travaillé « discages x monoculture », excepté pour le niveau de fumure non limitant qui est pratiquement stable, la productivité décroît tous les ans. Le rendement de soja sur semis direct en 3^o année avec fumure faible est ainsi supérieur de 12% à celui du témoin sur fumure forte non limitante, mettant en évidence aussi dans ce cas, l'importance de la gestion organo-biologique en semis direct pour produire plus, avec moins d'engrais. (Fig. 43 et 50).

- + **Concernant la culture de maïs**, excepté en première année où l'absence de contrôle de la couverture vivante de *Arachis p.* a fortement affecté négativement la productivité, le système de semis direct est toujours plus productif que le témoin travaillé sur les 2 ans qui suivent. L'écart de rendement en maïs en faveur du semis direct est d'autant plus important qu'une sécheresse intervient à la floraison mâle, comme ce fut le cas en 1997/98. A l'instar du soja, le maïs sur couverture vivante produit en moyenne sur les 2 dernières années 6.000 kg/ha avec fumure minérale faible, soit un rendement proche de celui du témoin travaillé avec fumure moyenne, mettant encore une fois en évidence l'importance de la gestion biologique pour économiser les engrais minéraux et produire de manière plus stable (Fig. 44 et 51).

Le système en SD soja sur tifton est celui qui séquestre le plus de carbone = 1,5 MgC.ha⁻¹.an⁻¹ dans l'horizon 0-10 cm et 0,8 MgC.ha⁻¹.an⁻¹ dans le niveau 10-20 cm, sur 3 ans. Le système SD maïs sur *Arachis p.* séquestre dans le même temps 1,0 MgC.ha⁻¹.an⁻¹ dans l'horizon 0-10 cm, tandis que le témoin travaillé continue de perdre du carbone (Fig. 43 et 44).

- **Dans la chronoséquence 3**, les résultats des rendements présentés dans la fig.45 sont obtenus en grande culture (*propriété de la famille W et J. Taffarel*); Partant de techniques de défrichement moins destructives pour la forêt, après 2 ans de travail du sol aux engins à disques pour produire du riz pluvial dont le rendement moyen est voisin de 5.000 kg/ha, le semis direct est implanté pour les 3 ans qui suivent avec la rotation = 2 ans de soja + maïs associé au *Brachiaria ruz.* et riz pluvial + *Brachiaria ruz.* en 3^o année.

Aucun amendement calco-magnésien n'a été apporté au cours des 5 ans, bien que le profil cultural, dès l'horizon 5-20 cm, présente une très forte acidité et un taux de saturation du complexe inférieur à 20%. Malgré ces conditions considérées comme limitantes pour les cultures de soja et de maïs, le soja, en semis direct, produit 2.640 kg/ha dès la 1^{ère} année, et de 3.000 à 3.320 kg/ha en 2^o année en fonction des variétés ; le maïs en succession du soja produit plus de 3.000 kg/ha et le riz pluvial en semis direct la dernière année, atteint un rendement de 4.500 kg/ha (Fig. 45).

Ces résultats montrent que le système de SD sur couverture permanente utilisé neutralise efficacement les effets nocifs de l'acidité, si bien connus en sols travaillés, et permet de se dispenser des amendements calco-magnésiens (*entre 4 et 7 tonnes d'amendements sont en général utilisés sur les 4 années qui suivent le défrichement avec la même séquence de cultures, en sol travaillé*).

Les conséquences technico-économiques de l'utilisation des systèmes de culture en SD ou en sol travaillé sont à la mesure de leurs performances agronomiques.

. La région de fronts pionniers du Centre-Nord Mato Grosso a connu depuis le tout début de son ouverture, au début des années 1980, une situation économique très chaotique, qui a subi de plein fouet les restructurations économiques du pays. Loin des grands centres de transformation, des ports d'exportation (*plus de 1.500 km*), la région ne dispose que d'une seule route, le plus souvent en état précaire, qui grève les coûts de transport. Cet isolement se traduit par une pénalisation économique qui va de 25 à 40% de surcoûts de production par rapport à ceux des grands états producteurs du Sud du pays (*Séguy L. et al., 1996*).

. Dans cette conjoncture, les coûts de production du soja, culture industrielle la plus stable, peuvent varier de 280 à plus de 430 U.S.\$/ha en fonction du niveau de technologie ; la dernière restructuration du président Fernando Henrique Cardoso en 1995 a presque doublé la production d'équilibre pour payer les coûts (*passage de 30 à 40 sacs de 60 kg à 60-70 sacs/ha*) (cf. Fig. 48).

. Sur le riz pluvial, les coûts ont varié plus que du simple au double sur la période 1987/2000. Les 3 dernières années sont particulièrement désastreuses pour la culture, lorsque les prix payés au producteur sont passés de 11,5 U.S.\$/sac 60 kg en 1998 à 7,43 U.S.\$/sac en 2000, malgré la production d'un riz d'excellente qualité, égale à celle des meilleures variétés irriguées du Sud (*Fig. 47*). En 2000, il faut produire plus de 60 sacs/ha pour payer les coûts avec utilisation d'une basse technologie et près de 90 sacs/ha (*5.400 kg/ha*) avec haute technologie, soit des conditions proches des possibilités agronomiques actuelles des systèmes construits par la recherche (*Fig. 46*).

Ce sont ces contraintes économiques qui expliquent l'adoption exponentielle du Semis Direct à partir de 1995 dans la région où l'activité agricole sans subventions a dû, pour se maintenir, produire plus et le moins cher possible. Actuellement, 80% des surfaces sont en Semis Direct, mais pratiquent, pour la majorité un système dominant : soja + culture de succession maïs ou mil ou sorgho et plus récemment, à partir de 1998, la culture de coton.

. Dans un tel contexte de très faible diversification, les systèmes de culture récents créés par la recherche CIRAD-AGRONORTE, qui rendent possible l'intégration de toutes les cultures en SD avec l'élevage, sont ceux qui offrent les coûts de production les plus bas et les marges brutes les plus élevées et ceux qui doivent être le plus rapidement diffusés. Au-delà des bénéfices attractifs et de la stabilité qu'ils procurent, ils permettent de s'affranchir davantage de la politique agricole régionale très chaotique. Les performances économiques de ces systèmes de culture qui conduisent à construire des assolements plus stables et de moindre risque économique, sont exposés dans la figure 52 (*crible des fazendas de références*). En fonction du niveau de risque choisi par l'agriculteur, les coûts de production peuvent varier de 300 à 600 U.S.\$/ha avec des systèmes en SD à base de riz, soja, maïs + cultures de succession suivies d'embouche en saison sèche ou pratiquées sur couvertures vivantes (*Fig. 49 et 52*) et jusqu'à 1.300 U.S.\$/ha avec la culture cotonnière de haute technologie (*SD + fort niveau d'intrants*).

Les marges nettes par ha vont, malgré la pénalisation économique, en fonction des choix retenus et des conditions économiques annuelles de 100 à plus de 600 U.S.\$/ha (*Fig. 52*).

Les charges de mécanisation ont pu être réduites de manière draconienne avec l'adoption du Semis Direct : le parc de tracteurs et de semoirs peut être divisé par 2, de même que la consommation de carburant (*Fig. 49 et 53*).

. Pression et pénalisation économiques qui ont conduit à l'adoption massive du SD depuis 1995 permettent aujourd'hui à cette région d'être championne de productivité du Brésil pour le soja et pour le riz pluvial de haute technologie (*Fig. 54 et 55*). Si la moyenne de productivité de soja dépasse maintenant largement 3.000 kg/ha dans la région sur plus de 1,3 millions d'hectares (*Fig. 54*), des productivités comprises entre 4.000 et 5.500 kg/ha pour le riz pluvial sont aujourd'hui monnaie courante chez les agriculteurs (*Fig. 55*). Petit à petit, dans la difficulté, est né, puis s'est consolidé un profil d'agriculteurs très performants, aptes à affronter la mondialisation, sans subventions.

3.3.2. ÉCO RÉGION DES FORÊTS TROPICALES SUR BASALTE DU CENTRE OUEST BRÉSILIEEN (*Sud de l'état du Goiás, Nord de l'état de São Paulo*).

. Les résultats présentés sont issus d'une chronoséquence courte de 4 ans d'étude des systèmes de culture (*matrice des systèmes + fazendas de référence*), qui se positionne après plus de 10 ans de pratique continue du système de monoculture de coton dans lequel le sol a été travaillé principalement aux engins à disques et où les résidus de récolte ont été systématiquement brûlés. Cette chronoséquence représente donc un épisode important de la construction des systèmes de culture du cotonnier en S.D. (*Séguy L., et al., 1998 a*). Au-delà des performances agro-économiques comparées des systèmes de culture sur cette chronoséquence, seront présentés, comme validation, des résultats obtenus sur les fazendas de référence du même partenaire du CIRAD : le groupe MAEDA ; ces fazendas sont situées dans le Nord de l'état de São Paulo, dans la même grande éco-région des sols ferrallitiques rouges-foncés sur basalte, et ont subi les mêmes modes destructeurs de gestion des sols.

. Les performances agro-économiques comparées des modes de gestion des sols et des cultures relatifs à la chronoséquence de 4 ans au Sud de l'état de Goiás sont réunies dans la figure 56, et mettent en évidence :

- En présence d'un niveau de fumure minérale moyen de 85N + 50 P₂O₅ + 100 K₂O + oligos, les systèmes de Semis Direct (SD) sont toujours plus productifs que les systèmes du cotonnier sur sol travaillé : l'écart de productivité en faveur du SD varie de 15 à 18% les années climatiques favorables, quel que soit l'état de dégradation du sol au départ, à plus de 30% sur sol peu dégradé et jusqu'à 65% sur sol très érodé durant les années climatiques très défavorables au cotonnier telles que 1997/98 et 1998/99 (*Fig. 56*).

- Sur les fazendas de référence de São Paulo, sur le même type de sol avec une histoire culturelle semblable, en 1999/2000, les rendements de 2 variétés de cotonnier sont supérieurs en grande culture de 5 à 8% sur SD par rapport au labour sur même précédent soja + sorgho et de 15 à 18% par rapport au labour x monoculture de coton (*Fig. 60*).

- Concernant l'état sanitaire du coton, ce dernier est très sensible au pouvoir pathogène du sol (*Rhizoctonia*, *Fusariose*, etc...) à la levée et le système SD accroît cette sensibilité par rapport au travail du sol, dès lors que simultanément : les températures sont fraîches le climat très humide et la biomasse de couverture à C/N bas qui se minéralise très rapidement. Ainsi, le mil à décomposition rapide favorise le "dumping-off" à la levée, alors que le sorgho à décomposition lente le limite (Séguy L., et al., 1998 a et b). Par contre, la gestion de la culture cotonnière en SD réduit très significativement les attaques du complexe parasitaire "bactériose-nématodes" de fin de cycle, par rapport au sol travaillé (Séguy L., et al., 1998 a et c).

- Lorsque le sol a été très fortement pollué et de manière durable par des herbicides de longue rémanence appliqués à trop forte dose, comme le sulfentrazone, certaines biomasses de couverture comme le sorgho montrent un pouvoir dépolluant, désintoxiquant très rapide pour que la productivité du coton retrouve son meilleur niveau (Fig. 57, Séguy L., et al., 1999).

- Cette même couverture de sorgho (*type Guinea*) à décomposition lente (Fig. 58) et à effet allélopathique marqué sur le contrôle de la flore adventice, permet de contrôler naturellement et très efficacement la peste végétale *Cyperus rotundus* qui constitue un obstacle majeur à la mise en culture des sols sur roche volcanique (Séguy L., et al., 1999).

AU PLAN ÉCONOMIQUE, les coûts de production du SD, de mieux en mieux maîtrisés, s'avèrent en moyenne inférieurs de 5 à 10% à ceux des systèmes avec travail du sol (Fig. 59 et 60) ; comme sur les fronts pionniers, le parc des machines peut être réduit de 50% de même que la consommation de carburant (cf. Fig. 61).

- Les marges nettes/ha sont très variables d'une année sur l'autre en fonction des prix payés pour la fibre, eux-mêmes très fluctuants. Elles sont, toujours, comme la productivité, plus stables et nettement plus élevées sur SD que sur sol travaillé = de 30 à 50% en fonction des années (Fig. 56, 59 et 60).
- La culture cotonnière se déplace actuellement massivement vers l'état du Mato Grosso où plus de 300.000 ha ont été conquis en 3 ans. Les systèmes en semis direct de la culture atteignent, chez les meilleurs agriculteurs des rendements records :
 - + 3.642 kg/ha sur 6.306 ha sur la fazenda de notre partenaire MAEDA à Diamantino (MT) [coefficient de variation de 7,1% sur 30 parcelles de culture]
 - + 4.100 kg/ha sur la fazenda Mourão à Campo Verde (MT) sur presque 3.000 ha.

3.3.3. ÉCO-RÉGION DES HAUTS PLATEAUX MALGACHES

Le bilan de l'évaluation des travaux et réalisations en matière de conservation des sols à Madagascar, réalisé en 1996 par l'Office National de l'Environnement Malgache (ONE) sur les hautes terres où l'assistance technique a été particulièrement dense au cours des 40 dernières années, montre, en substance :

- L'impossibilité de restaurer durablement un équilibre biostatique, même partiel, de milieux fortement anthropisés, à partir de techniques importées des pays du Nord, qui exigent des moyens mécaniques

puissants et souvent coûteux (*banquettes en courbe de niveaux, brise-vent, et...*).

- ces ouvrages, anti-érosifs et les techniques culturales utilisées (*labour notamment*), s'avèrent impuissants à traiter durablement les problèmes de dégradation des sols et du milieu, lorsque la pression démographique augmente dans une période économique en pleine dépression :
 - + les Tanety ou collines s'érodent très vite avec la perte de la couverture végétale herbacée et arbustive,
 - + les aménagements sont détruits à l'aval (*ensablement, rupture des ouvrages, etc...*),
 - + les feux de brousse reprennent,
 - + la pratique de la jachère de moyenne et longue durées, devient impossible,
 - + les innovations agronomiques pour l'essentiel de nature productiviste qui ont été pour la plupart construites sur des intrants chimiques plus ou moins coûteux, sont inapplicables (ONE, 1996).

En outre, un diagnostic initial des états de l'agriculture et du milieu physique sur les Hautes Terres a été réalisé dans le cadre de l'opération blé Kobama (*sur l'initiative de son Directeur, I. Romaroson et de Patrick Julien, 1991*) ; les enquêtes ont mis en évidence, au-delà de la dégradation générale et très rapide du milieu physique, les contraintes majeures suivantes :

- chez les agriculteurs des Hauts Plateaux, les performances agro-économiques et techniques des systèmes de cultures pratiqués sur Tanety (*collines*) des sols acides, sont dérisoires : pour la culture de maïs par exemple, qui est très importante dans cette région, la productivité sur sols acides varie entre 700 et 1000 kg/ha avec 5 t/ha de fumier et un calendrier cultural extrêmement chargé de plus de 200 jours/ha en culture manuelle (*De Rham et al., 1995 ; Feyt H. et al., 1999*). Ces nombres traduisent bien, à la fois, un calendrier cultural très contraignant et des conditions de très basse fertilité des sols lorsque seule une fumure organique est utilisée (*la productivité du maïs tombe à moins de 400 kg/ha sans aucune fumure*).

Même si les stratégies paysannes tentent de diversifier l'exploitation intensive des bas fonds par des cultures de contre-saison (*maraiçage, blé, pomme de terre, etc...*) et d'étendre leurs activités de production sur Tanety (*manioc, maïs, patate douce, élevages de porcs, embouche bovine, lait, etc...*), le niveau de productivité du milieu reste extrêmement bas pour des calendriers culturaux toujours fort contraignants et pénibles (*De Rham et al., 1995; Feyt H., Mendez del Vilar P. et al., 1999*).

- . **Performances comparées des systèmes de culture au niveau régional, sur le réseau de sites représentatifs, en milieu semi-contrôlé : les systèmes en semis direct sont toujours les plus productifs, sur tous les types de sols, et progressent d'année en année.**

☞ **Sur les 4 sites de sols acides de basse fertilité (dont les chronoséquences d'ibity et Sambaina) et sur la ferme d'Andranomanelatra**

La productivité moyenne des cultures de maïs, haricot et soja augmentent régulièrement au cours des ans, quels que soient le niveau de fumure utilisé et les conditions climatiques (*Fig.62, 63, 64*).

Les rendements moyens de maïs, passent ainsi, en présence du fumier seul, de 1 100 kg/ha la 1^{ère}. année à plus de 3 000 kg/ha, en 4^{ème}. année sur l'ensemble du réseau des sols acides ; ceux du soja, dans les mêmes conditions, progressent de 1 000 à 2 000 kg/ha et ceux du haricot de 450 à plus de 1 300 kg/ha.

En présence du fumier + fumure minérale, les rendements progressent également tous les ans, pour les 3 cultures.

Sur la culture de maïs, la progression des rendements la plus importante est atteinte avec le fumier seul dans le système en semis direct maïs + légumineuses associées : les rendements triplent sur 4 ans alors qu'ils doublent en présence du fumier + fumure minérale. La technique de l'écobuage³, permet l'année de sa réalisation, de doubler les rendements quelque soit le niveau de fumure associé ; ils se maintiennent ensuite stables pour au moins 3 ans sur tous les niveaux de fumure : sur les 4 sites sols acides, plus de 4 000 kg/ha avec fumier seul, 5 400 kg/ha avec fumier + fumure minérale moyenne et 6 200 kg/ha avec fumier + fumure minérale forte (Fig.62). Les courbes d'évolution de la productivité moyenne de maïs entre parcelles en semis direct écobuées et non écobuées se rapprochent à partir de la 4^{ème}. année sur tous les sites (Fig. 62). En semis direct sur sols acides, la technique de l'écobuage avec fumier seul produit autant que la fumure minérale forte + fumier ; cette technique confirme bien qu'elle équivaut à une fumure de fond (*de correction*) et permet de libérer immédiatement une très forte fertilité même en l'absence de fumure minérale complémentaire : elle double les rendements l'année de sa réalisation et apporte ensuite un gain moyen de rendement de maïs compris entre 50 et 60% quel que soit le niveau de fumure minérale utilisée (Fig. 62).

Avec labour, les rendements de maïs sont, non seulement beaucoup plus bas qu'en semis direct, mais extrêmement fluctuants d'une année sur l'autre : en présence du fumier seul, la productivité moyenne sur 5 ans est de 850 kg/ha, contre 2 500 kg/ha pour le système de semis direct avec légumineuses associées, soit seulement le 1/3 de la productivité (Fig. 62).

En présence de la fumure minérale, le maïs avec labour produit en moyenne sur 5 ans, entre 40 et 70% de moins qu'en semis direct sans écobuage et de 2 à 2,5 fois moins qu'en semis direct avec écobuage.

Sur les cultures de soja et haricot, en absence de fumure minérale, les rendements sur labour restent très bas : 350 kg/ha en moyenne pour le haricot, et baissent régulièrement pour le soja où ils passent de 750 kg/ha en 1^{ère}. année à moins de 400 kg/ha en 4^{ème}. année ; à l'inverse sur semis direct, les productivités de soja et haricot progressent régulièrement quel que soit le niveau de fumure : avec fumier seul et avec fumier + fumure minérale moyenne ou forte, la productivité de soja double en 4 ans, celle du haricot triple. Les systèmes en semis direct produisent en moyenne sur 4 ans, pour ces 2 légumineuses, deux fois plus que sur labour avec fumier seul, et entre 60 et 85% de plus en présence de fumure minérale (Fig. 63 et 64).

L'effet du niveau de fumure minérale moyen est toujours significatif par rapport au fumier seul, pour toutes les cultures en semis direct : les gains

³ ECOBUAGE = Cuisson localisée du sol sous la ligne de semis, avec des pailles enterrées comme combustible . Cette opération libère une forte fertilité qui correspond à l'application d'une importante fumure de fond.

moyens de productivité sur 4-5 ans vont de 37% pour le maïs et le haricot, à 52% pour le soja ; l'effet de cette fumure minérale de niveau moyen par rapport au fumier seul est nettement plus marqué sur ces 3 cultures lorsqu'elles sont pratiquées avec labour : 140% de gain de rendement moyen sur maïs, 102% sur soja et 67% sur haricot (*Fig. 62, 63, 64*).

Si l'effet de la fumure minérale forte par rapport à celui de la fumure minérale moyenne est toujours hautement significatif sur maïs pratiqué avec labour, les gains de rendements ne dépassent pas, par contre, 10-12% sur les 3 cultures lorsqu'elles sont conduites en semis direct (*Fig. 62, 63, 64*).

Performances technico-économiques comparées des systèmes de culture

☞ Utilisation de la main d'oeuvre : le semis direct réduit les temps de travaux, par rapport au labour, de 58 à 65%

Aussi bien pour les petites agricultures familiales qui pratiquent l'agriculture manuelle que pour la grande agriculture mécanisée, les critères qui conditionnent les choix des agriculteurs pour les innovations en matière de systèmes de culture, sont toujours, par ordre décroissant d'intérêt (*Séguy L., Bouzinac S. et al., 1996, Séguy L., 2001 a et b*) :

- facilité d'exécution, réduction du temps de travail et moindre pénibilité pour les opérations du calendrier cultural les plus contraignantes (*préparation des sols avant semis et entretien des cultures surtout*),
- productivité des cultures et prix payés pour les productions, dans le contexte économique du moment qui conditionne l'utilisation d'intrants,
- entretien de la fertilité et lutte contre l'érosion.

Les figures 65 et 66, relatives aux temps de travaux exprimés en jours/hectare, établis sur une période de 5 ans sur le réseau régional de sites, en fonction des différents systèmes de culture, mettent en évidence :

- les systèmes en semis direct, consomment beaucoup moins de main d'œuvre que les systèmes avec labour : les itinéraires techniques relatifs aux cultures de blé, maïs, riz pluvial, haricot et soja nécessitent, respectivement, en moyenne, 74, 84, 96 et 90 jours/ha quel que soit le type de sol, contre 190 à plus de 220 jours/ha pour les itinéraires des mêmes cultures, avec labour ;
- le semis direct offre donc une très forte économie de main d'oeuvre par rapport au labour, justement sur les opérations les plus pénibles du calendrier cultural : le travail du sol et les sarclages. Le labour utilise en moyenne 50 jours/ha, contre seulement 4 jours/ha pour traiter la biomasse de la parcelle de culture ou avec herbicide total de pré-semis ou pour rapporter de la biomasse sèche extérieure à la parcelle de culture et ainsi renforcer la couverture du sol

L'entretien des parcelles de cultures nécessite 60 à 70 jours/ha de sarclages sur labour, contre seulement 6 à 12 jours/ha dans les systèmes de semis direct (*utilisation d'herbicide sélectif ou sarclage manuel minimum, ou les 2 combinés*).

Au total, les temps de travaux, sur l'ensemble des itinéraires techniques en semis direct, sont réduits de 58 à 65% par rapport à ceux conduits avec labour et sarclages traditionnels.

☛ **Performances économiques comparées des systèmes de culture : des avantages écrasants pour le semis direct**

Ces performances économiques ont été établies chaque année sur chaque site, pour chaque système de culture, par hectare. Nous présenterons ici, à titre d'exemple, les résultats de l'année agricole 1997/98.

Les coûts de productions (**CP**) somment les coûts des semences, des intrants (*engrais, pesticides*) et de la main d'œuvre (**MO**). Les marges brutes (**MB**) représentent la différence entre les recettes (**R**) et les coûts de production, moins la main d'œuvre [**R - (CP - MO)**]. Les marges nettes (**MN**) sont obtenues par différence entre les recettes et les coûts de production totaux, y compris la main d'œuvre [**R - (CP + MO)**]. La valorisation de la journée de travail (**VJT**) est le résultat de la division de la marge brute par le nombre de journées de travail (**NJT**).

$$\rightarrow \text{VJT} = \frac{\text{MB}}{\text{NJT}}$$

Les résultats économiques relatifs à l'année agricole 1997/98, sont exposés dans les figures 67 à 69; ils mettent en évidence :

+ Les coûts de production sont systématiquement plus faibles avec semis direct qu'avec labour, quel que soit le niveau de fumure et le type de sol, grâce à la très forte réduction de main d'œuvre en semis direct : 12 à 30% d'économie en fonction de la culture et du niveau de fumure.

+ Les coûts avec fumier seul sont compris entre 1 000 000 et 1 300 000 Fmg/ha (*soit entre 155 et 200 US\$/ha*) ; ils doublent pratiquement avec l'utilisation de la fumure minérale moyenne. L'utilisation de la fumure minérale forte augmente les coûts d'environ 20% par rapport à la fumure minérale moyenne (*1US\$ = 6 451 Fmg*) [Fig. 67].

+ Les marges nettes sont toujours beaucoup plus importantes en semis direct qu'avec labour, pour toutes les cultures et quel que soit le niveau de fumure. Les plus intéressants sur sols acides sont, en semis direct :

- pour la culture de maïs, avec fumier seul : +323 US\$/ha contre +58 US\$/ha sur labour,
- pour la culture de soja, avec fumier + fumure minérale moyenne : +469 US\$/ha, contre +122 US\$/ha sur labour,
- pour la culture de haricot, avec fumier seul : +139 US\$/ha contre une marge négative sur labour de -104 US\$/ha (Fig. 68).

La culture de soja est celle qui valorise le mieux la fertilisation minérale de niveau moyen.

La valorisation de la journée de travail (Fig. 69)

Cet indicateur économique est très pertinent, pour l'évaluation des performances des systèmes de culture car il prend en compte le temps de travail et la marge brute.

Par rapport au SMIG journalier de 0,87 US\$, payé dans la région en 1997/98, les systèmes de semis direct pratiqués avec fumier seul qui valorisent le mieux la journée de travail (Fig. 69), offrent des rémunérations journalières comprises entre 2,13 et 4,65 US\$ sur sols acides de basse fertilité, en fonction des cultures, soit de 3 à 5 fois le SMIG journalier.

Le maïs se montre la production la plus rémunératrice sur sols acides en semis direct avec fumier seul, suivi du soja et du haricot. Le soja est la culture qui valorise le mieux la fumure minérale et offre la meilleure valorisation de la journée de travail : 5,80 US\$ sur fumure minérale moyenne + fumier et 6,00 US\$ sur fumure minérale forte + fumier.

Les systèmes de culture pratiqués avec labour sur sols acides offrent des valorisations de la journée de travail proches du SMIG journalier seulement pour les cultures de maïs et soja.

Les avantages agronomiques et technico-économiques du semis direct par rapport au travail du sol sont écrasants. Cependant, pour en bénéficier pleinement, il est nécessaire de bien contrôler les insectes du sol en Semis Direct, qui peuvent localement affecter négativement la productivité des cultures. Le choix des biomasses de couverture combiné au traitement insecticide des semences et au choix des meilleurs génotypes, constituent les meilleures voies de résolution de ce problème.

IV - DISCUSSION

La capacité des systèmes de culture à séquestrer le carbone, comme leurs performances agronomiques et technico-économiques dépendent d'abord de la capacité des acteurs de la Recherche et du Développement à construire *in situ* des systèmes de culture toujours plus performants.

L'analyse comparée de la capacité de séquestration de Carbone, en régions tropicales subtropicales et tempérées, faite par J.C.M. Sá et al. (2000 a), à partir des résultats obtenus par différents auteurs de ces grandes éco-régions, l'amène à se poser la question fondamentale suivante : Pourquoi l'accumulation de M.O. en semis direct est-elle souvent plus importante sous climat subtropical et tropical que sous climat tempéré alors que le taux de décomposition de la M.O. y est entre 5 et 10 fois plus élevé ? (*Lal R. et Logan T.J., 1995*).

J.C.M. Sá et al (2000 a et b) avancent plusieurs hypothèses concordantes et cohérentes pour expliquer ces modes de fonctionnement de la M.O., pour le moins paradoxaux :

- Si la décomposition des résidus culturaux est effectivement beaucoup plus rapide sous climat tropical en fonction des conditions climatiques particulièrement favorables, elle s'accompagne également d'une libération importante de composés organiques qui agissent comme agents d'agrégation ; ce phénomène augmenterait la quantité de macro-agrégats qui assureraient la protection physique de la M.O.. Les polysaccharides joueraient dans ce processus un rôle déterminant comme agent d'agrégation (*Neufeldt H. et al., 1999*).
- La faculté de cultiver 2 ou même 3 cultures par an rend possible la restitution constante de résidus de différentes compositions phytochimiques = les légumineuses apporteraient surtout les polysaccharides, les graminées fourniraient les polyphénols et leur rotation favoriserait la formation de macro-agrégats stables dans l'horizon superficiel dans lesquels la M.O. serait protégée.

Si les résultats que nous avons obtenus et exposés confirment bien les observations de J.C.M. Sá et al., et peuvent effectivement s'inscrire dans ces hypothèses générales, ils sont déterminés à l'amont par la typologie des systèmes en SD qui constituent à la fois le centre névralgique des explications pertinentes relatives à l'importance du taux de séquestration de C, et le pourvoyeur de systèmes de culture plus performants appropriables par les agriculteurs.

Le Semis Direct (SD) regroupe en fait, sous un même vocable, divers faciès différenciés en fonction de la gestion des matières organiques ; dans la plupart des systèmes de culture pratiques aux U.S.A. et au Sud du Brésil qui concentrent le maximum de surface en SD (*33,2 millions ha*), ce dernier est réalisé surtout dans les résidus de récolte et fait peu appel à des biomasses annuelles "de renfort" excepté dans l'état du Paraná au Brésil (*Ponta Grossa*) où l'avoine en culture pure ou associée à la vesce, et le ray-grass, renforcent, en hiver, une partie de l'assolement (25%), chaque année.

Dans les TCS (*Techniques Culturelles Simplifiées*), très souvent assimilées, et à tort, au Semis Direct en Europe, la surface du sol est toujours remaniée ; or, cet horizon très superficiel joue, comme sous forêt, un rôle fondamental = interface d'échanges essentiels avec l'atmosphère, c'est aussi un lieu d'accumulation des résidus de récolte, d'action des différents organismes décomposeurs du sol (*fragmentation, digestion, incorporation des résidus*), qui sont détruits à chaque

travail du sol même superficiel ; ce dernier peut, en outre, créer des discontinuités physiques nuisibles dans le profil cultural suivant les conditions d'humidité à sa réalisation ; la structure faite par les "chevelus racinaires" de surface doit se refaire en permanence.

Pour faire face aux conditions exceptionnellement élevées de minéralisation de la M.O. en ZTH, le CIRAD a dû faire appel à de nouveaux concepts de gestion de la M.O., inspirés directement du fonctionnement stable de l'écosystème forestier, dans la mise en pratique desquels, les sols, comme sous la forêt doivent être totalement maintenus couverts et protégés par une couverture végétale et ne sont jamais travaillés (Séguy L., et al., 1998 e).

4.1. LES CONCEPTS NOVATEURS DE GESTION DURABLE DE LA RESSOURCE SOL = LE SEMIS DIRECT SUR COUVERTURE VÉGÉTALE PERMANENTE

Les techniques de semis direct (*sans aucun travail du sol*) développées en zones subtropicales (*Brésil*) et tempérées (*U.S.A.*), qui sont construites sur les seuls résidus de récolte, sont insuffisantes en climat tropical pour restaurer rapidement, puis maintenir la fertilité globale du sol, au moindre coût (Séguy L. et al., 1996) :

- Le "réacteur-minéralisation de la M.O.", consomme davantage d'humus qu'il n'en reçoit par les systèmes de culture (*hors prairies et apport exogène de M.O.*) ;
- La restructuration de l'espace poral à partir des seuls systèmes racinaires est insuffisante pour le développement favorable et durable de la plupart des cultures ;
- La couverture du sol n'est plus assurée au bout de quelques semaines, le laissant exposé à l'agression climatique, au passage des outils, et facilitant son envahissement par les adventices (*Fig. 70*).

A partir de ce constat, le CIRAD-CA a alors conçu et mis en pratique de nouvelles techniques de Semis Direct, inspirées directement du fonctionnement de l'écosystème forestier = le semis direct sur couverture permanente du sol.

Si, dans la construction de ces systèmes, la recherche CIRAD a pris pour modèle global de fonctionnement celui de l'écosystème forestier, elle a dû, pour y parvenir, développer une série de concepts fondamentaux complémentaires, relatifs à la gestion de la M.O. :

- **Le concept de biomasse renouvelable, appelée "Pompe biologique"** ; Cette biomasse "d'intercultures" garantit la couverture permanente du sol, même dans les conditions les plus propices à la minéralisation active de la M.O. (*pluviométrie et températures élevées*) et possède de multiples fonctions essentielles et complémentaires qui peuvent s'exprimer grâce au **Principe et au concept de multifonctionnalité des couvertures** :

⇒ **Au-dessus du sol (Fig. 71, 72 et 75) :**

- + **Protection totale** et permanente de la surface contre les excès climatiques (*Rôle d'écran régulateur pour l'eau et la température, et d'écran protecteur pour la faune et les molécules de pesticides, d'amortisseur pour le passage des engins et animaux lourds*) ;

- + **Fonction alimentaire** pour la culture principale (*réglée par C/N et teneur en lignine des parties aériennes et racinaires*) et fonction alimentaire pour les animaux (*intégration de l'élevage, vocation fourragère des biomasses*), pour la faune, la microflore du sol (*Fig. 72*) ;
- + **Fonction de contrôle des adventices** par effets d'ombrage et/ou allélopathiques (*Fig. 75*).

⇒ **Au-dessous du sol (Fig. 71 à 78) :**

- + **Restructuration du sol** par un puissant pouvoir agrégeant du système racinaire (*Trame racinaire = trame de sustentation du sol → à l'image du fer dans le béton armé*), qui lui confère des propriétés physiques et biologiques très performantes = qualité de l'espace poral qui est à la fois très filtrant, aérée, assure un ressuyage rapide du profil cultural (*vidange rapide des excès*) et une bonne capacité de rétention en eau (*microporosité*), et en même temps, se montre très résistant à la déformation par la pression exercée par les machines et les animaux (*Fig. 73, 76 et 78*). La restructuration efficace du profil cultural se fait grâce à la production de substances très efficaces pour l'agrégation : les polysaccharides, les endomycorhizes vésiculo-arbusculaires (*Doss D.D. et al., 1989*) ; les espèces *Eleusine coracana* et *Brachiaria ruziziensis, decumbens, humidicola*, sont exemplaires à cet égard où les racines sont fortement engainées dans un manchon protecteur de microagrégats.
- + **Recyclage des nutriments lixiviés** en profondeurs, en particulier les nitrates, la potasse et le calcium (*fermeture du système "sol - Cultures"*), qui sont remontés en surface grâce aux systèmes racinaires des biomasses "pompes biologiques" très puissants à la fois dans leur capacité de développement en profondeur, et dans leur fort pouvoir d'interception des nutriments et molécules organiques (*Fig. 74*);
- + **Utilisation de l'eau profonde** du sol, en dessous de la zone de pompage des cultures commerciales à l'image de l'écosystème forestier en saison sèche. Cette capacité de se connecter à la réserve d'eau profonde permet de produire de la biomasse verte en saison sèche, d'injecter du carbone en continu dans le profil cultural et d'entretenir une activité biologique soutenue toute l'année (*cf. Fig. 76 et 78*).
- + **Capacité à mobiliser de la fertilité** : extraction de nutriments par le système racinaire, puis remise à la disposition des cultures par minéralisation de la matière sèche, et ceci, surtout en conditions de sols considérées comme improductives pour la plupart des cultures commerciales et/ou alimentaires, industrielles (*Les espèces des genres Eleusine et Brachiaria fixent de l'azote dans leurs rhizosphères grâce à des bactéries non symbiotiques et sont capables grâce à l'endomycorhisation vésiculo-arbusculaire de mobiliser des formes insolubles de phosphore*).
- + **Développement d'une forte activité biologique** soutenue toute l'année : les puissants systèmes racinaires de sustentation du sol constituent des milieux privilégiés, car protégés et jamais remaniés, et sont ainsi propices au développement et à l'activité de la faune et de la microflore.
- + **Pouvoir désintoxiquant des biomasses végétales** de couverture (biorémédiation) = contre la toxicité aluminique par exemple (*le genre Brachiaria*) ou contre la salinité (*acides organiques divers libérés lors de la minéralisation des biomasses de couverture qui exercent un fort pouvoir neutralisant, complexant ; Miyazawa M., Pavan M.A., Franchini J.C., 2000*).

Enfin, le maintien d'une couverture totale et permanente de la surface du sol représente la meilleure et la plus efficace protection contre la pollution par les pesticides (*xénobiotiques*), pour tous les types d'agriculture =

- **En cousant véritablement le sol** par des trames racinaires très puissantes et structurantes, le risque d'entraînement des colloïdes et des autres composants du sol est totalement éliminé (*contrôle parfait des externalités solides, exceptés les solutés*).
- **L'épais écran protecteur**, toujours maintenu au-dessus de la surface du sol, intercepte totalement les produits pesticides (*il coexiste toujours, sur la surface, même en ZTH où le réacteur "minéralisation" est le plus actif en intensité et durée, à la fois : des résidus les plus riches en lignine en voie d'humification restant des cycles précédents, et les "pompes biologiques" vertes qui produisent entre 7 et plus de 15 tonnes/ha de matière sèche ; soit un écran intercepteur vert, vivant, de 35 à plus de 70 tonnes/ha au moment de l'application des herbicides totaux*). La surface du sol est ainsi totalement à l'abri du contact direct avec les pesticides.
- **Les volumes de bouillies d'herbicide total** peuvent être réduits à moins de 50 l/ha et sont absorbés en totalité par la biomasse verte avant de toucher le sol,
- **En développant une très forte activité biologique** dans l'horizon nourricier 0-5 cm, toujours protégé de l'agression anthropique, le système de Semis Direct sur couverture vivante dispose d'un puissant appareil de dégradation à l'égard des quelques molécules qui pourraient éventuellement franchir l'écran protecteur de surface.
Les Semis Direct sur couverture permanente, apparaît sans conteste, une manière de produire plus proprement et, moyennant quelques ajustements techniques, les petites agricultures tropicales devraient pouvoir en bénéficier et voir ainsi leur rémunération augmenter (*argument important de lutte contre la pauvreté*).

4.2. ESSAI DE SYNTHÈSE

Il portera essentiellement sur le cas de la ZTH, meilleur simulateur de la dynamique des matières organiques et sur lequel nous avons accumulé le plus d'expérience.

La gestion de la M.O., renouvelable à court terme et au moindre coût, est au cœur de la construction agro-économique des systèmes de culture durables en SD, plus attractifs pour les agriculteurs, dans lesquels les outils biologiques ont remplacé les outils mécaniques.

Dans les systèmes de SD qui ont été imaginés en milieu tempéré et subtropical, ce sont principalement les résidus de récolte des cultures commerciales (*parties aériennes et racinaires*) qui assurent la bonne marche du SD et déterminent son efficacité et sa qualité (*productivité, capacité à séquestrer le carbone, à recycler les nitrates et les bases, à dégrader les xénobiotiques*). La part donnée aux plantes de couverture dans ces systèmes (*intercultures*) ne porte le plus souvent que sur une faible partie de l'assolement, et le "renfort" de ces "pompes biologiques" pour le fonctionnement global du système SD, n'est de ce fait que périodique, non annuel.

En ZTH, où le "réacteur de minéralisation de la M.O." rencontre des conditions idéales pour son activité maximale, la notion de "renfort multifonctionnel" à partir de plantes de couverture puissantes qui doivent assurer leurs fonctions chaque année, s'est imposé comme une nécessité incontournable pour, d'abord, asseoir un Semis Direct plus performant, plus

stable que tout autre système avec travail du sol, et surtout pour le faire progresser constamment par la suite sur tous les plans : ceux qui intéressent directement l'agriculture et les agriculteurs (*productivité, critères technico-économiques*) et ceux qui confèrent au sol sa capacité à produire plus, durablement, et au moindre coût (*sa qualité biologique en général et son aptitude à séquestrer le carbone en particulier*).

- . Les modes de gestion du sol et des cultures en SD, ont permis, en réalité, de mobiliser une part croissante de la capacité du sol à produire de la matière sèche par voie organo-biologique. Les meilleurs systèmes de culture en SD ont ainsi augmenté graduellement leur capacité de production de biomasse annuelle renouvelable, même en présence de faibles niveaux de fumure minérale appliqués aux cultures commerciales. Le rythme des restitutions de matière sèche au sol (*dessus et dans le profil cultural*) a dépassé rapidement celui des capacités de minéralisation : la M.O. du sol a alors pu s'accumuler.
- . Dans la construction *in situ* de ces systèmes en SD, qui séquestrent efficacement le carbone, la Recherche a dû agir dans une démarche holistique, à la fois =
 - Sur la capacité du sol à produire toujours davantage de biomasse renouvelable au moindre coût (*au-dessus du sol et dans le profil cultural*) ;
 - Sur la qualité de la biomasse produite aussi bien au-dessus du sol que dans le profil cultural, pour que le processus d'accumulation de la M.O. soit supérieur à celui de sa minéralisation.
- . Pour ce qui concerne l'aspect **quantitatif** de biomasse annuelle produite, nous avons introduit dans les rotations et successions annuelles des biomasses de "renfort" ou "pompes biologiques" qui remplissent tout l'espace hydrique disponible avant et après les cultures commerciales, et qui produisent dans ces conditions pluviométriques souvent aléatoires, d'énormes quantités de biomasse sèche sur le sol et dans le profil cultural, qui ferment le système sol-cultures chaque année, et qui régularisent, tamponnent les flux d'échanges et d'énergie avec l'atmosphère (t^o, h), à l'image de l'écosystème forestier.

Nous sommes ainsi passés progressivement du système de monoculture de soja avec travail du sol, faible pourvoyeur annuel de biomasse de nature fugace, à des systèmes à une seule culture annuelle bâtis sur la rotation soja-céréales (*Riz, maïs*) avec travail du sol, puis à des systèmes alternant 2 cultures annuelles en succession en SD une année avec une seule culture l'année suivante, puis à des systèmes à 2 cultures annuelles en succession pratiqués en Semis Direct continu, et enfin à des systèmes à 3 cultures par an, toujours en SD continu, qui comprennent : 1 culture commerciale (*soja, riz, maïs*), suivie de céréales "pompes biologiques" (*maïs, mil, sorgho, Eleusine*) associées à des espèces fourragères qui sont également de puissantes "pompes biologiques" et qui produisent d'importantes biomasses en saison sèche qui peuvent être exploitées comme engrais vert ou pâturage (*genres Brachiarias, Stylosanthes*) [cf. Fig. 76 et 77].

Dans ces systèmes en SD, comme dans l'écosystème forestier, l'association "céréale pompe biologique + espèce fourragère" qui succède à la culture commerciale, utilise l'eau profonde du sol, très largement en dessous de 2 m de profondeur. Cette association a aussi une énorme capacité de reprise végétative aux premières pluies de la saison suivante ou aux pluies parasites de la saison sèche, assurant ainsi une couverture complète et permanente du sol.

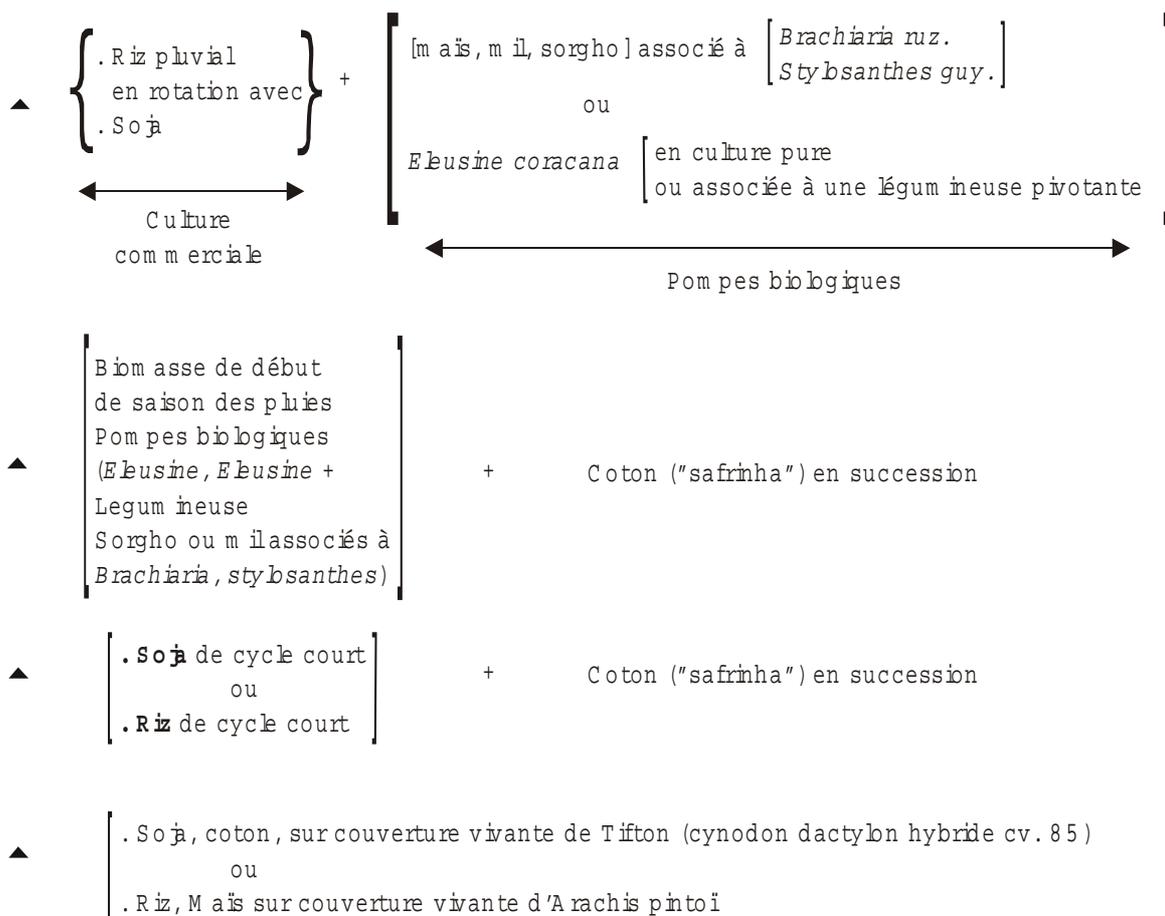
Nous avons donc créé progressivement des systèmes en SD à 3 cultures par an, dont l'action sur la ressource sol déborde très largement la saison des pluies

de 7 à 8 mois et occupe maintenant de fait, les 12 mois de l'année en utilisant mieux les ressources hydriques disponibles en profondeur, comme le fait l'écosystème forestier (Fig. 76).

Nous avons également créé des systèmes de culture en SD sur couverture vivante, dans lesquels cette dernière est une espèce fourragère pérenne qui commande le fonctionnement du système de culture et qui se comporte globalement comme une prairie permanente et reste productive en saison sèche (systèmes soja ou coton sur Tifton, maïs ou riz sur *Arachis pintoï*)

Ces systèmes en SD, produisent en fait une grosse quantité de matière sèche pendant la saison sèche grâce à leur alimentation hydrique en profondeur, donc dans une période où les conditions de minéralisation de la M.O. sont très ralenties = absence de pluies, donc horizons de surface pratiquement secs, humidité de l'air diurne nettement moins élevée qu'en saison des pluies, températures nocturnes plus fraîches. Ces conditions favorisent l'accumulation de la M.O. .

Les systèmes de culture en SD qui, en rotation, sont les plus performants à l'égard de la séquestration de carbone sont :



À titre d'exemple de simulation simplifiée, les meilleurs systèmes de culture en SD, restituent au sol, entre 25 et 30 t/ha/an de matière sèche ; même en considérant un coefficient élevé de minéralisation annuelle de l'humus de 3,5 à 5%, qui correspond à la perte de 1,9 à 2,5 t/ha/an, en partant d'un taux de M.O.

initial de 2,5% dans l'horizon 0-20 cm, si l'on fait l'hypothèse d'un coefficient d'humification moyen minimum de 25% appliqué aux restitutions, la quantité d'humus formée serait comprise entre 6,25 et 7,5 t/ha/an.

La séquestration de carbone avec cette hypothèse serait alors comprise entre 2,5 et 2,75 Mg.C ha⁻¹ an⁻¹ dans l'horizon 0-20 cm, valeurs voisines de celles mesurées *in situ* pour les systèmes en SD les plus productifs en matière sèche restituée (Cf. Fig. 79).

Pour ce qui concerne **la qualité des biomasses** de couverture, la nécessité de maintenir la surface du sol toujours couverte pour le contrôle des adventices au moindre coût nous a conduit à utiliser les biomasses de graminées à C/N élevé et fortes teneurs en lignine, résistantes à la minéralisation, de préférence à celles de légumineuses à C/N bas, de rapide minéralisation qui laissent le sol découvert très vite.

Nos observations et mesures pluriannuelles effectuées à ce sujet sur l'évolution des couvertures du sol (*vitesse de minéralisation, bilan annuel. Cf. annexe*), et sur le suivi du profil cultural dans les meilleurs systèmes de culture en SD, montrent, qu'en climat chaud et humide :

- Les énormes quantités de biomasse produite qui retournent au sol sont "digérées" en fonction du rapport C/N de la biomasse, de sa teneur en lignine et de la nature du contact avec le sol qui conditionne l'intervention de la faune et de la microflore de transformation ; ce dernier critère, pour prévoir la vitesse de minéralisation est également déterminant : des biomasses de légumineuses à C/N moyen, pauvres en lignine dans les feuilles, mais riches en lignine dans les lianes, de type *Pueraria* ou *Calopogonium*, qui possèdent une structure feuilletée une fois desséchées, sont plus lentes à se minéraliser qu'une biomasse de mil à C/N et teneur en lignine beaucoup plus élevés ; dans la structure feuilletée, très légère, très aérée, le contact de la M.O. avec le sol et les organismes décomposeurs du sol (*faune + microflore* ⇒ *fragmentation, digestion, incorporation des résidus*) ne se fait que graduellement, une seule couche à la fois, isolant les feuillets empilés au-dessus du contact avec le sol : la décomposition de ce type de structure végétale est lente.
- Dans la production de biomasse annuelle, la part du compartiment racinaire est également déterminante pour la séquestration de C. Dans nos systèmes, nous avons identifié et choisi les biomasses de "renfort", pompes biologiques, aussi sur la puissance de leur système racinaire, pour assurer les fonctions de recyclage profond des bases et des nitrates, de restructuration et de recharge en carbone du profil cultural.

Les systèmes racinaires qui sont fortement engainés dans des manchons de microagrégats les protégeant de la décomposition (*manchons de polysaccharides et/ou endomycorhisation vésiculo - arbusculaire*), sont probablement la source la plus importante d'accumulation de C (Fig. 78).

Une espèce comme *Eleusine coracana*, par exemple, produit entre 4 et 6 t/ha de racines fortement engainées sur le seul horizon 0-50 cm en 80 jours de végétation ; en réalité, la production totale par hectare de biomasse racinaire est nettement supérieure, car cette espèce exploite plus de 2 m d'épaisseur de sol et l'expression pondérale des racines est encore très importante en dessous de 50 cm de profondeur.

Toutes nos observations sur les profils culturaux révèlent que ces systèmes racinaires engainés et protégés ne sont que partiellement décomposés d'une année sur l'autre.

Le genre *Brachiaria* possède pareillement un système racinaire extrêmement puissant (*l'espèce Brachiaria humidicola est la plus performante à cet égard*) et engainé, qui peut poursuivre sa rhizodéposition et sa recharge en carbone pendant toute la saison sèche, 3 à 4 mois après la récolte des biomasses de couverture qui lui sont associées telles que sorgho, mil, et qui possèdent aussi des systèmes racinaires puissants et profonds. En réalité, dans de tels systèmes en SD, 3 systèmes racinaires se succèdent au cours de l'année en utilisant les réserves hydriques de plus en plus profondes (*voir Fig. 76*).

Les systèmes de culture en SD les plus efficaces comme pourvoyeurs de biomasse racinaire sont ainsi construits à partir des successions :

- Riz pluvial de haute technologie + $\left\{ \begin{array}{l} \text{(Sorgho + } Brachiaria \text{ ruz.)} \\ \text{ou} \\ \text{(} Eleusine \text{ c.), (} Eleusine \text{ c. +} \\ \text{Légumineuse pivotante)} \end{array} \right.$
- Riz pluvial, coton, sur couverture vivante de Tifton

Pour des raisons agronomiques évidentes, la productivité des graminées, comme cultures principales commerciales, telles que le riz pluvial, le maïs, est subordonnée à la disponibilité en azote minéral. Dans les systèmes de culture en SD, l'azote organique augmente en même temps que le carbone dans l'horizon 0-10 cm, et même dans le niveau 10-20 cm, lorsque des espèces fourragères du genre *Brachiaria* sont installées en SD dans la rotation pour 4 ou 5 ans, ou en association tous les ans avec une biomasse de succession (*mil, sorgho*), comme le montrent les résultats du Tableau ci-après.

	TENEURS EN N ORGANIQUE (%)			
	ANNÉE 1		ANNÉE 5	
	APRÈS DEFRICHEMENT			
Chronoséquence 3				
Discage x Riz 2 ans	0-5 cm	0,13	0-5 cm	0,18
SD x [soja+(maïs+Brach.)] 2 ans	5-10 cm	0,12	5-10 cm	0,17
SD x [riz + (brach)] 1 an	10-20 cm	0,06	10-20 cm	0,13
Chronoséquence Cerrado				
	APRÈS 6 ANS de SD soja+mil, sorgho		→ 5 ANS de <i>Brachiaria b.</i> installé en SD	
6 ans SD	0-5 cm	0,16	0-5 cm	0,16
Soja + (mil, sorgho)	5-10 cm	0,12	5-10 cm	0,13
5 ans <i>Brachiaria b.</i>	10-20 cm	0,08	10-20 cm	0,14

Pour compenser les risques d'immobilisation initiale de l'azote en début de saison des pluies dans ces systèmes SD dominés par l'action des graminées, les "pompes biologiques" de succession des cultures principales commerciales, peuvent être associées à des légumineuses pivotantes qui sont fixatrices efficaces de l'azote de l'air (*Seguy L. et al. 1997/2000 - rapports annuels CIRAD/AGRONORTE*).

La présence du soja comme culture principale, une année sur deux, constitue aussi une option de tout premier choix pour fixer efficacement de l'azote gratuitement au niveau de la rhizosphère et fournir des résidus à C/N bas, pauvres en lignine, de rapide décomposition, qui garantissent une fonction alimentaire, rapide en N, Ca, K, S aux cultures en succession dans la même

année (*biomasses pompes biologiques associées ou non à des espèces fourragères*).

En définitive, en ZTH, où pourtant l'intensité de la minéralisation de la M.O. est la plus élevée des régions tropicales, il a été possible de bâtir des systèmes de culture en Semis Direct qui accumulent de la M.O. et dont les grands principes de fonctionnement sont similaires à ceux de l'écosystème forestier, notre modèle conceptuel.

Cette construction progressive a été rendue possible d'abord par l'esprit et la capacité de création des différents partenaires qui ont œuvré ensemble et qui ont pu avancer rapidement grâce à une méthodologie d'intervention *in situ*, qui a permis, partant du modèle de fonctionnement stable de l'écosystème forestier, de comprendre et d'expliquer les mécanismes principaux, et de formuler les lois agronomiques essentielles qui régissent les fonctionnements différenciés des systèmes de culture.

Le dossier, en annexe, synthétise de manière très didactique et à partir d'exemples illustrés et chiffrés, le fonctionnement des meilleurs systèmes de culture actuels en SD, bâtis par le CIRAD-CA en ZTH, entre 1986 et 2000 ; il passe en revue successivement :

- Le modèle de l'écosystème forestier, la notion de pompe biologique,
- La multifonctionnalité comparée des biomasses de couverture les plus intéressantes en ZTH, et leurs performances agronomiques (*parties aériennes et racinaires*),
- Une image synthétique des systèmes actuels en SD, qui intègrent agriculture et élevage, avec exposé de leurs fonctions essentielles,
- La comparaison du fonctionnement des meilleurs systèmes en SD avec celui de l'écosystème forestier notre modèle d'inspiration,
- Des photos représentatives de l'agriculture d'hier d'aujourd'hui et de demain, qui retracent l'histoire de l'évolution des modes de gestion des sols et des cultures en ZTH pionnière du Sud de l'Amazonie.

V - CONCLUSIONS

Le semis direct sur couverture permanente du sol est probablement le paradigme le plus complet qui ait été construit à ce jour pour le développement planétaire d'une agriculture durable, préservatrice de l'environnement, gérée au plus près du "biologique".

Plus que porteur d'espoir, il montre ses capacités à restaurer le statut organique des sols, aussi rapidement qu'il se dégrade avec le travail du sol destructeur, dans de grandes éco-régions subtropicales et tropicales ; l'exemple de la zone tropicale humide (ZTH) est éloquent à ce sujet, là où les processus qui commandent la dégradation de la ressource sol (*érosion*), la minéralisation de la M.O., vont plus vite que partout ailleurs sur la planète. Le statut organique des sols peut, avec l'utilisation des systèmes de culture en SD les plus performants, rejoindre rapidement et même dépasser celui des écosystèmes naturels (*forêts, cerrados*), même dans ces éco-régions à climat excessif où température et pluviométrie sont très élevées et où les sols sont vides "chimiquement" et présentent un pouvoir de rétention dérisoire vis à vis des engrais minéraux.

Si le Semis Direct sur couverture végétale permet, toujours, dans toutes les grandes éco-régions étudiées, de séquestrer du carbone, l'importance de cette séquestration dépend de la nature, de la typologie des systèmes de culture pratiqués : les plus performants pour cette fonction sont ceux qui produisent le plus de biomasse aérienne à C/N et teneur en lignine élevés, et qui possèdent des systèmes racinaires très développés en surface et en profondeur pour pouvoir utiliser efficacement l'eau profonde du sol, en dessous de la zone d'activité racinaire des cultures commerciales. Les systèmes racinaires les plus résistants à la minéralisation sont ceux qui sont entourés de manchons importants de microagrégats qui protègent la M.O. (*polysaccharides, endomycorhizes vésiculo - arbusculaire, polyphénols*), tels qu'en possèdent l'espèce *Eleusine coracana*, cultivée pure ou en association avec des légumineuses pivotantes, ou le genre *Brachiaria* associé aux pompes biologiques recycleuses telles que mil et sorgho.

Dans ces systèmes, la production de matière sèche est continue toute l'année, par l'utilisation progressive d'un réservoir hydrique énorme sur une grande épaisseur de sol, et les concentrations en M.O. augmentent à la surface du sol. La recharge en carbone intéresse surtout l'horizon 0-10 cm, mais aussi celui de 10-20 cm, lorsque les graminées les plus puissantes au niveau racinaire sont utilisées (*genres Eleusine, Brachiaria associée à sorgho, mil ou utilisée comme pâturage sur 4 à 5 ans ; espèces pérennes employées comme couvertures vivantes telles que Cynodon dactylon, Pennisetum clandestinum*). L'augmentation de la M.O. en surface accroît la résistance des microagrégats et la protection des M.O. ; ces M.O. augmentent la stabilité des agrégats où elles se trouvent, et les agrégats plus stables, à leur tour, protègent les M.O. qui y sont incorporées, établissant ainsi des relations réciproques entre dynamique de la M.O. et stabilité de l'agrégation (*autorégulation , autoprotection*).

L'évolution des performances agronomiques et technico-économiques des systèmes de culture accompagne, dans toutes les grandes éco-régions, l'évolution du statut organique des sols :

- en ZTH, entre 1986 et 2000, en agriculture moderne mécanisée, les rendements des cultures principales soja et riz ont plus que doublés et la production de matière sèche totale par hectare a été multipliée par 4 à 5, permettant de produire 2 cultures annuelles de grains en succession plus de la viande ou du lait en saison sèche, tout en protégeant totalement le sol ;

- Dans l'écologie des forêts tropicales du Centre-Ouest du Brésil, sur des sols ferrallitiques issus de basaltes, à très fortes pentes, le Semis Direct en culture moderne mécanisée, permet d'arrêter définitivement l'érosion, de produire 10 à 30% de coton en plus, de diversifier la production, tout en contrôlant la peste végétale *Cyperus rotundus*.
- Dans l'éco-région subtropicale d'altitude des hauts plateaux de Madagascar, siège d'une érosion catastrophique, où se pratique une petite agriculture familiale, manuelle et en traction animale avec minimum d'intrants, la productivité des systèmes en SD est de 2 à 5 fois supérieure à celle des systèmes avec travail du sol pour les cultures principales de maïs, haricot et soja.

. Dans toutes les grandes éco-régions, quel que soit le type d'agriculture, les systèmes en SD contrôlent totalement l'érosion et sont toujours nettement plus lucratifs que les systèmes avec travail du sol ; les économies de main d'œuvre ou de machines agricoles et de combustible sont spectaculaires en faveur du Semis Direct (SD).

Ces résultats obtenus dans des éco-régions très différenciées, montrent que le Semis Direct sur couverture végétale permanente du sol permet de produire plus de manière plus stable et plus proprement, en donnant une part croissante à la fertilité d'origine organo-biologique dans la capacité du sol à produire. Ce type d'agriculture qui fait appel à la notion de "biomasse annuelle, pompe biologique" comme "renfort" des cultures commerciales, peut agir comme stockeur net de CO₂ et non plus comme producteur net.

Les effets bénéfiques pour la qualité biologique des sols, de l'eau, peuvent être très rapides et positionner cette activité comme dépolluante et en ce sens, lui permettre de recueillir des aides de la société civile pour sa participation à la limitation de l'effet de serre, à la préservation des paysages, des infrastructures rurales et de la faune = des "crédits carbone" pourraient constituer un moyen stimulant pour soutenir le développement agricole dans ce sens. Ces crédits pourraient être modulés en fonction de la capacité des itinéraires techniques et des systèmes de culture à séquestrer le carbone et pourraient être de ce fait des arguments de choix décisifs pour les agriculteurs.

Mais, ces scénarios ne sont réalistes et possibles que si les divers acteurs du développement sont capables, œuvrant de concert et *in situ*, de créer ces systèmes de culture du futur, plus performants à la fois pour séquestrer le carbone, recycler les nitrates et les bases, dégrader les xénobiotiques (*critères des scientifiques et de la société civile*), et qui satisfassent aux critères de choix de l'agriculture durable et à ceux des agriculteurs (*agronomiques et technico-économiques*).

La méthodologie de Recherche-Action présentée dans ce document permet de répondre aux exigences de tous et de les concilier. La modélisation des systèmes de culture conduit, partant des systèmes en vigueur, à construire pour et avec les producteurs, dans leur milieu, une typologie très diversifiée de systèmes de culture possibles et appropriables. Cette expérience montre comment notre démarche expérimentale peut permettre de replacer *in situ*, dans le cadre de systèmes novateurs construits avec les agriculteurs, des études aussi fondamentales que celles relatives à la dynamique du carbone, au recyclage annuel efficace des nitrates et des bases, à la dégradation des xénobiotiques, à la biorémediation en général.

Au cours de la démarche expérimentale pratiquée *in situ*, ces thématiques fondamentales sont traitées et mises en regard des performances agronomiques et technico-économiques des systèmes de culture qui pourront être appropriés demain

par les producteurs ; l'impact économique de la dynamique du carbone, des nitrates, des bases et des xénobiotiques peut donc être évalué préventivement ; en conséquence, c'est une manière d'incorporer et de traiter les exigences de la société civile et de la science au sein de la typologie des systèmes de culture, dans la pratique même des agricultures régionales.

. Cette expérience révèle aussi l'importance de la ZTH, comme "simulateur exceptionnel" pour l'étude scientifique de la dynamique du carbone : dans un climat à très forte pluviométrie sur 7,5 à 8 mois et à température moyenne très élevée, les vitesses de réaction des processus fondamentaux qui commandent la dynamique du carbone, mais aussi la lixiviation des nitrates et des bases, y sont bien plus élevées que partout ailleurs, et permettent d'appréhender la dynamique, même à très court terme, de ces processus fondamentaux de fonctionnement. C'est une façon académique et rigoureuse d'élucider ces phénomènes, en raccourcissant l'espace - temps, donc un auxiliaire précieux de modélisation pour la recherche qui permettra de préfigurer ces dynamiques pour toutes les autres grandes éco-régions de la planète où la vitesse des réactions est beaucoup plus lente.

Les unités opérationnelles de création-diffusion des scénarios de l'agriculture durable de demain sont organisées en réseau tropical et subtropical au sein du CIRAD. Cet ensemble très diversifié aux plans des environnements physiques et socio-économiques rassemble une maille d'unités opérationnelles de terrain pilotées par la recherche avec l'appui des agricultures locales, qui sont des laboratoires de veille et d'exception pour l'analyse anticipée des impacts des systèmes en SD sur le milieu et les hommes qui le cultivent, et pour la modélisation scientifique du fonctionnement de ces systèmes qui sont en prise directe avec les réalités agricoles régionales. Ces unités qui préfigurent les scénarios de l'agriculture "propre" de demain, sont très en avance sur les scénarios actuels de développement et constituent donc, par là même, des outils précieux de pilotage de l'agriculture du futur pour concilier les exigences de la société civile (*lutte contre l'effet de serre, produits alimentaires sains*) et celles des agriculteurs (*agriculture durable et lucrative, au moindre coût, dans un environnement protégé et propre*). Le Réseau Semis Direct sur couverture végétale du CIRAD-CA qui s'étoffe à grands pas grâce à l'appui de la coopération française (AFD, MAE, FFEM), couvre l'Amérique Latine avec le Brésil et le Mexique, l'Océan Indien avec Madagascar (*Travaux de H. Charpentier, R. Michellon du CIRAD, ONG TAFA, ANAE, FOFIFA et ONG associées*) et l'Île de la Réunion (*Travaux de R. Michellon et al., A. Chabanne, J. Boyer, F. Normand, APR, DDA*), l'Asie avec le Laos (*Travaux de P. Julien, F. Tivet et recherche laotienne*) et le Vietnam (*Travaux de O. Husson, P. Lienard, S. Boulakia et recherche vietnamienne*), et va s'étendre à l'Afrique dans le début des années 2000 (*Tunisie déjà en cours, Cameroun, Mali, Ethiopie à venir*).

Ce Réseau pluri-écologies d'unités opérationnelles "systèmes de culture en Semis Direct" du CIRAD-CA est aussi un support de formation pour tous les acteurs du développement et peut devenir une référence mondiale (*diversité des écologies, des systèmes de culture, du niveau de maîtrise*) où la recherche anticipe, crée les systèmes de demain, modélise leur fonctionnement, évalue et explique à la société civile leurs impacts sur les milieux physique et humain, avant qu'ils ne soient adoptés à très grande échelle. Cette démarche rejoint le principe salutaire de précaution et la nécessité qu'il est toujours préférable de prévenir plutôt que de guérir (*rôle du laboratoire de veille, d'avertissement*).

VI - RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AMADO, T.J.; PONTELLI, C.B.; JÚNIOR, G.G.; BRUM, A.C.R.; ELTZ, F.L.F. & PEDRUZZI, C.** Sequestro de carbono em sistemas conservacionistas na Depressão Central de Rio Grande do Sul. In: V Reunión bienal de la red latinoamericana de agricultura conservacionista. p.42-43, Florianópolis, 57p, **1999**..
- BATJES, N.H.** Total carbon and nitrogen in the soils of the world. Eur. J. Soil Sci. 47:151-163, **1996**.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; AMADO, T.J.C.; MARTIN-NETO, L. & FERNANDES, S.V.** Organic matter storage in a sandy clay loam acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. Soil & Till. Res. 54:101-109, **2000**.
- BOULAKIA, S.; MADJOU C.; SÉGUY, L.** Impacts de quelques itinéraires techniques de Semis Direct, comparés au travail du sol, sur des indicateurs fondamentaux de gestion de la fertilité sous climat équatorial. Doc. Interne CIRAD, -11p. 34398 Montpellier Cedex 5 France - **1999**.
- BORGES, G.** EDITORIAL - Especial 10 anos, retrospectiva dos principais fatos que foram notícia - Revisão Plantio Direto, edição nº 59 48p - Setembro/outubro de **2000**.
- CAMBARDELLA, C.A. & ELLIOT, E.T.** Carbon and nitrogen dynamics of soil organic matter fractions from cultivated grassland soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 58:123-130, **1994**.
- CERRI, C.; FELLER, C.; BALESSENT, J.; VICTORIA, R., et PLENECASSAGNE, A.** Application du traçage isotopique naturel en ^{13}C à l'étude de la dynamique de la matière organique dans les sols - Comptes - Rendus de l'académie des sciences, Paris, 300 : 423-428. **1985**.
- CHAUSSOD, R.** La qualité biologique des sols = évaluation et implications. p.261-278 - volume 3, numéro 4 - AFES, **1996**.
- CORAZZA, E.J.; SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S. & GOMES, A.C.** Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de cerrado. R. Bras. Ci. Solo. 23:425-432, **1999**.
- DE RHAM** et al. Enjeu des tanety pour le développement paysan en imerina. 20p. FAFIALA ONG - ANTANANARIVO - MADAGASCAR.
- DICK, W.A.; BLEVINS, R.L.; FRYE, W.W.; PETERS, S.E.; CHRISTENSEN, D.R.; PIERCE, F.J. & VITOSH, M.L.** Impacts of agricultural management practices on C sequestration in forest-derived soils of the eastern Corn Belt. Soil & Till. Res. 47:235-344, **1998**.
- DOSS, D.D. ; BAGYARAJ, D.J. and SYAMASUNDAR, J.** Morphological and histochemical changes in the roots of finger millet *Eleusine coracana* colonized by VA mycorrhiza. Proc. India Natl. Sci. Acad. 54 :pg 291-293 . **1989**.

- ELLIOT, E.T.** Aggregate structure and carbon, nitrogen and phosphorus in native and cultivated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50:627-633, **1986**.
- ESWARAN, H.; VAN DER BERG, E. & REICH, P.** Organic carbon in soils of the world. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57:192-194 – **1993**.
- FEBRAPDP** - Federação brasileira de plantio direto na palha 2000. Evolução da área de plantio direto no Brasil - dados estatísticos. <http://www.agri.com.br/febrapdp/pd>.
- FELLER, C.** La matière organique dans les sols tropicaux à argile 1:1. Recherche de compartiments organiques fonctionnels. Une approche granulométrique. Thèse de doctorat d'Etat, Orstom, Université Louis Pasteur, Strasbourg, France, 393 pages + annexes.- **1995**.
- FEYT, H., MENDEZ DEL VILLAR, P.; RAVOHITRARIVO, C.P.; RABENJANA HARY E.; ENQUÊTES** - Études de la variabilité de la filière semences de FIFAMANOR dans le cadre du désengagement de l'état - DOC FOFIFA - CIRAD - ANJANANARIVO – MADAGASCAR **1999**.
- IPCC, 1995.** Climate change 1995. Working group 1. IPCC, Cambridge: Cambridge University Press, **1996**.
- KERN, J.S. & JOHNSON, M.G.** Conservation tillage impacts on national soil and atmospheric carbon levels. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57:200-210, **1993**.
- LAL, R. & LOGAN, T.J.** Agricultural activities and greenhouse gas emissions from soils of the tropics. p.293-307. In: Lal, R. Kimble, J.M., Levine, E. and Stewart, B.A. (ed.). *Soil management greenhouse effect*. CRC Press, Boca Raton, FL., **1995**.
- LAL, R.; KIMBLE, J.; LEVINE, E. & WHITMAN, C.** World soils and greenhouse effect: An overview. p.1-7. In: R. Lal, J. Kimble, E. Levine and B.A. Stewart (ed.). *Soils and global change*. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida, MI., **1995**.
- LAL, R.** Long-term tillage and maize monoculture effects on a tropical Alfisol in Western Nigeria. II. Soil Chemical properties. *Soil & Till. Res.* 42:161-174, **1997**.
- LAL, R.** Soil management and restoration for C sequestration to mitigate the accelerated greenhouse effect. *Progress in Env. Sc.* 4:307-326, **1999**.
- MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A.; FRANCHINI, J.C.** Neutralização da acidez do perfil de solo por resíduos vegetais - Informações agronômicas da POTAFOS - nº 92 - Dezembro/2000. CP 400 - CEP 13400-970. Piracicaba-SP. Brasil; **2000**.
- NEUFELDT, H.; AYARZA, M.A.; RESK, D.V.S. & ZECH, W.** Distribution of water-stable aggregates and aggregating agents in Cerrado Oxisols. *Geoderma* 93:85-99, **1999**.
- REICOSKY, D.C.; KEMPER, W.D.; LANGDALE, G.W.; DOUGLAS Jr., C.L. & RASMUSSEN, P.E.** Soil organic matter changes resulting from tillage and biomass production. *J. Soil Water Cons.* 50:253-261, **1995**.
- SÁ, J.C.M.; CERRI, C.C.; LAL, R.; DICK, W.A.; VENZKE FILHO, S.P.; PICCOLO, M. & FEIGL, B.** Organic matter dynamics and sequestration rates for a tillage

chronosequence in a Brazilian Oxisol. Soil Sci. Soc. Am. J. "em revisão final",
2000.

SÁ, J.C.M.; CERRI, C.C.; DICK, W.A.; LAL, R. Plantio Direto = Recupera a matéria orgânica do solo e reduz a emissão de CO₂ para a atmosfera - In = Revista Plantio Direto - edição nº 59, setembro/outubro de 2000. P41-45 - Aldeia Norte editora Ltda, Rua Moron 1324, 8º andar, sala 802.; 99010-032 - Passo Fundo – RS, **2000.**

SÉGUY L. . Contribution à l'étude et à la mise au point des systèmes de culture en milieu réel : - petit guide d'initiation à la méthode de création-diffusion de technologies en milieu réel, - résumés de quelques exemples significatifs d'application. Doc. CIRAD, , 191p. - 34398 Montpellier cedex 5 - France Octobre **1994.**

SÉGUY L.; BOUZINAC S.,- Rapports annuels de recherches sur les fronts pionniers du Mato Grosso - ZTH - 1992/2000. Doc. INTERNES CIRAD, 34398 Montpellier cedex 5 – France **1992/2000.**

SÉGUY L.; BOUZINAC S.; TRENTINI A.; CORTEZ N.A. - L'agriculture brésilienne des fronts pionniers. Agriculture et développement nº12, décembre 1996. pp;2-61. - 34398 Montpellier cedex 5 - France. **1996.**

SÉGUY L.; BOUZINAC S.; MAEDA E.; MAEDA N. . Brésil : semis direct du cotonnier en grande culture motorisée. Agriculture et développement nº17, Mars 1998. pp.3-23. - 34398 Montpellier cedex 5 – France **1998 a.**

SÉGUY L.; BOUZINAC S.; MAEDA E.; MAEDA N. . Large scale mechanized direct drilling of cotton in Brazil. The ICAC Recorder. Technical Information Section, vol. XVI, nº1, march 1998, pp.11-17. - 34398 Montpellier cedex 5 – France **1998 b.**

SÉGUY L.; BOUZINAC S.; MARONEZZI A.C. Semis direct et résistance des cultures aux maladies. Doc. CIRAD, 1998, 4p. -34398 Montpellier cedex 5 – France **1998 c.**

SÉGUY L.; BOUZINAC S.; MARONEZZI A.C. -. Les plus récents progrès technologiques réalisés sur la culture du riz pluvial de haute productivité et à qualité de grain supérieure, en systèmes de semis direct. Ecologies des forêts et cerrados du Centre Nord de l'Etat du Mato Grosso. Agronorte - Sinop-MT, 4 pages - 34398 Montpellier cedex 5 - France. **1998 d.**

SÉGUY L.; BOUZINAC S. - Cultiver durablement et proprement les sols de la planète, en Semis direct. Doc. INTERNE CIRAD, 1998, 45p. - 34398 Montpellier cedex 5 – France **1998 e.**

SÉGUY L.; BOUZINAC S.; MAEDA E.; IDE M.A.; TRENTINI A. La maîtrise de *Cyperus rotundus* par le semis direct en culture cotonnière au Brésil. Agriculture et développement nº 21, mars 1999. pp.87-97 - 34398 Montpellier cedex 5 - France- **1999.**

SÉGUY L.; BOUZINAC S.; TAFFAREL W.; TAFFAREL J. - Méthode de défrichement préservant la fertilité du sol. In: Bois et forêts des tropiques - nº 263 – 1º trimestre 2000 - p.75-79. CIRAD - 34398 Montpellier cedex 5 – France **2000.**

SÉGUY L. . Les techniques de semis direct sur couvertures végétales dans la région des Hauts Plateaux de Madagascar. Doc. CIRAD provisoire, 100 pages, Partie

d'un document collectif sur Madagascar à paraître pendant l'année 2001. - 34398 Montpellier cedex 5 - France. **2001a.**

SÉGUY L. . Quelques éléments simples et utiles: - à la compréhension de la démarche du CIRAD-CA en matière d'agroécologie - à la rédaction d'un projet scientifique SCV. Document CIRAD, , 23 pages. - 34398 Montpellier cedex 5 – France – **2001b.**

SHEID LOPES A. Solos sob "Cerrado", características, propriedades e manejo. 162p. POTAFOS - Piracicaba, SP, - Brasil ,**1984** .

VAN RAIJ B., Fertilidade do solo e adubação - 343p. POTAFOS - Piracicaba, SP - Brasil **1991.**

VII – ANNEXES

FONCTIONNEMENT DU SEMIS DIRECT EN ZTH DES SAVANES ET DES FORÊTS DU CENTRE-OUEST BRÉSILIEN

DOSSIERS PHOTOS :

- + LA DESTRUCTION DU PATRIMOINE SOL TROPICAL OU
L'ÉCHEC DU TRANSFERT NORD-SUD DE GESTION DU SOL**
- + CONTRÔLE TOTAL DE L'ÉROSION ET RESTAURATION DE
LA FERTILITÉ DES SOLS PAR VOIE ORGANO-BIOLOGIQUE
PAR LE SEMIS DIRECT SUR COUVERTURE VÉGÉTALE**
- + LES SYSTÈMES DE CULTURE EN SEMIS DIRECT LES PLUS
PERFORMANTS EN ZTH**
- + QUELQUES IMAGES DU SEMIS DIRECT À MADAGASCAR**

DOSSIER PHOTOS



**LA DESTRUCTION
DU PATRIMOINE
SOL TROPICAL
OU
L'ÉCHEC
DU TRANSFERT
NORD-SUD DE
GESTION DES SOLS**



L'ÉROSION DES SOLS TRAVAILLÉS

**EN ZONE TROPICALE HUMIDE - ZTH - (1700 > 2500 mm)
Écologie des savanes et forêts humides**

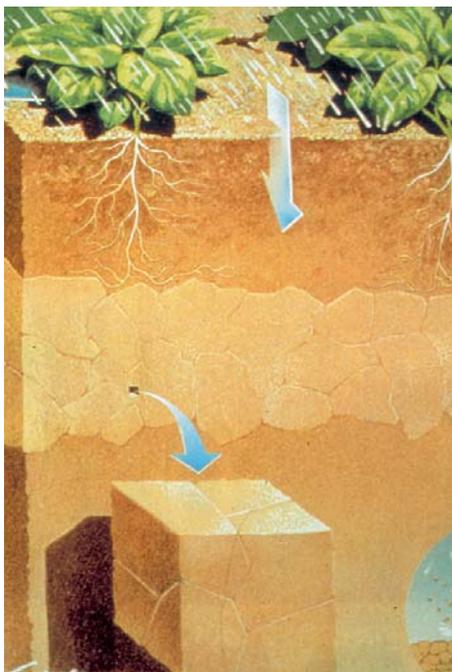
Domaine des sols ferrallitiques sur roche acide



Savanes et forêts humides, dernier réservoir de terres arables



Des sols ferrallitiques vides chimiquement (passage sans engrais)



Sols compactés par discages x monoculture



Érosion catastrophique sur unité de paysage (Soja)



Destruction des horizons organiques, seule richesse de ces sols



**Sur Sol Sableux:
- À gauche = discages
- À droite = Semis direct**

SOLS FERRALLITIQUES ROUGE-FONCÉS SUR BASALTE **Écologie des forêts du Centre Sud Brésil**



Érosion éolienne

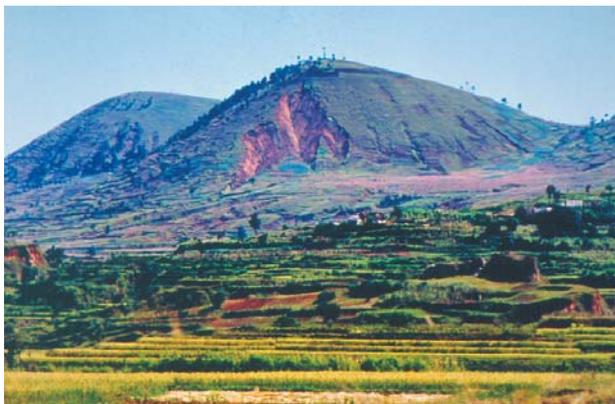


Destruction des jeunes cotonniers par l'érosion éolienne



Forte érosion hydrique

SOLS FERRALLITIQUES HUMIFÈRES DES HAUTS **PLATEAUX MALGACHES (1200-1800m) - Zone cyclonique**



**Forte érosion hydrique -
Unités de paysage très dégradées**

**AVEC LA DÉGRADATION DU STATUT ORGANIQUE DES SOLS =
DES CONSÉQUENCES MAJEURES ET GÉNÉRALISÉES SUR LES CULTURES**

- Des adventices qui prolifèrent



Flore diversifiée d'adventices sur Coton



Sur Coton = Peste végétale (*Cyperus rot.*)

- Des désordres physiologiques majeurs,...



Pyriculariose sur Riz pluvial



- Chaulage excessif, trop superficiel:
Carences en Mn, Zn, sur Soja



Déficiencia en Bore (Soja)

• Des déséquilibres biologiques importants,...



Sol infesté par Nématodes (Coton)

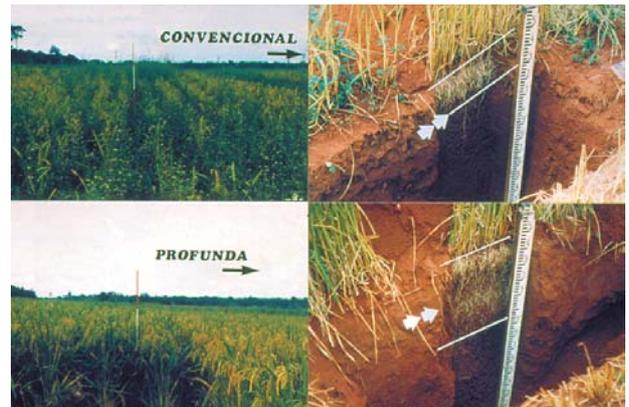


Sol infesté par *Cyperus rotundus* (Coton)

• Des profils culturaux compactés, asphyxiants,...



Sur Soja (ZTH)



Sur Riz pluvial:
 - Compacté , en haut à droite
 - Décompacté, en bas à droite



Sur Coton



**CONTRÔLE TOTAL
DE L'ÉROSION
ET**

RESTAURATION

**DE LA FERTILITÉ
des sols par voie
organo-biologique**

par le

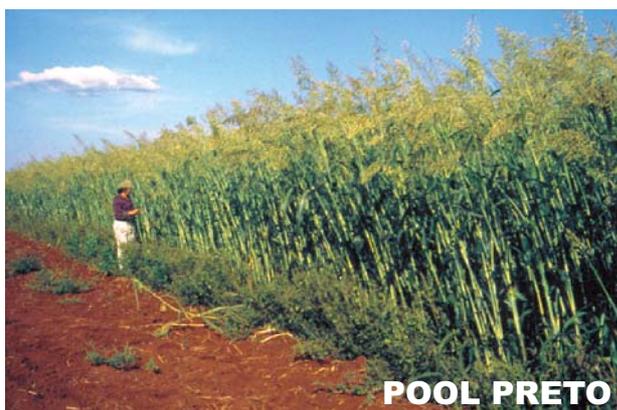
**SEMIS DIRECT
sur couverture végétale**

DES ESPÈCES CULTIVÉES, “POMPES BIOLOGIQUES”, AUX PROPRIÉTÉS MULTIFONCTIONNELLES, ASSURENT LA PÉRENNITÉ DU SEMIS DIRECT, AU MOINDRE COÛT

- Peuvent être cultivées en culture pure ou associée avec une espèce fourragère également pompe biologique



Mil, avec des productions de biomasse très différenciées en fonction des cultivars



Sorgho à qualité supérieure de grains (sans tanins, haute teneur en protéines), des productions de biomasse très différenciées en fonction des cultivars -



Éleusine coracana

L'espèce la plus puissante au niveau racinaire (5 t.ha^{-1} , sur 0-50 cm)



Brachiaria brizantha
en pleine saison sèche (ZTH)



***Panicum maximum* (Tanzânia)**
en pleine saison sèche (ZTH)



***Stylosanthes guyanensis* (CIAT 184)**
en pleine saison sèche



Crotalaria spectabilis
Précédent Riz pluvial, en semis direct



***Coix lacryma jobi* (Adlai)**
24 t . ha⁻¹ de matière sèche totale

LES POMPES BIOLOGIQUES: DES SYSTÈMES RACINAIRES AUX MULTIPLES FONCTIONS ANNUELLES DE SUSTENTATION DU SEMIS DIRECT

- “Coudre” le sol en surface (*contrôle total de l'érosion*)
- Restructurer le profil cultural (*favorable à toutes cultures en rotation*)
- Capacité à se connecter à l'eau profonde (*produire plus de matière sèche*)
- Capacité à recycler les nitrates, les bases, lixiviés (*fermeture du système sol-cultures*)
- Recharger le profil cultural en carbone (*agrégation, protection*)
- Fixer de l'azote (*cas des légumineuses, Éleusine coracana, Brachiarias*)



Photo: O. Husson

Racines *Brachiaria humidicola*, 2 ans



Photo: O. Husson

Racines *Brachiaria humidicola*, 2 ans



Photo: O. Husson

Racines
Brachiaria Brizantha



Photo: O. Husson

Stylosanthes guyanensis CIAT 184,
forte biomasse



Photo: O. Husson

Brachiaria humidicola CIAT 6133
et racines

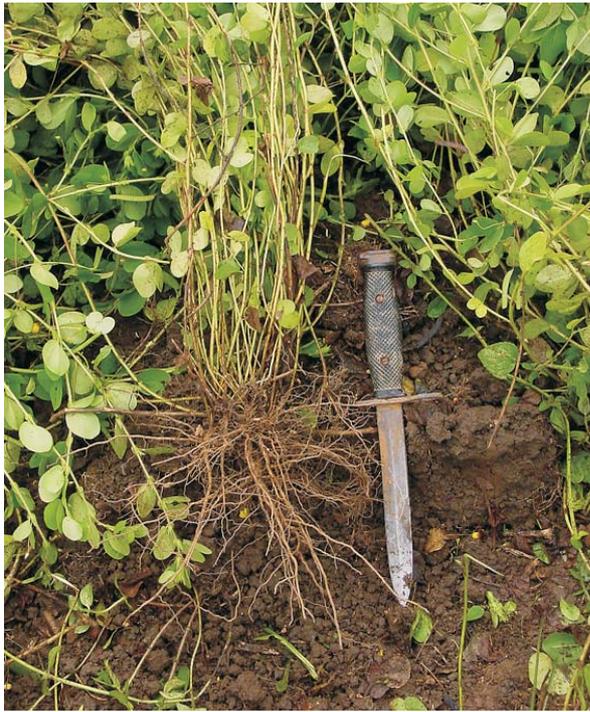


Photo: O. Husson

***Cassia rotundifolia* et racines**



Photo: O. Husson

***Paspalum atratum* et racines**



Photo: O. Husson

**Nodosités sur racines
*Cassia rotundifolia***



Photo: O. Husson

Racines *Stylosanthes guyanensis* CIAT 184



Photo: O. Husson

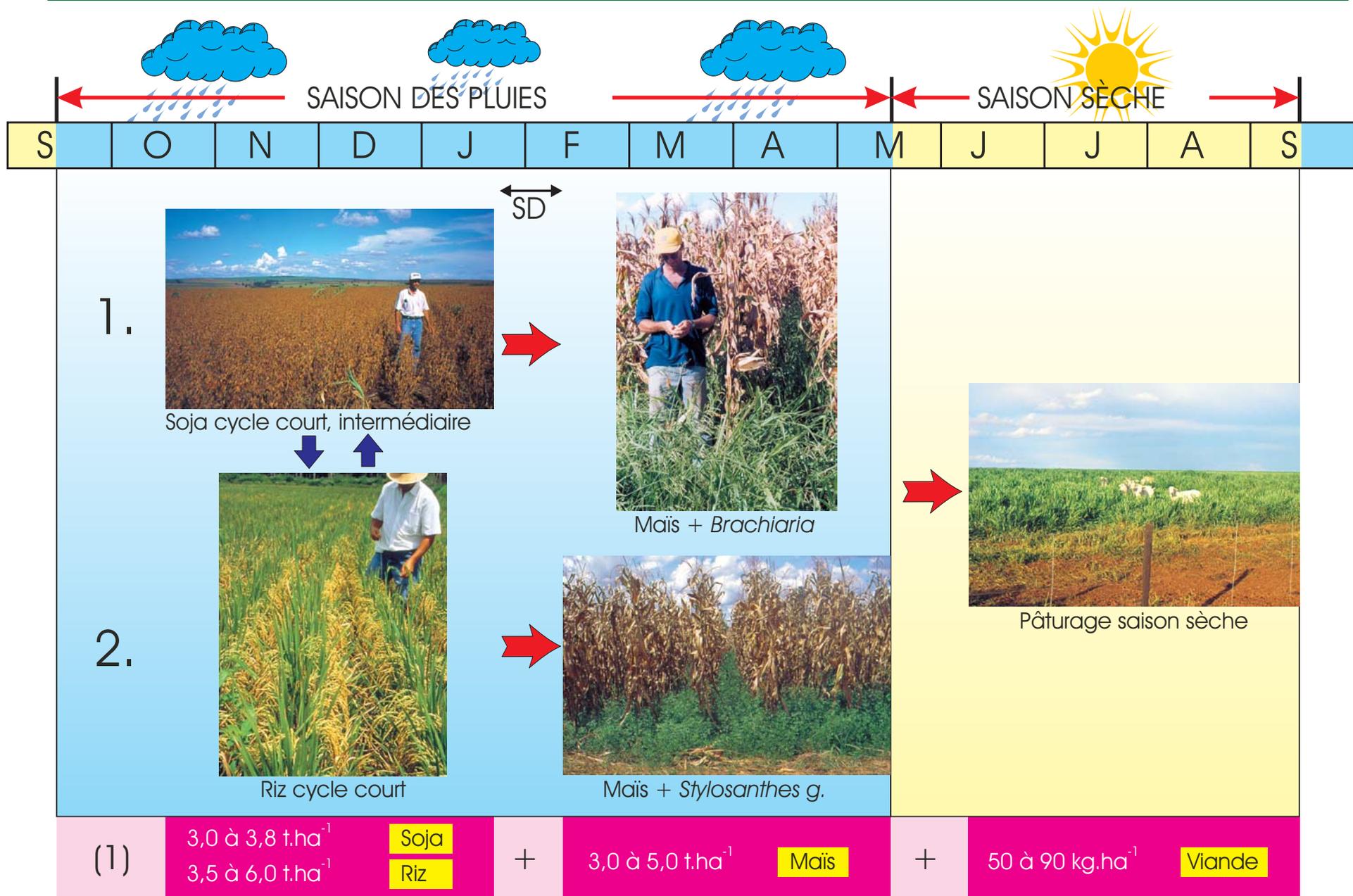
**Racines *Panicum maximum*
Profil sous pâturage natif à droite
Profil sous *Panicum m.* à gauche**



**LE SYSTÈMES
DE CULTURE
EN SEMIS DIRECT,
LES PLUS
PERFORMANTS
EN ZONE TROPICALE
HUMIDE (ZTH)**

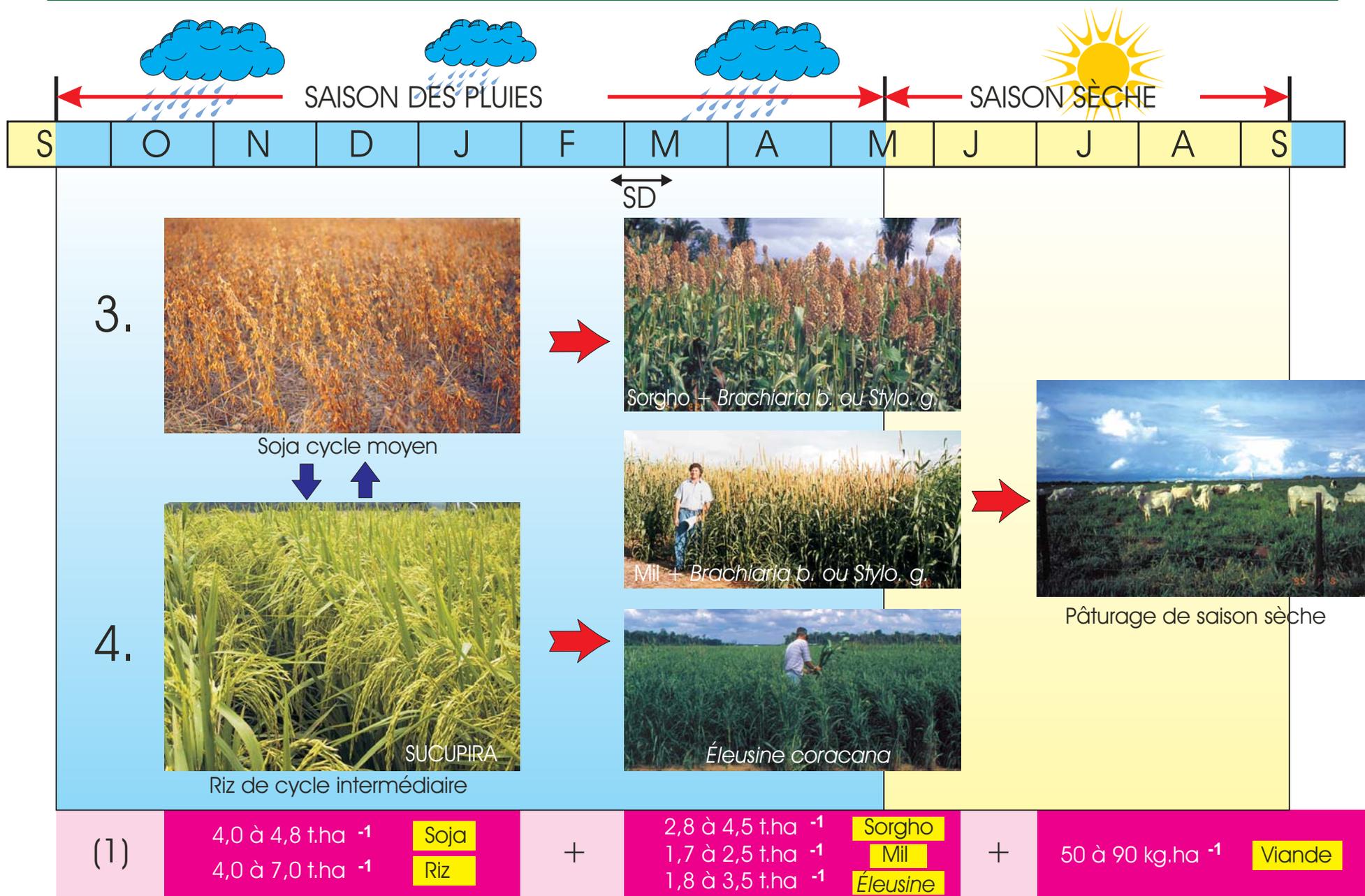
- Sequestration de carbone
- Performances agronomiques et technico-economiques

SEMIS DIRECT SUR COUVERTURES MORTES + VIVANTES



(1) Fonction niveau technologique - SD = Semis Direct

SEMIS DIRECT SUR COUVERTURES MORTES + VIVANTES



(1) Fonction niveau technologique - SD = Semis Direct

SEMIS DIRECT SUR COUVERTURE MORTE

➔ ITINÉRAIRES TECHNIQUES 5 ET 6, EN ROTATION AVEC ITINÉRAIRES 1, 2, 3, 4

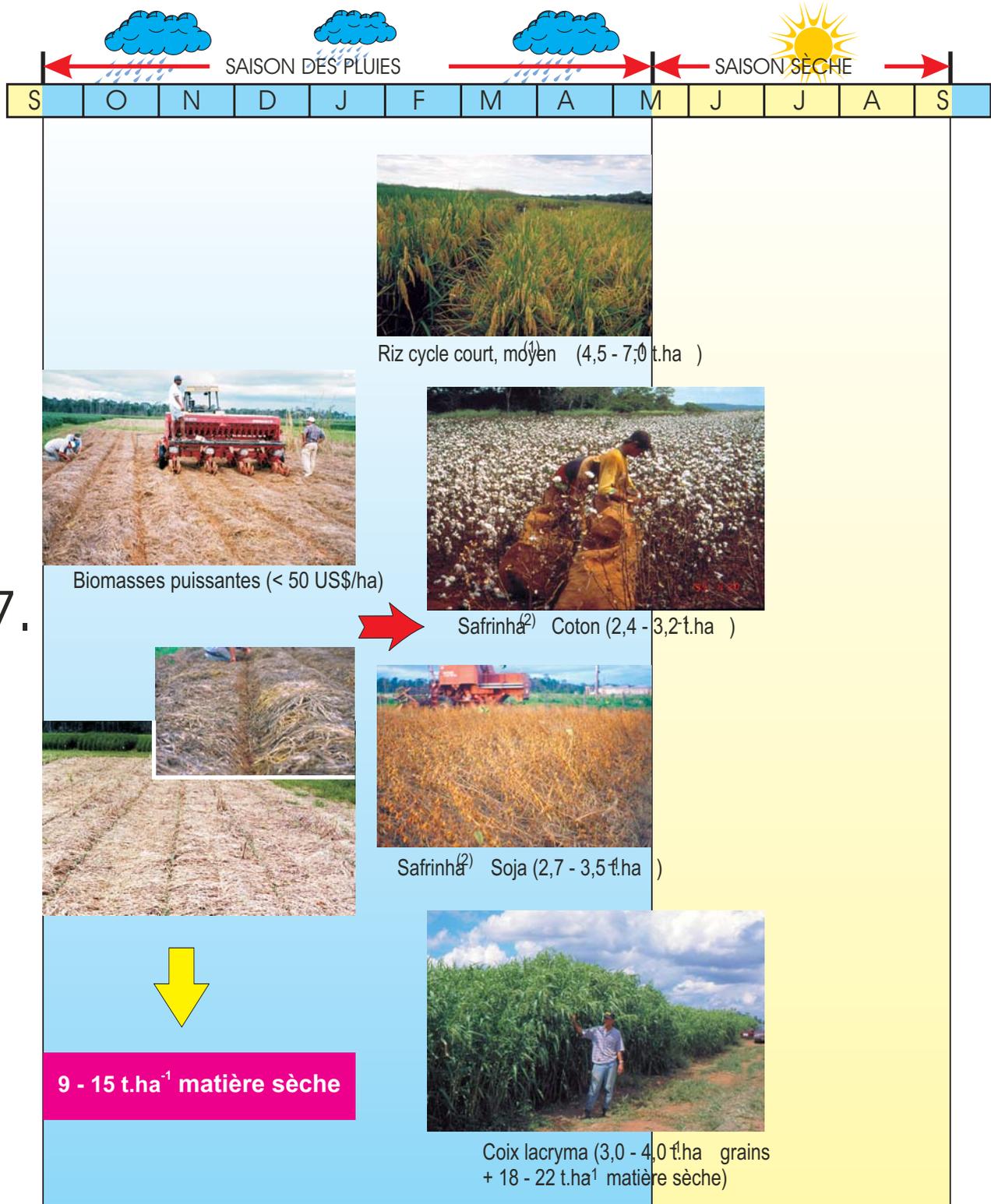


(1) Fonction niveau technologique - SD = Semis Direct

(2) Culture à faible niveau d'intrants - (500 - 600 US\$/ha)

SEMIS DIRECT SUR COUVERTURE MORTE

➔ ITINÉRAIRES TECHNIQUES 7, EN ROTATION AVEC ITINÉRAIRES 1, 2, 3, 4, 5, 6



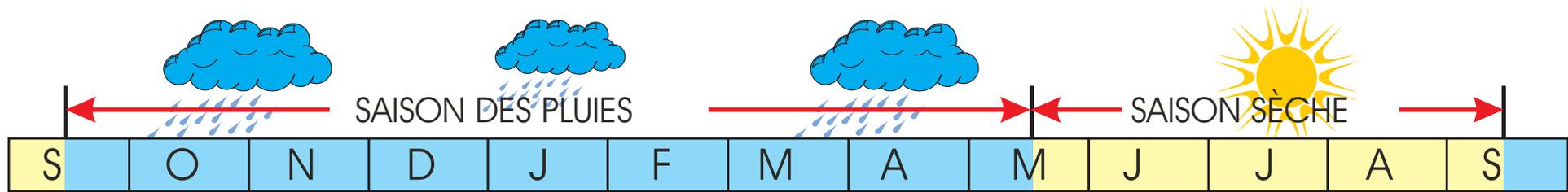
7.

(1) Fonction niveau technologique

(2) Culture à faible niveau d'intrants

SEMIS DIRECT SUR COUVERTURES VIVANTES PÉRENNES

➔ SUCCESSIONS ANNUELLES = PRODUCTION DE GRAINS, FIBRES + PÂTURAGE



8.



Soja sur *Cynodon d.* Tifton 85
(3,2 à 4,8 t.ha⁻¹) (1)

Pâturage saison sèche (50-90 kg.ha⁻¹viande)

9.



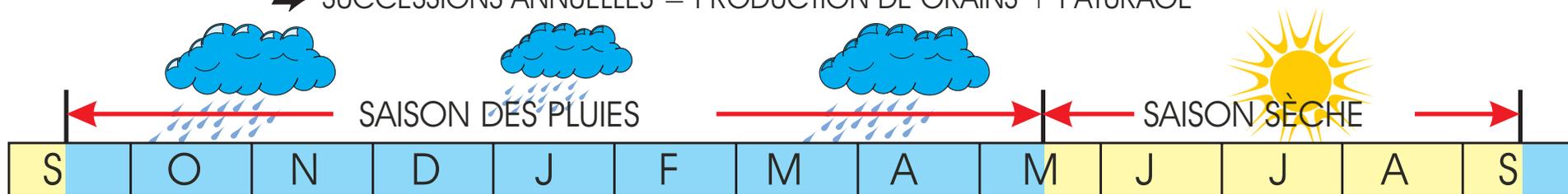
Biomasse pérenne, Tifton 85

Coton sur Tifton 85 (2,6 à 4,8 t.ha⁻¹) (1)

(1) Fonction niveau technologique -

SEMIS DIRECT SUR COUVERTURES VIVANTES PÉRENNES

→ SUCCESSIONS ANNUELLES = PRODUCTION DE GRAINS + PÂTURAGE



10.

SD

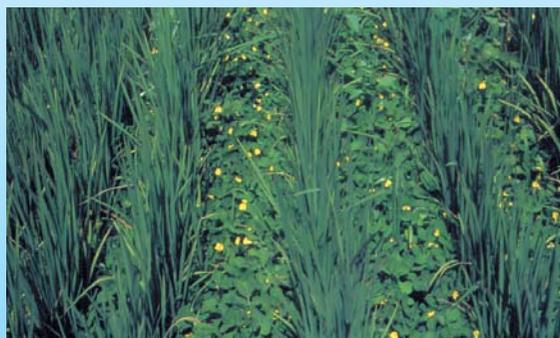


Semis direct Maïs sur *Arachis p.*



Maïs en phase de maturation

11.



Semis direct Riz sur *Arachis p.*



Riz à maturité



Pâturage saison sèche

(1)

4,0 à 6,5 t.ha⁻¹

Maïs

3,5 à 5,5 t.ha⁻¹

Riz

50 à 80 kg.ha⁻¹

Viande

(1) Fonction niveau technologie - SD = Semis Direct

FONCTIONNEMENT DU PROFIL CULTURAL EN SEMIS DIRECT:

- Régi par les propriétés physiques et biologiques qui donnent une part croissante à ces propriétés dans la capacité du sol à produire plus, durablement et au moindre coût -
- Un fonctionnement favorable, capable d'intégrer en rotations, toutes les cultures de production de grains et fourragères



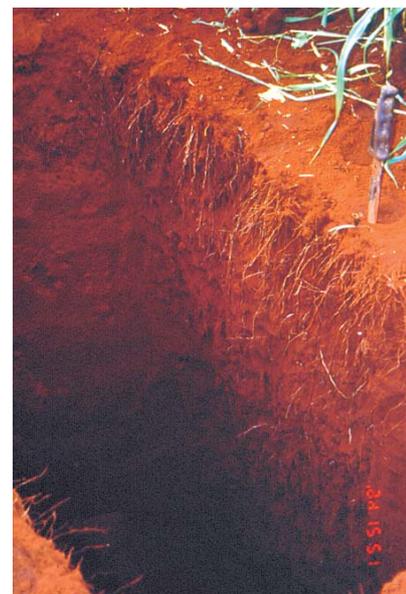
Représentation idéale d'un sol biologiquement actif



Système racinaire très puissant de *Eleusine coracana*



Système racinaire exceptionnel de *Eleusine cor.*
(Sol jaune-rouge sur roche acide - ZTH)



Colonisation racinaire du Mil ($V = 3$ à 5 cm/jour)
en sol rouge foncé sur basalte



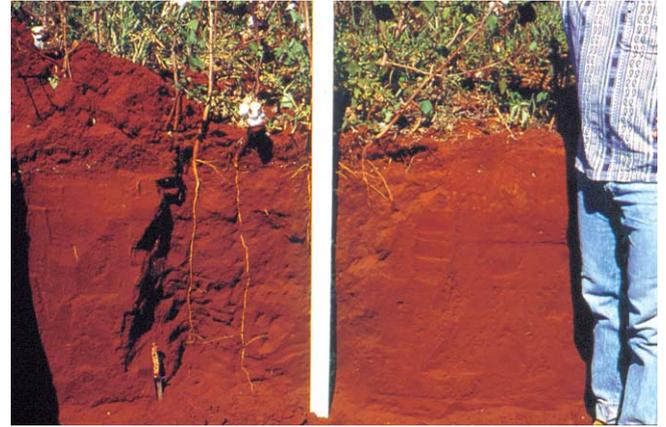
Racines de *Crotalaria spectabilis* ($V = 3$ cm/jour)
en sol rouge foncé sur basalte



Structure restaurée après 10 ans de semis direct
(Sol jaune-rouge sur roche acide - ZTH)



Système racinaire du Cotonnier
($V = 1,5$ à $2,0$ cm/jour)
Sol rouge érodé sur basalte



Système racinaire de Cotonnier
Profondeur - 1 m 80, à la floraison
Sol rouge foncé sur basalte



Système racinaire très puissant du
Cotonnier Sicala 32, sur semis direct
Sol rouge érodé sur basalte



Système racinaire de Maïs
Sol jaune-rouge sur roche acide (ZTH)



Turricules sous *Brachiaria b.*
Sol Jaune-rouge sur roche acide (ZTH)



Macroporosité très élevée dûe aux
bousiers, sous couverture de
Calopogonium m. + pailles de Riz
Sol Jaune-rouge sur roche acide (ZTH)



Forte nodulation sur Soja



Contrôle biologique de chenilles défoliatrices par *Nomuraea rileyi* (Champignon)



Dynamique de l'eau sur unité de paysage sur basalte
- À droite semis direct
- À gauche sol travaillé et aménagé (terrasses)



Contrôle de la peste végétale *Cyperus r.* par couverture de *Sorgho g.*
- À droite sol non couvert
- À gauche couverture de Sorgho



Des couvertures de sol pour contrôler totalement les mauvaises herbes sans recours aux herbicides dans les cultures



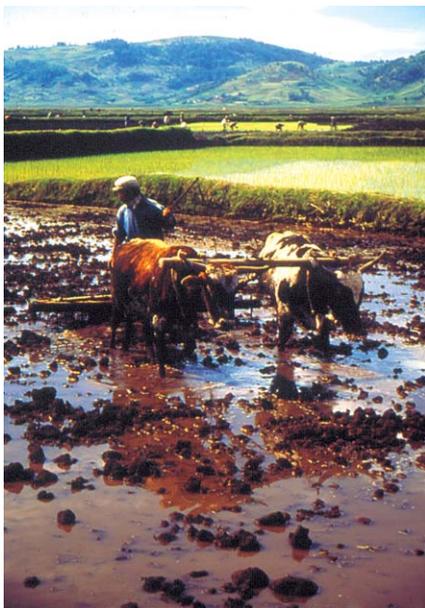
QUELQUES IMAGES DU SEMIS DIRECT À MADAGASCAR

(*) D'après les travaux de:

L' ONG TAFE, L' ANAE, LE FOFIFA, FAFIALA et DU CIRAD

LES HAUTES TERRES MALGACHES

- De petites agricultures familiales qui pratiquent une riziculture irriguée, repiquée, pratiquement sans intrants
- Des aménagements hydrauliques coûteux dont la pérennité dépend de la gestion des collines environnantes.....



..... La riziculture irriguée ne suffit plus pour la survie, les collines doivent contribuer à la production.....

**DES ZONES SURCHARGÉES, SUREXPLOITÉES, SUR
RIZIÈRES EN BAS FONDS ET SUR COLLINES (*TANETY*)
À SOLS RICHES D'ORIGINE VOLCANIQUE.... IMBRIQUÉES
DANS DES ZONES VIDES, À SOLS TRÈS PAUVRES...**

Des ensembles vides



**Région D'Ibity
(hauts plateaux)**



**Côte Est
(Collines sur socle)**

Des zones surchargées



**Les volcans de la région de Bétafo
(hauts plateaux)**

OBJECTIFS DU SEMIS DIRECT:

- Gérer, sans érosion et au moindre coût les unités de paysage dans leur ensemble: Collines + rizières en bas fond -
- Restaurer la fertilité des sols de savanes les plus pauvres, pour épargner la forêt -

Sur les hautes terres



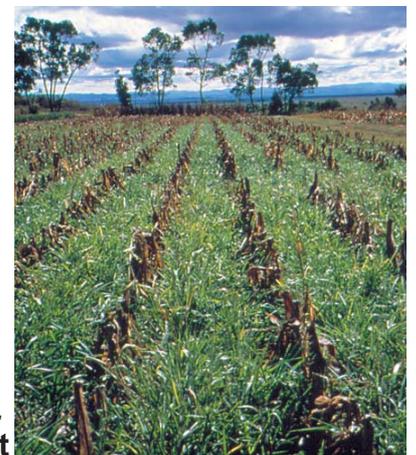
Haricot en semis direct



Haricot [Labour au 1^{er} plan
Semis direct à l'arrière



Haricot paillé en semis direct



Association
Maïs
+ *Brachiaria b.*
en semis direct



Paillage des parcelles en semis direct



Avoine en semis direct sur rizière,
en saison sèche



**Blé en semis direct
sur rizière en saison sèche**



**Riz pluvial en semis direct
sur rizière**

Sur la côte Est (ZTH)



**Riz pluvial en semis direct, sur
sol très pauvre écobué
(zone vide des savanes)**



**Riz pluvial en semis direct,
associé à *Pueraria*, sur
sol très pauvre écobué
(zone vide des savanes)**



**Riz pluvial en semis direct,
Sur *Arachis p.*
(Sol sur basalte)**



**Maïs en semis direct,
Sur *Arachis p.*
(Sol sur basalte)**

DANS LES ZONES À TRÈS FAIBLE PLUVIOMÉTRIE DU SUD-OUEST:

- Sur sols ferrugineux à faciès dominant sableux, en appliquant les mêmes principes de gestion organo-biologique (*écosystème forestier*) qu'en ZTH, on peut également produire en semis direct beaucoup de matière sèche (*entre 10 et plus de 20 t.ha⁻¹/an*) et plus d'aliments dans un environnement protégé....



**Paysage du Sud-Ouest
(baobabs)**



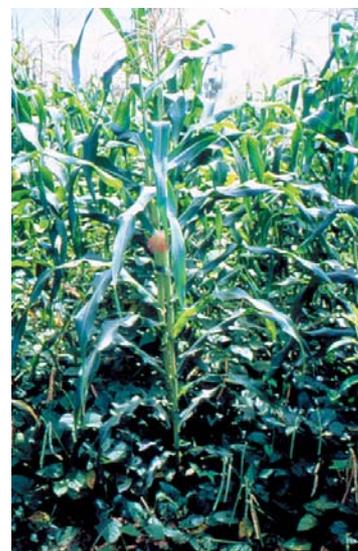
Mil et Sorgho associés à Vigna



Maïs et Sorgho associés à dolique



Sorgho associé à Vigna



Maïs associé à Vigna

FIG. 1 RECHERCHE-ACTION, POUR AVEC ET CHEZ LES AGRICULTEURS

SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA -GEC, 1997

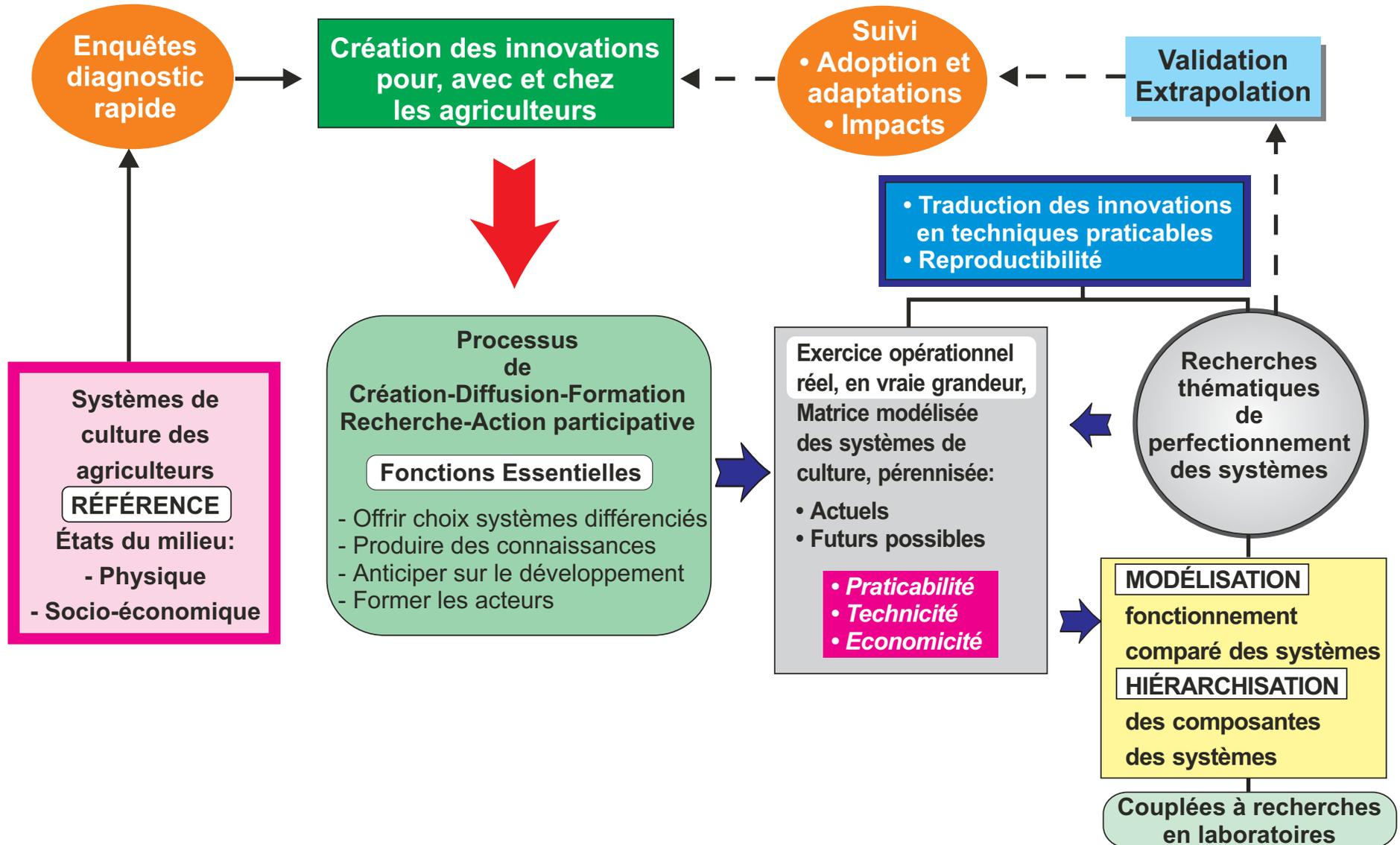


FIG. 2 - RECHERCHE - ACTION POUR, AVEC ET CHEZ LES AGRICULTEURS

AGIR

Simultanément:

- Solutions pratiques, technologies
- Connaissances scientifiques

SUR LE MILIEU PHYSIQUE

- Différencier pour comprendre, évaluer
 - Expliquer
 - Agir sur systèmes
- Critères:
- + Agronomiques
 - + Techniques
 - + Économiques

NIVEAUX D'ÉCHELLES

Systèmes de cultures **Sur** Toposéquences représentatives

- | | |
|-------------|----------------------------------|
| • Actuels | • Unités paysage |
| • Novateurs | • États de dégradation du milieu |
| • Améliorés | |

FAZENDAS DE RÉFÉRENCE

TERROIRS

MILIEU CONTROLÉ

ANTICIPER

- Rigueur scientifique
- Expressions différenciées du potentiel de production (*offre technologique*)
- Progression par hiérarchisation permanente
- Évaluation anticipée des impacts environnementaux



MILIEU RÉEL

- Évaluation des changements sur:
 - + Agriculture
 - + Conditions de vie
 - + Impacts environnementaux

SUR LES HOMMES QUI LE CULTIVENT

- Incorporation de:
 - + praticabilité
 - + Faisabilité
- Formation:
 - + Apprentissage de la maîtrise technique, pratique -
 - ↓
 - reproductibilité*
- Choix et ajustements multi-Acteurs

- Contribution, Participation à:
 - + Diffusion
 - + Formation
 - + Organisation des Producteurs (associations de semis direct)

FIG. 3 ÉCHELLES D'INTERVENTION ET FONCTIONS DE LA RECHERCHE-ACTION, ADAPTATIVE DES SCV

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

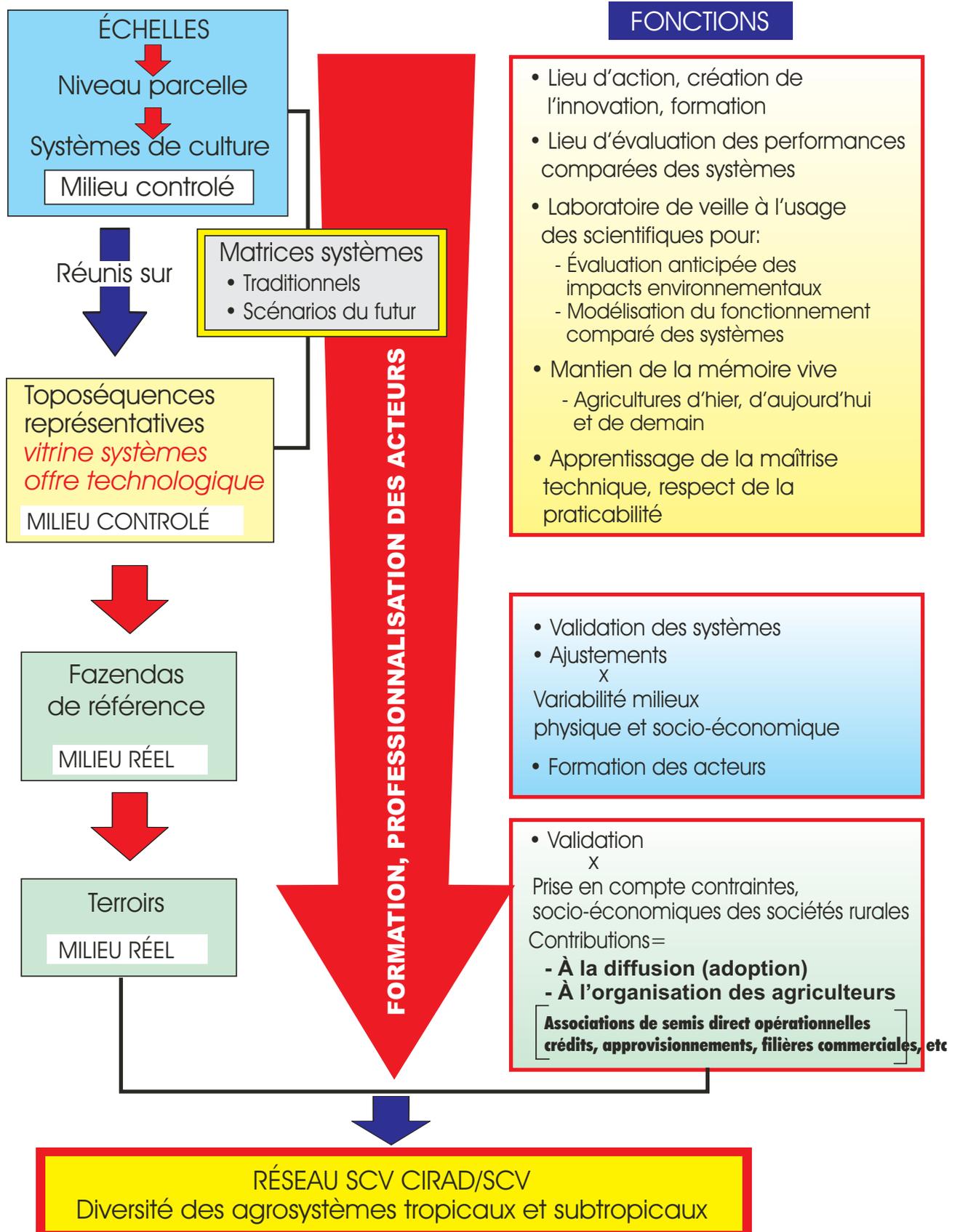
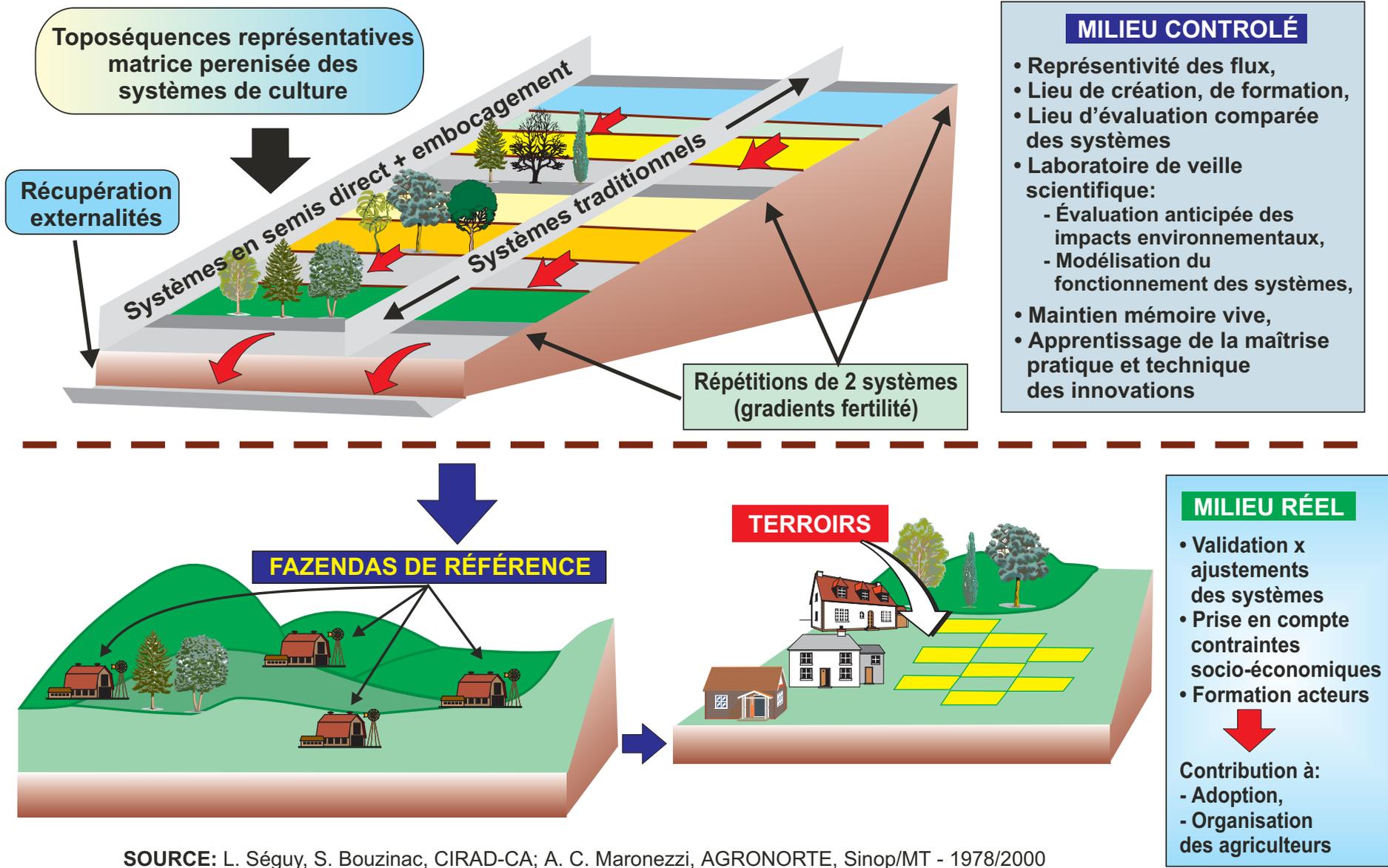


FIG. 4 DÉMARCHE DE LA RECHERCHE-ACTION, POUR, AVEC ET CHEZ AGRICULTEURS - NIVEAUX D'ÉCHELLES ET FONCTIONS -



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

FIG. 5 DÉMARCHE OPÉRATIONNELLE DE CRÉATION-DIFFUSION DES SYSTÈMES DE CULTURE ET FORMATION

SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, 1997

1. Un outil régional opérationnel

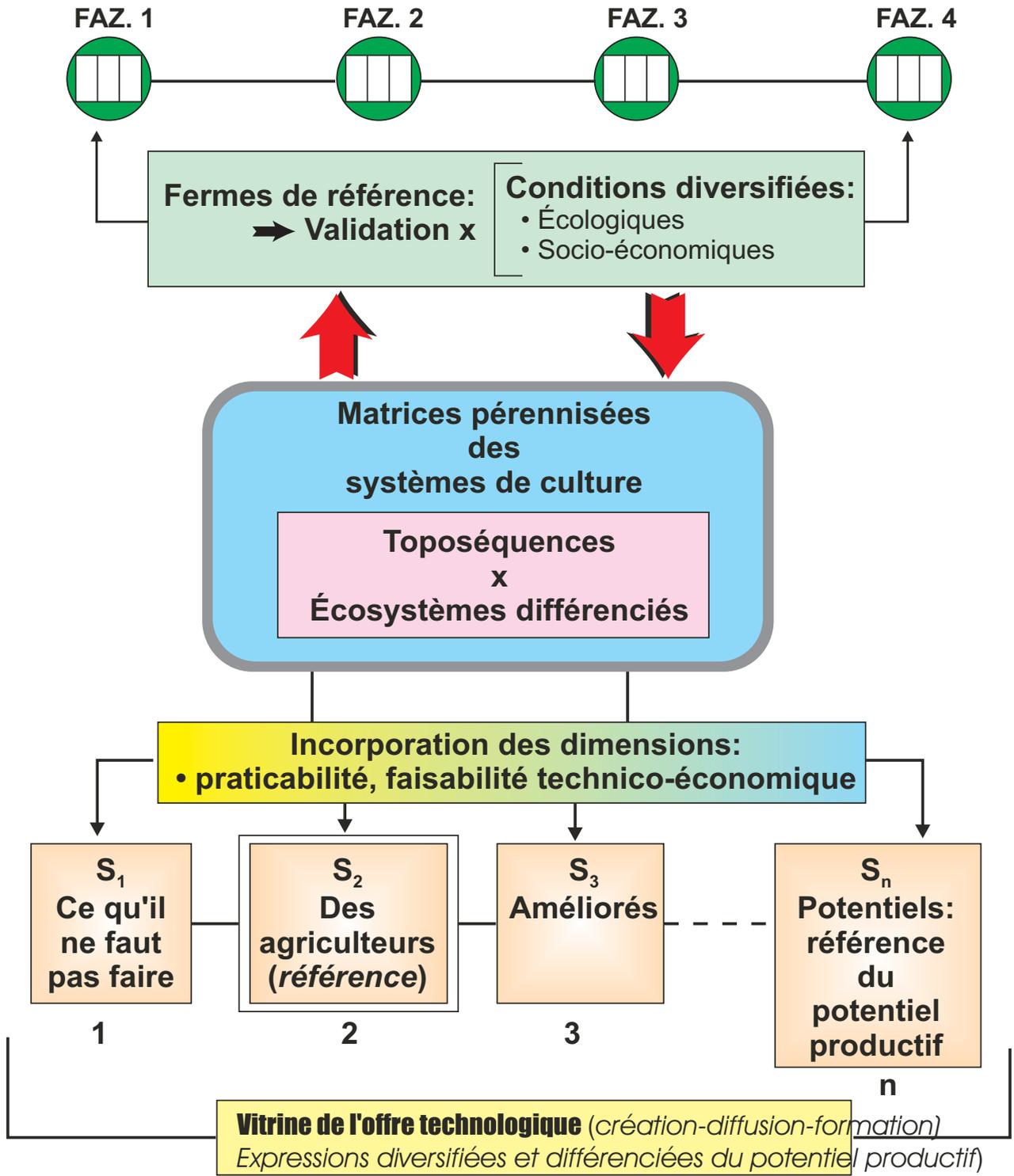
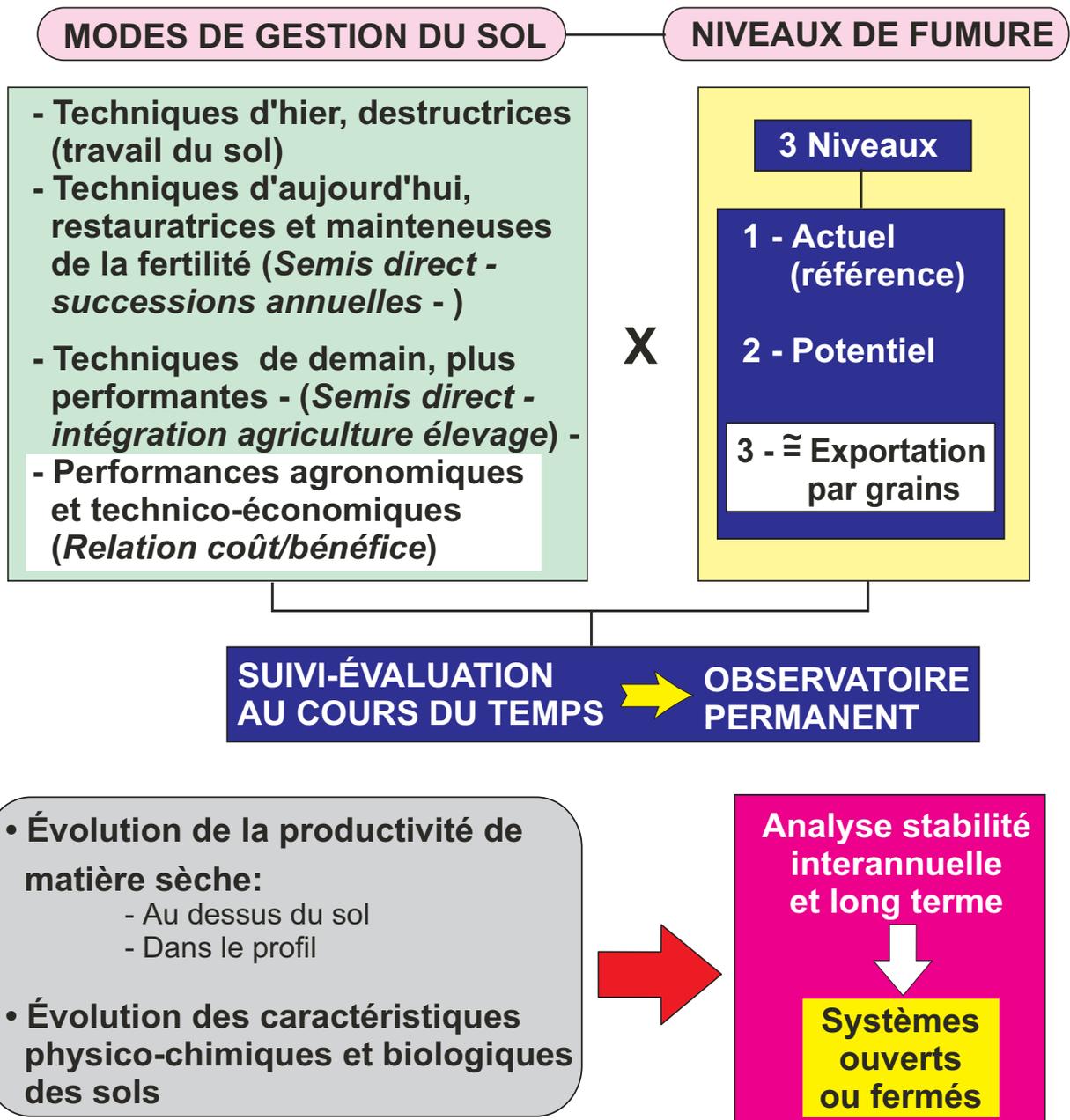


FIG. 6 MÉTHODOLOGIE D'ÉTUDE DU FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES DE CULTURE

MODÉLISATION DES SYSTÈMES DE CULTURE → MATRICE
PÉRENNISÉE DES SYSTÈMES, EN MILIEUX ÉCOLOGIQUES
DIVERSIFIÉS, CONTRÔLÉS ET RÉELS - (Unités de paysage
représentatives)



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

FIG. 7 GESTION DE LA FERTILITÉ PAR LE SYSTÈME DE CULTURE

OBJECTIF = Exprimer le potentiel du sol, de manière durable, au moindre coût

COMPOSANTES DU SYSTÈME POUR UN TYPE DE SOL

MODES DE GESTION DU SOL	X	ROTATIONS ET/OU SUCCESSIONS DE CULTURES	X	DATE DE SEMIS (<i>Précoce, tardive</i>)	X	PEUPELEMENT VÉGÉTAL	X	VARIÉTÉS FUMURES TRAITEMENTS PESTICIDES
-------------------------------	---	--	---	--	---	------------------------	---	--

*Travail
du sol,
semis direct*

MODES DE GESTION DES SOLS ET DES CULTURES

**PRODUITS
THÉMATIQUES
SIMPLES**

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

**FIG. 8 "SYSTÈME MAINTENEUR DE FERTILITÉ" POUR LA CULTURE DE SOJA
LE DÉPART DU SEMIS DIRECT - 1987**

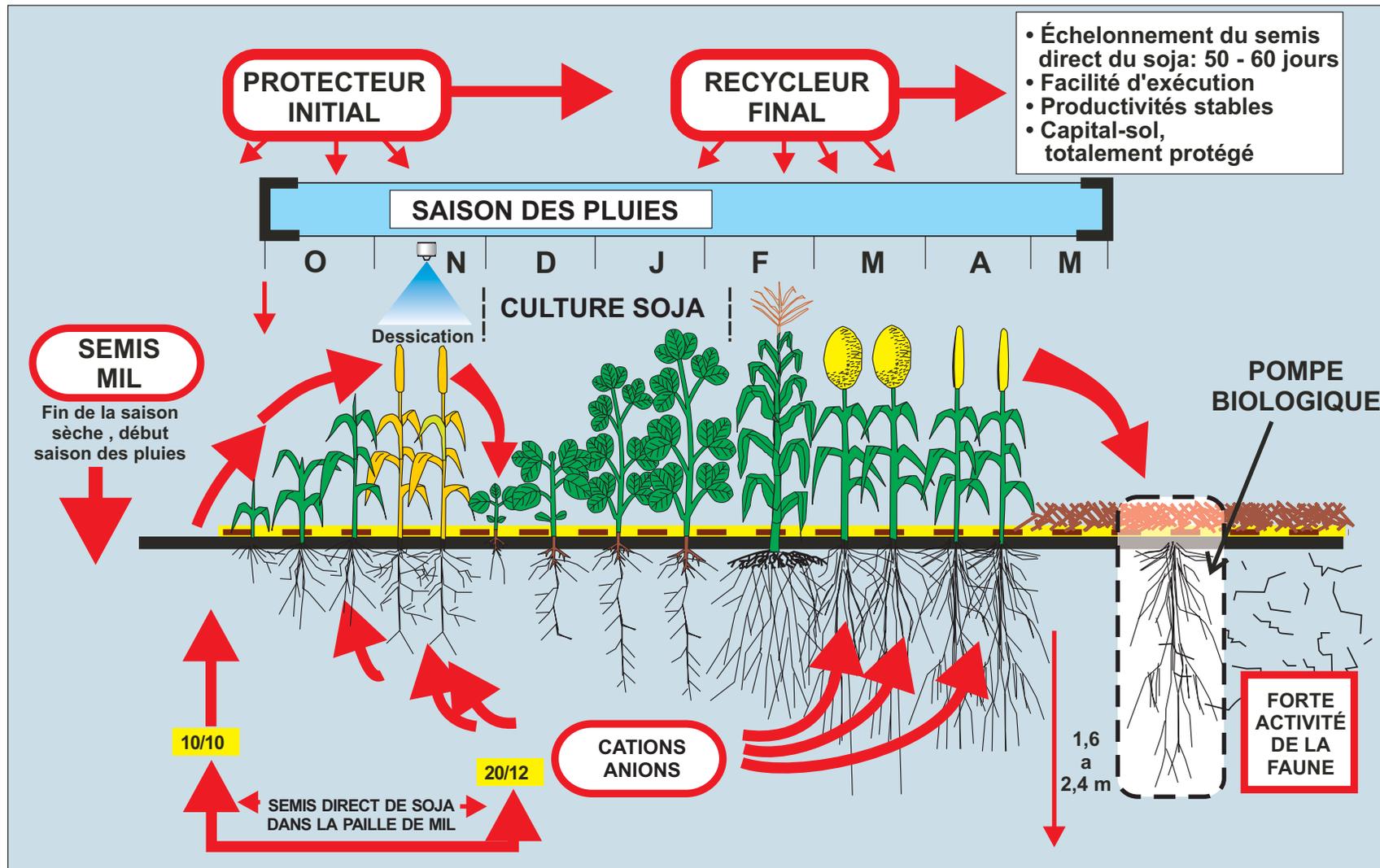
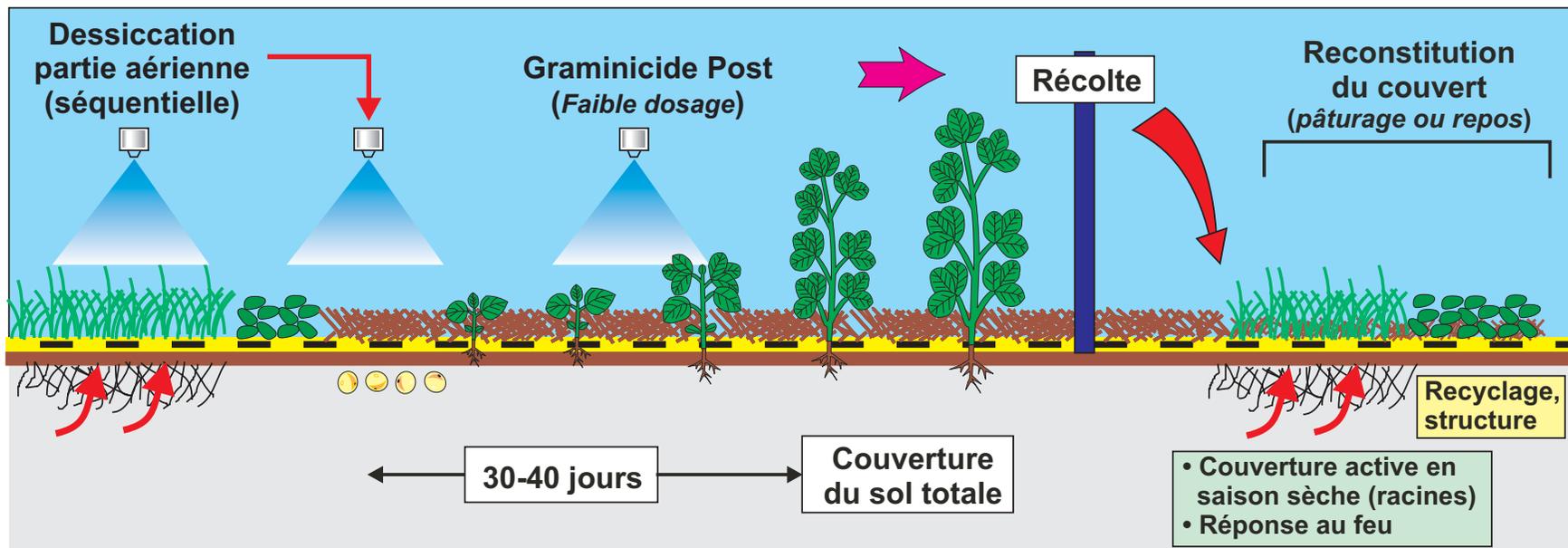


FIG. 9 LES SYSTÈMES DE CULTURE EN SEMIS DIRECT SUR COUVERTURES VIVANTES ⁽¹⁾ - PRINCIPES DE BASE

1. COUVERTURES À STOLONS ET RHIZOMES

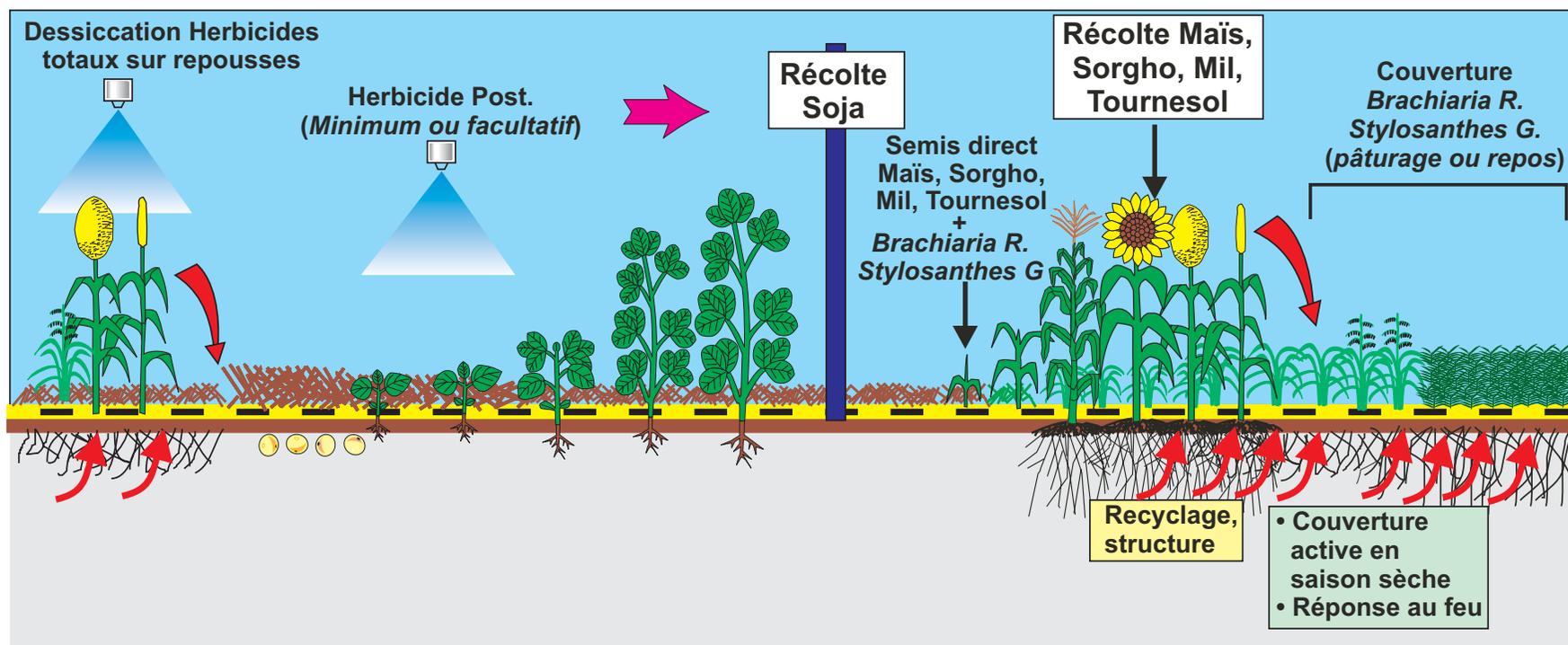


- (1) • **Genres** *Cynodon (Tifton), Arachis, Pennisetum C., Paspalum, stenotaphrum, Axonopus*
 • **Systèmes:** Successions annuelles
 Soja, Riz, Coton, Maïs + Pâturage

SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac - CIRAD CA - GEC, 1993/98

FIG. 10 LES SYSTÈMES DE CULTURE EN SEMIS DIRECT SUR COUVERTURES VIVANTES - PRINCIPES DE BASE

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



- (1)
- Pompes biologiques: Maïs, Tournesol, Sorghos, Mils, + *Brachiaria R. Stylosanthes G.*
 - Systèmes possibles avec: Soja, Riz haute technologie, Coton -

SOURCE: L. Séguéy, S. Bouzinac - CIRAD CA - GEC, 1993/98

FIG. 11 SYSTÈMES DE CULTURE EN SEMIS DIRECT EN RÉGIONS TROPICALES ET SUBTROPICALES D'ALTITUDE - Petites agricultures familiales -

- P annuelle = 1200 - 1800 mm
- Altitude = 1000 - 1600 m
- Sols ferrallitiques et volcaniques des hautes terres malgaches

1. ■ CULTURES ASSOCIÉES

• Maïs + Légumineuses fourragères associées → Genres

- Cássia r.*,
- Desmodium i.*,
- Trifolium s.*,
- Lotus u.*,

2. ■ SUCCESSIONS ANNUELLES: Production de grains + Pâturage, couverture vivante

• Soja
• Haricot
• Blé] Sur Kikuyu (*Pennisetum c.*)

• Blé
• Riz pluvial] Sur Trèfle (*Trifolium s.*)

3. ■ SUCCESSIONS ANNUELLES: Production de grains + Biomasse Pompe biologique, couvertures morte ou vivante

- Soja cycle court + Avoine
- Avoine + Haricot
- Haricot + Avoine
- *Brachiaria r.* + Haricot
- Soja cycle court + *Brachiaria r.*

En rotation avec



- Mêmes successions ou
- Riz pluvial, Riz pluvial + trèfle
- Maïs, Maïs + Crotalaire,
- Maïs + Légumineuses associées (1.)
- Soja cycle moyen

➔ **GESTION DES SOLS ET DES CULTURES EN SEMIS DIRECT, AU MOINDRE COÛT, AVEC ÉCOBUAGE COMME FUMURE DE FOND + FUMIER ANNUEL (5 t/ha)**

SOURCE: L. Séguy, Michellon R., ONG TAFE, ANAE, FIFAMANOR, FAFIALA, Antsirabé, 1999

FIG. 12 SYSTÈMES DE CULTURE EN SEMIS DIRECT, AVEC UN MINIMUM D'INTRANTS

- Zones tropicale et subtropicale d'altitude (1000-1600m)
- P = 1200 à 1800 mm, sur 6-7 mois
- Sols ferrallitiques et volcaniques des hautes terres Malgaches

I	SOLS NON DÉGRADÉS	ANNÉE 1		ANNÉE 2		ANNÉE 3		ANNÉE 4	
		BASSE ET HAUTE FERTILITÉ (1) ■ Écobuage année 1 + Fumier (5 t/ha) ■ Fumier seul années suivantes	Mais + Leg.	Riz	Riz + Leg.	Mais	Mais + Leg.	Riz	Riz + Leg.
Riz + Leg.	Mais		Mais + Leg.	Riz	Riz + Leg.	Mais	Mais + Leg.	Riz	Riz + Leg.
→ (2)	Soja _{cc} + Avoine		Soja _{cc} + Avoine	Mais + Leg. Riz + Leg.	Soja _{cc} + Avoine		Soja _{cc} + Avoine		
→ (3)	Soja _{cm}		Mais Riz	Mais + Leg. Riz + Leg.	Soja _{cm}		Soja _{cm}		
→ (4)	Avoine + Blé Haricot		Avoine + Blé Haricot	Mais Riz	Mais + Leg. Riz + Leg.	Avoine + Blé Haricot		Avoine + Blé Haricot	
II	SOLS DÉGRADÉS (M. O.)	Brachiaria ruziziensis, Cassia rotundifolia 1 an ou 2 • Restauration fertilité + Pâturage				■ Écobuage + Fumier (5 t/ha) ↓ (1)		■ Fumier seul (1) ou (2) ou (3) ou (4)	
	SOLS RICHES EN M. O.	Soja Haricot Blé	Sur kikuyu	Soja Haricot Blé	Sur kikuyu	Soja Haricot Blé	Sur kikuyu	Soja Haricot Blé	Sur kikuyu

Couverture vivante fourragère associée/an
 Couverture vivante fourragère permanente
 Couverture morte
 • CC = Cycle court • CM = Cycle Moyen

SOURCE: Séguy L., Michellon R., CIRAD-CA; ONG TAFE, ANAE, FIFAMANOR, FAFIALA, Antsirabé, 1999/2000

FIG. 13 SYSTÈMES DE CULTURE EN SEMIS DIRECT, AVEC UN MINIMUM D'INTRANTS

- Zone tropicale humide, écosystèmes des savanes et forêts humides
- P = 1800 - 3000 mm, sur 7 à 9 mois
- Sols ferrallitiques - Bassin amazonien, Côte Est Malgache.

1. Déforestation avec préservation de la M. O. et de l'activité biologique → sans brûlis digestion biomasse arbustive, par *Mucuna (Stizolobium at.)*

	ANNÉE 1	ANNÉE 2	ANNÉE 3 etc...
BASSIN AMAZONIEN ■ Systèmes Vivriers ■ Systèmes Vivriers + Pâturage ■ Systèmes Vivriers + Pâturage + Maille arbustive de rente (Agrumes, Guarana, Poivre, Cupuaçu, Noix, etc...)	1 - Riz pluvial 2 - Riz pluvial + <i>Brachiaria R., B</i> + <i>Stylosanthes G.</i>	1 - [Maïs, Riz pluvial] + <i>Arachis P.</i> 2 - [Soja, Vigna] + Tifton 3 - Soja + [Maïs, Sorgho, Mil] + <i>Brachiarias Stylosanthes</i> 4 - Biomasses + [Coton, Riz pluvial] 5 - Riz pluvial + Coton, Vigna	1 - [Maïs, Riz pluvial] + <i>Arachis P.</i> 2 - [Soja, Vigna] + Tifton → [Combinaisons 3, 4, 5, Fonction conditions économiques]
	Possibilité Pâturage 2 - 4 ans puis Riz + <i>Brachiaria, Stylosanthes</i> et cycle 2 - 4 ans Pâturage, etc...	• Amendement calcomagnésien Facultatif • NPK + micros, faible niveau	NPK + Micros Faible niveau
	NPK + Micros		
CÔTE EST MALGACHE ■ Sols ferrallitiques hydromorphes hydratés sur roche acide ■ Sols ferrallitiques sur basalte	1 - Riz pluvial 2 - Riz pluvial + Vignas	1 - [Riz pluvial, Maïs] + Vigna 2 - Riz pluvial + Pâturages [<i>Brachiarias R. B.</i> <i>Stylosanthes G</i> <i>Pueraria</i>]	1 - [Riz pluvial, Maïs] + Vigna 2 - Riz pluvial + Pâturages → Possibilité Pâturage 1 - 4 ans
	Maille arbustive lâche de rente, associé à vivriers (plantes à épices, fruitiers) sur couverture vivante permanente <i>Arachis P.</i> et <i>R.</i>		
	1 - Riz pluvial 2 - Riz pluvial + Vigna Écobuage + NPK + Micros	1 - Maïs, Riz pluvial 2 - Maïs, Riz pluvial + Vigna NPK + Micros, faible niveau	1 - Maïs, Riz pluvial 2 - Maïs, Riz pluvial + Vigna NPK + Micros, faible niveau

■ Couverture vivante □ Couverture morte

SOURCE: Séguy L., Bouzinac S., Charpentier H., CIRAD-CA; ONG TAFa; ANAE - Antsirabé, 2000

FIG. 14 TENDANCES D'ÉVOLUTION DU TAUX DE MATIÈRE ORGANIQUE (EN %), EN FONCTION DE LA NATURE DES SYSTÈMES DE CULTURE PRATIQUÉS DANS DIVERS AGROSYSTÈMES CONTRASTÉS, TROPICAUX ET SUBTROPICAUX -

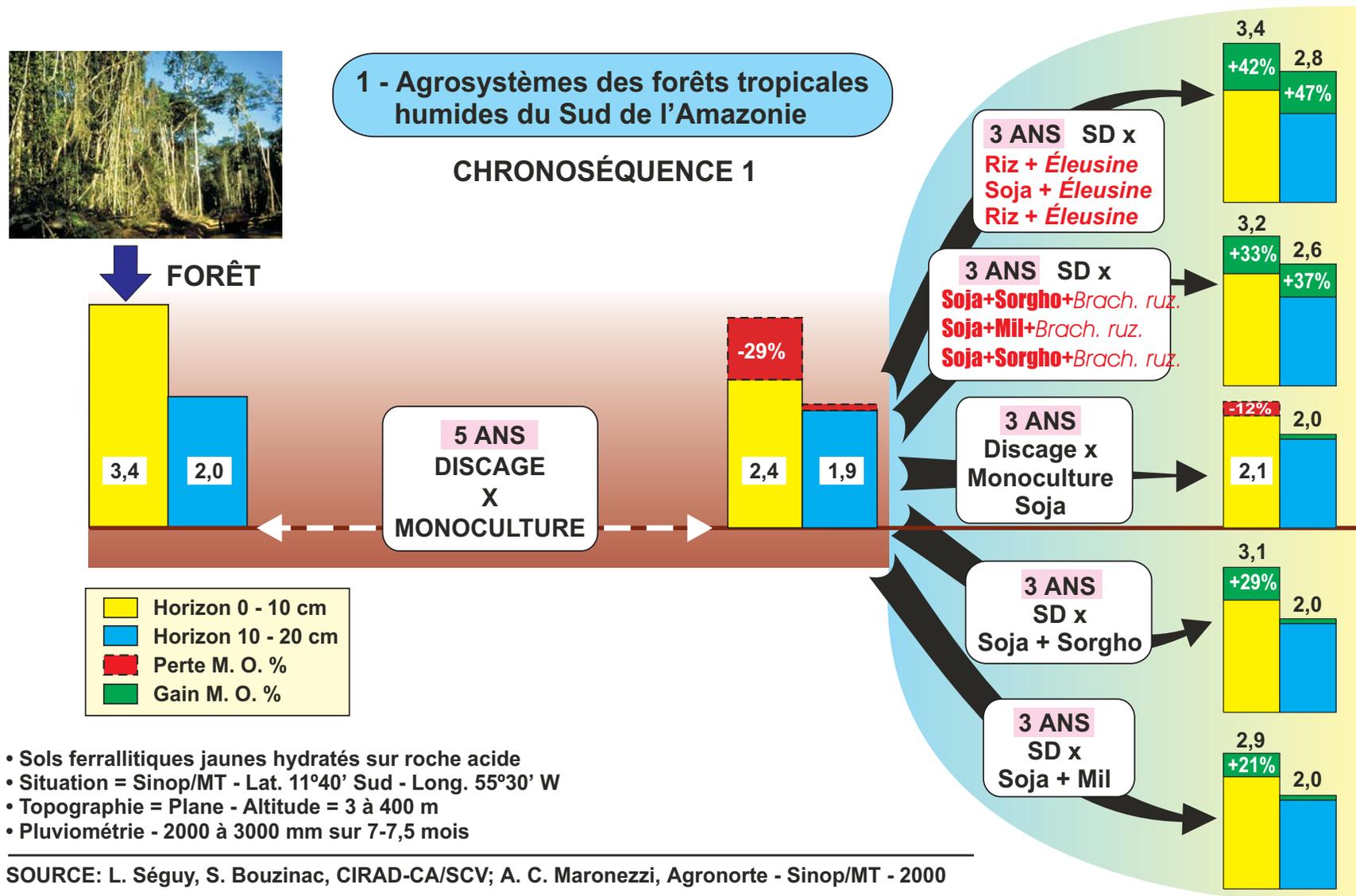
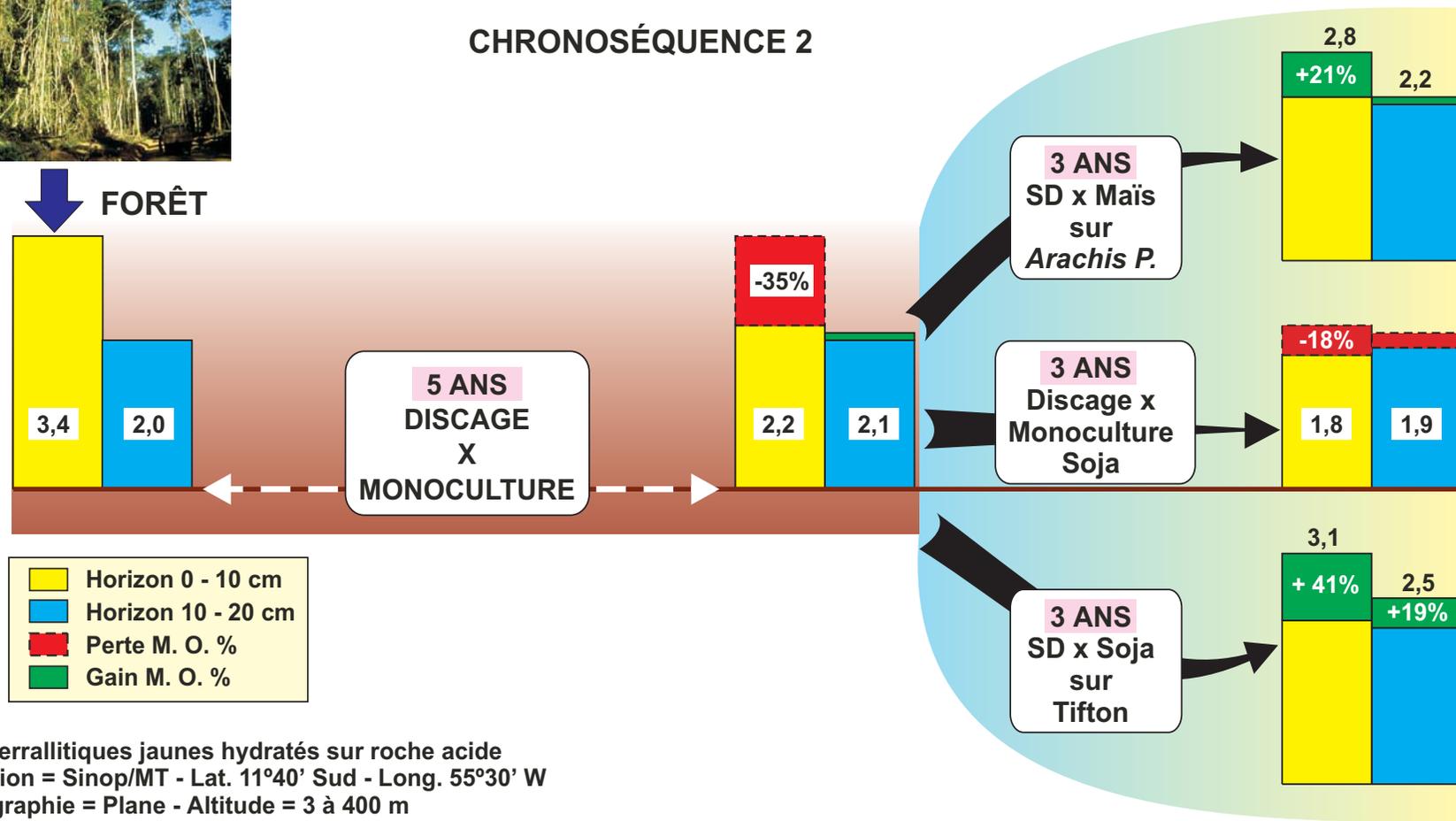


FIG. 15 TENDANCES D'ÉVOLUTION DU TAUX DE MATIÈRE ORGANIQUE (EN %), EN FONCTION DE LA NATURE DES SYSTÈMES DE CULTURE PRATIQUÉS DANS DIVERS AGROSYSTÈMES CONTRASTÉS, TROPICAUX ET SUBTROPICAUX -



1 - Agrosystèmes des forêts tropicales humides du Sud de l'Amazonie

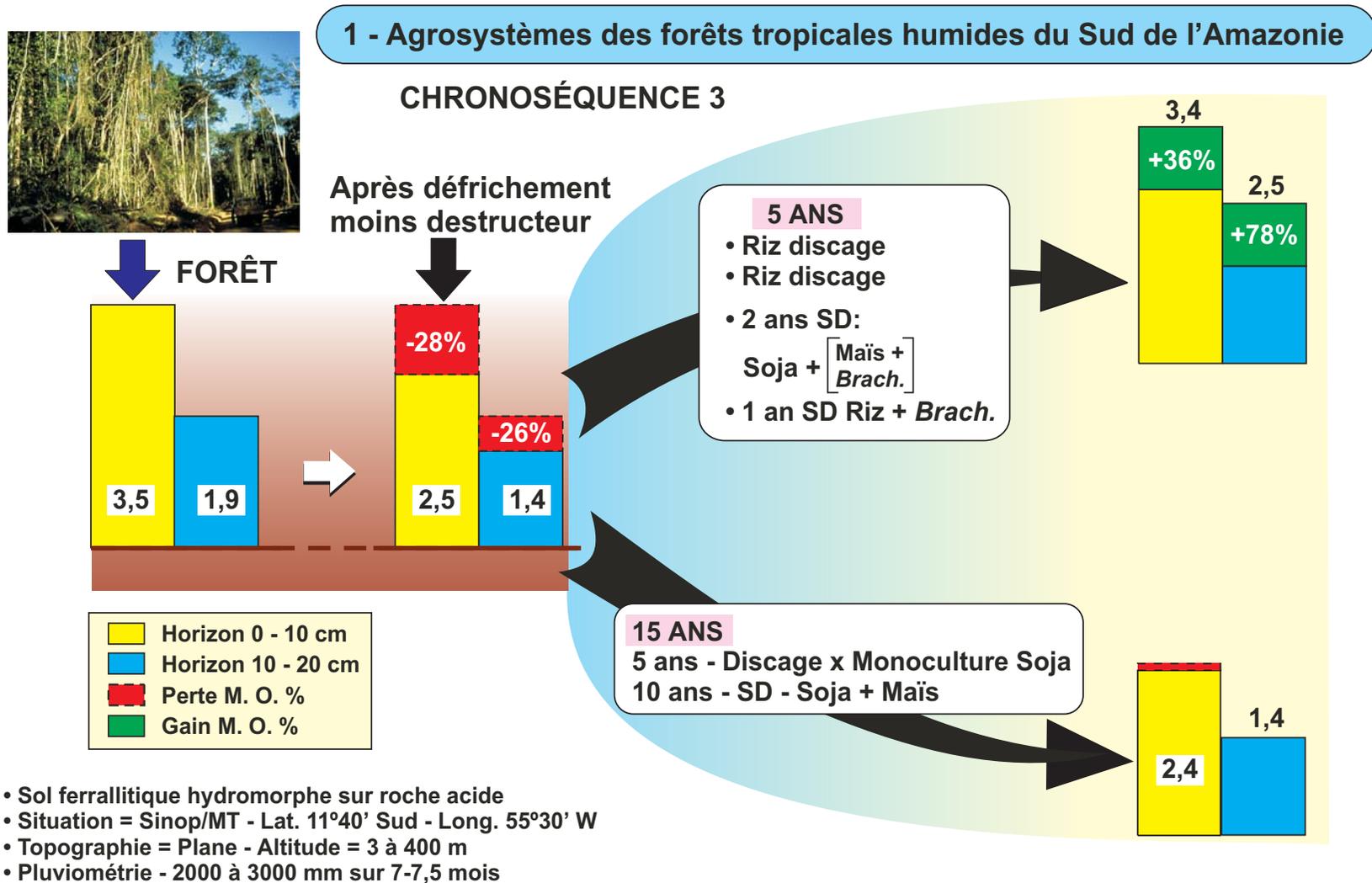
CHRONOSÉQUENCE 2



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

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

FIG. 16 TENDANCES D'ÉVOLUTION DU TAUX DE MATIÈRE ORGANIQUE (EN %), EN FONCTION DE LA NATURE DES SYSTÈMES DE CULTURE PRATIQUÉS DANS DIVERS AGROSYSTÈMES CONTRASTÉS, TROPICAUX ET SUBTROPICAUX -



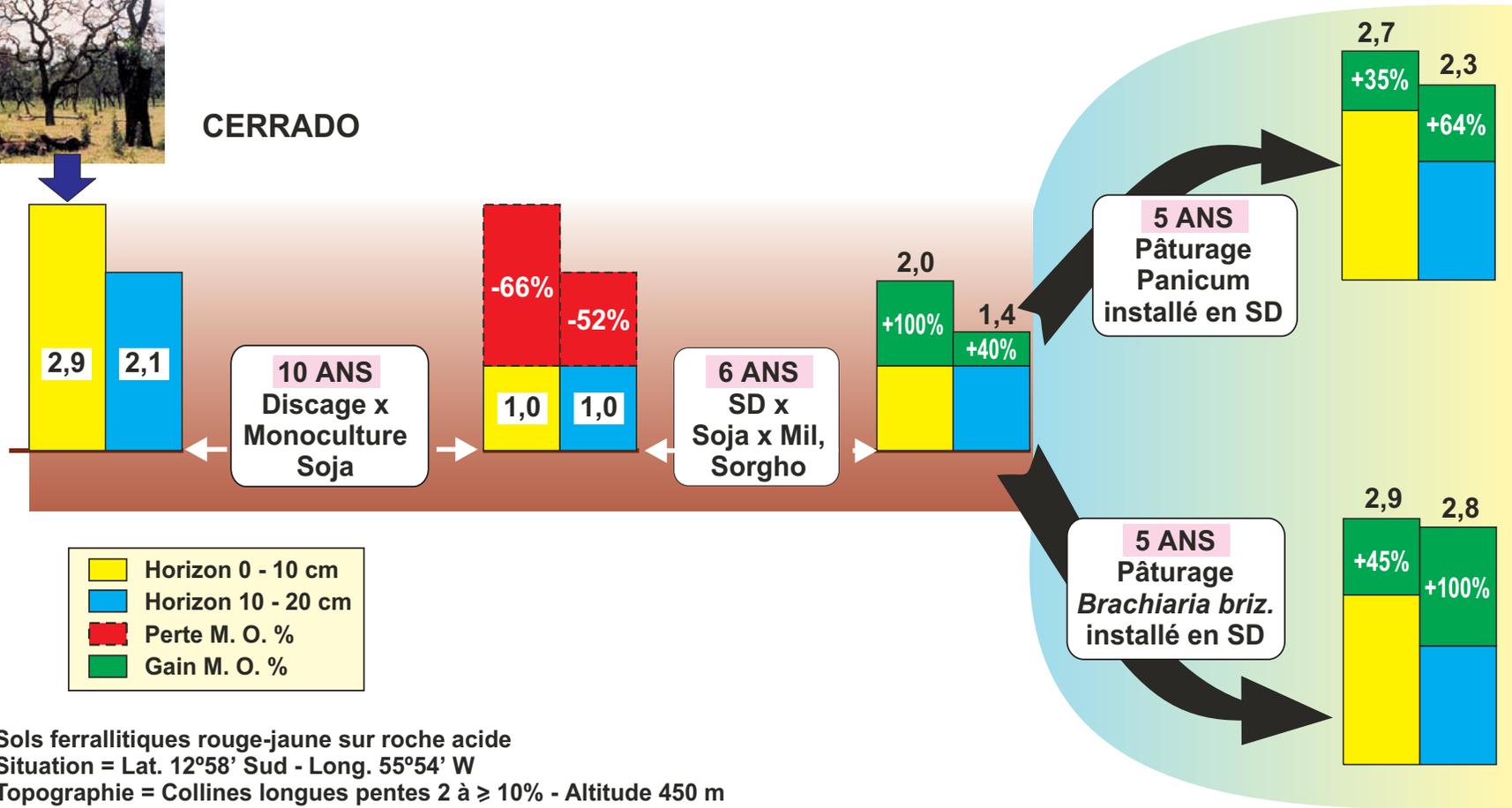
SOURCE: L. Ségué, S. Bouzinac, CIRAD-CA/SCV; W. et J. Taffarel, Sítio Barra Verde - Sinop/MT - 1980/1999

FIG. 17 TENDANCES D'ÉVOLUTION DU TAUX DE MATIÈRE ORGANIQUE (EN %), EN FONCTION DE LA NATURE DES SYSTÈMES DE CULTURE PRATIQUÉS DANS DIVERS AGROSYSTÈMES CONTRASTÉS, TROPICAUX ET SUBTROPICAUX -



2 - Agrosystèmes des cerrados humides du Centre Nord de L'état du Mato Grosso

CERRADO

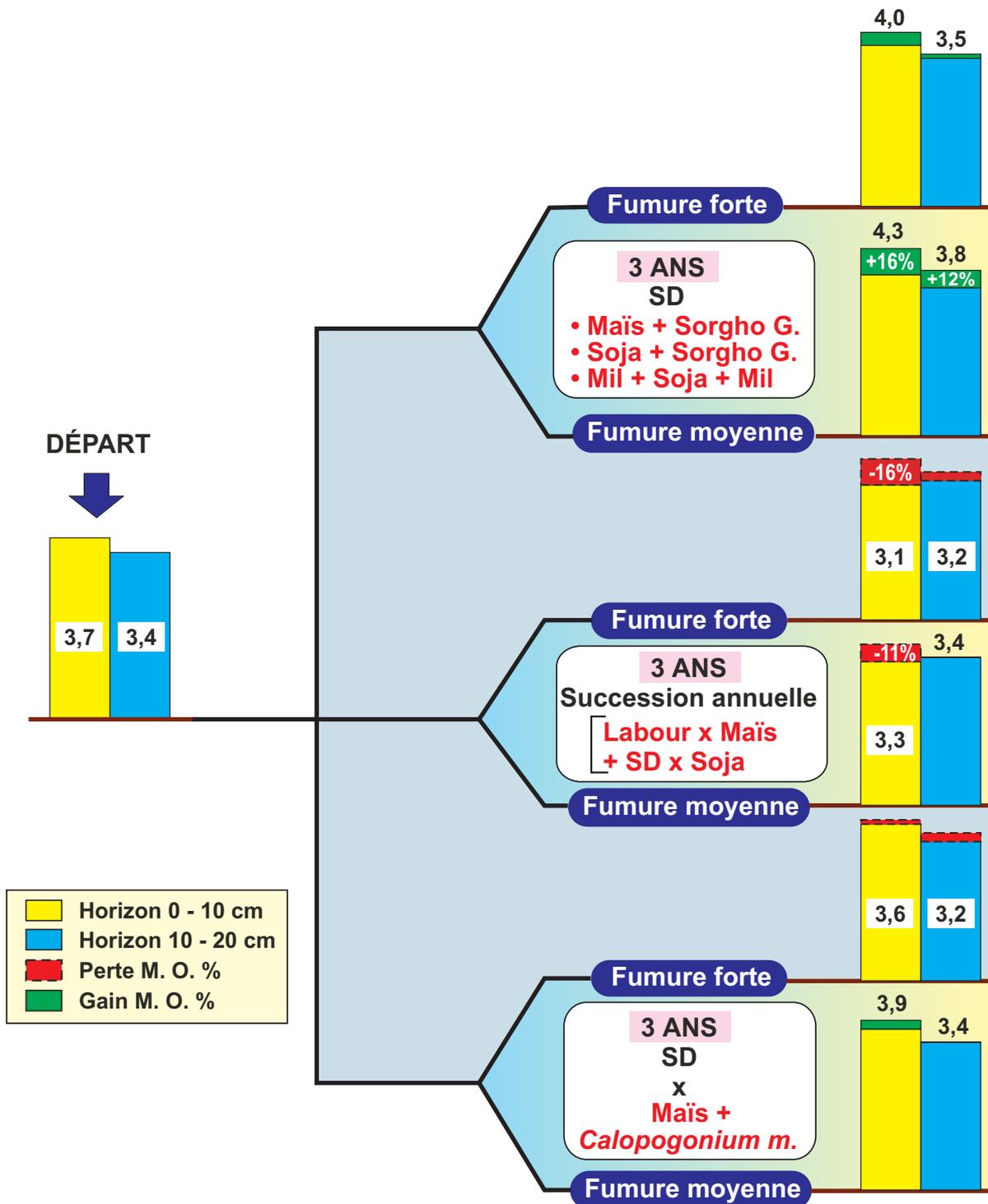


- Sols ferrallitiques rouge-jaune sur roche acide
- Situation = Lat. 12°58' Sud - Long. 55°54' W
- Topographie = Collines longues pentes 2 à ≥ 10% - Altitude 450 m
- Pluviométrie - 1500 à 2500 mm sur 7-7,5 mois

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

FIG. 18 TENDANCES D'ÉVOLUTION DU TAUX DE MATIÈRE ORGANIQUE (EN %), EN FONCTION DE LA NATURE DES SYSTÈMES DE CULTURE PRATIQUÉS DANS DIVERS AGROSYSTÈMES CONTRASTÉS, TROPICAUX ET SUBTROPICAUX -

3 - Agrosystèmes des savanes humides du Gabon

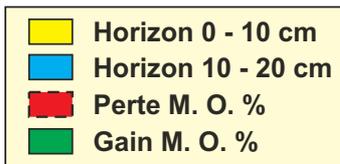
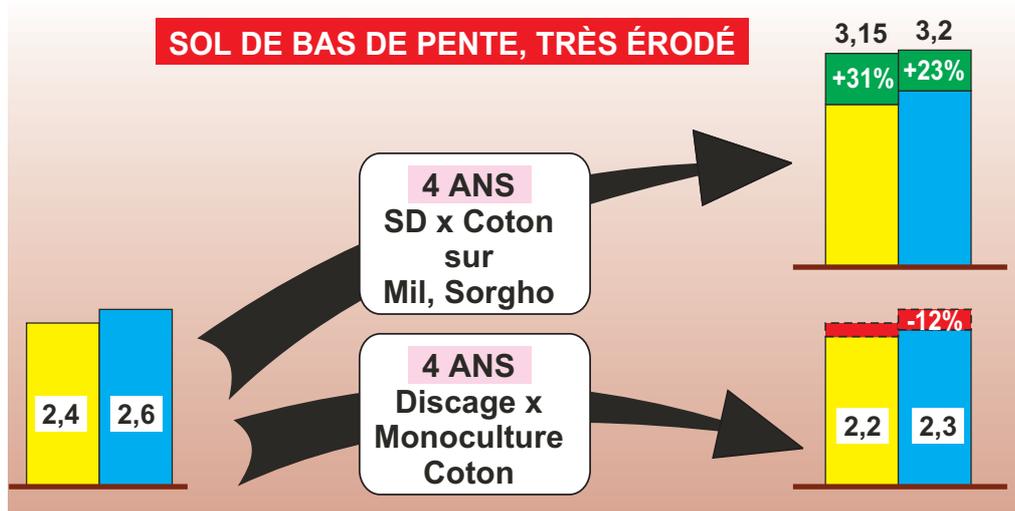


- Sol Ferrallitique jaune sur roche acide;
- Pluviométrie - 2000 à >3000 mm, bimodale
- Topographie = Collines, pentes 2 à > 8% - Altitude 7 à 800 m
- Situation = Lat. 2° Sud, Long. 13° Est.

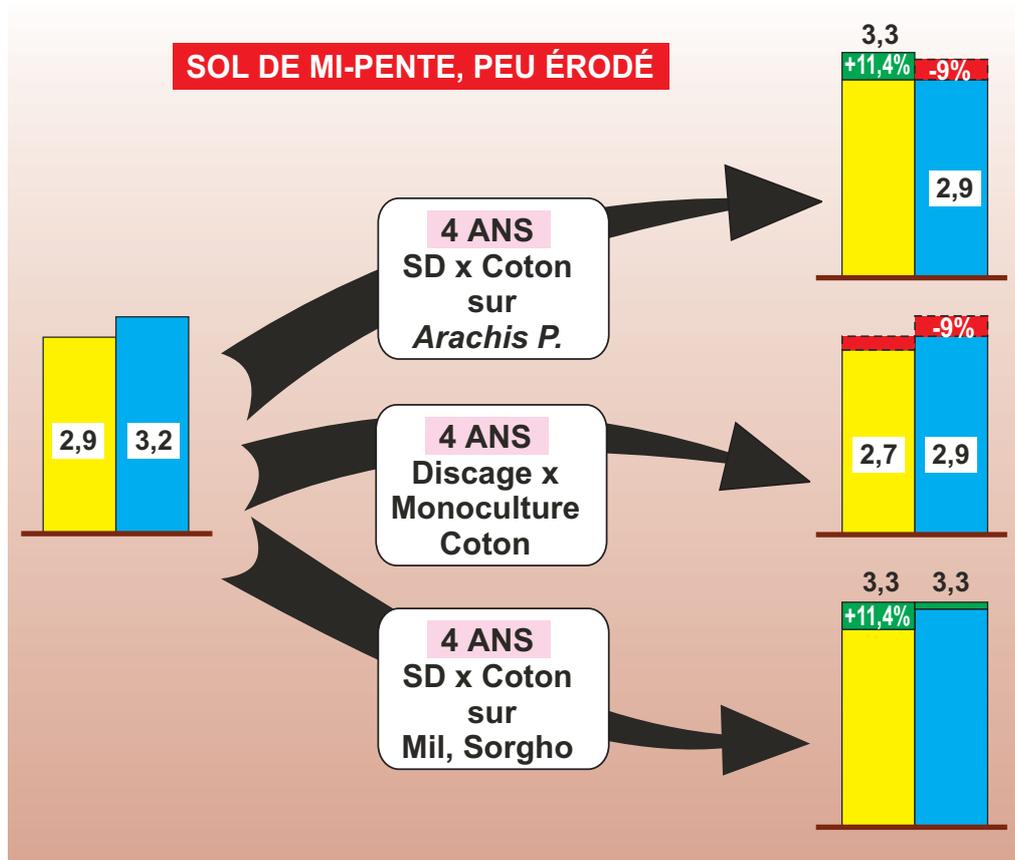
SOURCE: S. Boulakia, L. Ségué, CIRAD; C. Madjou, CRAB; Franceville, Gabon - 1999 -

FIG. 19 TENDANCES D'ÉVOLUTION DU TAUX DE MATIÈRE ORGANIQUE (EN %), EN FONCTION DE LA NATURE DES SYSTÈMES DE CULTURE PRATIQUÉS DANS DIVERS AGROSYSTÈMES CONTRASTÉS, TROPICAUX ET SUBTROPICAUX -

4 - Agrosystèmes des forêts tropicales du Sud de l'état de Goiás - Brésil



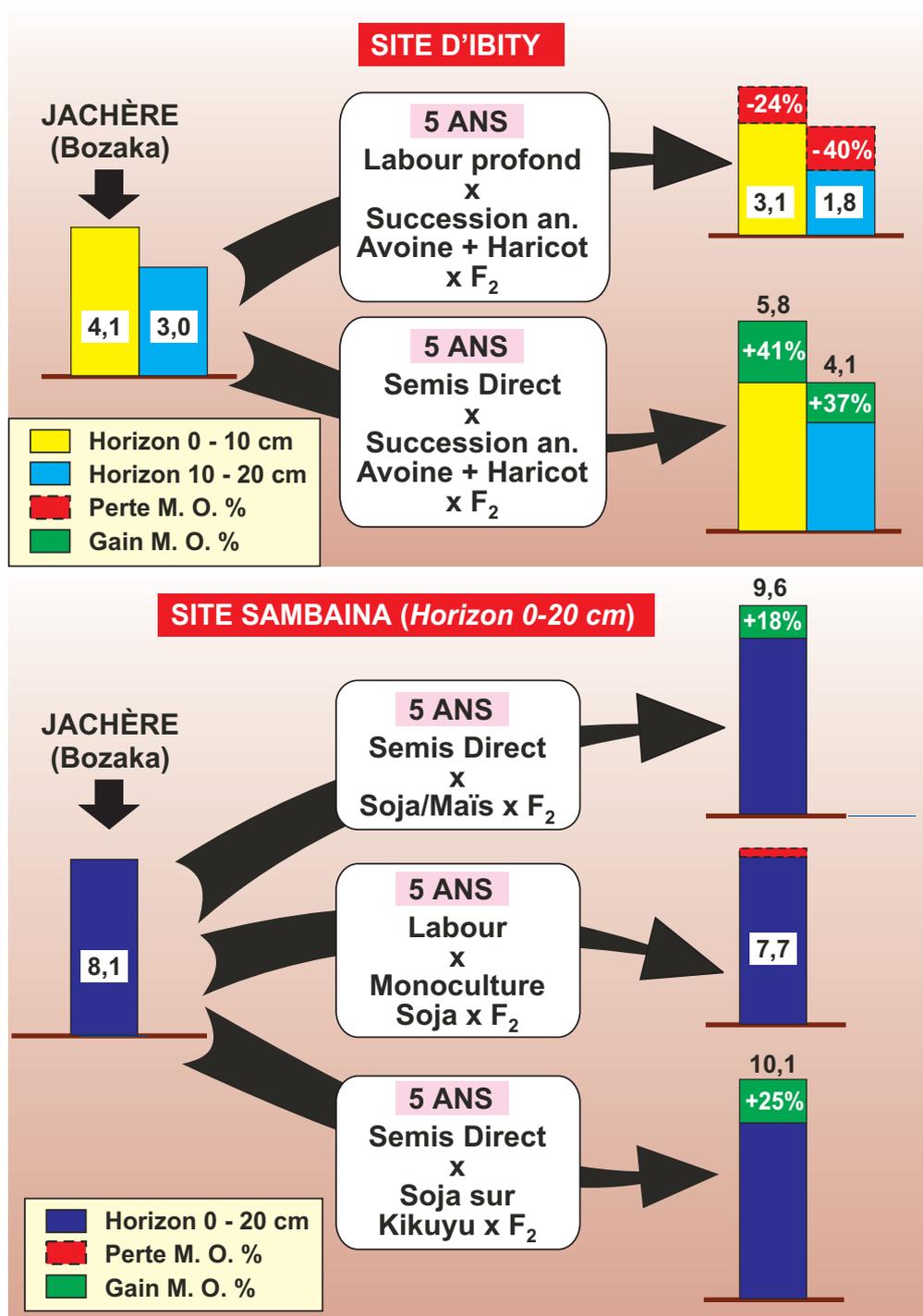
- Sol: Ferrallitique rouge foncé sur basalte
- Situation = Lat. 17° 3' S, Long. 49°54' W - Altitude 3 à 400 m
- Topographie = Collines à fortes pentes (3-20%)
- Pluviométrie - 900 à 1600 mm sur 6 mois



SOURCE: L. Ségué, S. Bouzinac, CIRAD-CA/SCV; E. Maeda, N. Maeda, M. A. Ide, Groupe Maeda Fazenda Canadá - Porteirão/GO - 1999

FIG. 20 TENDANCES D'ÉVOLUTION DU TAUX DE MATIÈRE ORGANIQUE (EN %), EN FONCTION DE LA NATURE DES SYSTÈMES DE CULTURE PRATIQUÉS DANS DIVERS AGROSYSTÈMES CONTRASTÉS, TROPICAUX ET SUBTROPICAUX -

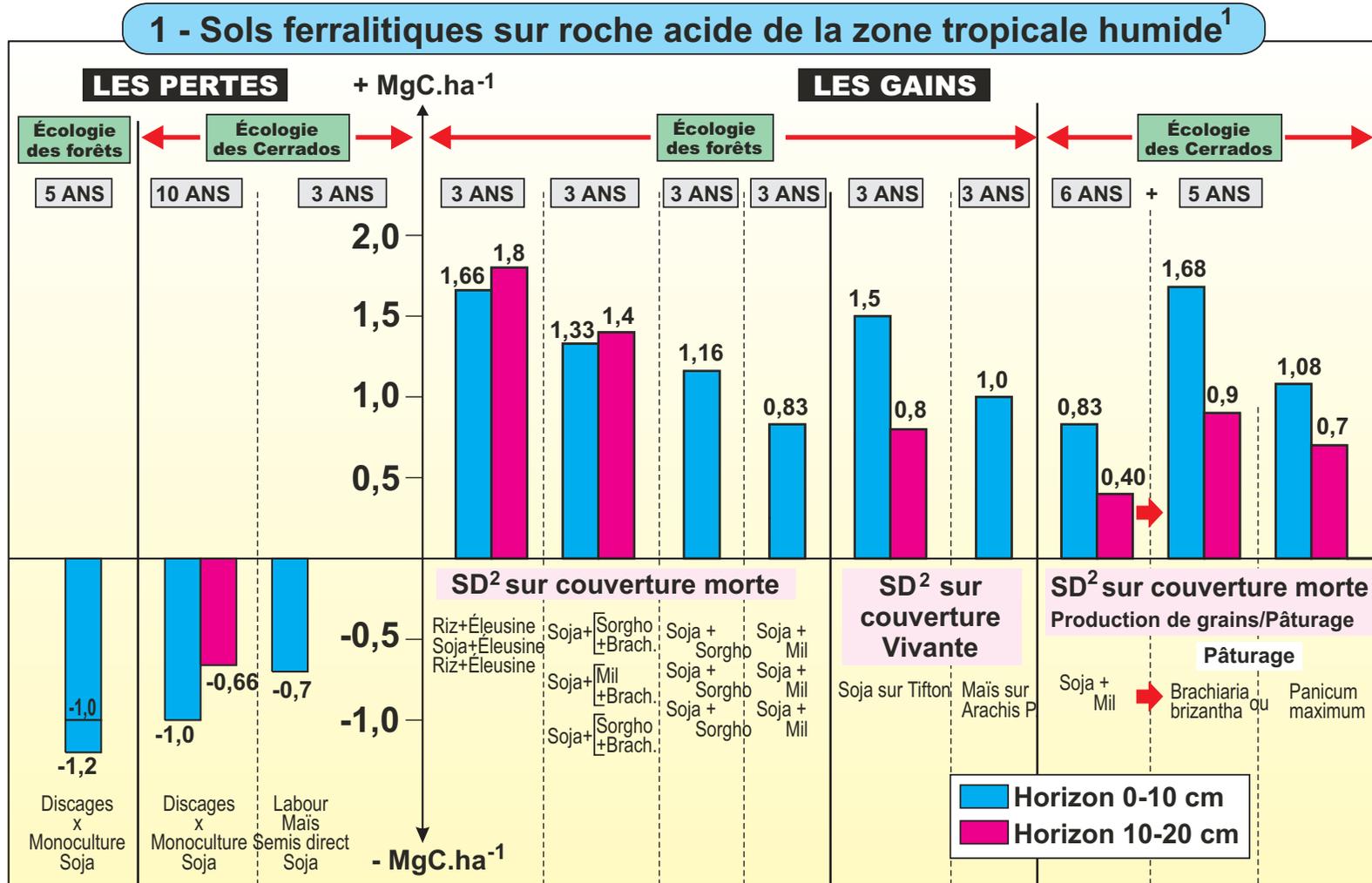
5 - Agrosystèmes des hauts Plateaux Malgaches - Sub-Tropical



- Sols Ferrallitiques sur roche acide (*Ibity*), ferrallitiques rouge-chocolat (*Sambaina*)
- Situation = Lat. 19° 44' a 57' Sud; Long. 46° a 47° Est - Altitude 1400 à 1600 m
- Topographie = De montagne, fortes pentes (3-60%) • Pluviométrie - 1600 - 1800 mm

SOURCE: L. ONG TAFI, L. Séguy, CIRAD-CA/SCV, 1993/98 - Antsirabé - MADAGASCAR

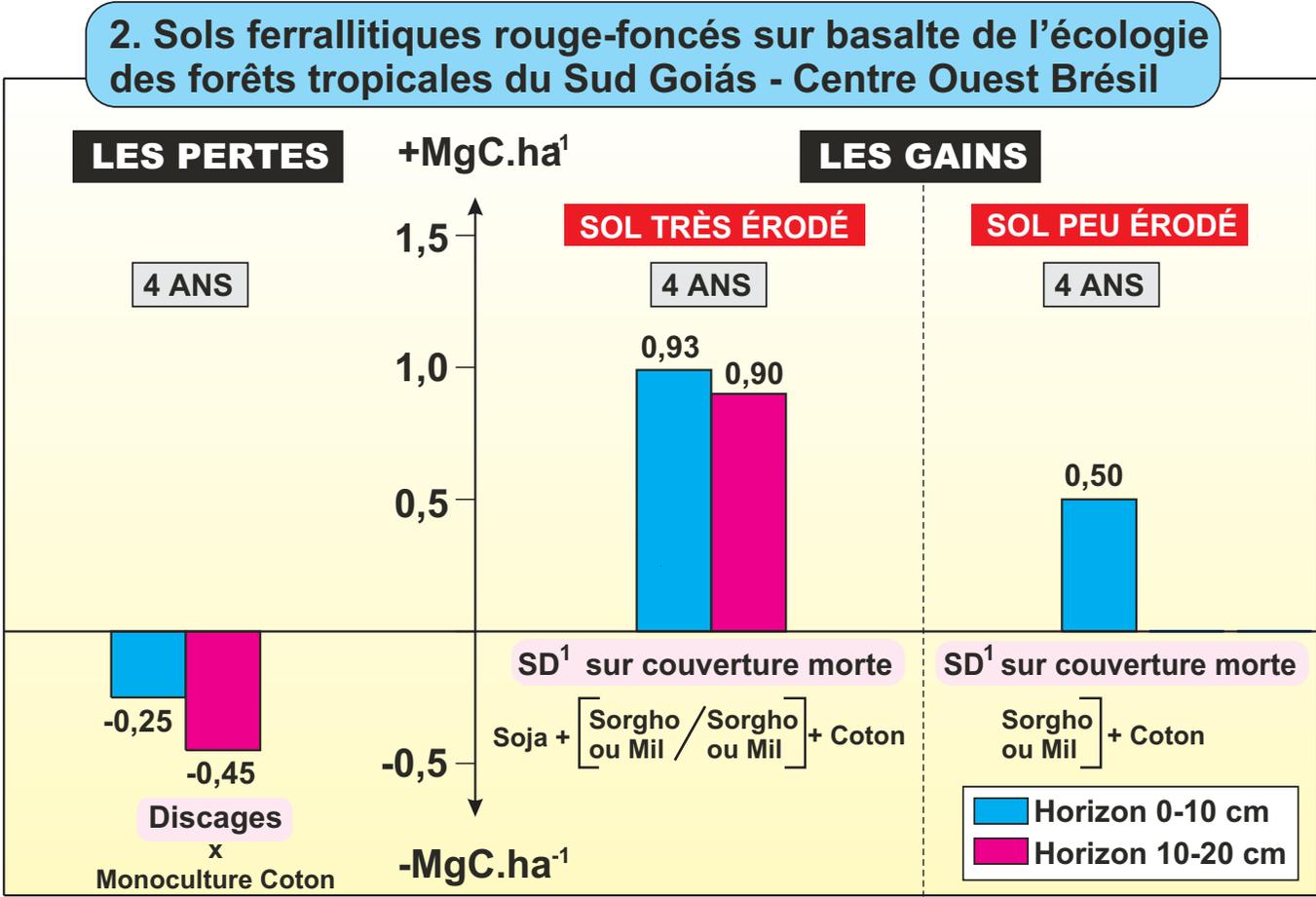
FIG. 21 RESUMÉ DES TENDANCES D'ÉVOLUTION DES TENEURS MOYENNES ANNUELLES DE CARBONE DU SOL (en Mg C.ha⁻¹), EN FONCTION DE LA NATURE DES SYSTÈMES DE CULTURE PRATIQUÉS -



1- Brésil et Gabon; 2 - SD = Semis direct

SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA/GEC; M. Matsubara, Faz. Progresso; A. C. Maronezzi, Agronorte; S. Boulakia et al., CIRAD - 1994/99 - Sinop/MT

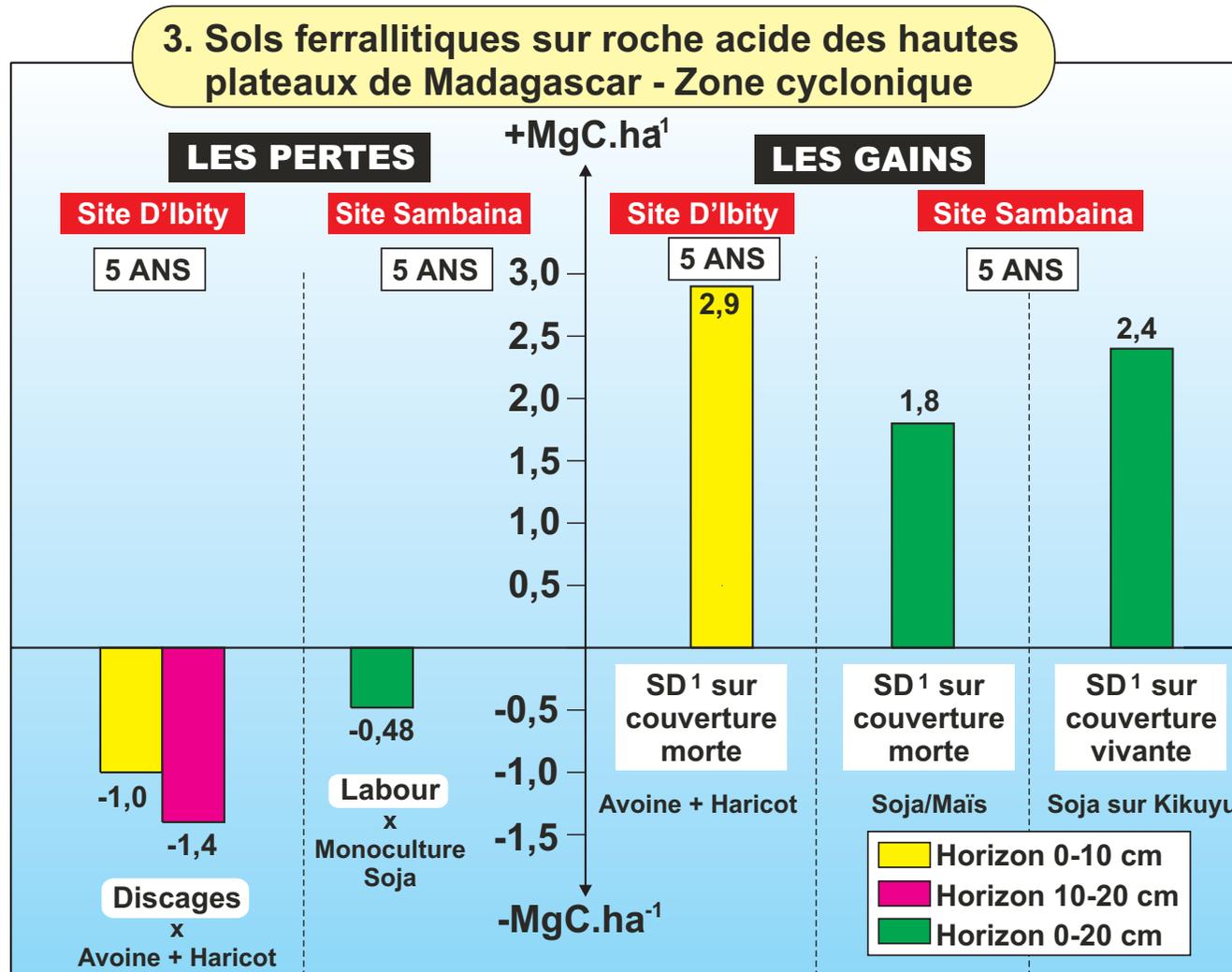
FIG. 22 RESUMÉ DES TENDANCES D'ÉVOLUTION DES TENEURS MOYENNES ANNUELLES DE CARBONE DU SOL (en Mg C.ha⁻¹), EN FONCTION DE LA NATURE DES SYSTÈMES DE CULTURE PRATIQUÉS -



1- SD = Semis direct

SOURCE: E. Maeda, M. Esaki, Groupe Maeda; L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA/GEC; Porteirão/GO, 1995/1999

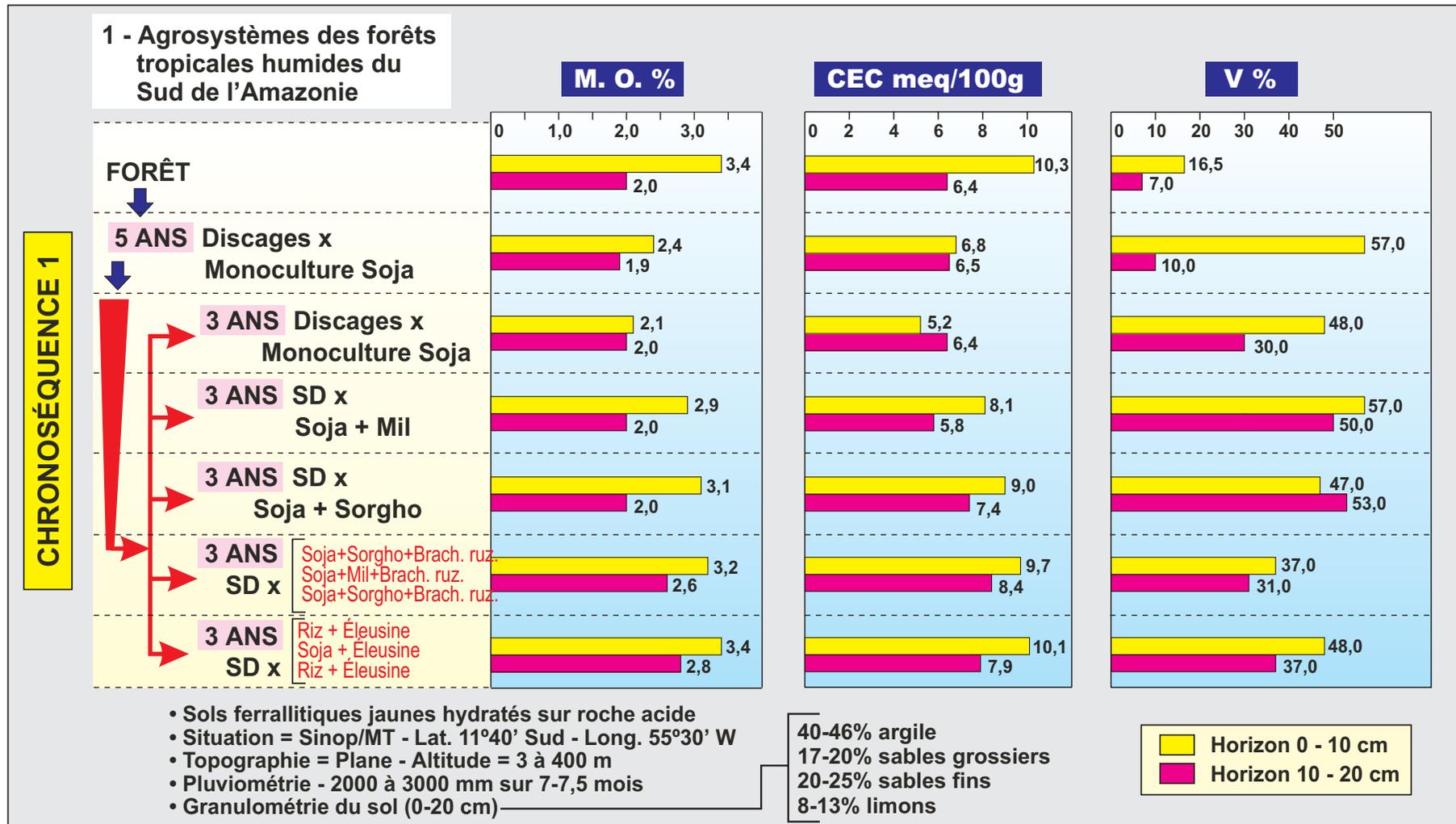
FIG. 23 RESUMÉ DES TENDANCES D'ÉVOLUTION DES TENEURS MOYENNES ANNUELLES DE CARBONE DU SOL (en Mg C.ha⁻¹), EN FONCTION DE LA NATURE DES SYSTÈMES DE CULTURE PRATIQUÉS -



1. SD = Semis direct

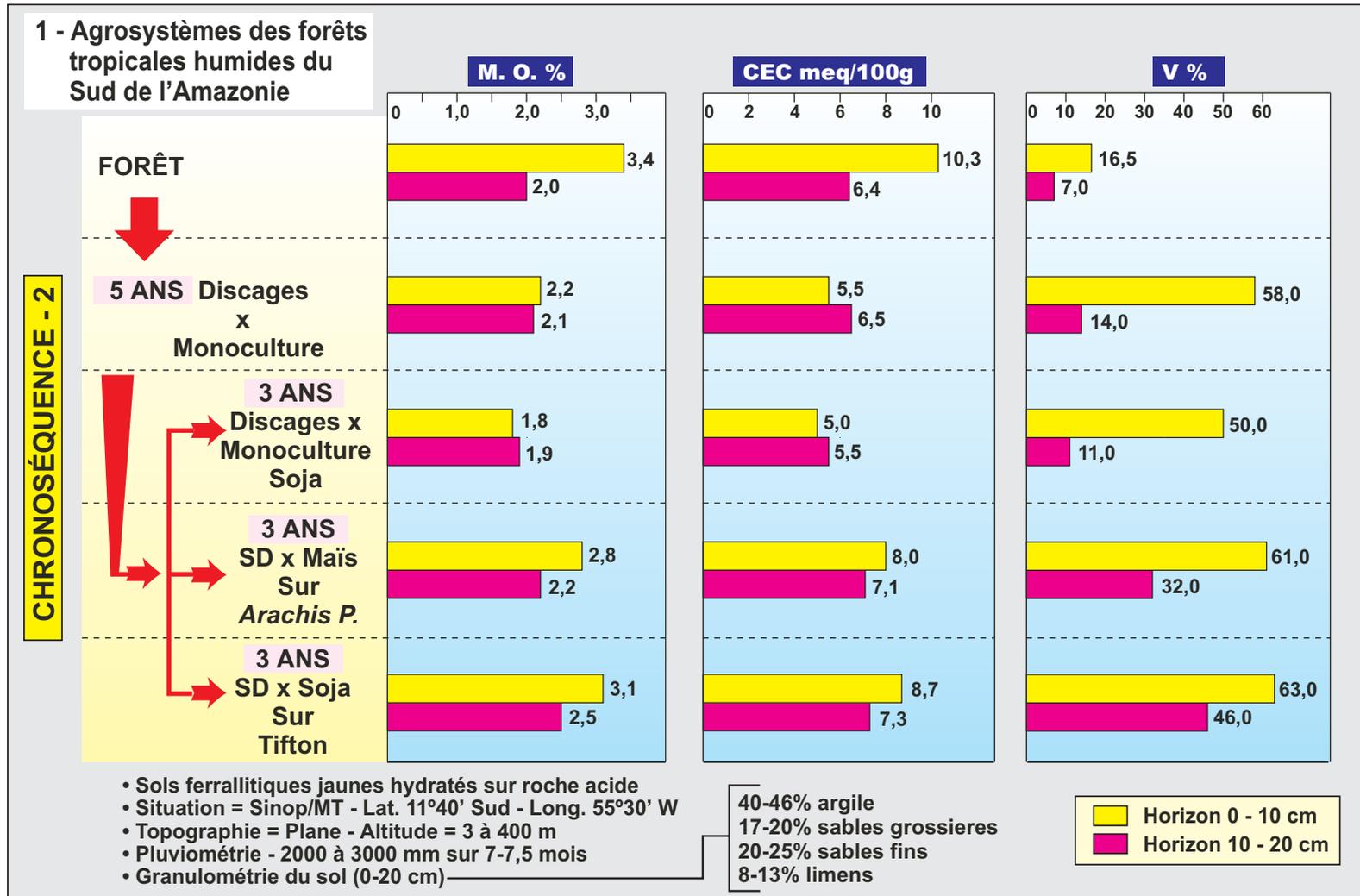
SOURCE: ONG TAFA; R. Michellon, P. Julien, CIRAD-CA/GEC - Antsirabé, 1999 - MADAGASCAR

FIG. 24 TENDANCES D'ÉVOLUTION DU TAUX DE MATIÈRE ORGANIQUE (M. O. en %), DE LA CEC (en meq/ ET DU TAUX DE SATURATION (V en %), EN FONCTION DE LA NATURE DES SYSTÈMES DE CULTURE PRATIQUÉS DANS DIVERS AGROSYSTÈMES CONTRASTÉS, TROPICAUX ET SUBTROPICAUX -



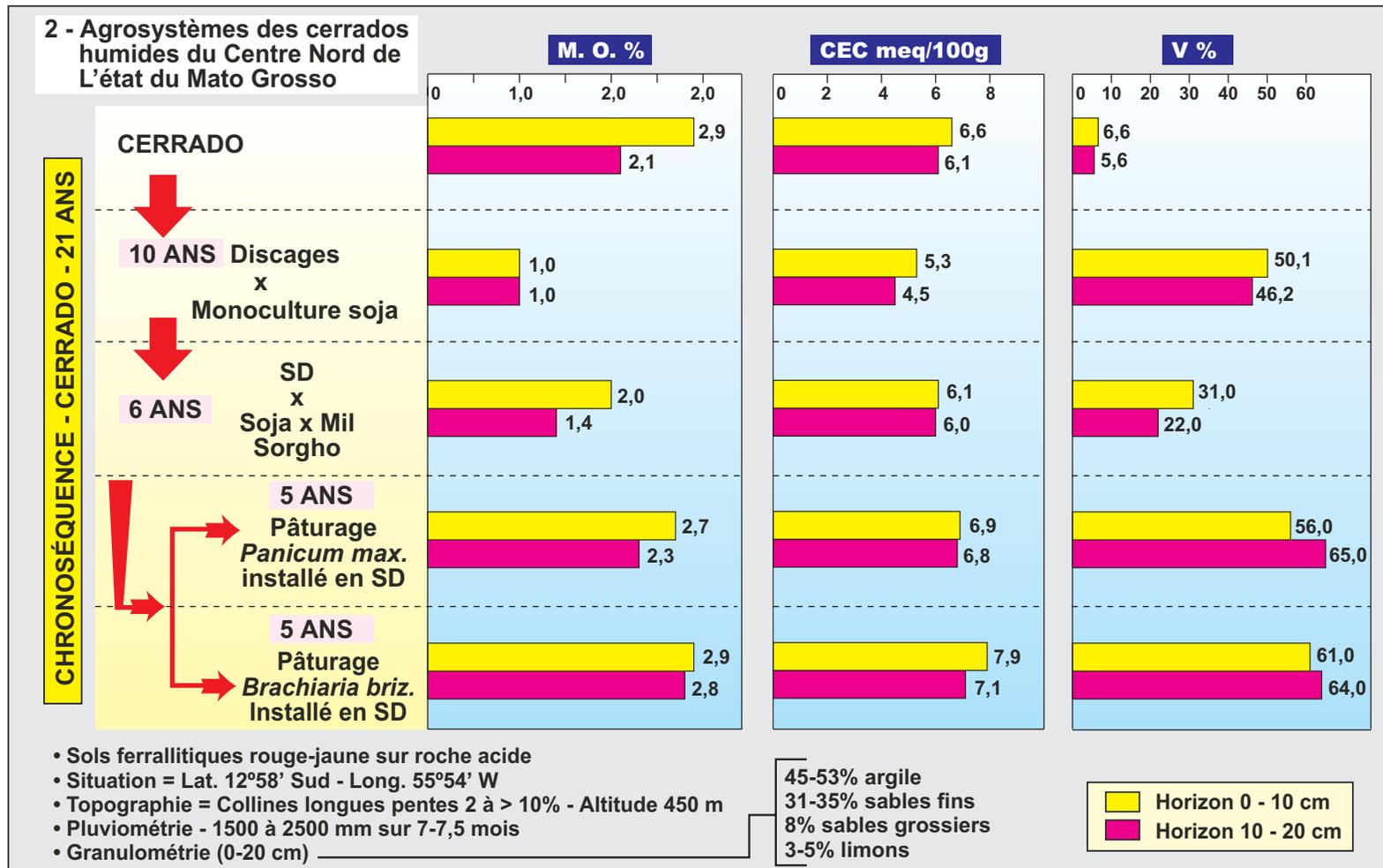
SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA/SCV; A. C. Maronezzi, Agronorte - Sinop/MT - 2000

FIG. 25 TENDANCES D'ÉVOLUTION DU TAUX DE MATIÈRE ORGANIQUE (M. O. en %), DE LA CEC (en meq/100g) ET DU TAUX DE SATURATION (V en %), EN FONCTION DE LA NATURE DES SYSTÈMES DE CULTURE PRATIQUÉS DANS DIVERS AGROSYSTÈMES CONTRASTÉS, TROPICAUX ET SUBTROPICAUX -



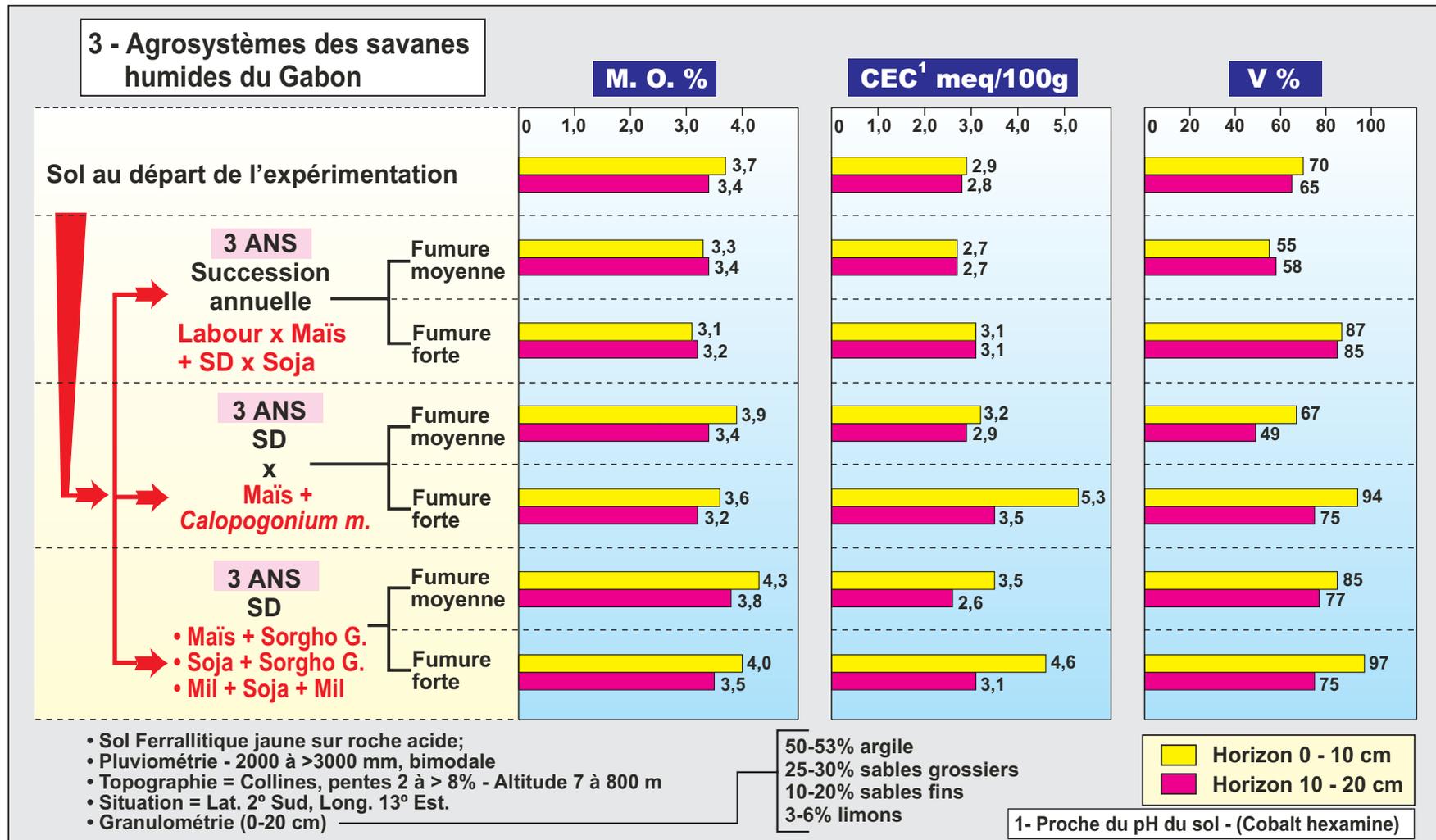
SOURCE: L. Ségué, S. Bouzinac, CIRAD-CA/SCV; A. C. Maronezzi, Agronorte - Sinop/MT - 2000

FIG. 26 TENDANCES D'ÉVOLUTION DU TAUX DE MATIÈRE ORGANIQUE (M. O. en %), DE LA CEC (en meq) ET DU TAUX DE SATURATION (V en %), EN FONCTION DE LA NATURE DES SYSTÈMES DE CULTURE PRATIQUÉS DANS DIVERS AGROSYSTÈMES CONTRASTÉS, TROPICAUX ET SUBTROPICAUX -



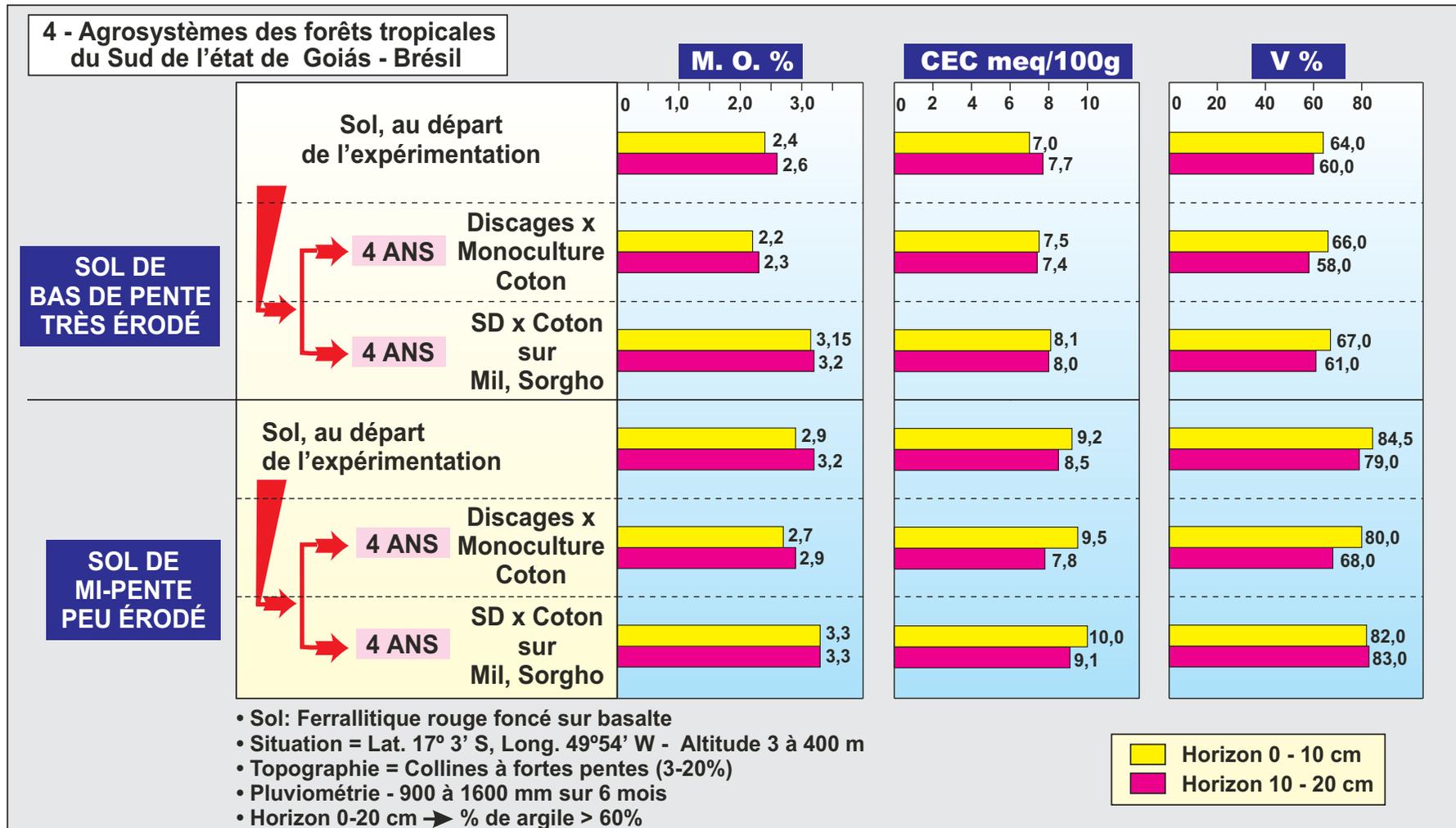
SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA/SCV; Munefumi Matsubara, Fazenda Progresso - Lucas do Rio e Verde/MT - 1978/1998

FIG. 27 TENDANCES D'ÉVOLUTION DU TAUX DE MATIÈRE ORGANIQUE (M. O. en %), DE LA CEC (en meq) ET DU TAUX DE SATURATION (V en %), EN FONCTION DE LA NATURE DES SYSTÈMES DE CULTURE PRATIQUÉS DANS DIVERS AGROSYSTÈMES CONTRASTÉS, TROPICAUX ET SUBTROPICAUX -



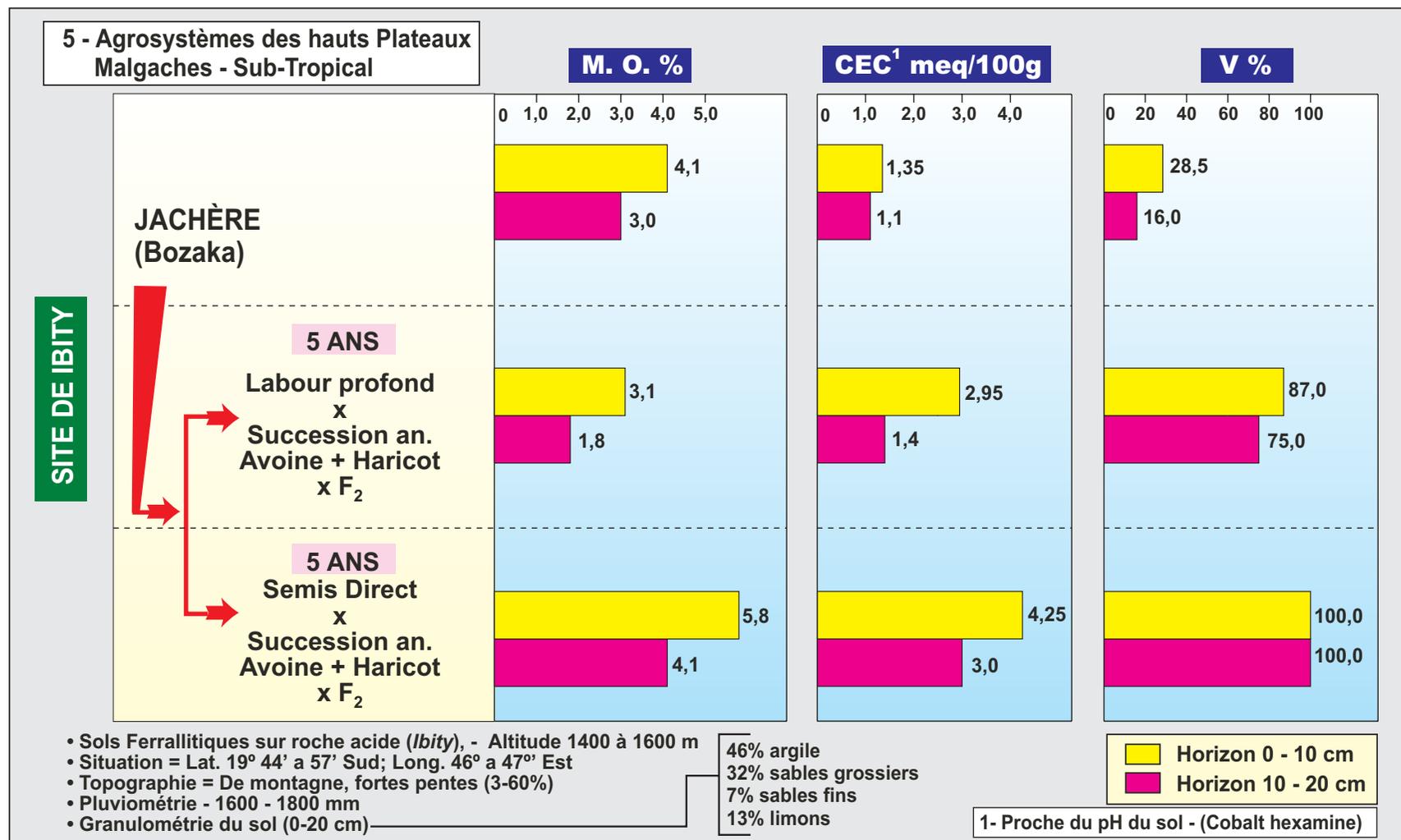
SOURCE: S. Boulakia, L. Ségué, CIRAD; C. Madjou, CRAB; Franceville, Gabon - 1999 -

FIG. 28 TENDANCES D'ÉVOLUTION DU TAUX DE MATIÈRE ORGANIQUE (M. O. en %), DE LA CEC (en meq) ET DU TAUX DE SATURATION (V en %), EN FONCTION DE LA NATURE DES SYSTÈMES DE CULTURE PRATIQUÉS DANS DIVERS AGROSYSTÈMES CONTRASTÉS, TROPICAUX ET SUBTROPICAUX -



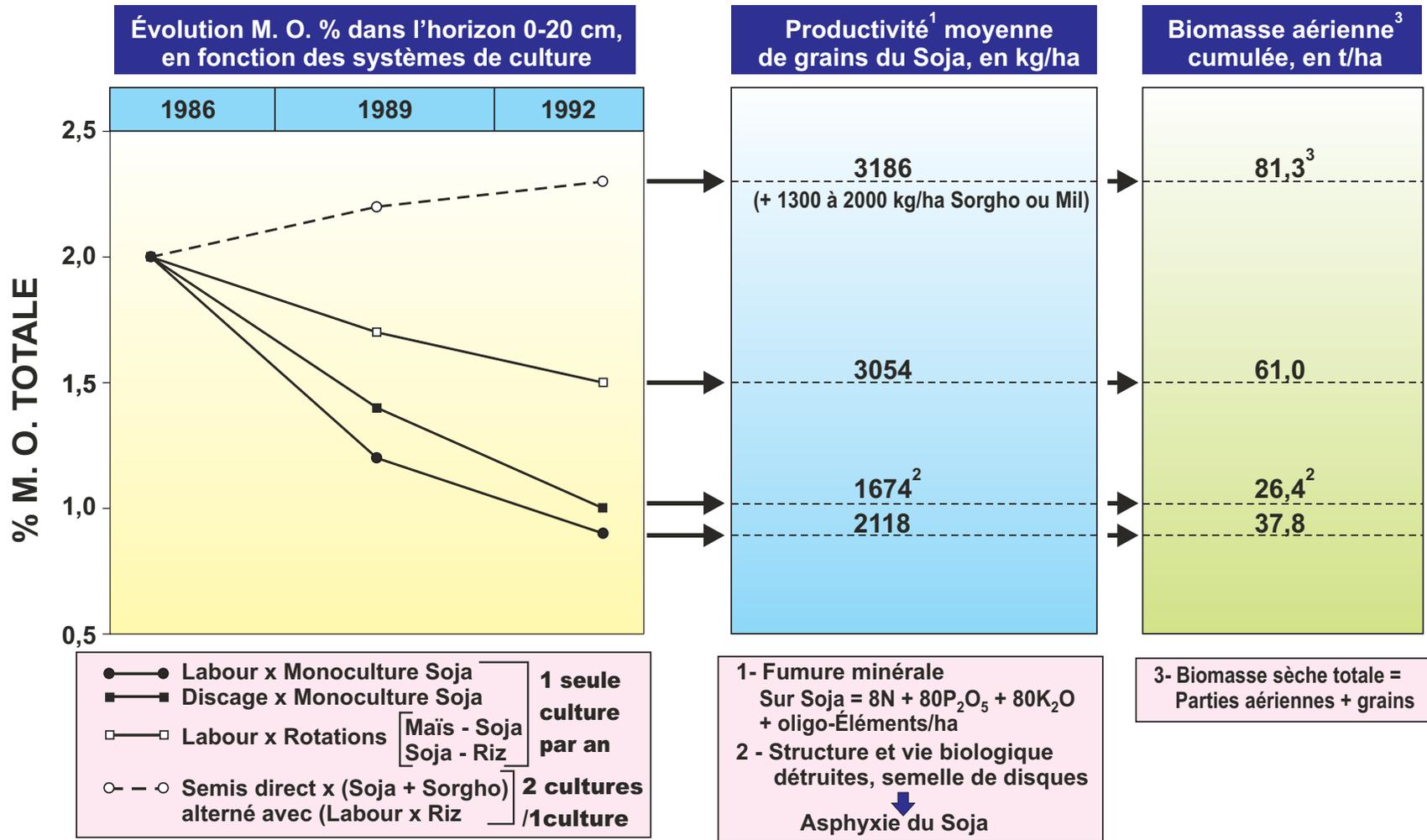
SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA/SCV; E. Maeda, N. Maeda, M. A. Ide, Groupe Maeda, Fazenda Canadá - Porteirão/GO - 1999

FIG. 29 TENDANCES D'ÉVOLUTION DU TAUX DE MATIÈRE ORGANIQUE (M. O. en %), DE LA CEC (en meq) ET DU TAUX DE SATURATION (V en %), EN FONCTION DE LA NATURE DES SYSTÈMES DE CULTURE PRATIQUÉS DANS DIVERS AGROSYSTÈMES CONTRASTÉS, TROPICAUX ET SUBTROPICAUX -



SOURCE: L. ONG TAFI, L. Ségué, CIRAD-CA/SCV, 1993/98 - Antsirabé - MADAGASCAR

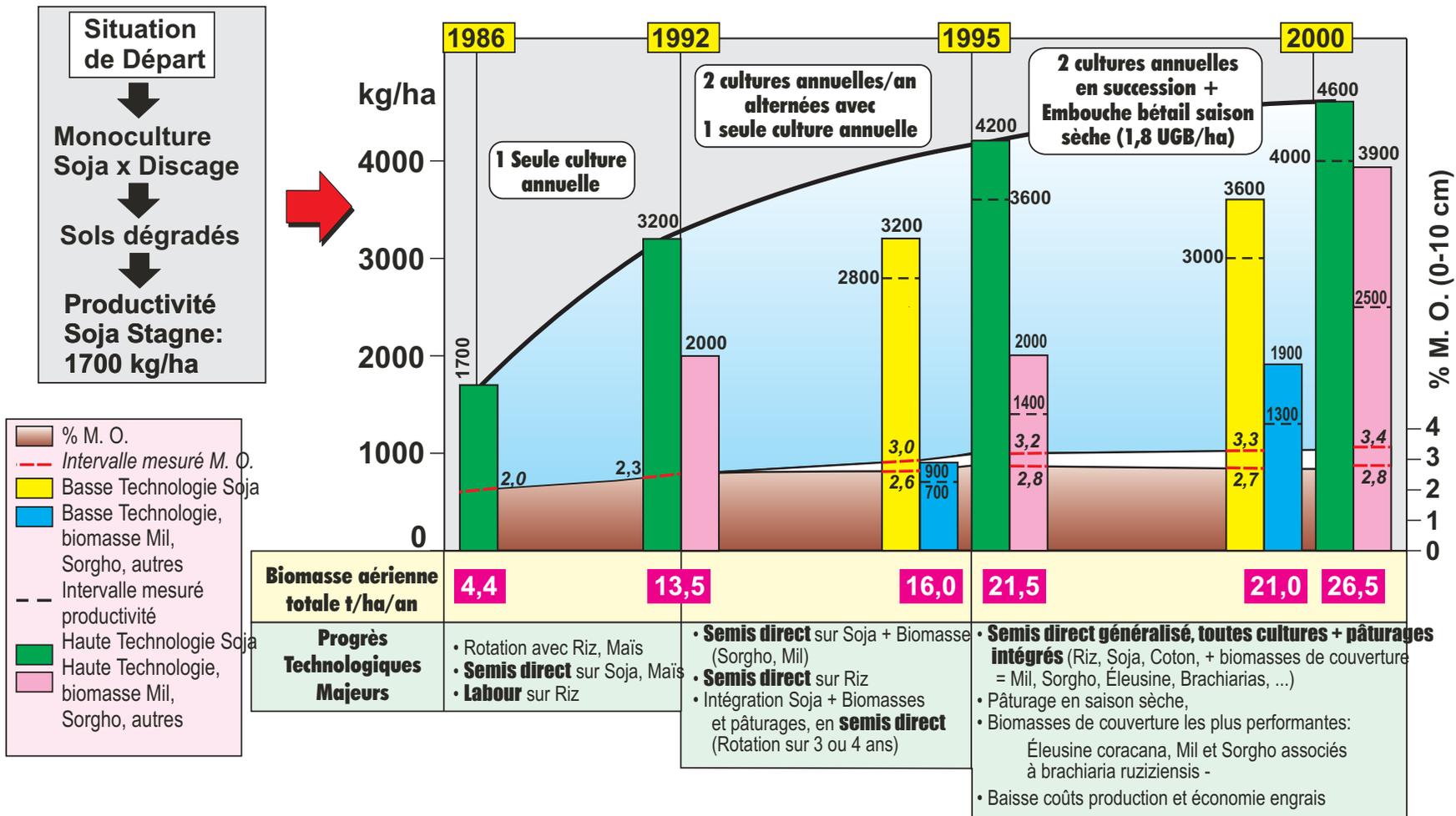
FIG. 30 TENDANCES D'ÉVOLUTION DU TAUX DE MATIÈRE ORGANIQUE SUR 6 ANS, EN FONCTION DE LA NATURE DES SYSTÈMES DE CULTURE ET CONSÉQUENCES SUR LA PRODUCTIVITÉ MOYENNE DU SOJA ET LA PRODUCTION CUMULÉE DE BIOMASSE AÉRIENNE - Écologie des cerrados humides du Centre Nord Mato Grosso, MT - 1986/92



(*) Expérimentations conduites en conditions d'exploitation réelles - (Matrice systèmes = 180 ha; parcelle élémentaire = 4 ha)

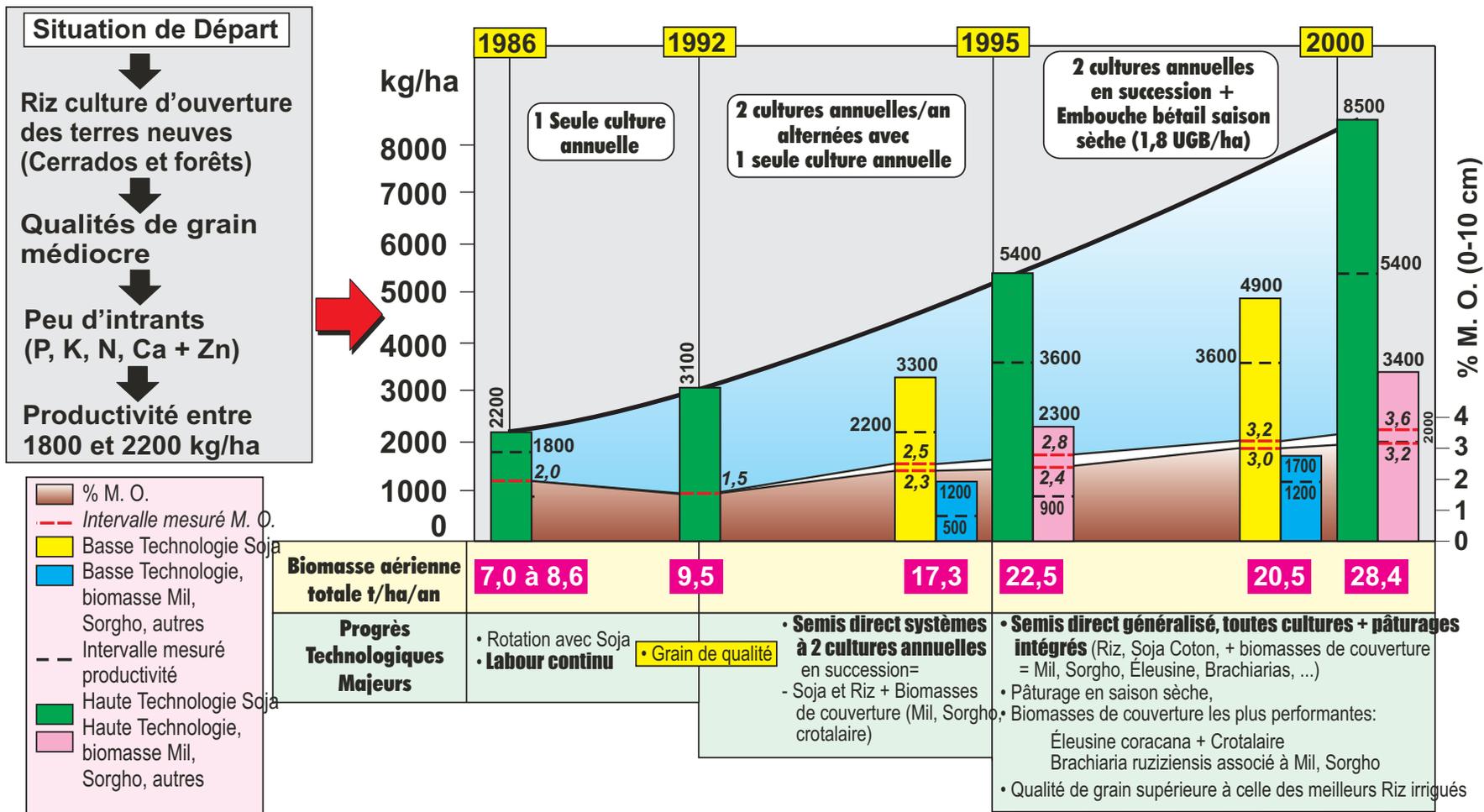
SOURCE: L. Ségué, S. Bouzinac, CIRAD-CA/GEC; M. Matsubara, Fazenda Progresso; Lucas do Rio Verde/MT, 1986/92

FIG. 31 TENDANCES D'ÉVOLUTION DES PERFORMANCES DE LA CULTURE DE SOJA DANS LES SYSTÈMES DE CULTURE DURABLES, CRÉÉS PAR LA RECHERCHE ET CONSÉQUENCES SUR LA PRODUCTION DE BIOMASSE AÉRIENNE ET LE TAUX DE MATIÈRE ORGANIQUE DU SOL - Sols ferrallitiques oxydés et hydratés sur roche acide des fronts pionniers du Centre Nord du Mato Grosso - Écologies des cerrados et forêts humides -



SOURCE: L. Ségué, S. Bouzinac, CIRAD-CA; M. Matsubara, Faz. Progresso; A. Trentini, Cooperlucas; A. C. Maronezzi, Agronorte - MT, 1986/2000

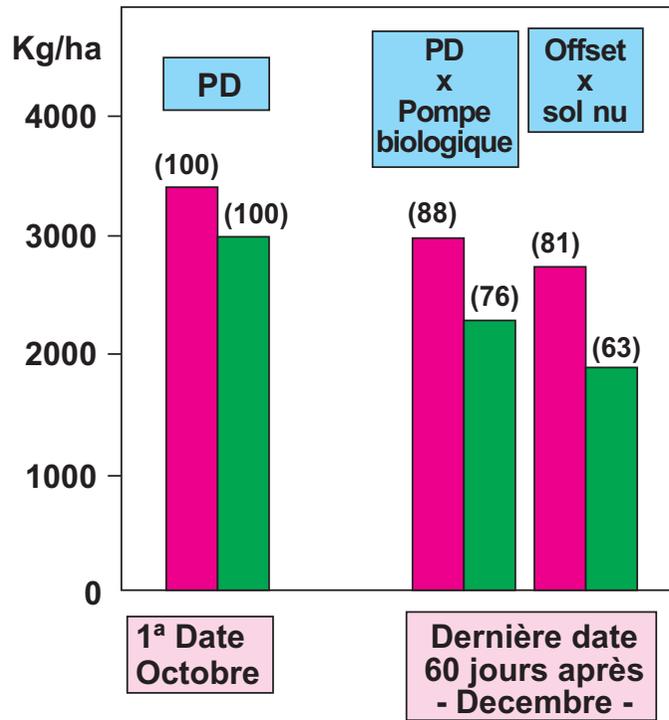
FIG. 32 TENDANCES D'ÉVOLUTION DES PERFORMANCES DE LA CULTURE DE RIZ PLUVIAL DANS LES SYSTÈMES DE CULTURE DURABLES CRÉÉS PAR LA RECHERCHE ET CONSÉQUENCES SUR LA PRODUCTION DE BIOMASSE AÉRIENNE ET LE TAUX DE MATIÈRE ORGANIQUE DU SOL - Sols ferrallitiques oxydés et hydratés sur roche acide des fronts pionniers du Centre Nord du Mato Grosso - Écologies des cerrados et forêts humides -



SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA; M. Matsubara, Faz. Progresso; A. Trentini, Cooperlucas; A. C. Maronezzi, Agronorte - MT, 1986/2000

FIG. 33 PRODUCTIVITÉ DU SOJA, EN FONCTION:

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

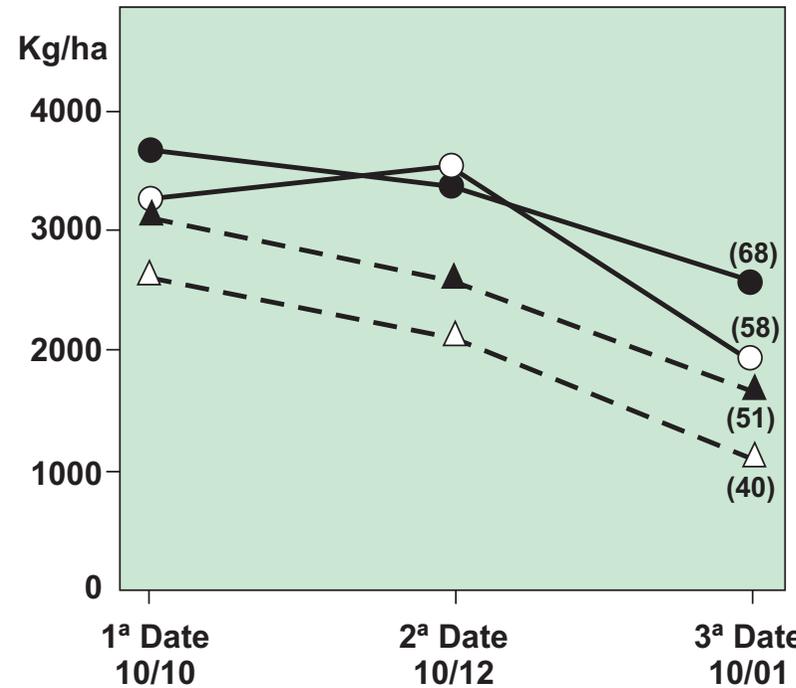


- Niveau fort de correction
- Niveau progressif de correction
- () Productivités relatives
 - Écologies des forêts et cerrados humides
- (*) Moyenne de 4 essais conduits en conditions d'exploitation réelles ➔ **70 ha** Sinop e Lucas do Rio Verde, MT, 1994

SOURCE: L. Ségué, S. Bouzinac e A. Trentini., 1994

PRODUCTIVITÉ DU SOJA, EN FONCTION:

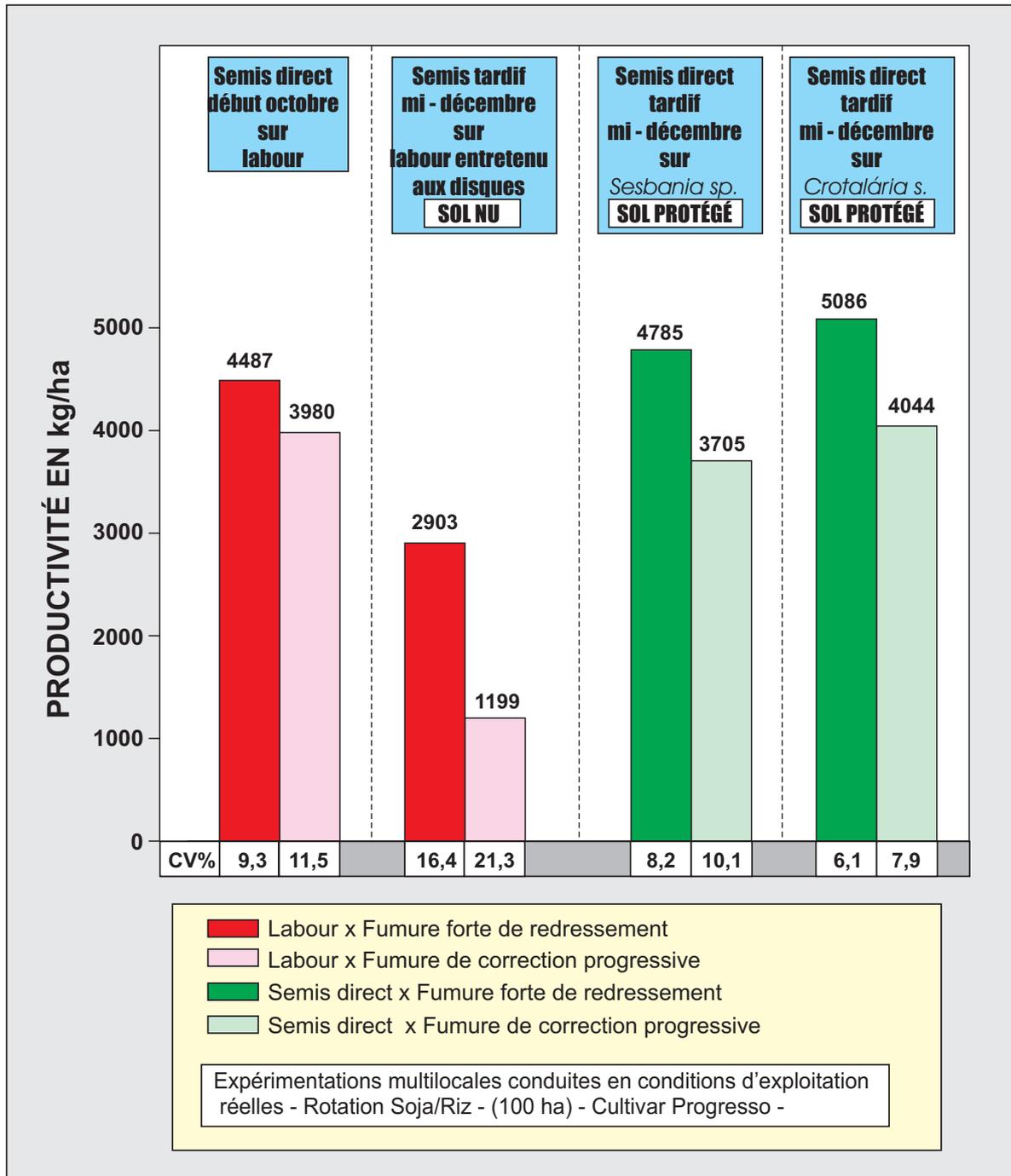
- De la date de semis
- De niveau de correction du sol
- Du mode de travail du sol



- Niveau de correction fort
- Niveau progressif de correction
- ▲—▲ Niveau de correction fort
- △—△ Niveau progressif de correction
- () Productivités relatives
 - Écologies des forêts tropicales humides
- (*) Essais de **20 ha**, conduits en conditions d'exploitation réelles. Sinop - MT, 1994

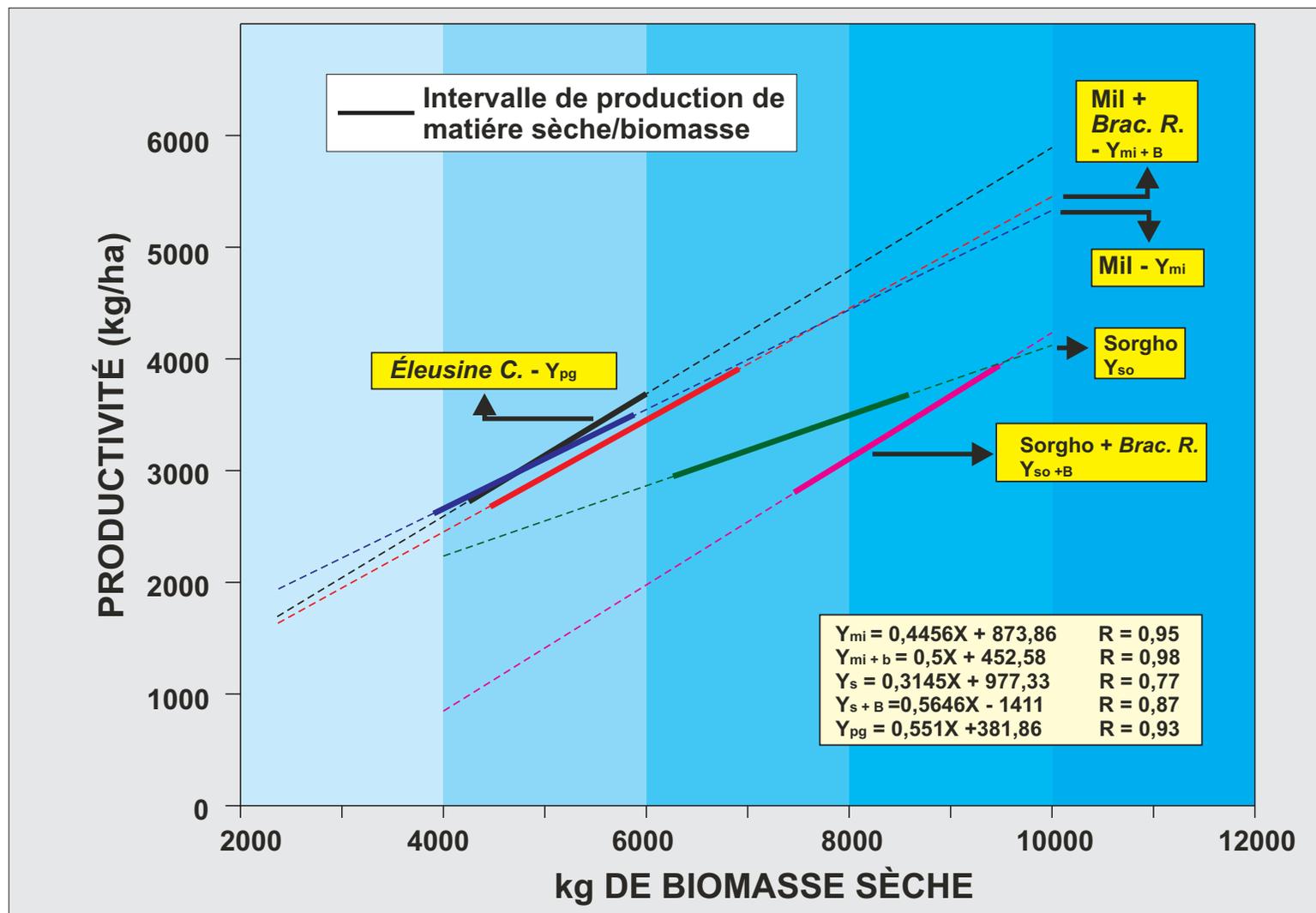
SOURCE: L. Ségué, S. Bouzinac e A. Trentini., 1994

**FIG. 34 LE SEMIS DIRECT SUR BIOMASSE RECYCLEUSE:
UN SYSTÈME MAINTENEUR DE FERTILITÉ SUR CULTURE DE RIZ PLUVIAL
Écologies des savanes et forêts humides du Centre Nord Mato Grosso -
Lucas do Rio Verde, Sorriso et Sinop - MT/1994**



SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA;
A. Trentini, Cooperlucas, Coasul et Comicel - 1994

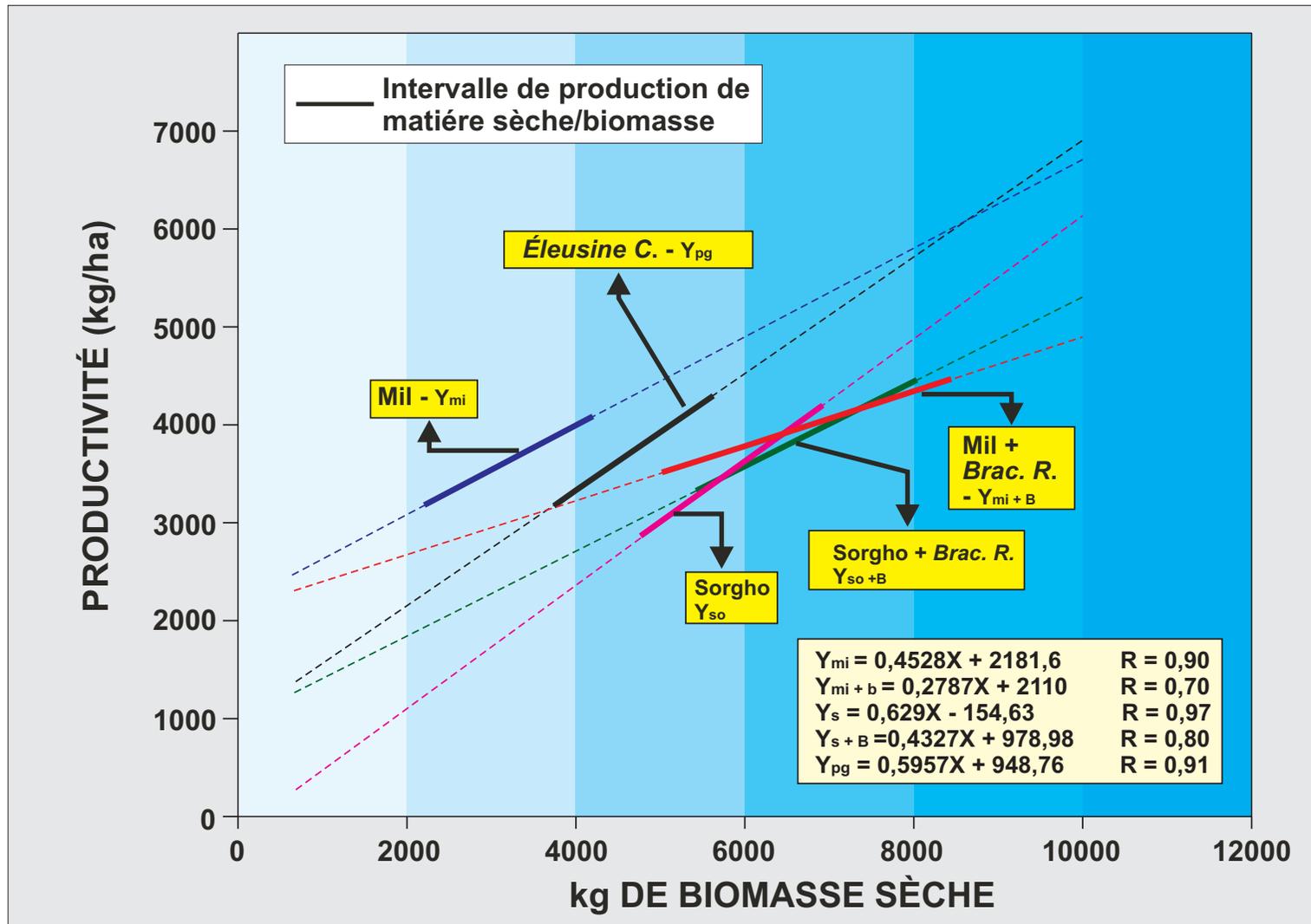
FIG. 35 REGRESSIONS¹ ENTRE LA QUANTITÉ ET LA NATURE DE LA BIOMASSE SÈCHE ET LA PRODUCTIVITÉ DU SOJA DE CYCLE INTERMÉDIAIRE (CV. *Conquista*) SUR 3 ANS DE SEMIS DIRECT - (1997/2000) - AGRONORTE - SINOP/MT, 2000



(1) 6 Répétitions/niveau de fumure/an

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

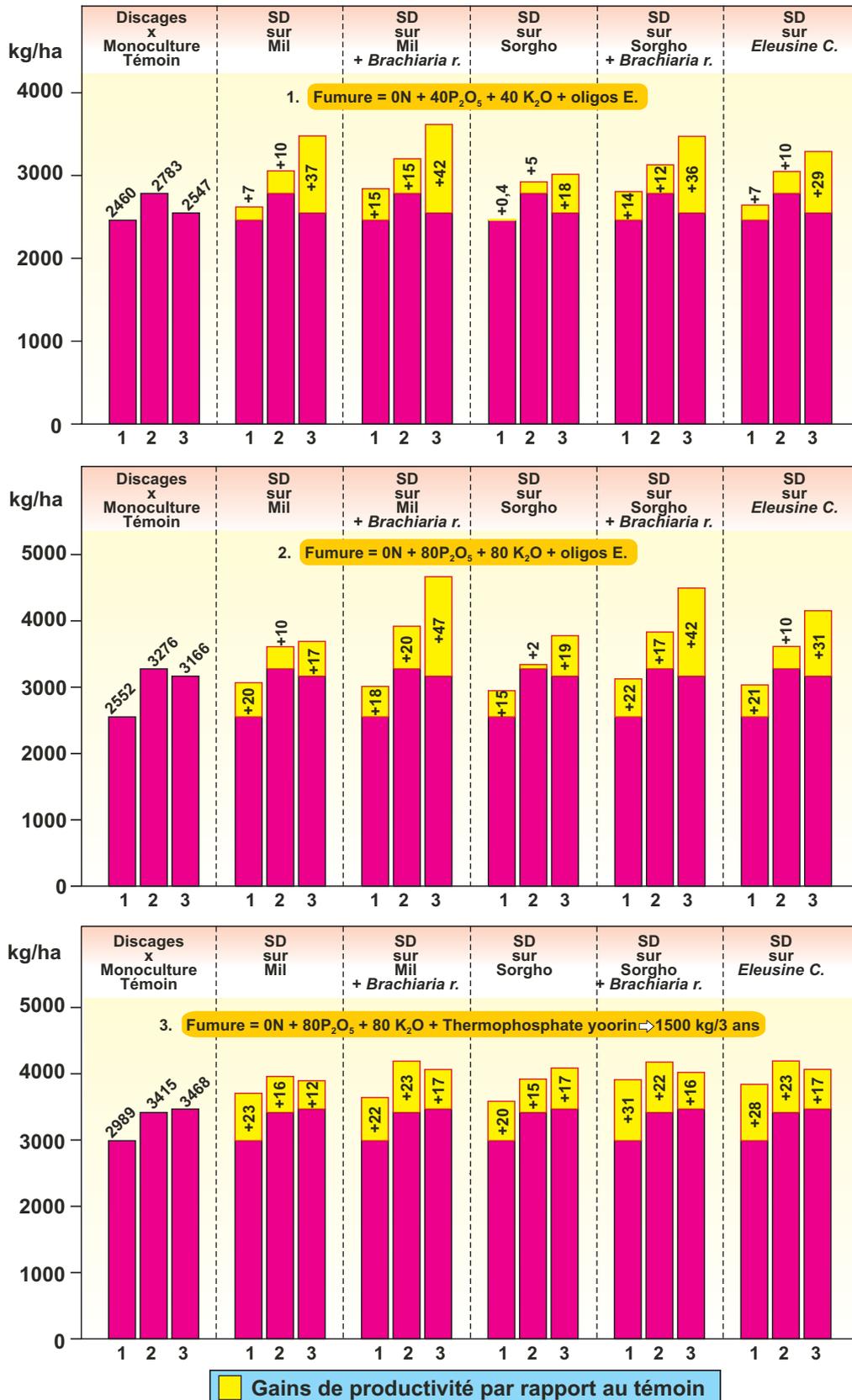
FIG. 36 REGRESSIONS¹ ENTRE LA QUANTITÉ ET LA NATURE DE LA BIOMASSE SÈCHE ET LA PRODUCTIVITÉ DU SOJA DE CYCLE MOYEN (FT 114) SUR 3 ANS DE SEMIS DIRECT - (1997/2000) - AGRONORTE - SINOP/MT, 2000



(1) 6 Répétitions/niveau de fumure/an

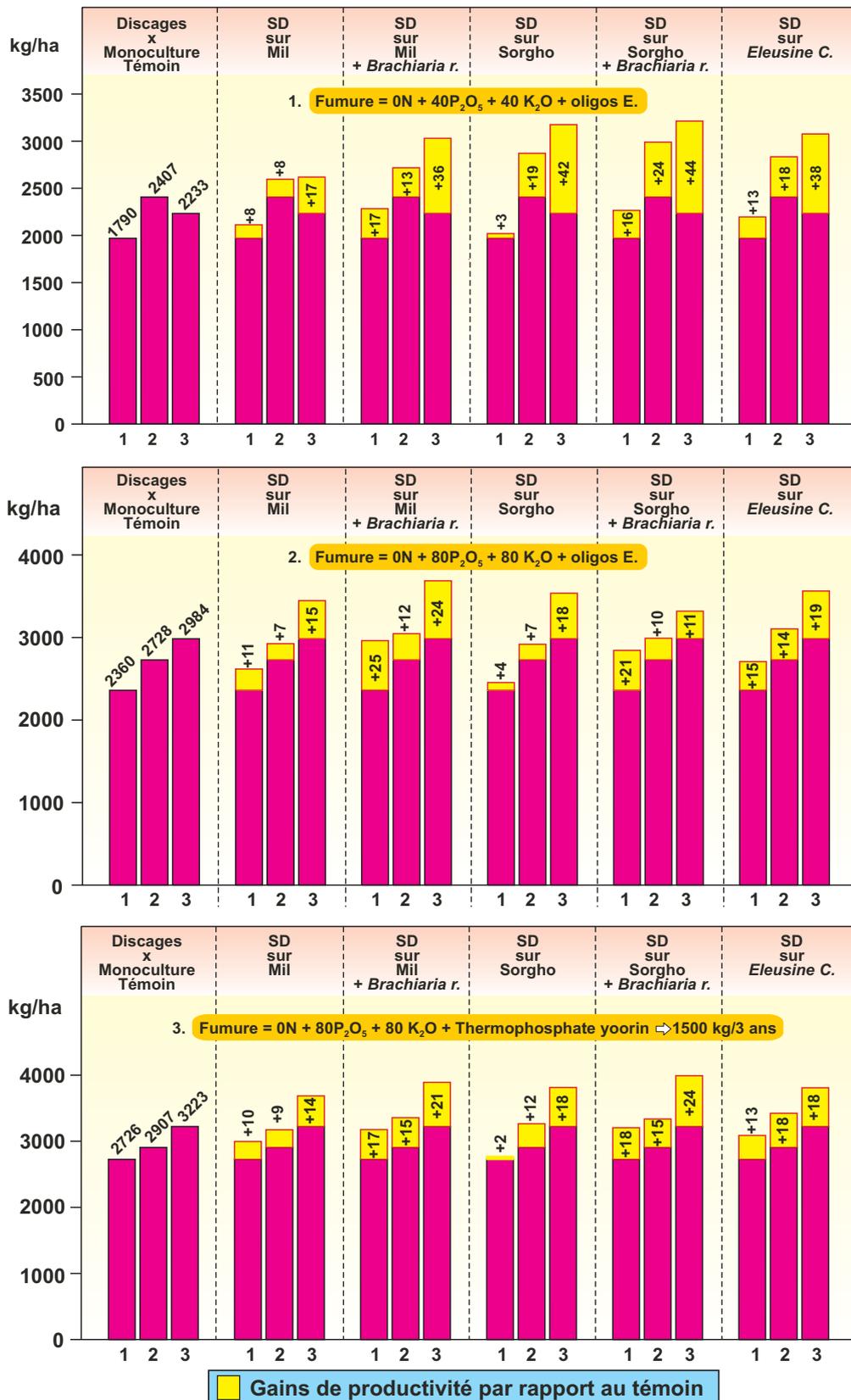
SOURCE: Séguy L., Bouzinac S., CIRAD-CA; Maronezzi A., Lucas G. L., Bianchi M., AGRONORTE - Sinop/2000

FIG. 37 ÉVOLUTION DE LA PRODUCTIVITÉ MOYENNE DU SOJA DE CYCLE MOYEN (FT 114) SUR 3 ANS (1997/2000), EN FONCTION DE LA NATURE ET DE LA QUANTITÉ DE BIOMASSE QUI PRÉCÈDE LE SEMIS DIRECT (SD) DU SOJA - AGRONORTE - SINOP/MT, 1999/2000



(*) Expérimentations conduites en conditions d'exploitation réelles, mécanisées
 SOURCE: Séguy L., Bouzinac S., CIRAD-CA; Maronezzi A., Lucas G. L., Bianchi M., AGRONORTE - Sinop/2000

FIG. 38 ÉVOLUTION DE LA PRODUCTIVITÉ MOYENNE DU SOJA DE CYCLE COURT OU INTERMÉDIAIRE (UFV 17, CONQUISTA) SUR 3 ANS (1997/2000), EN FONCTION DE LA NATURE ET DE LA QUANTITÉ DE BIOMASSE QUI PRÉCÈDE LE SEMIS DIRECT (SD) DU SOJA - AGRONORTE - SINOP/MT, 1999/2000



(*) Expérimentations conduites en conditions d'exploitation réelles, mécanisées
 SOURCE: Séguy L., Bouzinac S., CIRAD-CA; Maronezzi A., Lucas G. L., Bianchi M., AGRONORTE - Sinop/2000

FIG. 39 PRODUCTIVITÉ DU SOJA DANS LES MEILLEURS SYSTÈMES DE SEMIS DIRECT COMPARÉE À CELLE OBTENUE EN MONOCULTURE AVEC DISCAGE -

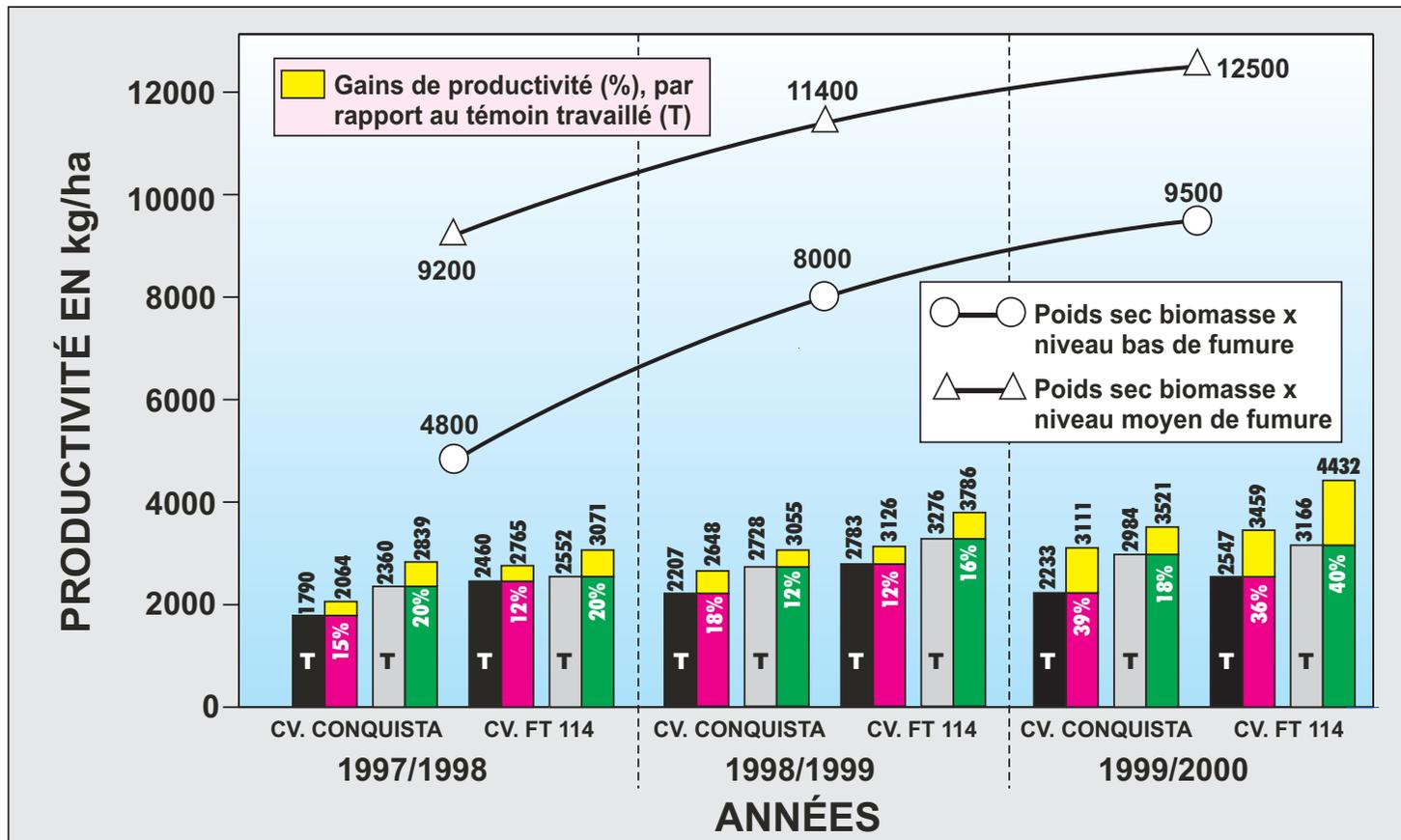
AGRONORTE - SINOP/ MT, 2000

		Fumure faible 0N + 40P ₂ O ₅ + 40K ₂ O		Fumure moyenne 0N + 80P ₂ O ₅ + 80K ₂ O		Fumure forte 0N + 80P ₂ O ₅ + 80K ₂ O + thermophosphate →1500 kg/3 ans	
		Monoculture X Discage	Meilleurs systèmes semis direct	Monoculture X Discage	Meilleurs systèmes semis direct	Monoculture X Discage	Meilleurs systèmes semis direct
Productivité moyenne sur 3 ans	Cycle court	2143	2607	2691	3075	2952	3399
	Cycle moyen	2597	3040	2998	3620	3291	3730
Gains (%) de productivité en semis direct	Cycle court		+ 22		+ 14		+ 15
	Cycle moyen		+ 17		+ 21		+ 13
Productivité 1999/2000	Cycle court	2233	2957	2984	3503	3223	3742
	Cycle moyen	2547	3575	3166	4580	3468	3991
Gains (%) de productivité en semis direct	Cycle court		+ 32		+ 17		+ 16
	Cycle moyen		+ 40		+ 45		+ 15

(*) Expérimentations conduites en conditions d'exploitation réelles, mécanisées

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

FIG. 40 ÉVOLUTION SUR 3 ANS DE LA PRODUCTION DU SOJA EN SEMIS DIRECT (SD) (Variétés Conquista et FT 114) ET DES MEILLEURES BIOMASSES DE COUVERTURE (moyenne des poids secs au semis de *Éleusine coracana*; Sorgho, Mil + *Brachiaria ruz.*) - Écologie des forêts humides du Centre Nord Mato Grosso - Sinop/MT - 1997/2000



(T) Discages x Monoculture x ON + 40P₂O₅ + 40 K₂O + oligos
 (T) Discages x Monoculture x ON + 80P₂O₅ + 80 K₂O + oligos
 Semis direct x ON + 40P₂O₅ + 40 K₂O + oligos
 Semis direct x ON + 80P₂O₅ + 80 K₂O + oligos

SOURCE: L. Ségué, S. Bouzinac, CIRAD-CA; A. C. Maronezzi, Agronorte - Sinop/MT, 1997/2000

FIG. 41 PERFORMANCES MOYENNES RÉGIONALES, DE 1997 À 2000, DES MEILLEURES VARIÉTÉS AGRONORTE DE RIZ PLUVIAL À QUALITÉ SUPÉRIEURE DE GRAIN, DANS L'ÉTAT DU MATO GROSSO, EN SYSTÈMES DE SEMIS DIRECT -

AGRONORTE - SINOP/MT - 2000

	Variétés de cycle court à intermédiaire 95 a 110 jours					Variétés de cycle moyen 115 a 130 jours				
	8FA 281-2	YM 94	Cedro	8FA 337-1	Sucupira	YM 200	YM 198	YM 114	YM 65	Best 2000
	Productivité moyenne - kg/ha									
• Haute technologie	6066	5403	4925	4851	4486	6044	5862	5751	5412	5328
• Basse technologie	4921	4872	3940	4011	3545	5150	5059	5031	4817	5127
Intervalle	115	110	107	114	81	107	109	102	94	90
% des témoins ¹	a 179	a 167	a 148	a 131	a 142	a 145	a 139	a 124	a 126	a 121
Nb. Essais	11	11	10	11	10	11	10	7	11	7
Productivité maximum ² et site expérimental	6698 S.	5620 C. V.	5525 S.	5513 S.	4822 C. N. P.	6375 C. P.	6299 C. N. P.	7023 S.	5768 C. N. P.	6273 S.
Sites expérimentaux	S. = Sinop; C. V. = Campo Verde; C. N. P. = Campo Novo dos Parecis									

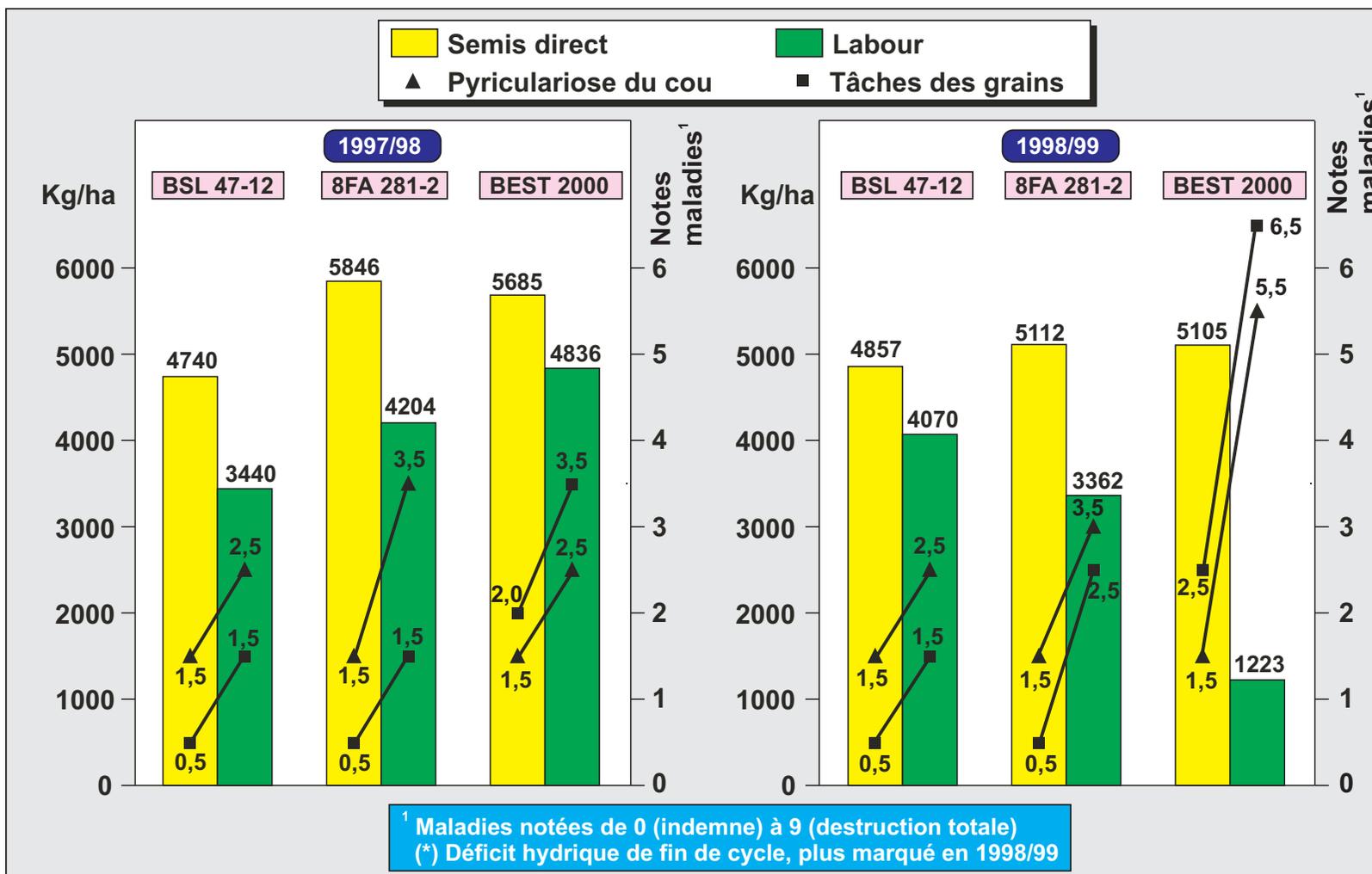
1. Témoins:
 1997/98 ➔ CIRAD 141
 1998/99 ➔ Cycles courts = Best 3; ➔ Cycles moyens = CIRAD 141
 1999/2000 ➔ Cycles courts = Primavera; ➔ Cycles moyens = Maravilha

2. Productivité maximum enregistrée en grande culture ➔ Best 2000 en 1998/99= 8500 kg/ha, à Campo Novo dos Parecis

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

FIG. 42 INTERACTIONS “GÉNOTYPES RIZ PLUVIAL x MODES DE GESTION DU SOL”

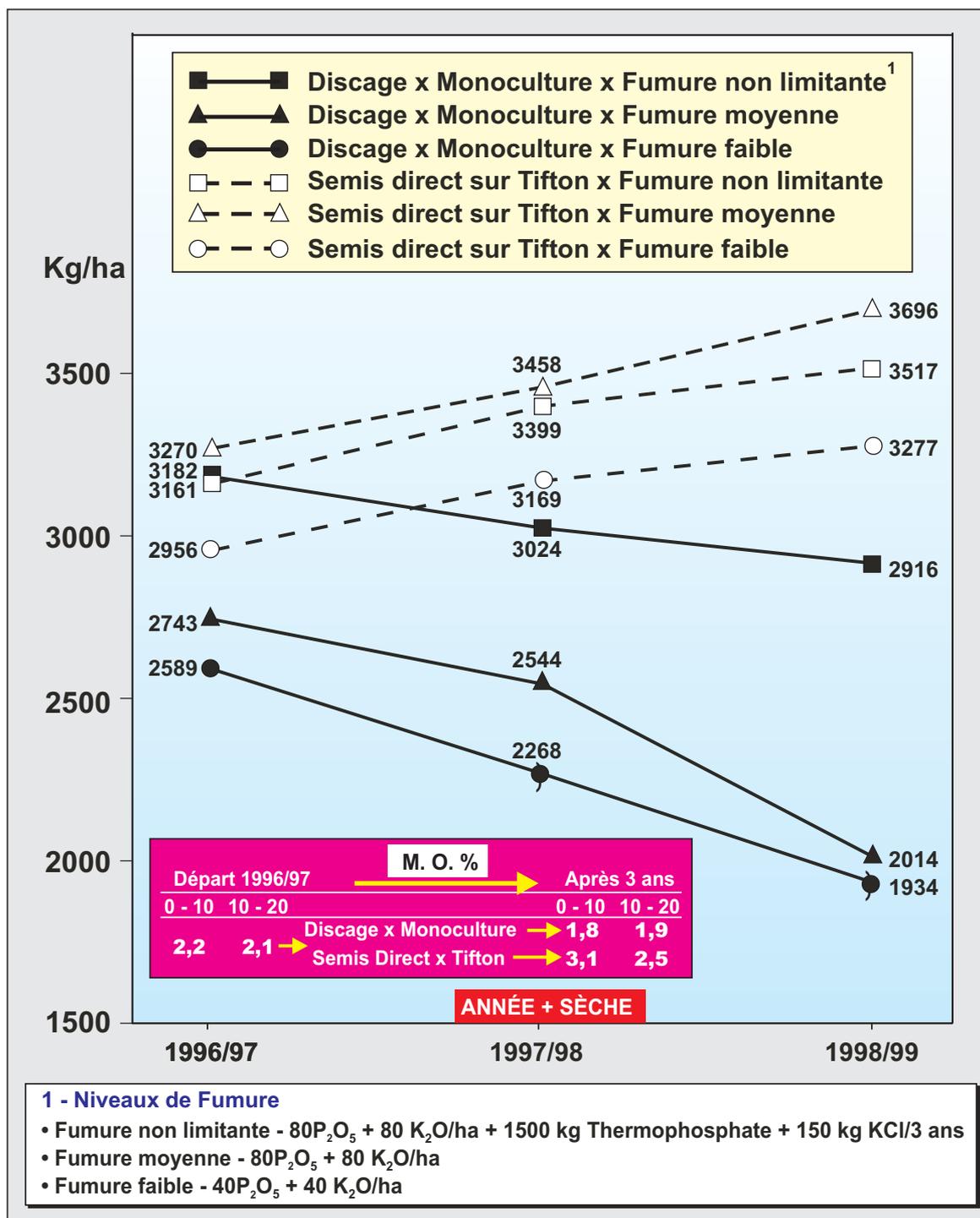
AGRONORTE - SINOP/MT - 1999



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

FIG. 43 ÉVOLUTION DE LA PRODUCTIVITÉ DU SOJA (*Cultivar Emgopa 313*), EN FONCTION DE DIVERS MODES DE GESTION DU SOL ET DES CULTURES
 - Écologie des forêts humides du sud de l'Amazonie -
 - Sols ferrallitiques jaunes sur roche acide -

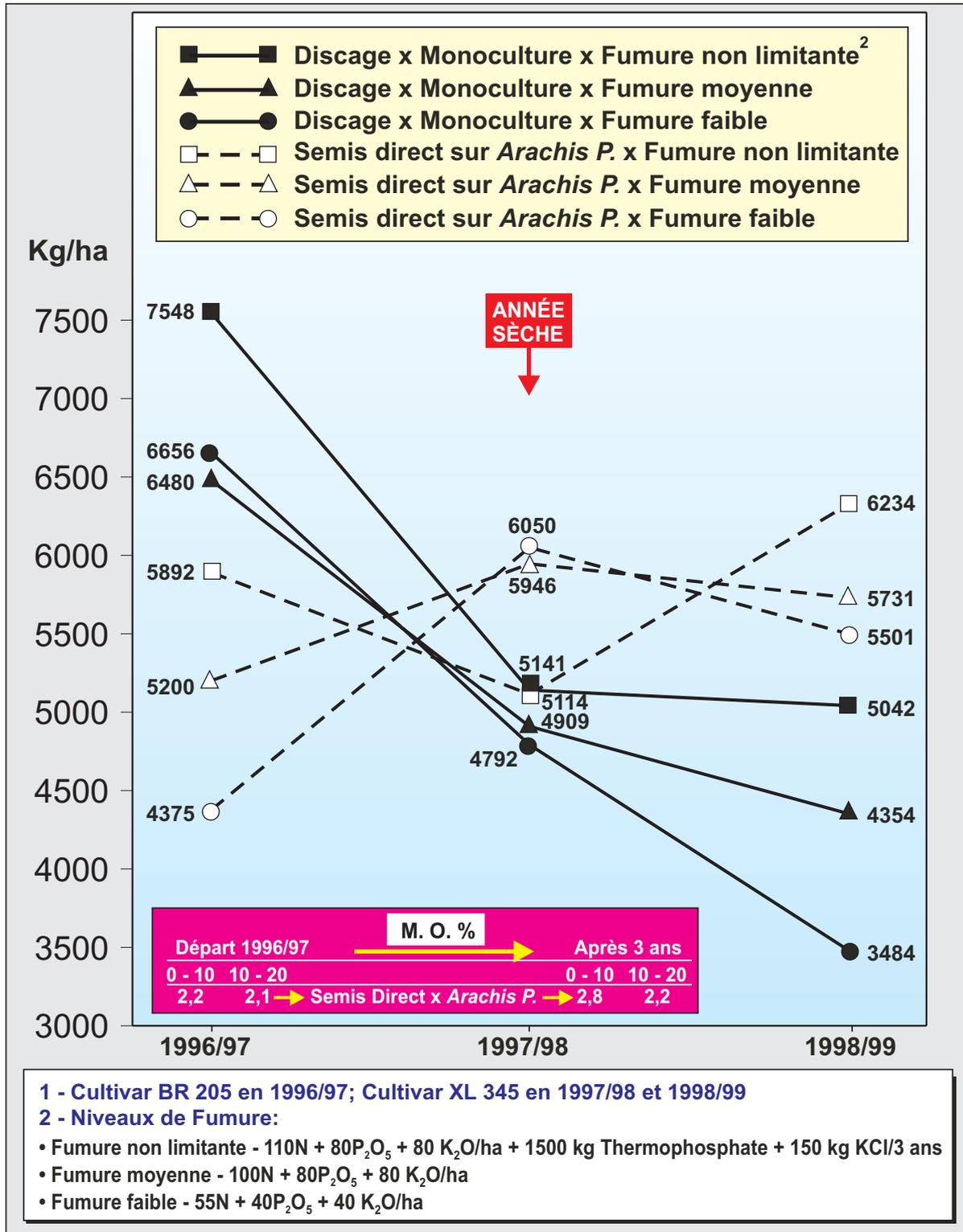
AGRONORTE/CIRAD - SINOP/MT - 1995/98



SOURCE: L. Séguéy, S. Bouzinac, CIRAD-CA; A. Maronezzi, Agronorte - Sinop/MT - 1995/98

FIG. 44 ÉVOLUTION DE LA PRODUCTIVITÉ DU MAÏS¹, EN FONCTION DE DIVERS MODES DE GESTION DU SOL ET DES CULTURES
 - Écologie des forêts humides du sud de l'Amazonie -
 - Sols ferrallitiques jaunes sur roche acide -

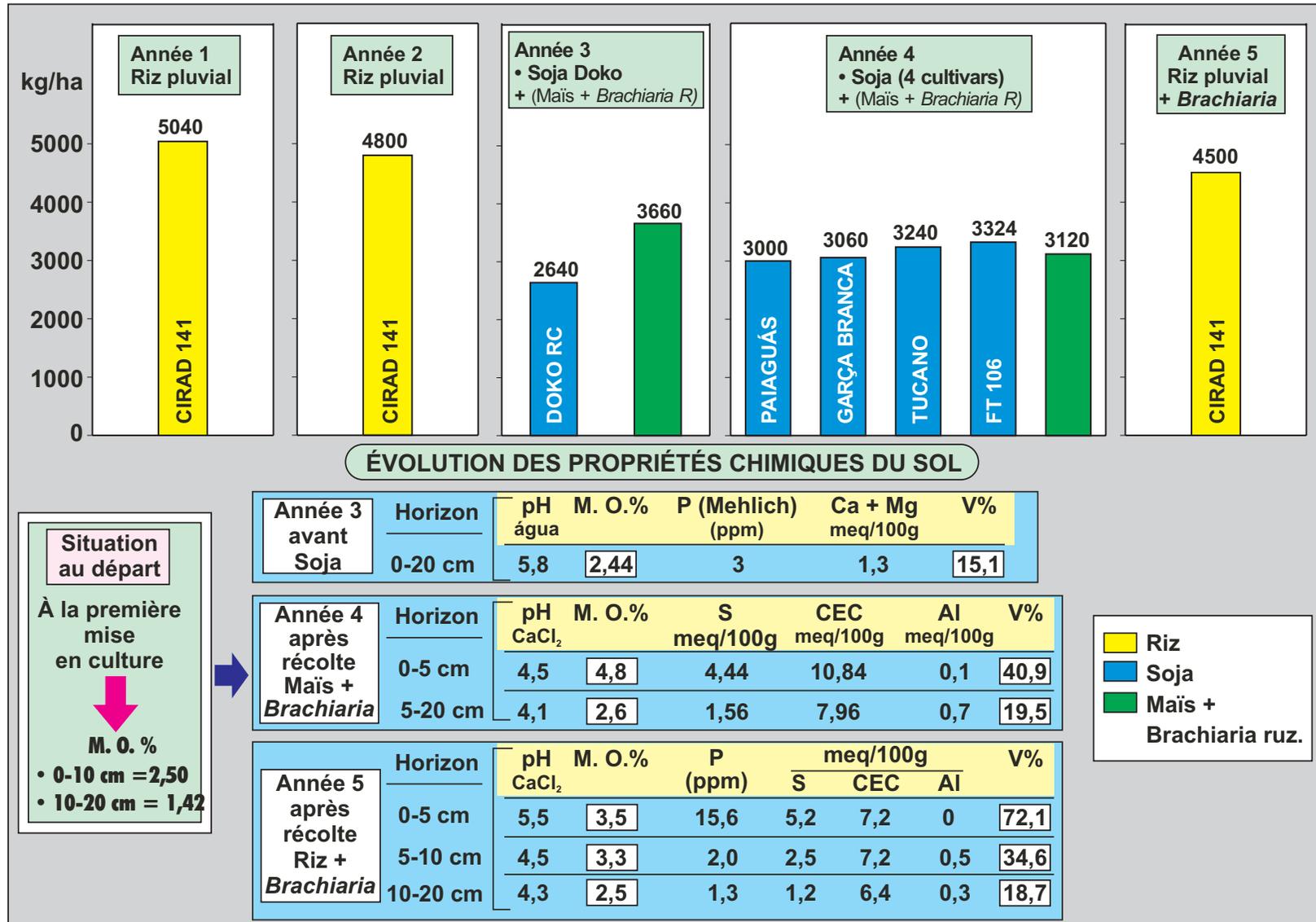
AGRONORTE/CIRAD - SINOP/MT - 1995/98



SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA; A. Maronezzi, Agronorte - Sinop/MT - 1995/98

FIG. 45 PRODUCTIVITÉ DES CULTURES APRÈS UN DÉFRICHEMENT MOINS DESTRUCTEUR, SANS APPLICATION D'AMENDEMENT (Ca, Mg)

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



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

FIG. 46 COÛTS DE PRODUCTION DE LA CULTURE DE RIZ PLUVIAL (en US\$/ha) ET PRODUCTION D'ÉQUILIBRE POUR COUVRIR LES COÛTS (en sacs de 60 kg/ha), SUR LES FRONTIÈRES AGRICOLES DU CENTRE NORD DE L'ÉTAT DU MATO GROSSO - Sinop/MT - 1987/2000

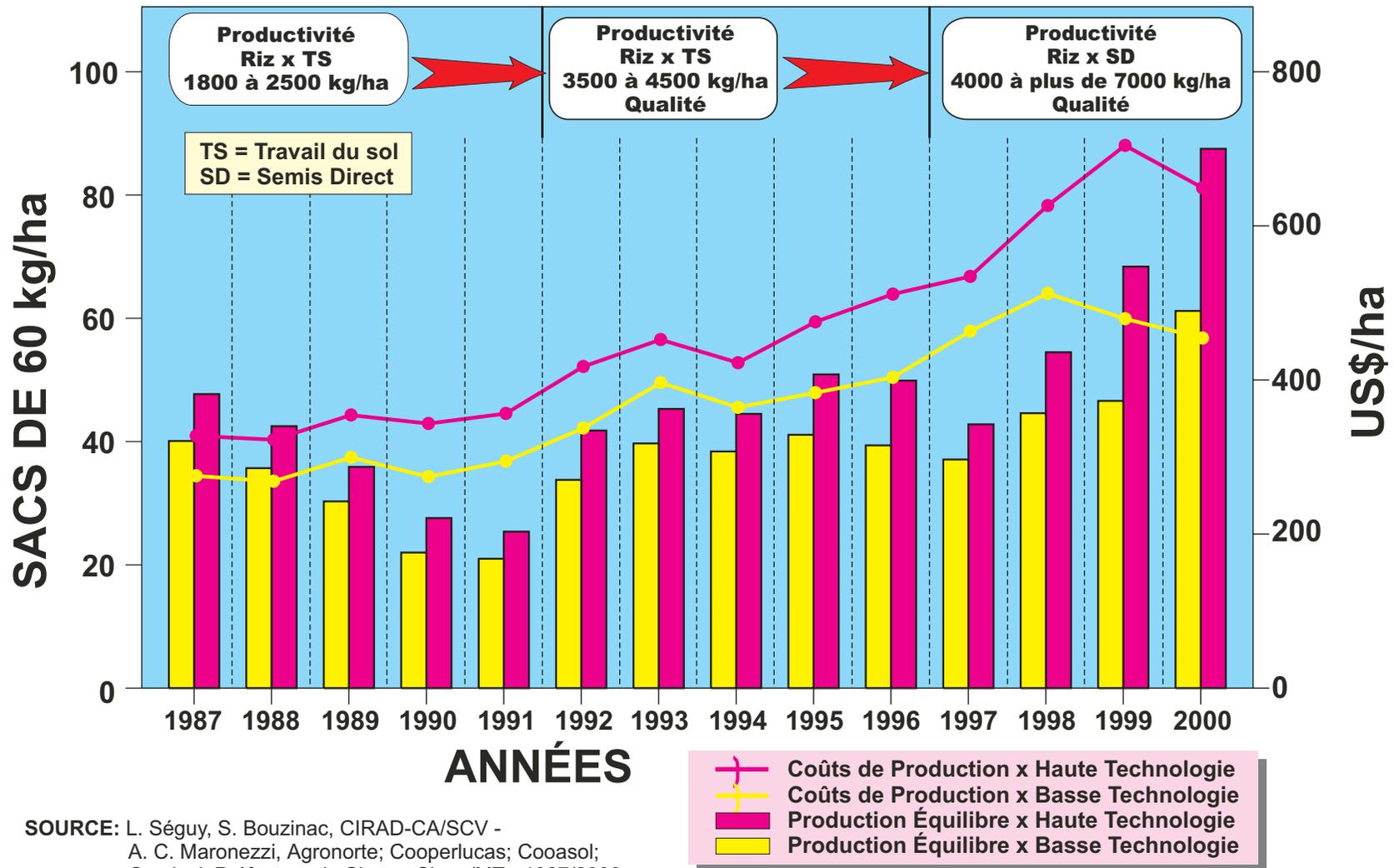
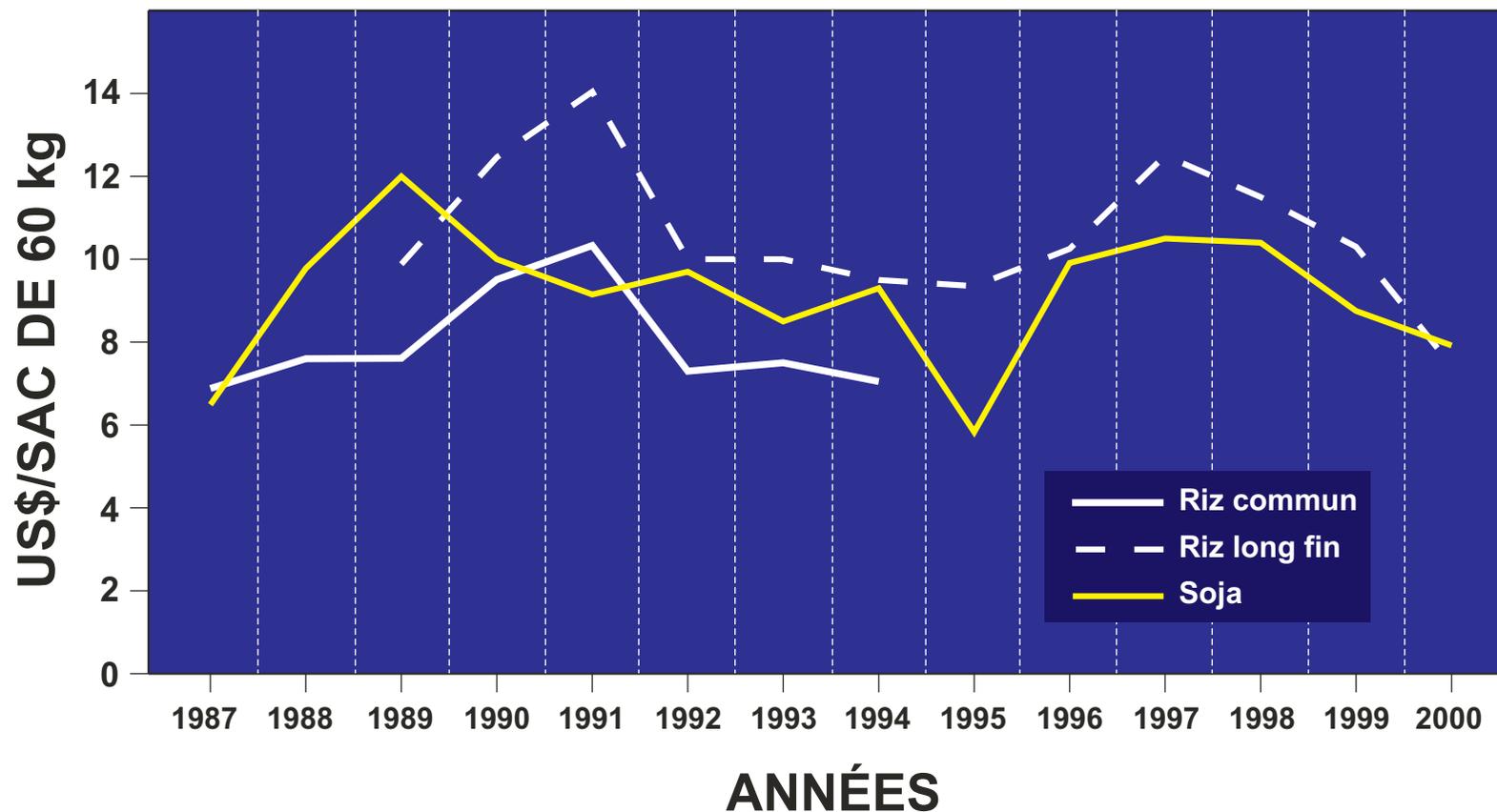


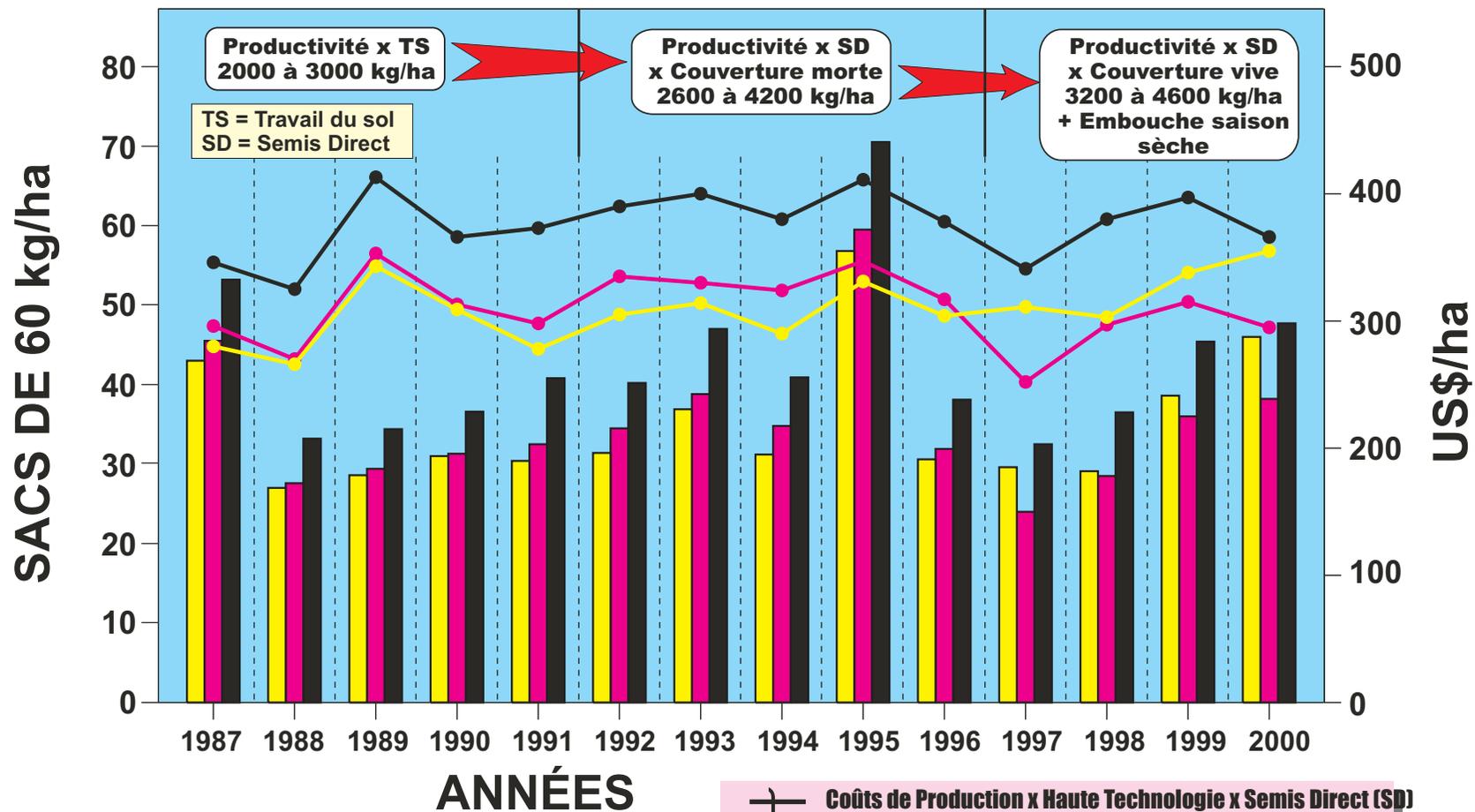
FIG. 47 ÉVOLUTION DES PRIX PAYÉS AUX PRODUCTEURS¹ POUR LES PRODUCTIONS PRINCIPALES DE RIZ ET SOJA SUR LES FRONTIÈRES AGRICOLES DU CENTRE NORD DE L'ÉTAT DU MATO GROSSO - Sinop/MT - 1987/2000



1 - Période février - Mars, chaque année

SOURCE: L. Ségué, S. Bouzinac, CIRAD-CA/SCV - A. C. Maronezzi, Agronorte; Cooperlucas; Coasol; Comicel; Préfecture de Sinop - Sinop/MT - 1987/2000

FIG. 48 COÛTS DE PRODUCTION DE LA CULTURE DE SOJA (en US\$/ha) ET PRODUCTION D'ÉQUILIBRE POUR COUVRIR LES COÛTS (en sacs de 60 kg/ha), SUR LES FRONTIÈRES AGRICOLES DU CENTRE NORD DE L'ÉTAT DU MATO GROSSO - Sinop/MT - 1987/2000

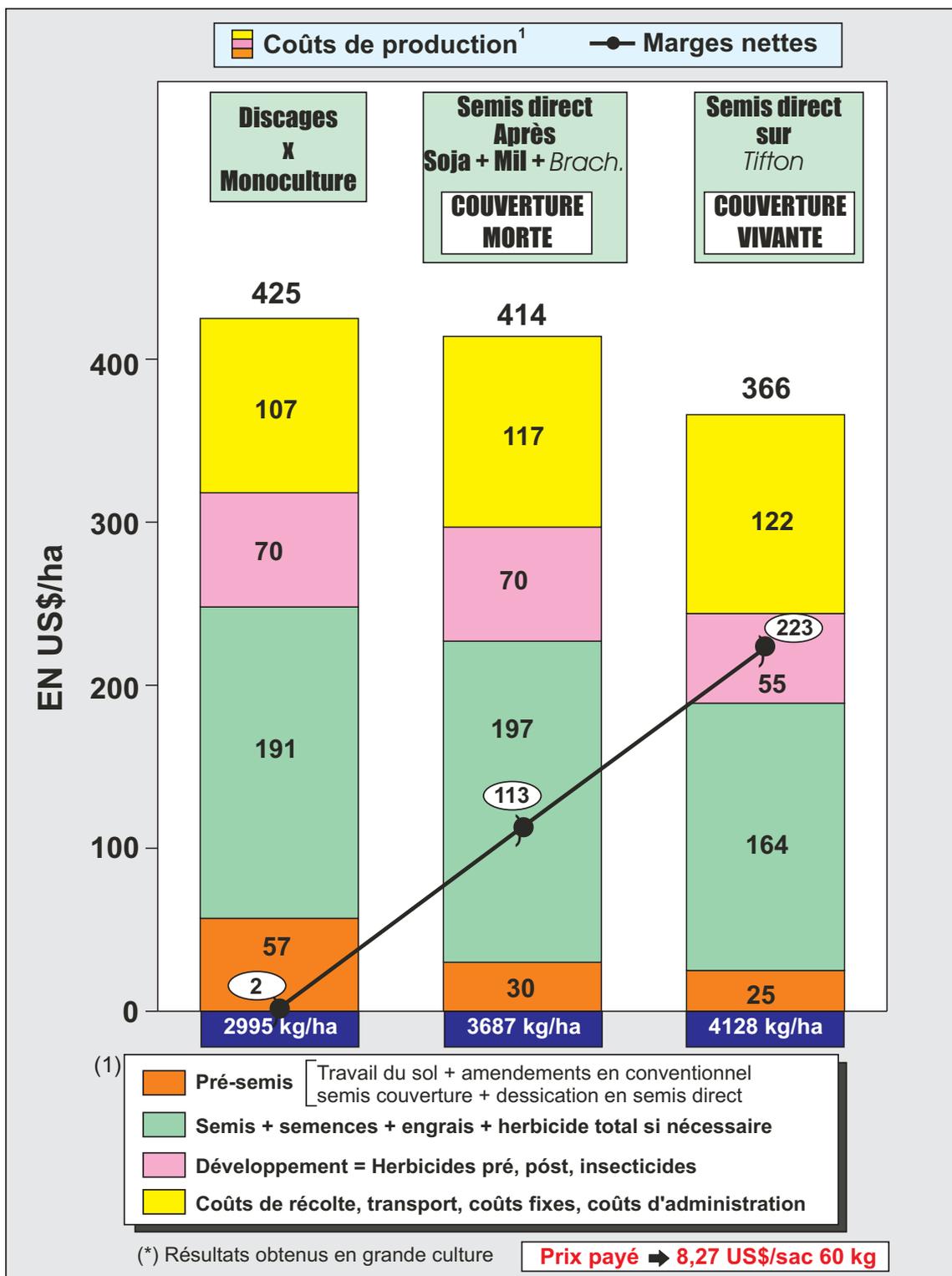


SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA/SCV -
A. C. Maronezzi, Agronorte; Cooperlucas; Coosol;
Comicel; Préfecture de Sinop - Sinop/MT - 1987/2000

- Coûts de Production x Haute Technologie x Semis Direct (SD)
- Coûts de Production x Basse Technologie x Semis Direct (SD)
- Coûts de Production x Basse Technologie x Travail du Sol (TS)
- Production Équilibre x Basse Technologie x Travail du Sol (TS)
- Production Équilibre x Basse Technologie x Semis Direct (SD)
- Production Équilibre x Haute Technologie x Semis Direct (SD)

FIG. 49 COÛTS DE PRODUCTION DÉTAILLÉS ET MARGES NETTES (en US\$/ha), DE LA VARIÉTÉ DE SOJA CONQUISTA, DE CYCLE INTERMÉDIAIRE (110 jours), EN FONCTION DE 3 MODES DE GESTION DU SOL - Sol ferrallitique rouge-jaune sur roche acide -

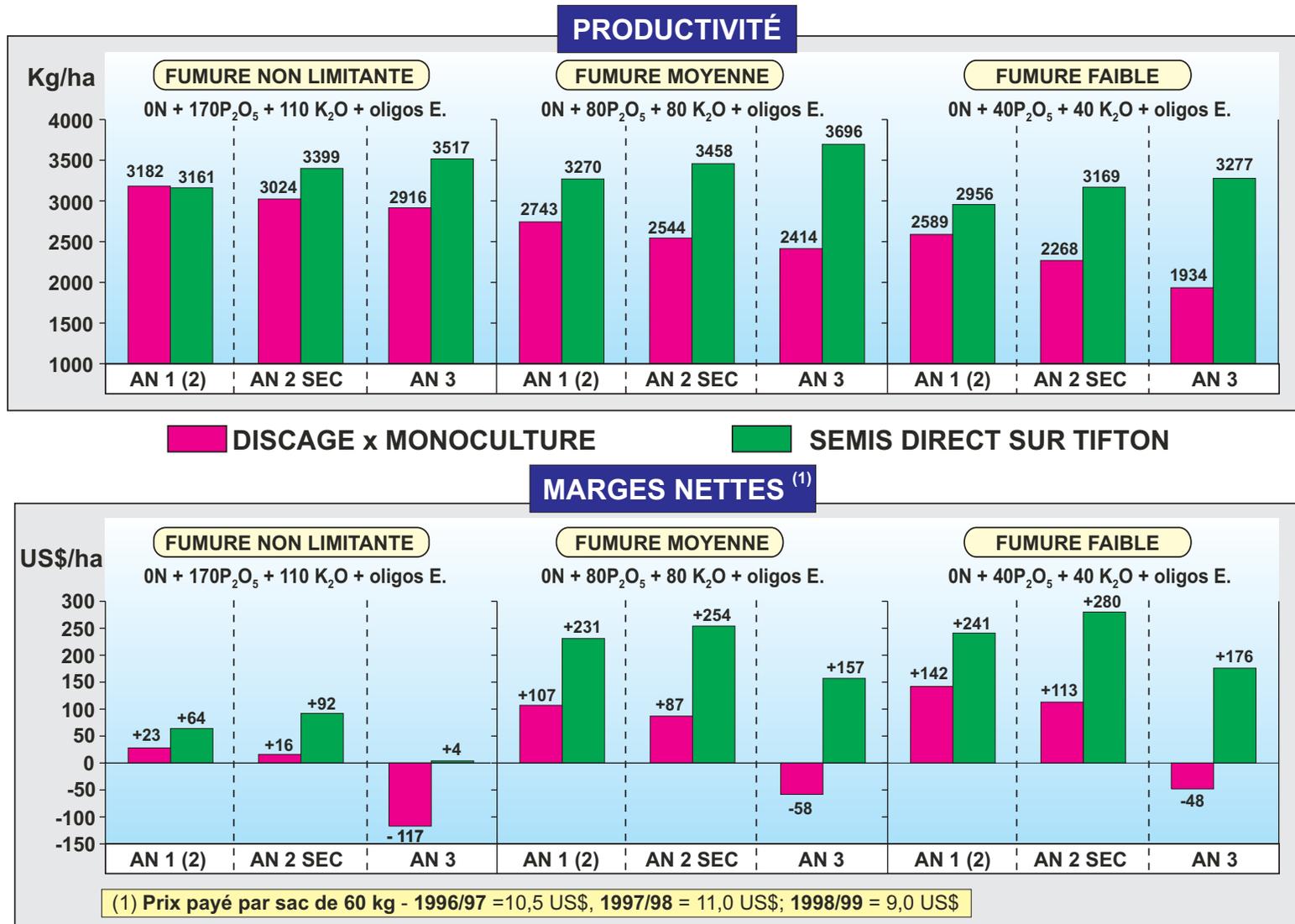
AGRONORTE - SINOP/MT - /2000



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

FIG. 50 ÉVOLUTION DES RENDEMENTS ET DES MARGES NETTES DU SOJA (*Cultivar Emgopa 313*), EN FONCTION DES MODES DE GESTION DES SOLS ET DES CULTURES - 1996/99

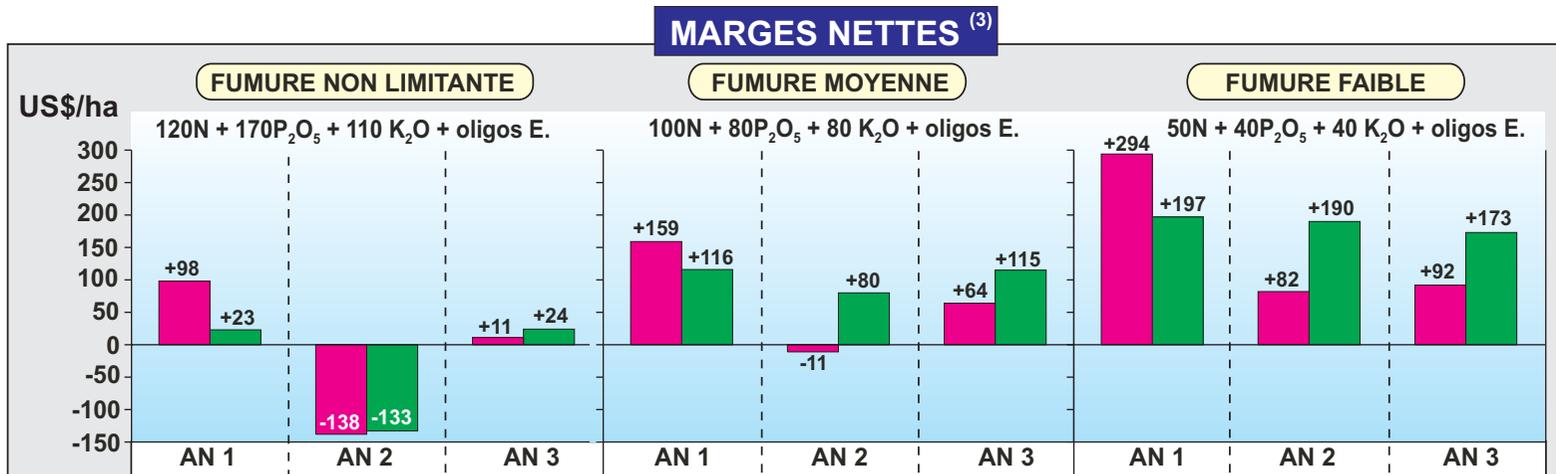
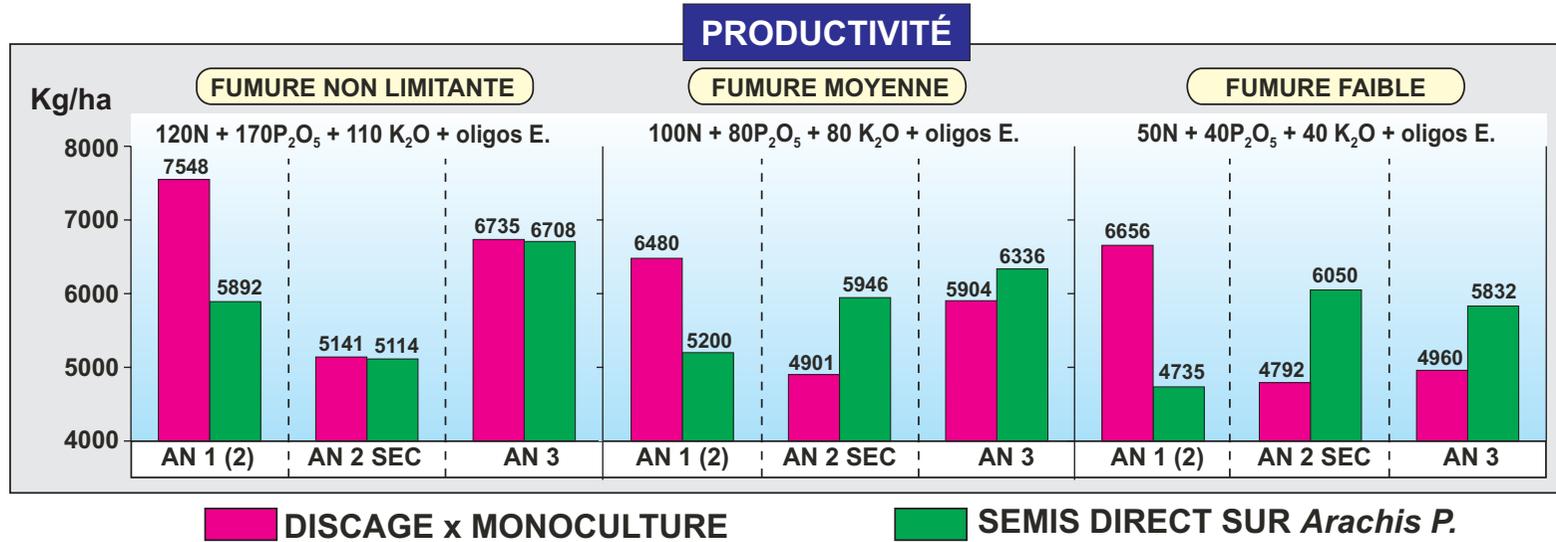
Écologies des forêts et cerrados humides du sud de l'amazone - Sinop/MT



SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA; A. Maronezzi, Agronorte - Sinop/MT - 1995/98

FIG. 51 ÉVOLUTION DES RENDEMENTS ET DES MARGES NETTES DU MAÏS ⁽¹⁾, EN FONCTION DES MODES DE GESTION DES SOLS ET DES CULTURES - 1996/99

Écologies des forêts et cerrados humides du sud de l'amazone - Sinop/MT



(1) Variétés - 96/97 = BR 205; 97/98 = 98/99 XL 345; 98/99 = AVANT - (2) Mauvais Contrôle de l'Arachis

(3) Prix payé par sac de 60 kg - 96/97 = 6,0 US\$, 97/98 et 98/99 = 5,5 US\$

SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA; A. Maronezzi, Agronorte - Sinop/MT - 1995/98

FIG. 52 INTÉGRATION DE TOUTES LES CULTURES EN SEMIS DIRECT DANS DES SYSTÈMES DIVERSIFIÉS DE PRODUCTION EXCLUSIVE DE GRAINS OU INTÉGRÉS AVEC L'ÉLEVAGE

+

- CRÉATION DE MATÉRIEL GÉNÉTIQUE DE HAUTE VALEUR AJOUTÉE
- Écologie des forêts et cerrados humides du Mato Grosso - MT/2000

(*) Systèmes reproductibles, appropriables

Performances des cultures dans les systèmes, en semis direct	Coût (C) US\$/ha	Bénéfice(B) US\$/ha	C/B
SOJA + SAFRINHÀ + EMBOUCHE SAISON SÈCHE	450	150	1,3
• 4000 à 4600 kg/ha soja +	à	à	à
• 1500 à 3500 kg/ha safrinha (Sorgho, Mil, Éleusine)	520	350	3,4
• 1 à 1,5 UGB/ha sur 90 jours saison sèche			
SOJA SUR COUVERTURE VIVANTE DE TIFTON	300	200	0,75
• 3200 à 4600 kg de Soja +	à	à	à
• 1 à 1,5 UGB/ha sur 90 jours saison sèche	380	400	1,9
RIZ PLUVIAL HAUTE TECHNOLOGIE	420	100	0,84
• 4200 à > 7000 kg/ha	à	à	à
	630	500	6,3
RIZ PLUVIAL HAUTE TECHNOLOGIE comme réforme des pâturages	450	100	3,0
• 3000 à 4000 kg/ha	à	à	à
	550	150	5,5
COTON COMME CULTURE PRINCIPALE	900	100	2,25
• 3000 à > 5000 kg/ha	à	à	à
	1300	400	13
COTON COMME SAFRINHÀ¹	500	200	0,8
Sur forte biomasse ou en succession	à	à	à
de Soja ou Riz, de cycle court	650	600	3,2
• 2400 à >3000 kg/ha			

1 - Safrinha = Culture de succession, avec minimum d'intrants ou sans intrants -

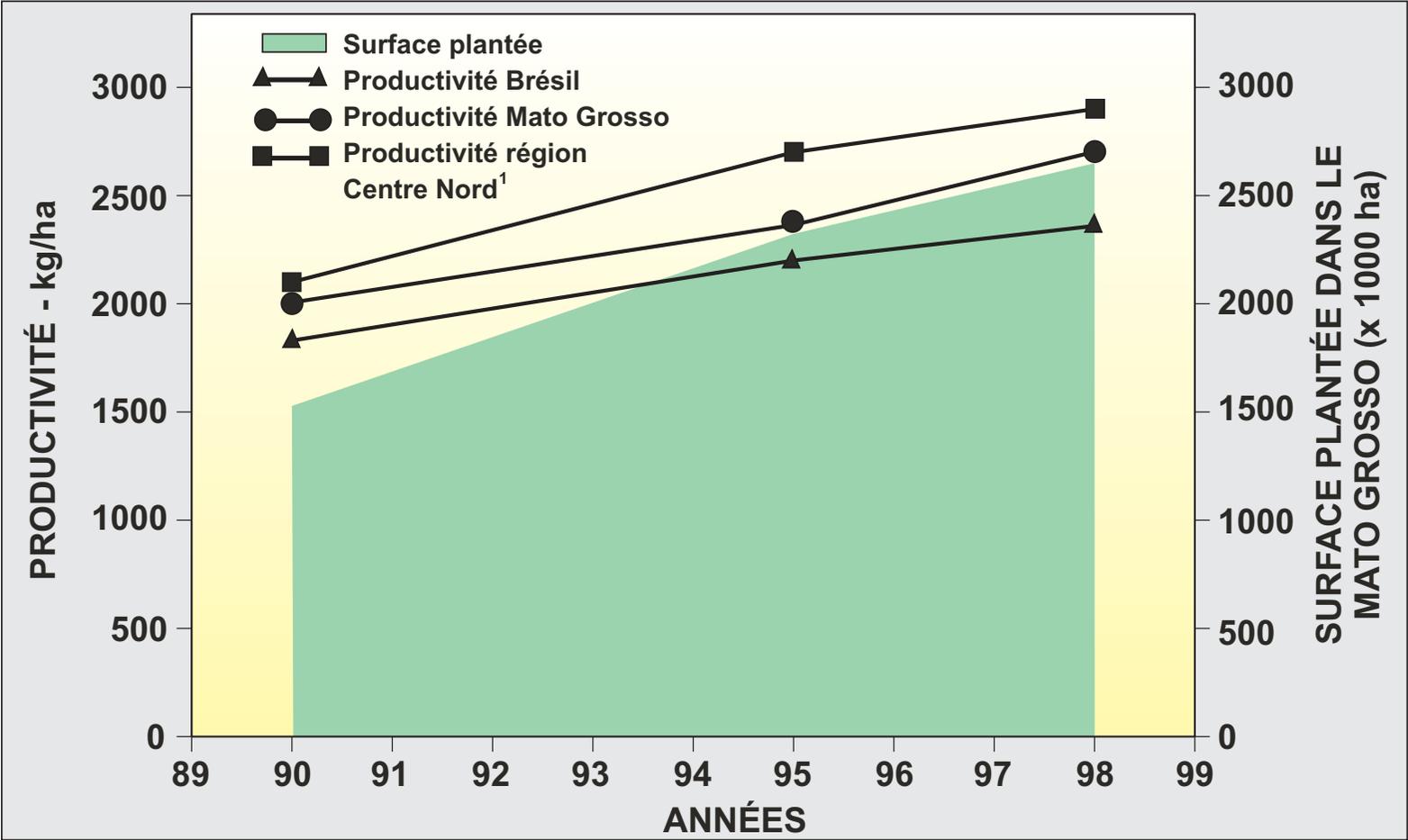
SOURCE: L. Ségué, S. Bouzinac - CIRAD-CA/ GEC; N. Maeda, M. A. Ide, A. Trentini, Groupe Maeda; A. C. Maronezzi, AGRONORTE, Sinop/MT, 2000

FIG. 53 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 (T.C.)	Semis direct (S.D.)	Différence % TC
Surface (ha) travaillée par tracteur de 90 HP	163,6	276,9	+ 70
Índice HP/ha	0,556	0,325	- 41,5
Surface (ha) semée par semoir de 9 lignes	426,6	612,0	+ 43,4
Indice 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

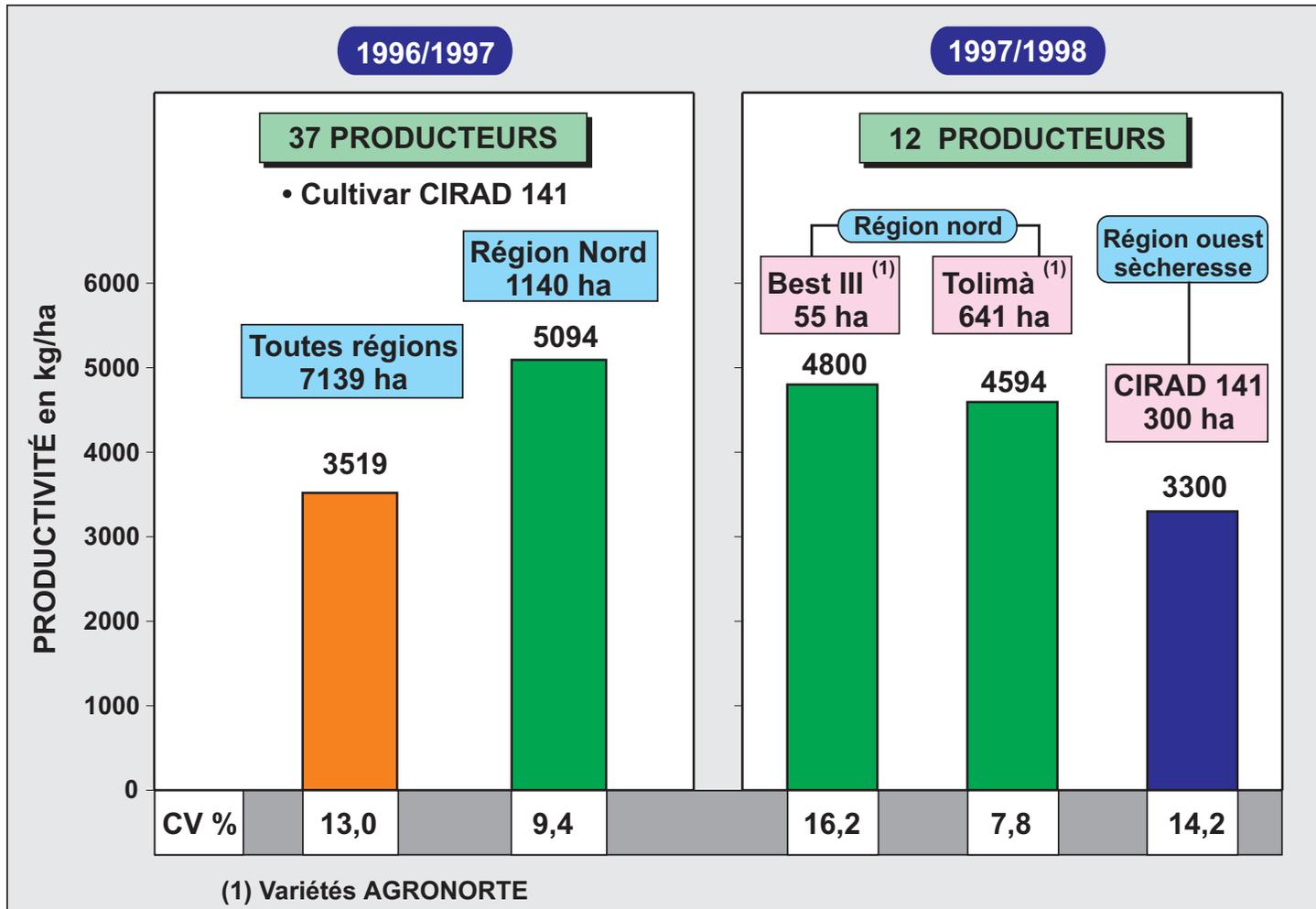
(1) **Source:** Professeur Luiz Vicente Gentil, Monsanto, Semeato, Fondation MT - Rondonópolis - MT - 1995

FIG. 54 ÉVOLUTION DE LA SURFACE PLANTÉE EN SOJA DANS L'ÉTAT DU MATO GROSSO, ET DE SA PRODUCTIVITÉ MOYENNE DANS TOUT L'ÉTAT, DANS LA RÉGION CENTRE NORD ET DANS LE BRÉSIL - 1998



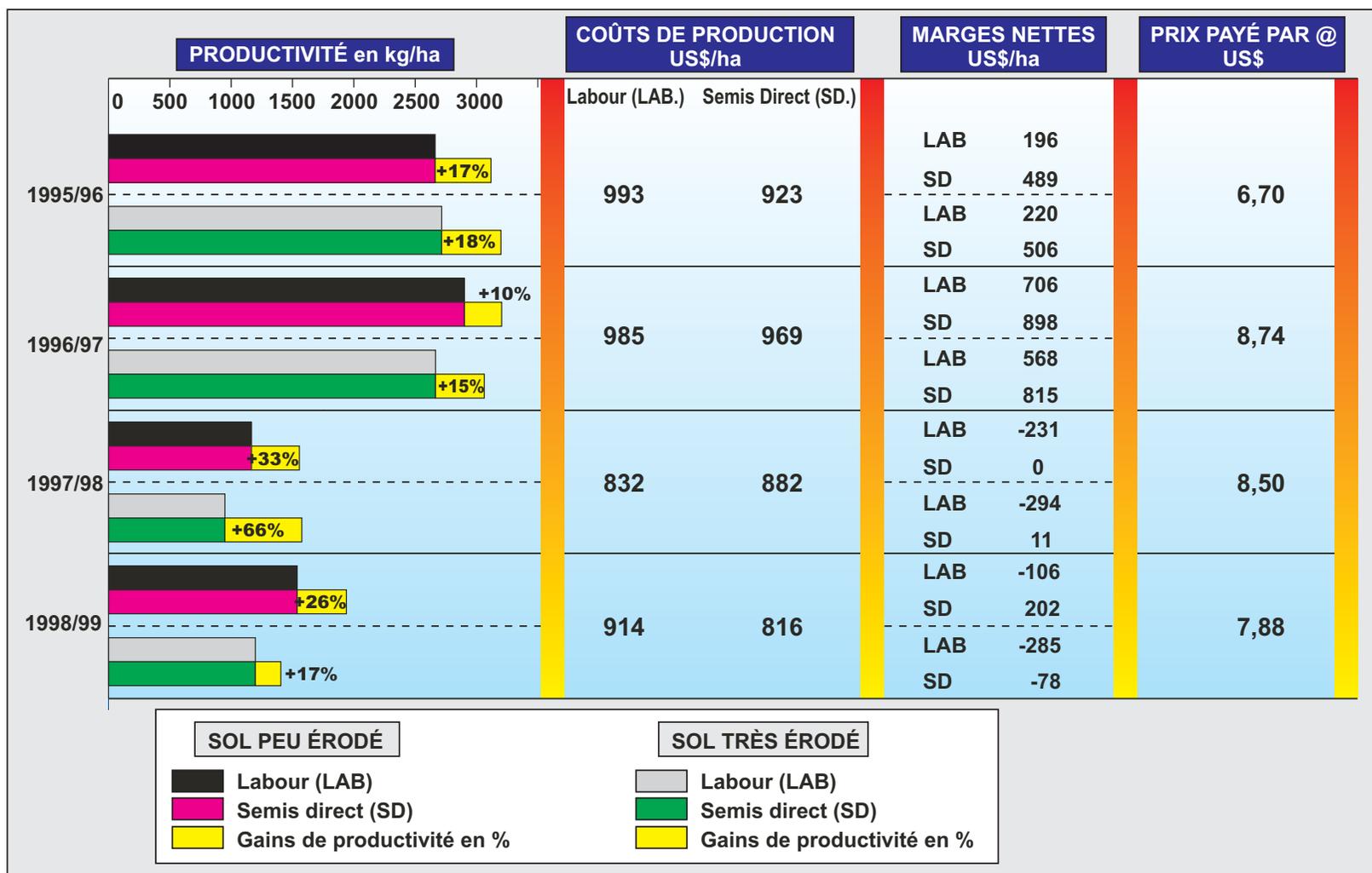
SOURCE [IBGE/LSPA = Données sur le Brésil et l'état du Mato Grosso
 (1) Estimations = Emater, Secrétariats d'agriculture des principaux municipes producteurs du Centre Nord de l'état, Coopératives -

FIG. 55 PRODUCTIVITÉ DU RIZ PLUVIAL DE HAUTE TECHNOLOGIE DANS DIVERSES ÉCOLOGIES DE L'ÉTAT DU MATO GROSSO-MT - (ZTH) - 1996/98



SOURCE: AGRONORTE; CIRAD CA - GEC; Sorriso/MT, 1998

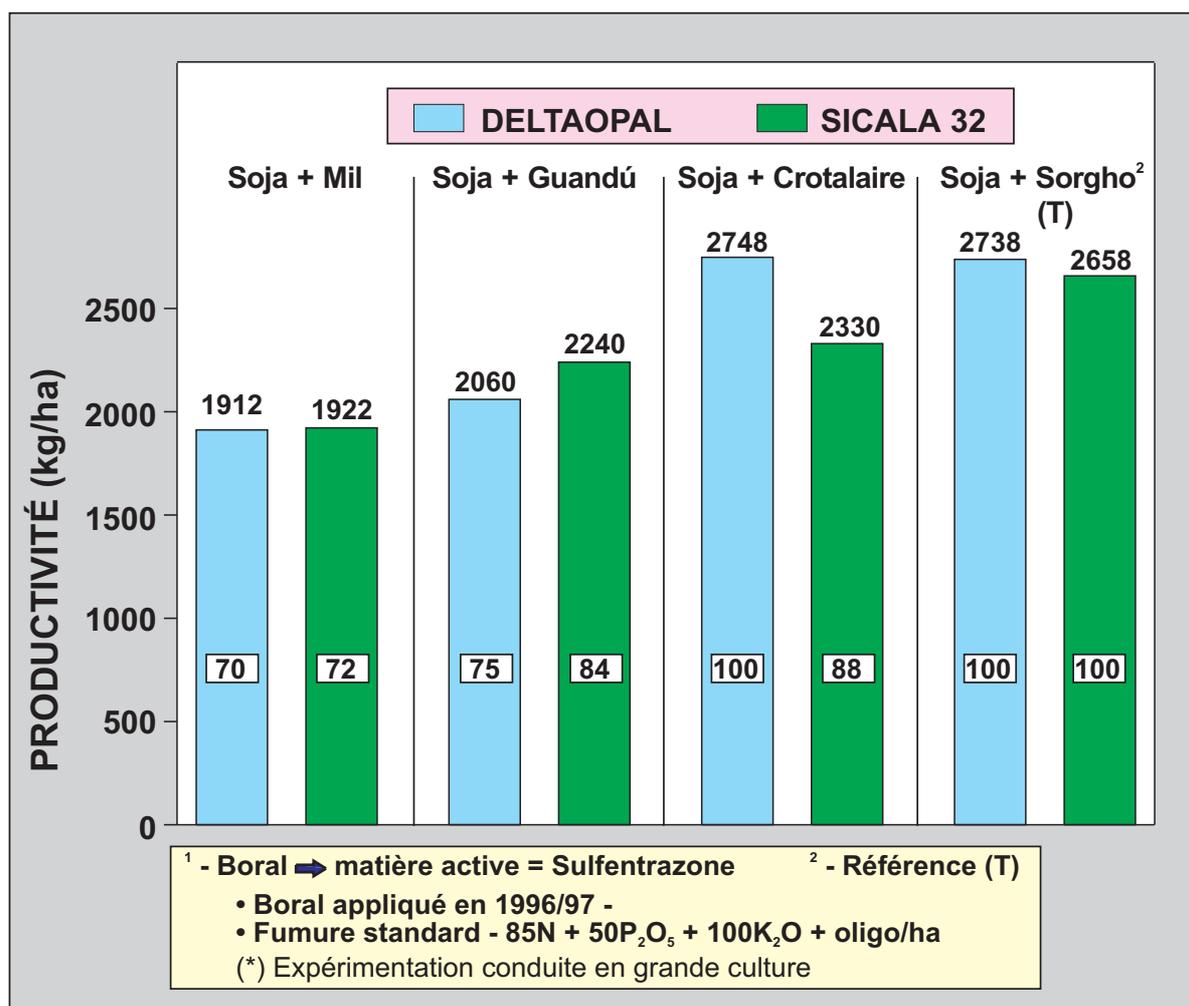
FIG. 56 ÉVOLUTION DES PERFORMANCES MOYENNES AGRO-ÉCONOMIQUES DU COTONNIER SUR 4 ANS EN FONCTION DES SYSTÈMES DE CULTURE PRATIQUÉS - Écologie des forêts tropicales et sols ferrallitiques sur basalte du Sud de l'état de Goiás - Centre Ouest - Brésil



SOURCE: E. Maeda, M. Esaki, GROUPE MAEDA; L. Séguéy, S. Bouzinac, CIRAD-CA/GEC; Porteirão/GO, 1995/1999

FIG. 57 DÉSINTOXICATION DU SOL POLLUÉ PAR L'HERBICIDE BORAL¹ AVEC DIVERSES COUVERTURES MORTES DE "SAFRINHAS" EN SEMIS DIRECT

Fazenda Santa Jacinta - Ituverava/SP - 1999



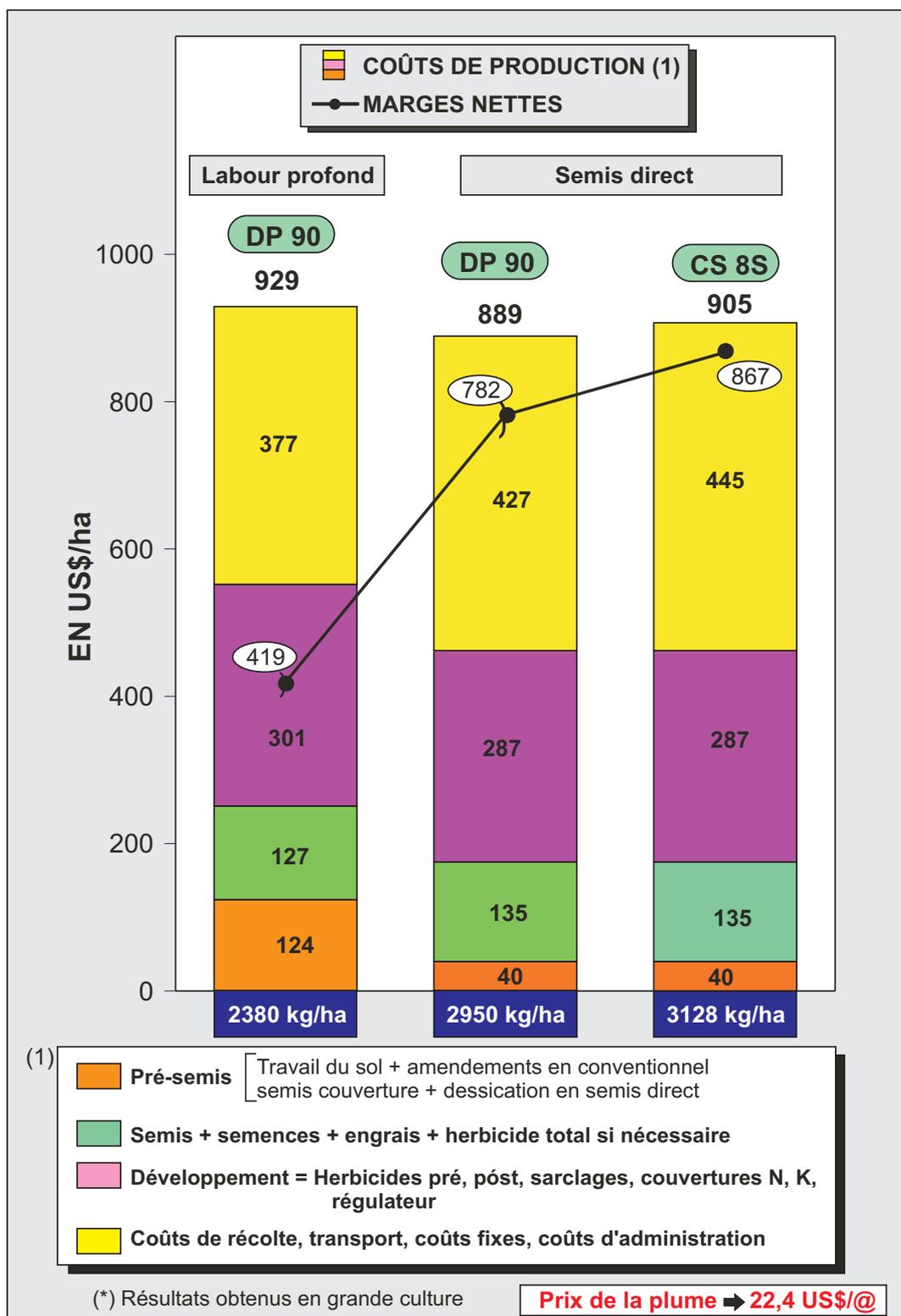
SOURCE: L. Ségué, S. Bouzinac, CIRAD CA-GEC; A. Trentini, M. A. Ide, - Groupe Maeda - Ituverava/SP - 1999

FIG. 58 ÉVOLUTION DE LA MATIÈRE SÈCHE DE SORGHO GUINEA, SOUS CULTURE DE COTON, EN SEMIS DIRECT ET ÉVOLUTION DE LA POPULATION DE *Cyperus rotundus* EN FONCTION DU MODE DE GESTION DU SOL - Sol ferrallitique sur basalte - Ituverava - SP

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

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

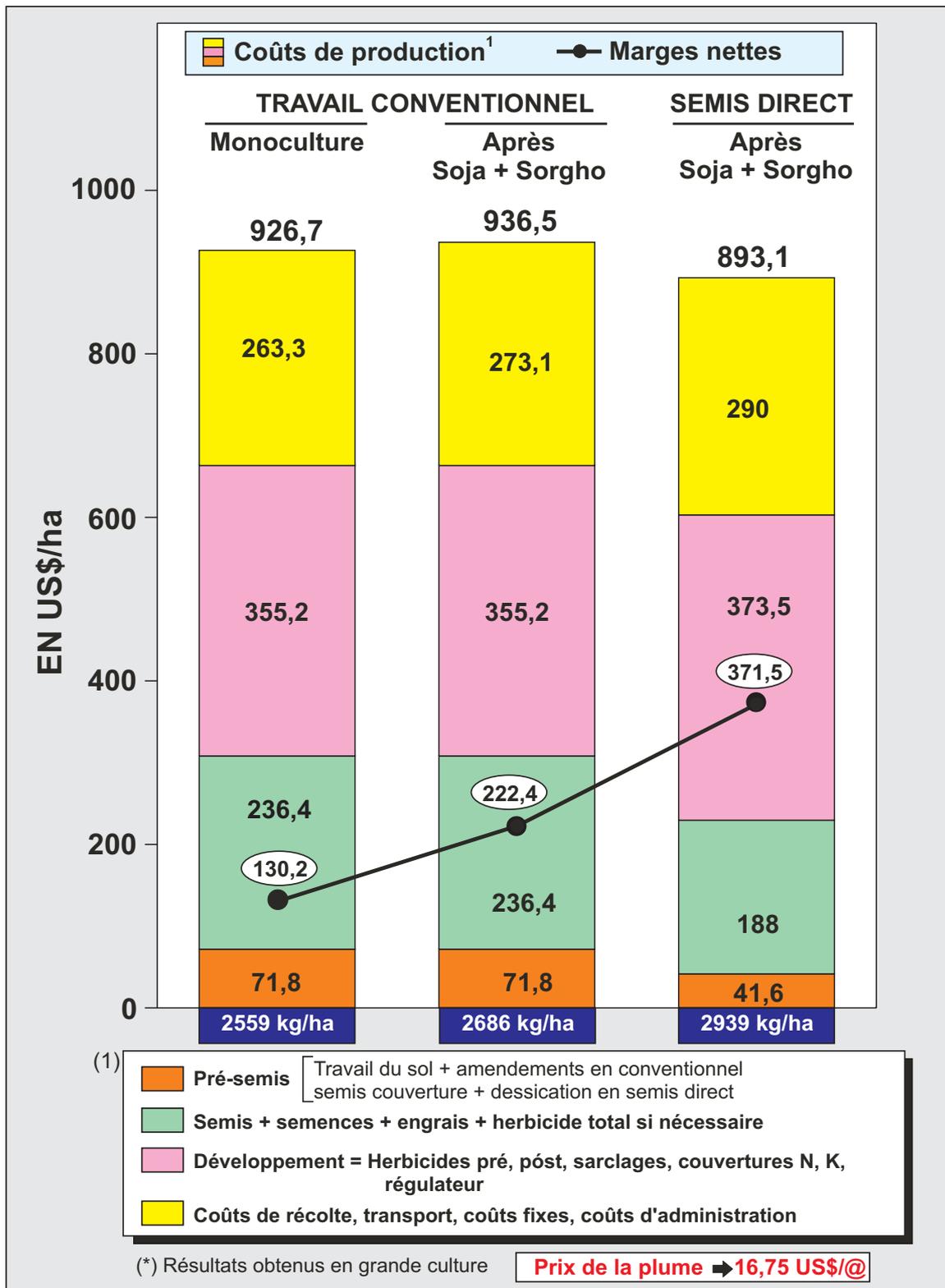
FIG. 59 COÛTS DE PRODUCTION DÉTAILLÉS ET MARGES NETTES EN US\$/ha DE DEUX VARIÉTÉS DE COTON EN FONCTION DE 2 SYSTÈMES DE GESTION DU SOL - SOL FERRALLITIQUE SUR BASALTE, DÉGRADÉ, DE BAS DE PENTE - FAZENDA SANTA JACINTA - ITUVERAVA, SP - 1998



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

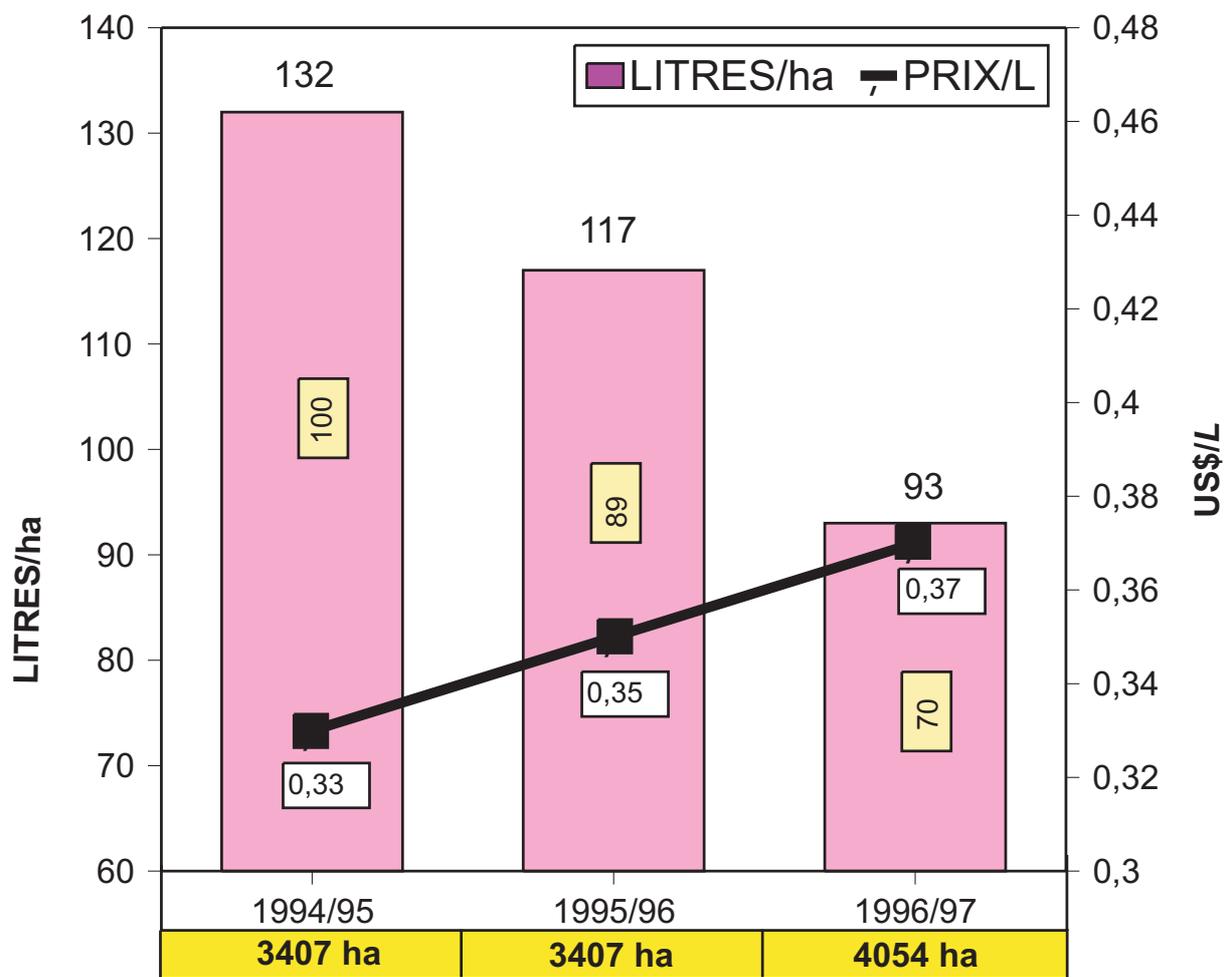
FIG. 60 COÛTS DE PRODUCTION ET MARGES NETTES (en US\$/ha), DU COTONNIER (CV. DELTA OPAL), SOUS 3 MODES DE GESTION DU SOL - Sol ferrallitique rouge-foncé sur basalte -

Fazenda Santa Bárbara - Groupe Maeda - Ituverava/SP, 1999/2000



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

FIG. 61 ÉVOLUTION DE LA CONSOMMATION DE DIESEL (L/ha) ET DE SON PRIX/L - FAZENDA CANADÁ - GROUPE MAEDA - 1994 à 1997

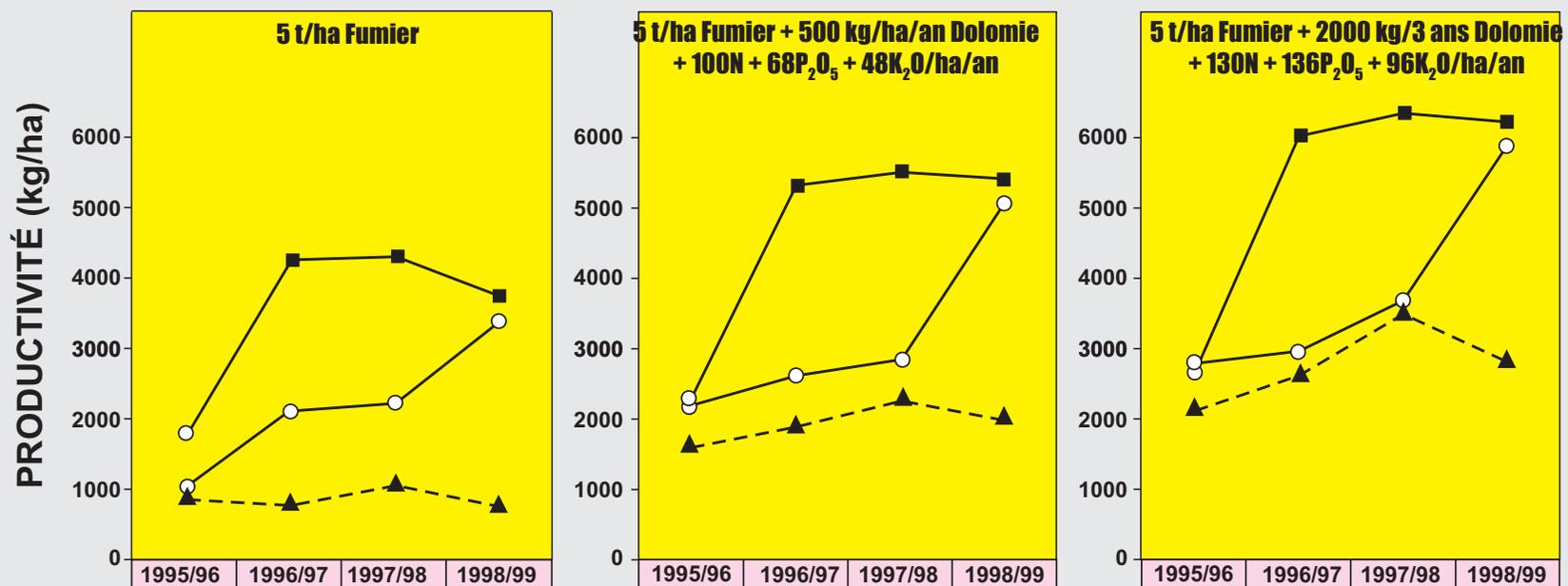


SOURCE: Groupe Maeda - Dr. Alceu Massanori Ikeda - Itumbiara - GO - 1997

FIG. 62 ÉVOLUTION DES RENDEMENTS MOYENS DE MAÏS, EN FONCTION DU MODE DE GESTION DU SOL ET DES CULTURES, EN CULTURE MANUELLE
Sols ferrallitiques et volcaniques des hauts plateaux malgaches - Antsirabé, 1995/99

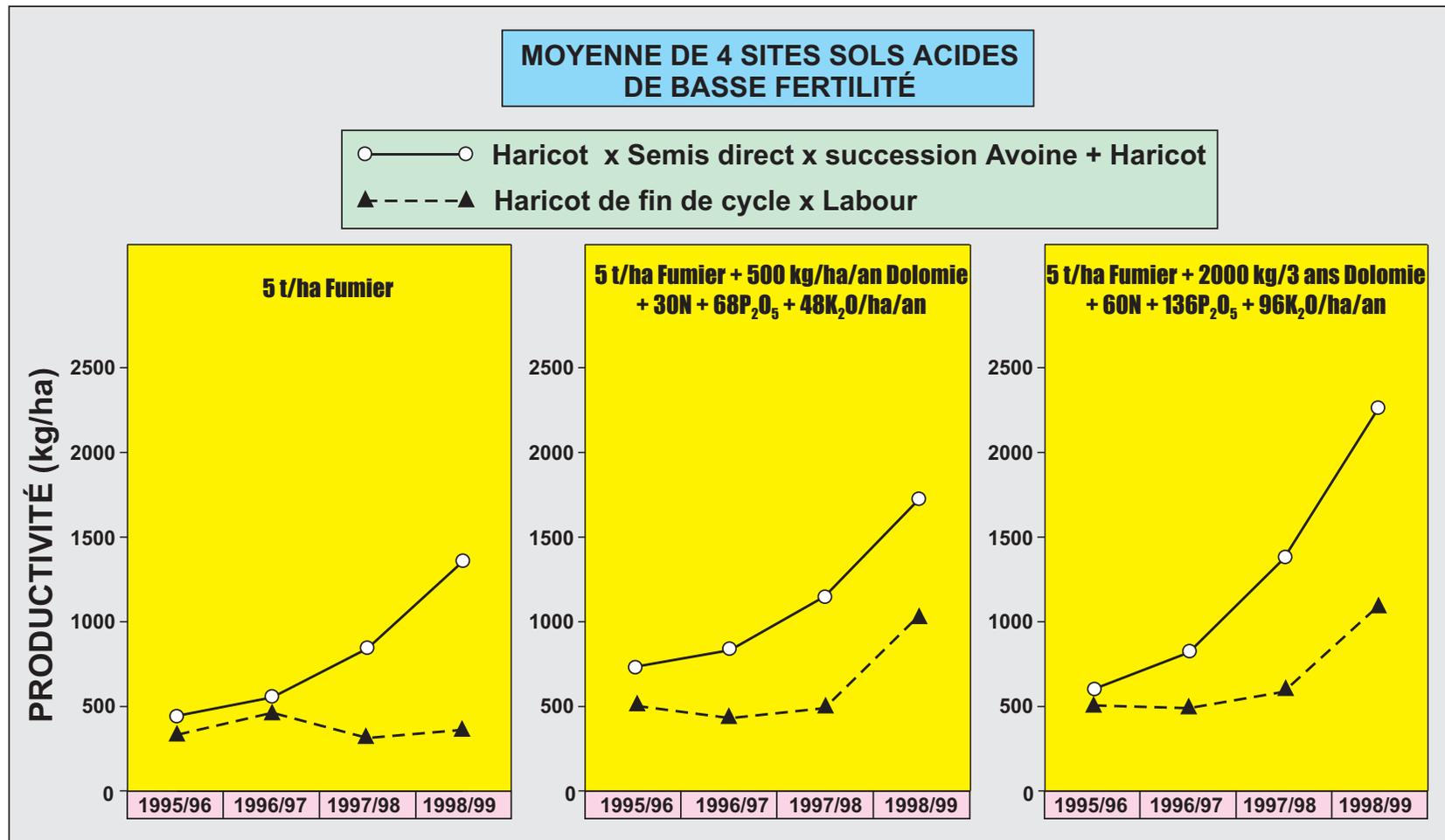
• MOYENNE DE 4 SITES SUR SOLS ACIDES DE BASSE FERTILITÉ

- — ○ Semis direct - Maïs + Légumineuses associées
- — ■ Semis direct - Maïs + Légumineuses associées + écobuage
- ▲ - - - ▲ Labour - Maïs culture pure



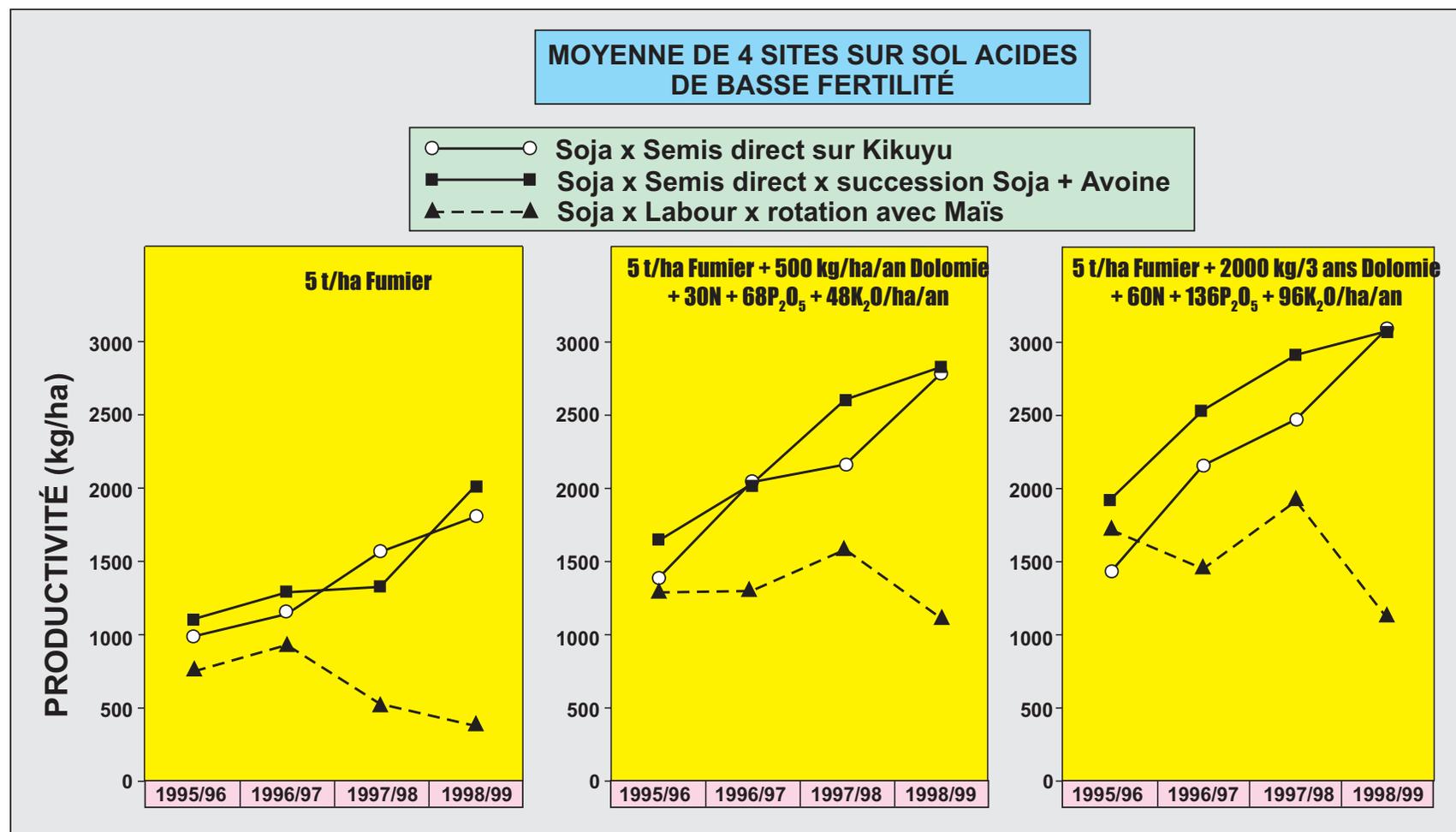
SOURCE: L. Séguy, CIRAD/GEC - ONG TAFE, Antsirabé, 1999

FIG. 63 ÉVOLUTION DES RENDEMENTS MOYENS DE HARICOT, EN FONCTION DU MODE DE GESTION DU SOL ET DES CULTURES, EN CULTURE MANUELLE
Sols ferrallitiques et volcaniques des hauts plateaux malgaches - Antsirabé, 1995/99



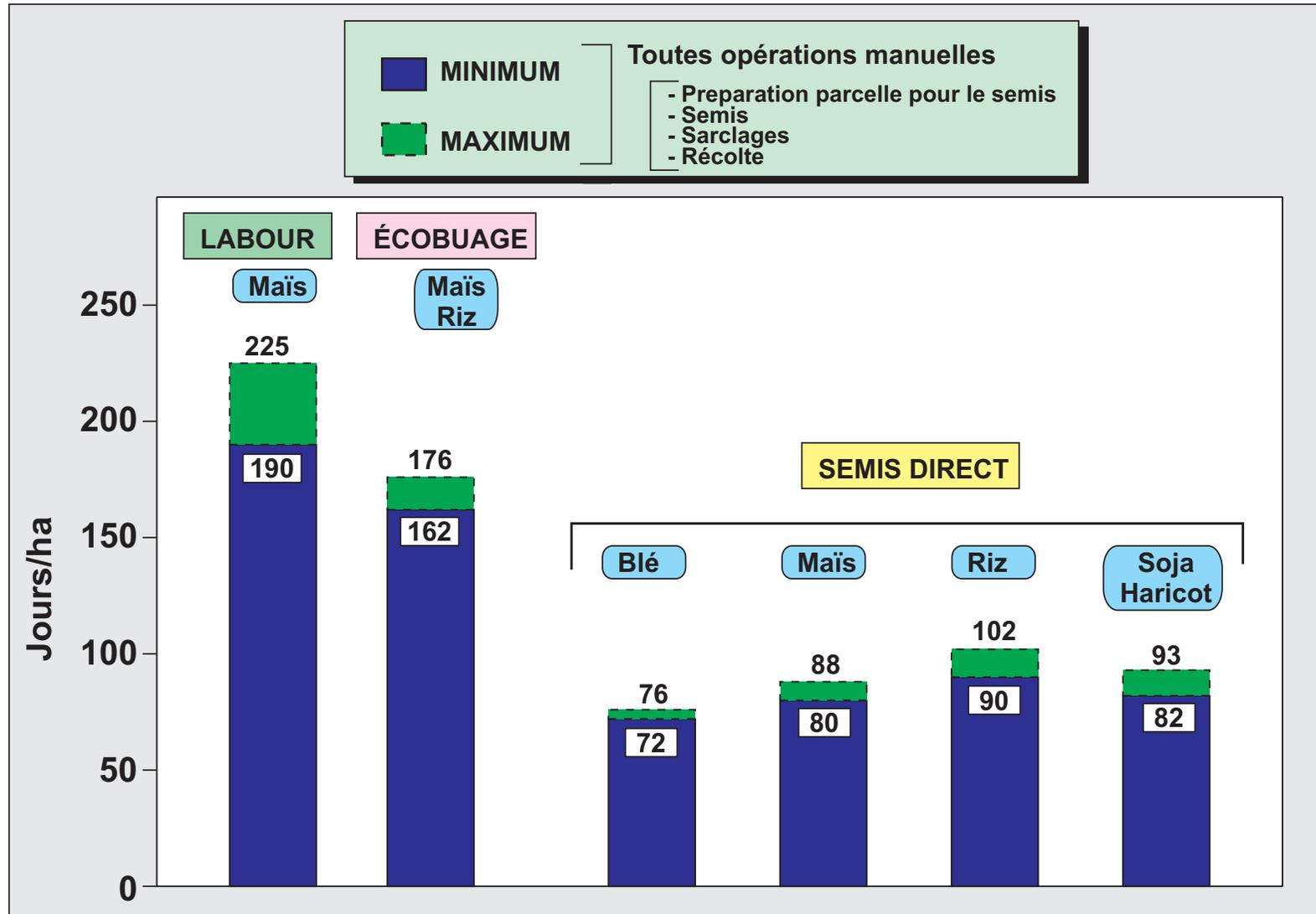
SOURCE: L. Séguy, CIRAD/GEC - ONG Tafa, Antsirabé, 1999

FIG. 64 ÉVOLUTION DES RENDEMENTS MOYENS DE SOJA, EN FONCTION DU MODE DE GESTION DU SOL ET DES CULTURES, EN CULTURE MANUELLE
Sols ferrallitiques et volcaniques des hauts plateaux malgaches - Antsirabé, 1995/99



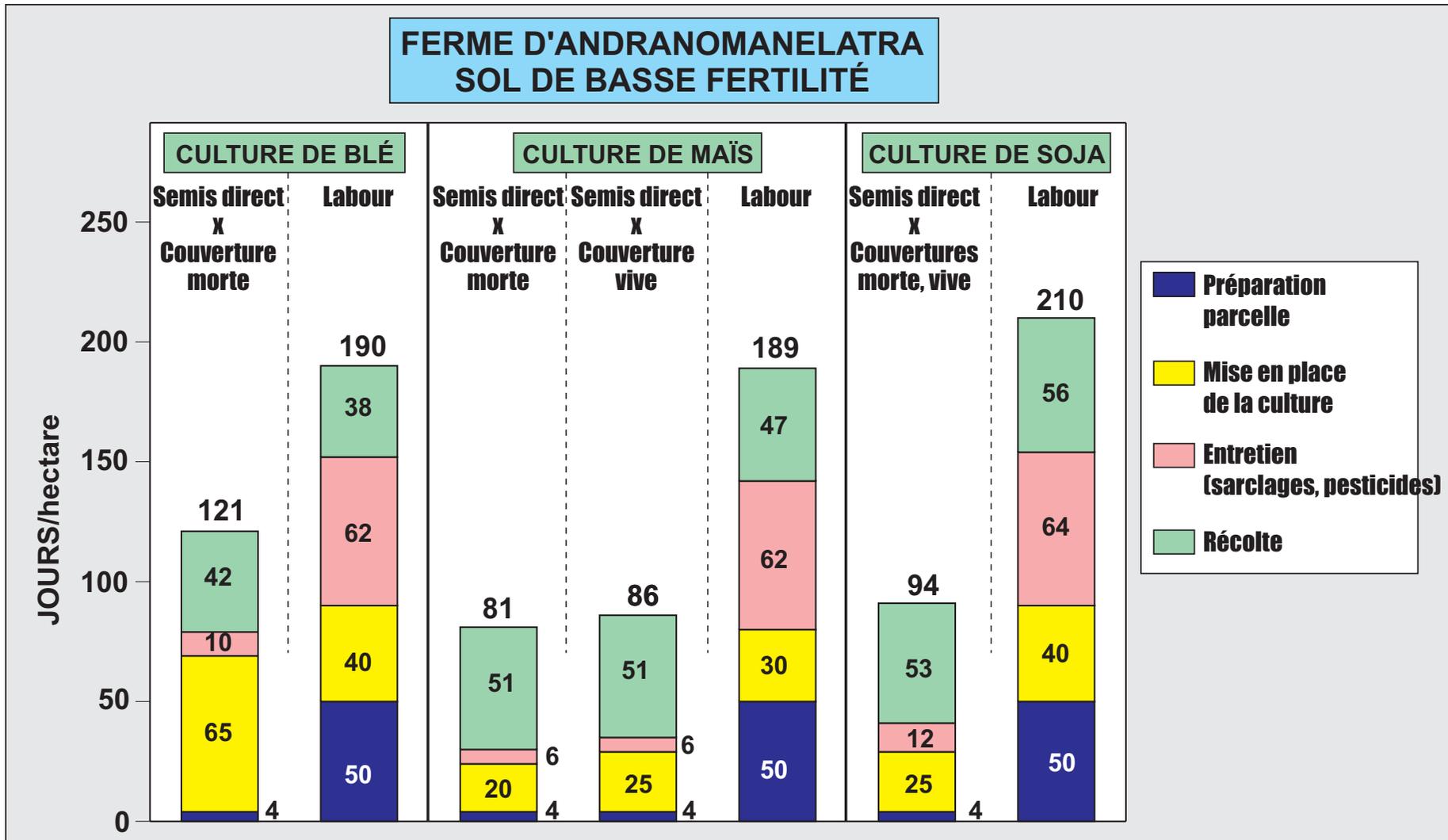
SOURCE: L. Séguy, CIRAD/GEC - ONG TAFE, Antsirabé, 1999

**FIG. 65 TEMPS DE TRAVAUX MANUELS PAR ITINÉRAIRE TECHNIQUE EN JOURS/ha,
EN FONCTION DES MODES DE GESTION DES SOLS ET DES CULTURES**
- Sols ferrallitiques et volcaniques des hauts plateaux malgaches - Antsirabé, 1994/99



SOURCE: L. Séguy, CIRAD/GEC - ONG TAFE, Antsirabé, 1999

FIG. 66 COMPARAISON DES TEMPS MOYENS DE TRAVAUX, EN FONCTION DES MODES DE GESTION DES SOLS ET DES CULTURES SUR SOJA, MAÏS ET BLÉ
 - Sols ferrallitiques et volcaniques des hauts plateaux malgaches - Antsirabé, 1994/99

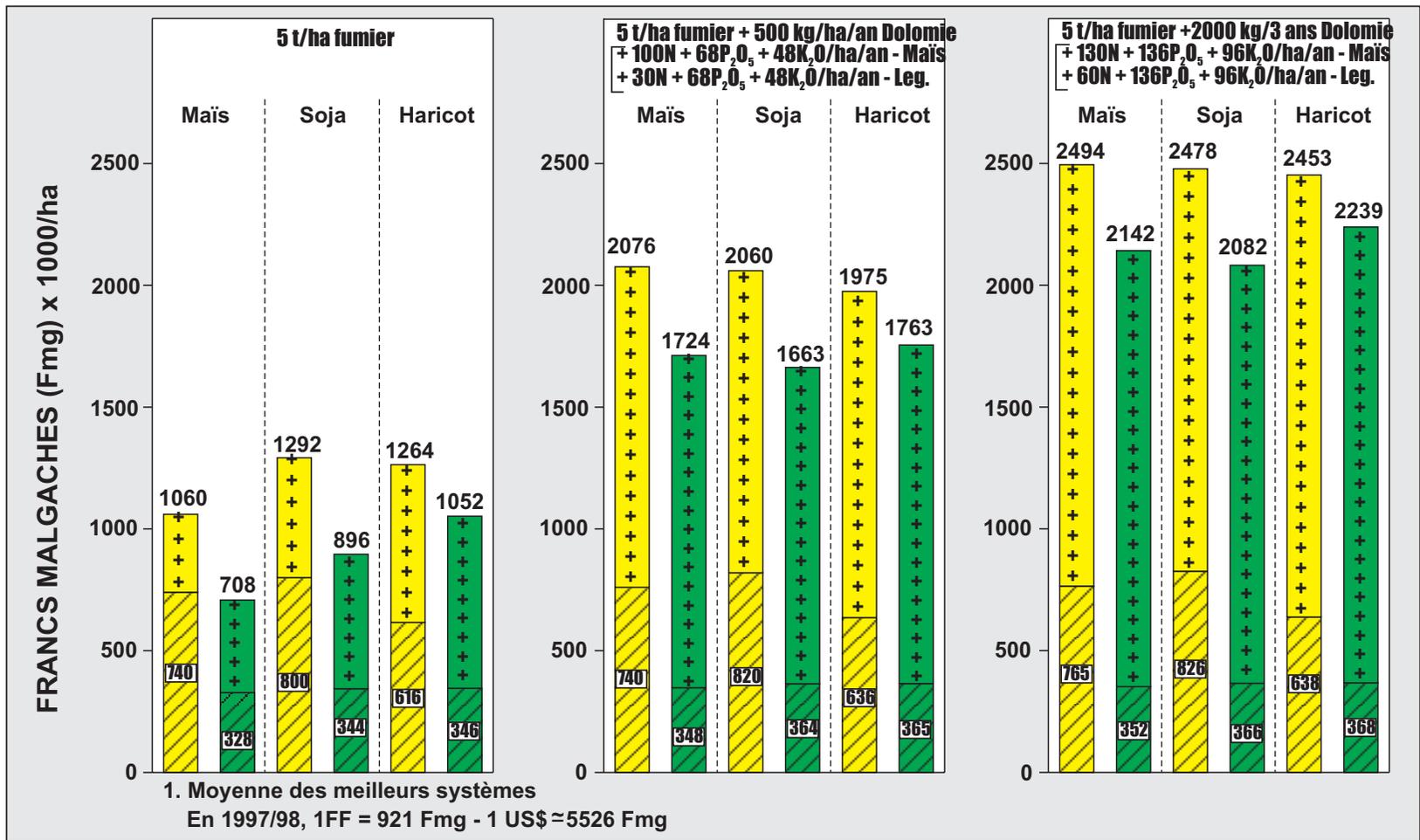


SOURCE: L. Séguy, CIRAD/GEC - ONG TAFE, Antsirabé, 1999

FIG. 67 COÛTS DE PRODUCTION DES CULTURES DE MAÏS, SOJA ET HARICOT EN FONCTION DES MODES DE GESTION DES SOLS ET DES CULTURES, EN AGRICULTURE MANUELLE - Sols ferrallitiques et volcaniques des hauts plateaux malgaches - Antsirabé, 1997/98

• MOYENNE DE 4 SITES: Sols acides de basse fertilité naturelle

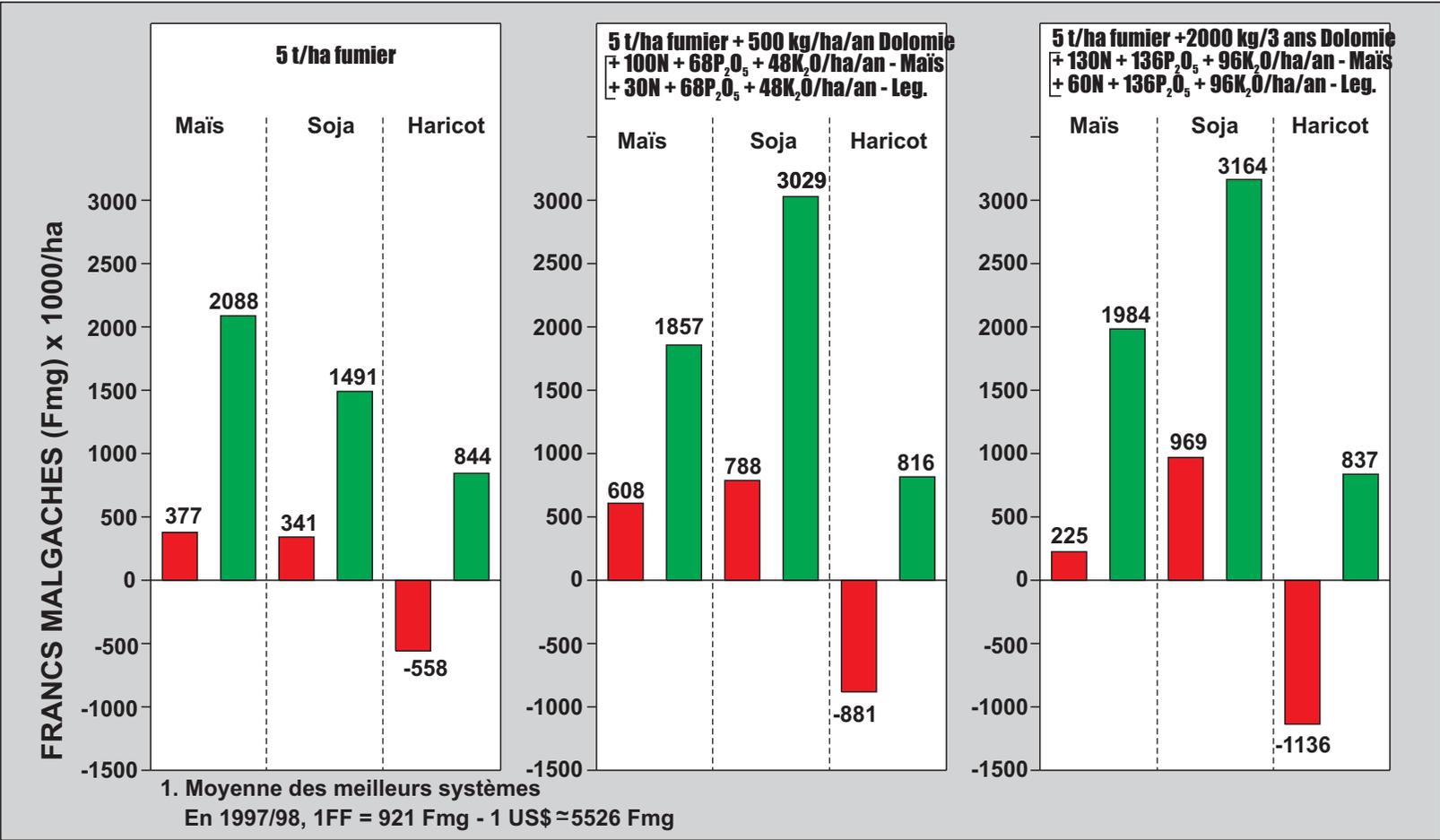
Système traditionnel avec labour
 Semis direct¹
 Main d'œuvre Intrants



SOURCE: L. Séguy, CIRAD/GEC - ONG TAFA, Antsirabé, 1999

FIG. 68 MARGES NETTES DES CULTURES DE MAÏS, SOJA ET HARICOT EN FONCTION DES MODES DE GESTION DES SOLS ET DES CULTURES, EN AGRICULTURE MANUELLE - Sols ferrallitiques et volcaniques des hauts plateaux malgaches - Antsirabé, 1997/98

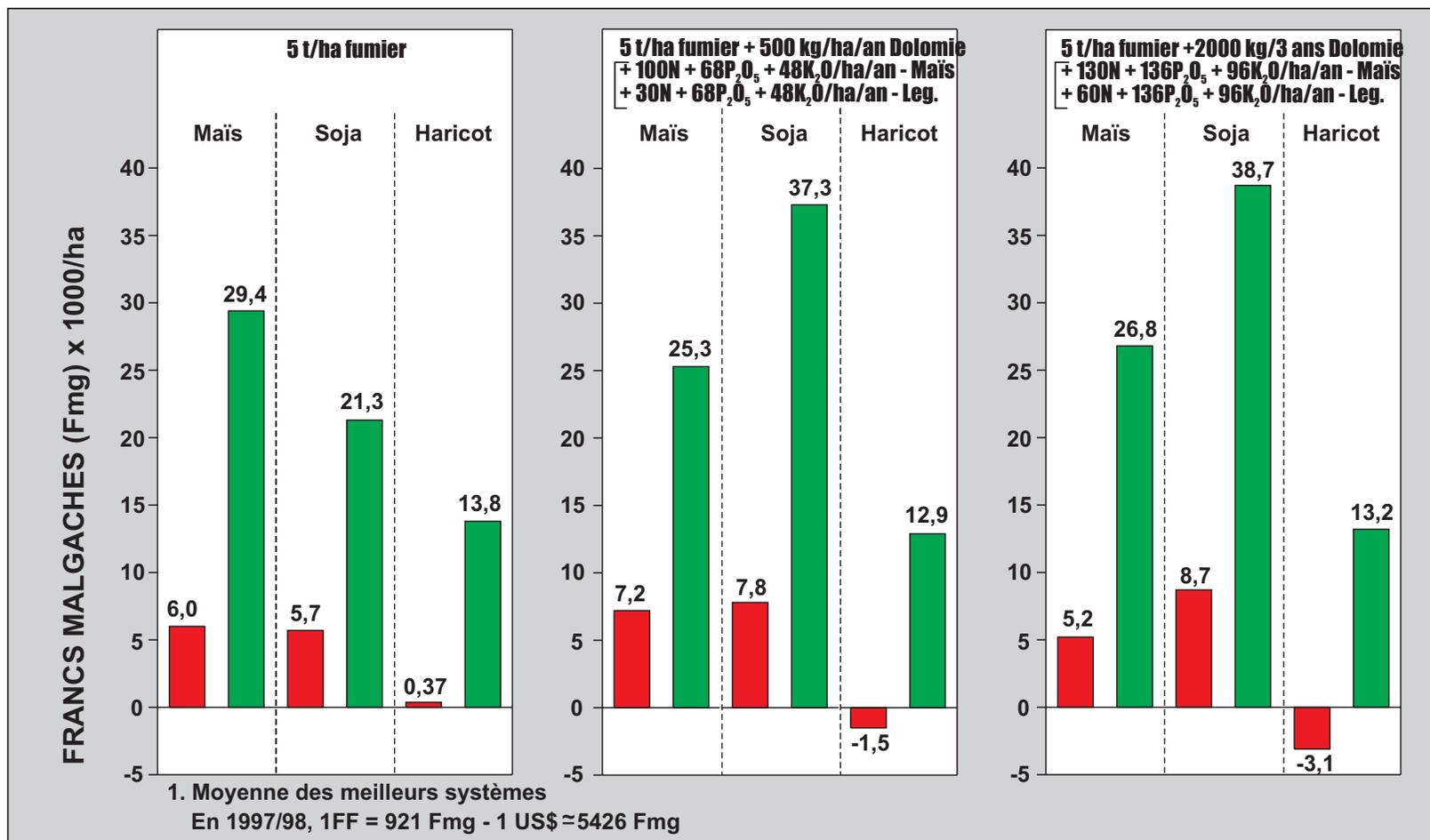
• MOYENNE DE 4 SITES: Sols acides de basse fertilité naturelle
 ■ Système traditionnel avec labour
 ■ Semis direct¹



SOURCE: L. Ségué, CIRAD/GEC - ONG TAFE, Antsirabé, 1999

FIG. 69 VALORISATION DE LA JOURNÉE DE TRAVAIL DES CULTURES DE MAÏS, SOJA ET HARICOT EN FONCTION DES MODES DE GESTION DES SOLS ET DES CULTURES, EN AGRICULTURE MANUELLE - Sols ferrallitiques et volcaniques des hauts plateaux malgaches - Antsirabé, 1997/98

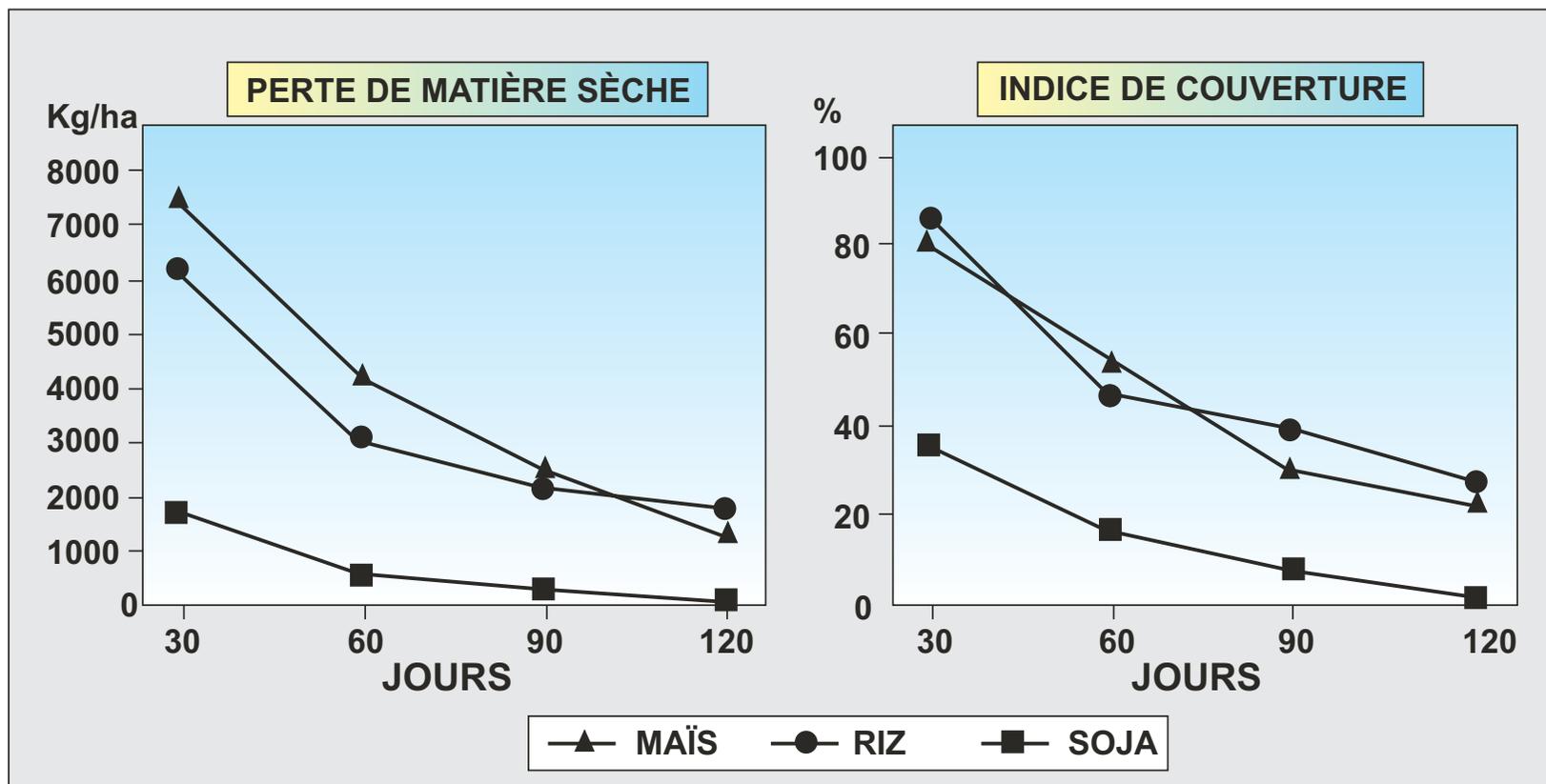
• MOYENNE DE 4 SITES: Sols acides de basse fertilité naturelle
 ■ Système traditionnel avec labour
 ■ Semis direct¹



SOURCE: L. Séguy, CIRAD/GEC - ONG TAFE, Antsirabé, 1999

FIG. 70 ■ ÉVOLUTIONS

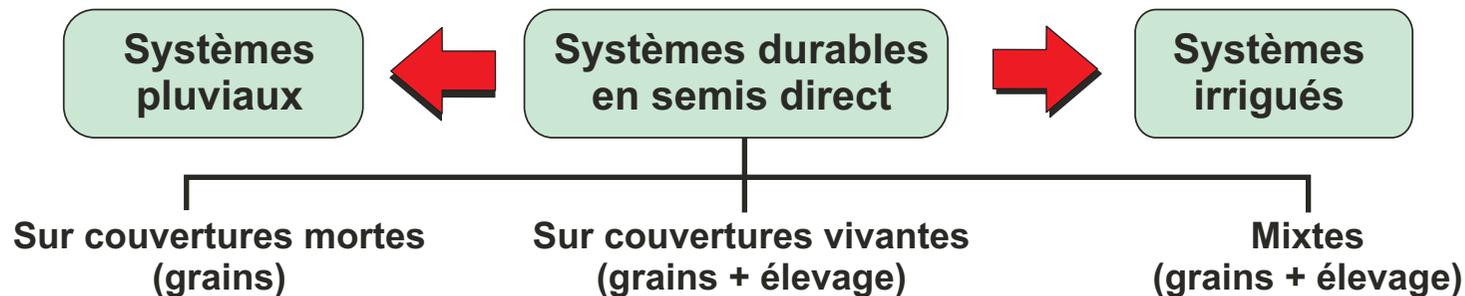
- De la perte de matière sèche des résidus de récolte,
 - De l'indice de couverture du sol,
- Résidus de récolte de Maïs, Riz, Soja, en semis direct



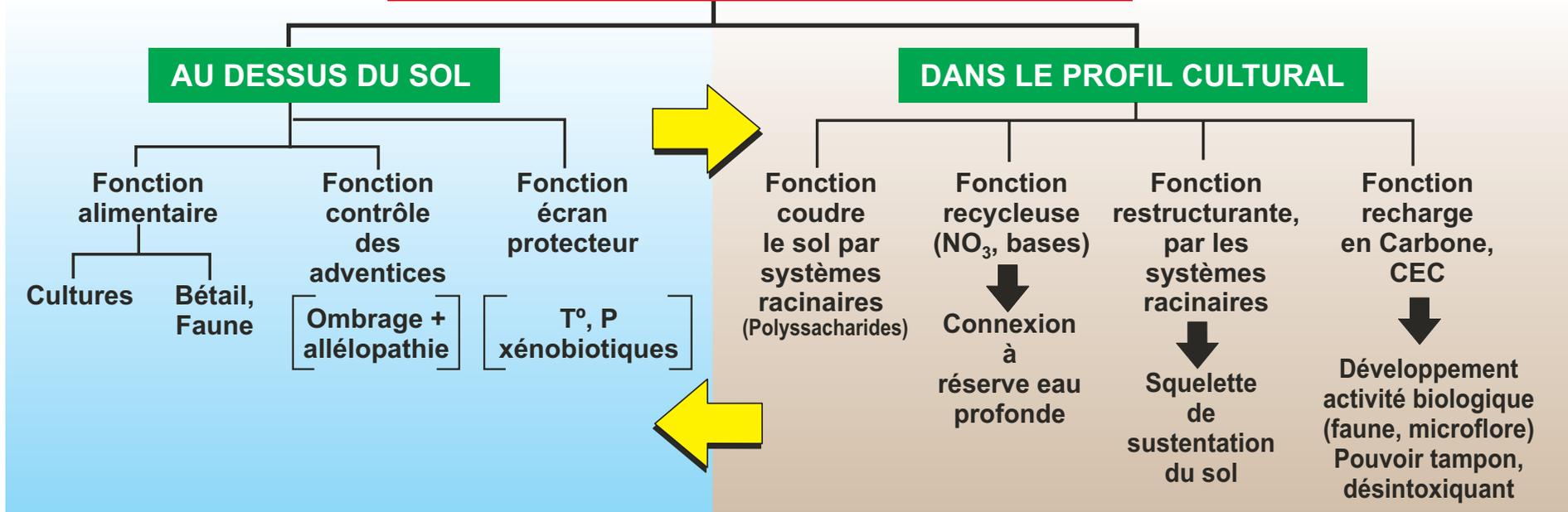
(*) Écologie des cerrados humides. Fazenda Progresso - Lucas do Rio Verde - MT - 1985/89

SOURCE: L. Ségué, S. Bouzinac, CIRAD-CA: M. Matsubara - 1985/89

FIG. 71 LE CONCEPT DE MULTIFONCTIONNALITÉ DES BIOMASSES DE COUVERTURE, EN SEMIS DIRECT

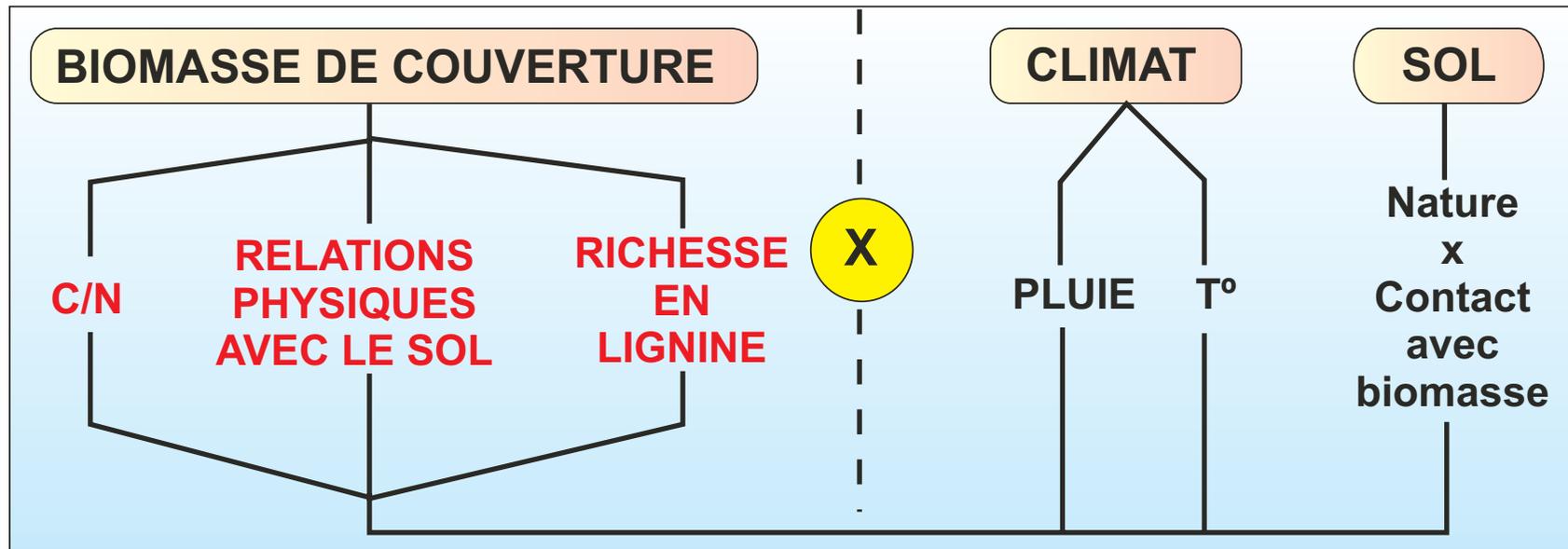


MULTIFONCTIONNALITÉ DES COUVERTURES

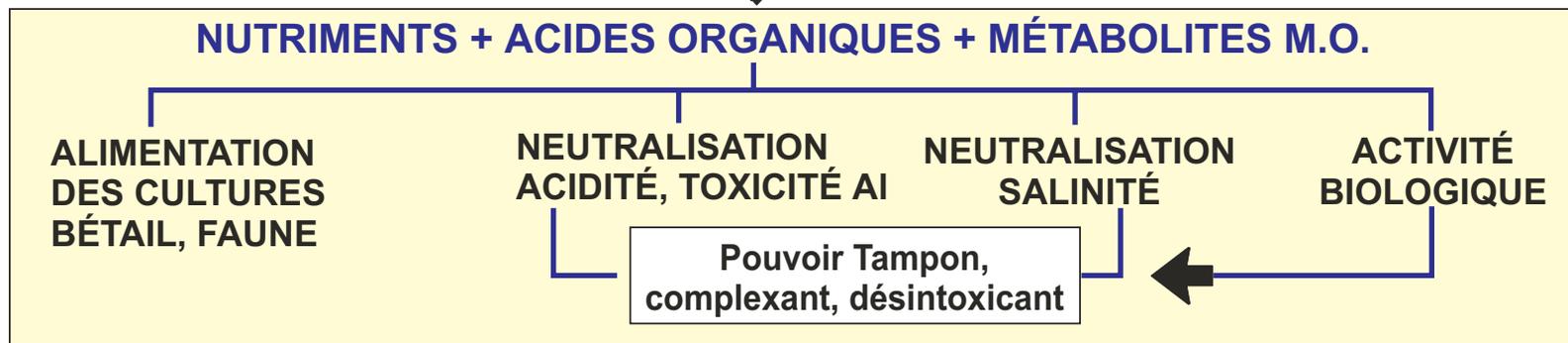


SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA; A. C. Maronezzi, AGRONORTE, Sinop/MT - 1978/2000

FIG. 72 FONCTION ALIMENTAIRE



VITESSE MINÉRALISATION



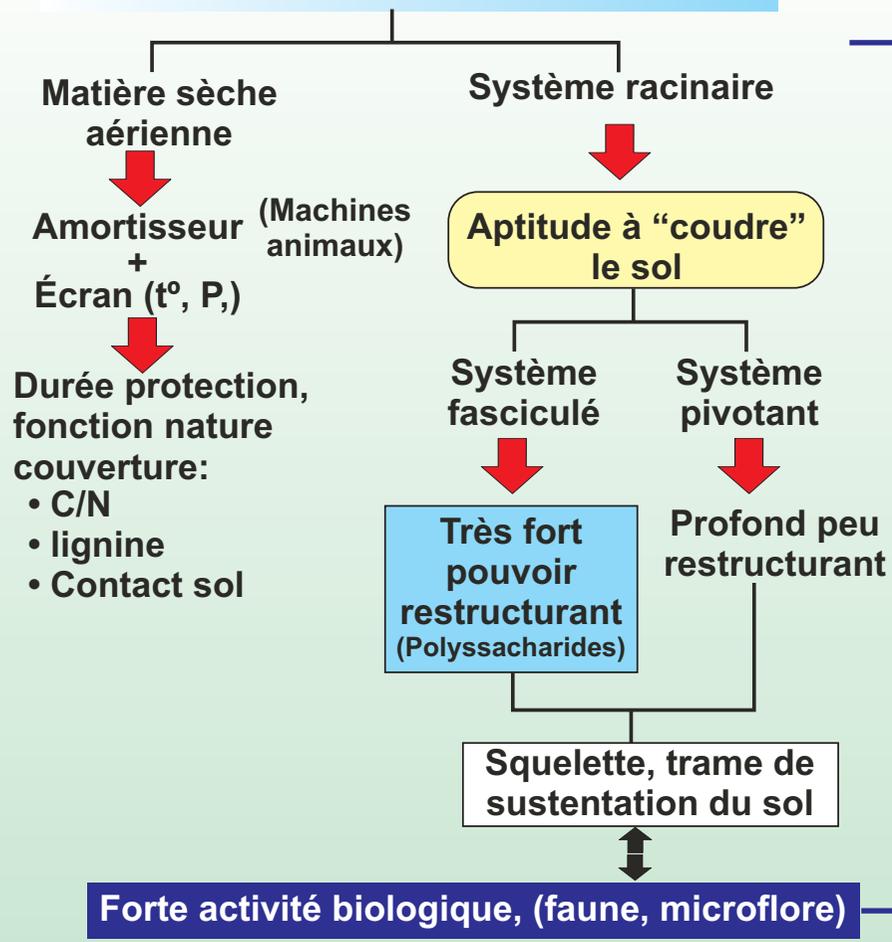
SOURCE: L. Ségué, S. Bouzinac, CIRAD-CA; A. C. Maronezzi, AGRONORTE, Sinop/MT - 1978/2000

FIG. 73

FONCTIONS:

- PROTECTION CONTRE L'ÉROSION
- POUVOIR RESTRUCTURANT
- RECHARGE EN CARBONE

PROTECTION CONTRE L'ÉROSION

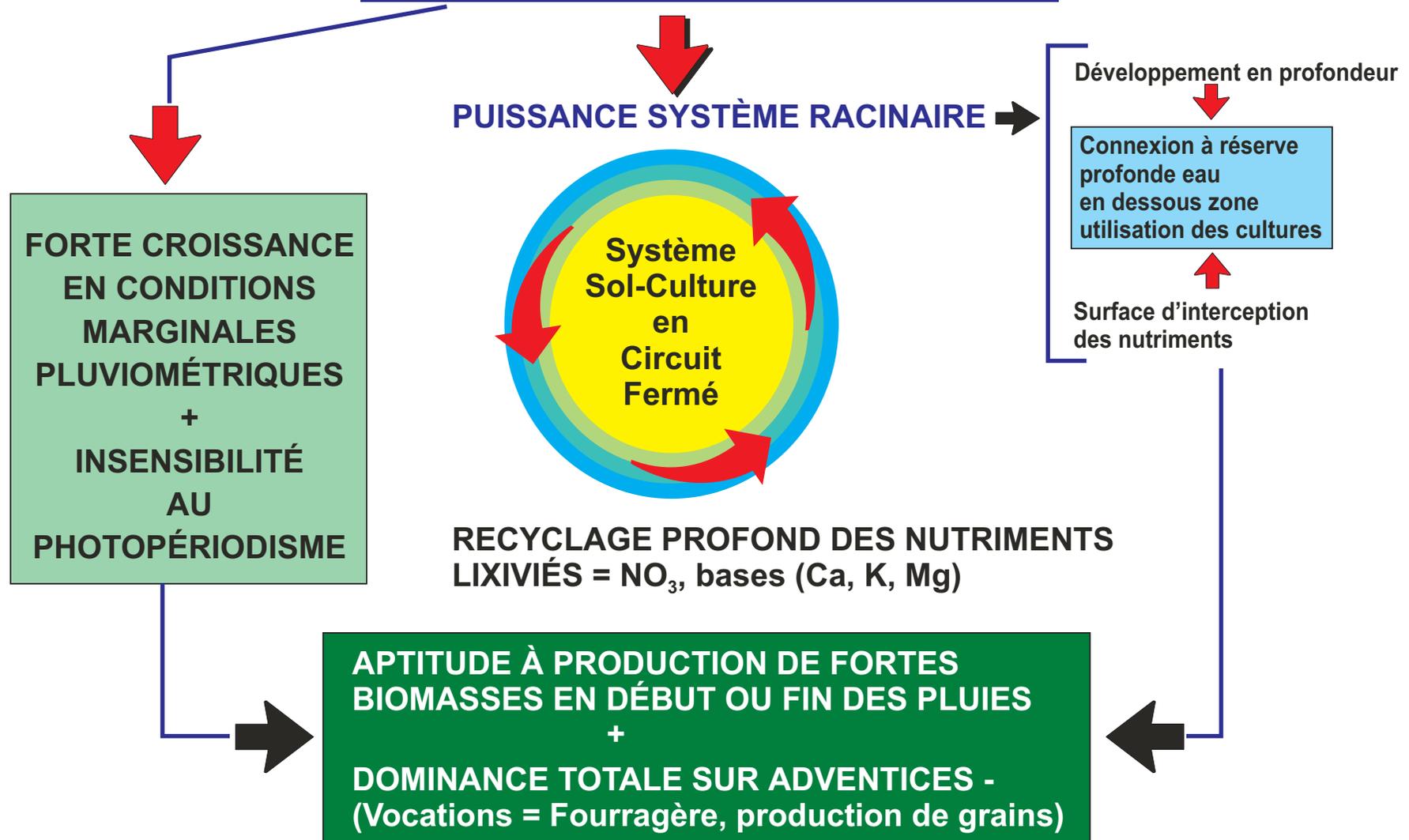


• Séquestration, injection C continue par Rhizodéposition -
Système racinaire riche en lignine, protégé par colloïdes minéraux -
→ Décomposition + lente que parties aériennes → 1^o facteur séquestration C

• Fermeté du sol, autorisant transit machines lourdes, bétail, sans altération porosité même en sol humide -
• La terre ne colle pas aux outils, même en sol très humide

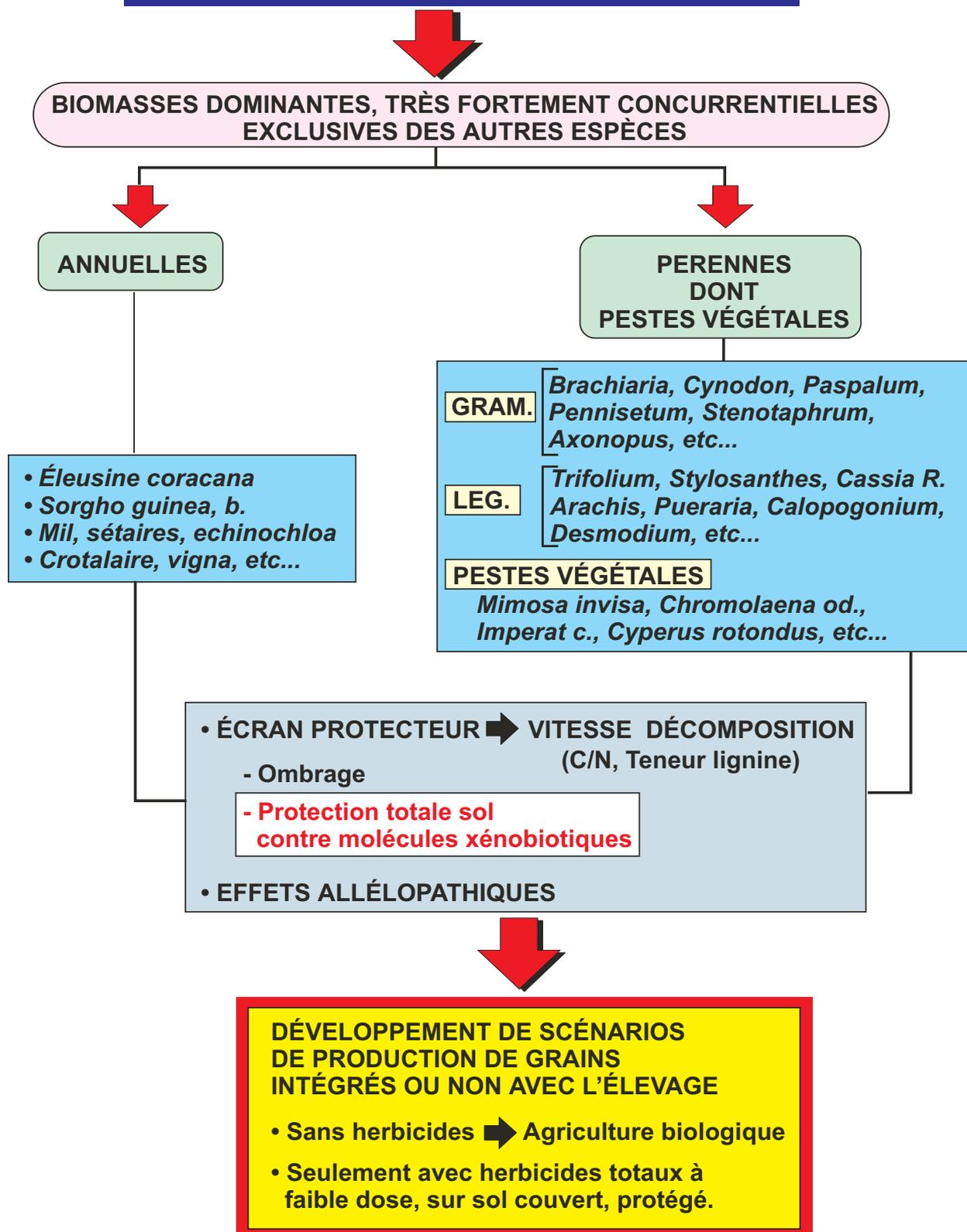
(*) Les biomasses les plus performantes pour l'ensemble des fonctions:
Éleusine ≈ Brachiaria > Sorgho > Mil
• associations: [**Maïs, Sorgho, Mil, Riz + Brachiaria, Panicum**
Maïs, Sorgho, Mil, Riz + Stylosanthes g. Arachis

FIG. 74 FONCTION RECYCLEUSE



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

FIG. 75 FONCTION: CONTRÔLE DES ADVENTICES



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

• **FONCTIONNEMENT DU SEMIS DIRECT
EN ZONE TROPICALE HUMIDE
DES SAVANES ET FORÊTS
DU CENTRE OUEST BRÉSILIEN**

SOLS FERRALLITIQUES OXYDÉS ET HYDRATÉS

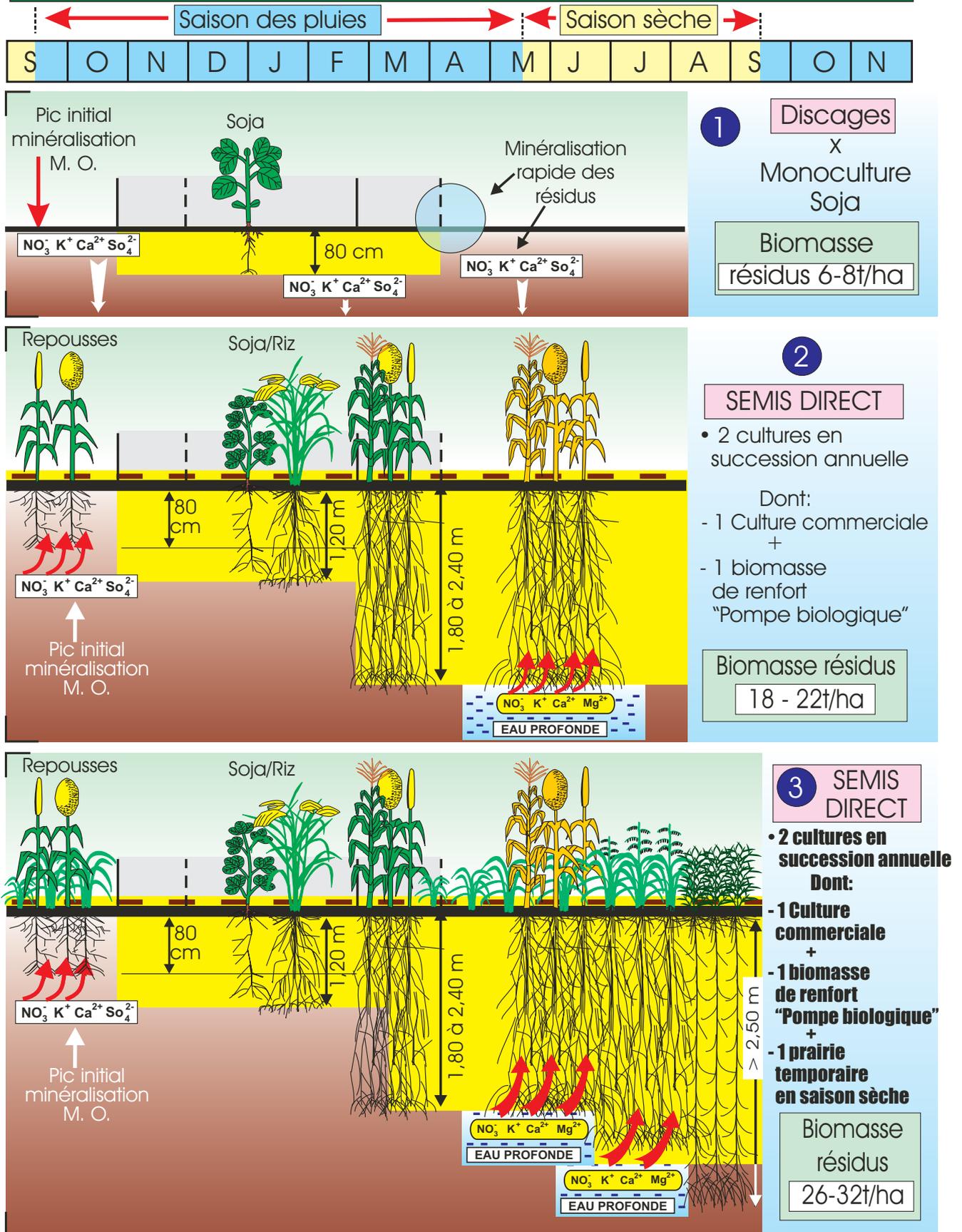
**ÉTAT DES CONNAISSANCES ACTUELLES,
À PARTIR DES TRAVAUX DE L'ÉQUIPE
CIRAD CA - GEC DE GOIÂNIA (GO)**

L. Séguy, S. Bouzinac

- Mars 2001 -

FIG. 76 ÉVOLUTION DES SYSTÈMES DE CULTURE, DE LA BIOMASSE DE RÉSIDUS ET DE L'UTILISATION DES RESSOURCES HYDRIQUES

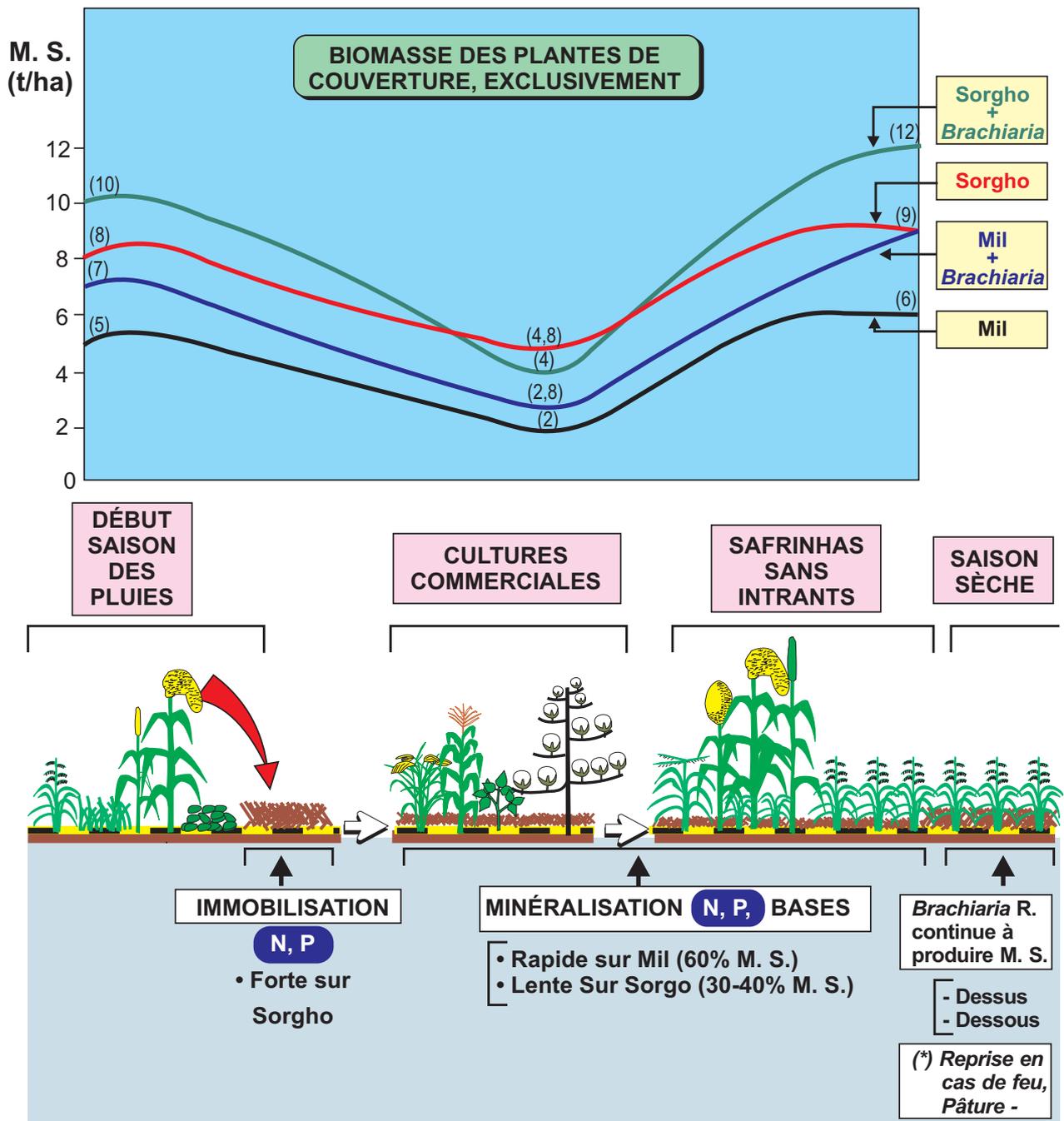
Écologie des cerrados et forêts humides du Centre Nord Mato Grosso - 1986/2000



SOURCE: L. Séguéy, S. Bouzinac, CIRAD-CA; A. Maronezzi, Agronorte - Sinop/MT - 2001

FIG. 77 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 -

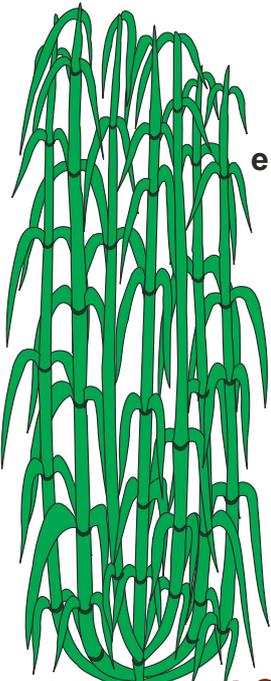


SOURCE: L. Ségué, S. Bouzinac, CIRAD CA - GEC; AGRONORTE - Sorriso/MT - 1998

FIG. 78 ANATOMIE, PROPRIÉTÉS ET FONCTIONS DES PLANTES DE COUVERTURE EN SEMIS DIRECT - Pompes biologiques en intercultures -

Exemple: *Éleusine coracana*

1. À LA LEVÉE



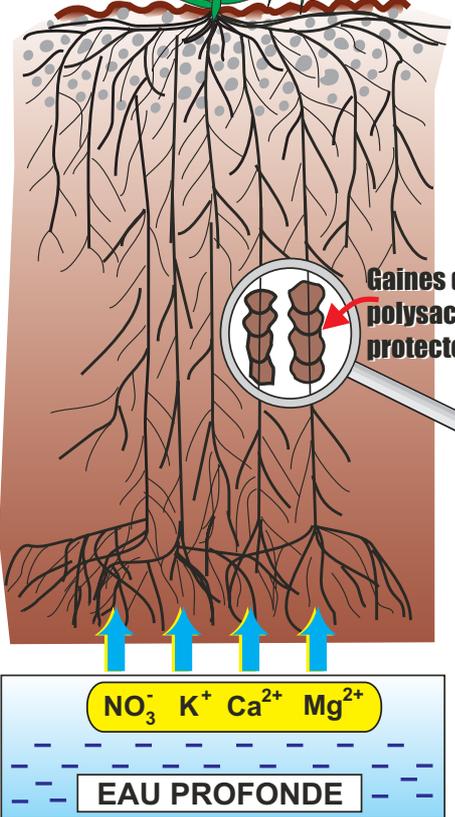
- Forte vigueur initiale et développement végétatif rapide en conditions pluviométriques aléatoires

- **Contrôle des adventices (dominance)**
- **Recyclage pic initial minéralisation M. O.**

2. BIOMASSE DESSÉCHÉE Lit des cultures

- Écran efficace (t° , P_{mm} , Érosion)
- Fonction alimentaire
- Protection efficace contre xénobiotiques
- Contrôle efficace des adventices

- Régulation hydrique thermique
- ↓
- Alimentation minérale régulée des cultures
- Recharge en carbone



<ul style="list-style-type: none"> • Coudre la surface • Restructurer le profil cultural 	↔ ↔	<ul style="list-style-type: none"> • Faciliter la levée des petites graines sous couvert
<ul style="list-style-type: none"> • Favoriser le développement durable de la vie biologique (faune, microflore) 	↔ ↔	<ul style="list-style-type: none"> • Ressuyage rapide (macroporosité) • Forte rétention en eau (microporosité)
<ul style="list-style-type: none"> • Recharger le profil cultural en carbone "protégé" 	↔ ↔	<ul style="list-style-type: none"> • Mobilisation et maintien de la fertilité par voie organo-biologique
<ul style="list-style-type: none"> • Vitesse élevée de colonisation racinaire • Surface élevée d'interception des flux de nutriments • Capacité élevée à pomper l'eau profonde, recycler les nutriments 	↔ ↔	<ul style="list-style-type: none"> • Fermeture du système "Sol-Cultures"

FIG. 79 INTERVALLES DE PRODUCTIVITÉ EN GRAINS DES SYSTÈMES DE CULTURE À 2 CULTURES PAR AN, PRATIQUÉS EN SEMIS DIRECT CONTINU, SUR 3 ANS - Écologie des cerrados humides du Centre Nord Mato Grosso, MT - 1992/95

Système de culture les plus performants	INTERVALLES DE PRODUCTIVITÉ EN kg/ha			
	SOJA (+ Sorgho, Mil ou Crotalaire)		RIZ PLUVIAL (+ Sorgho, Mil)	
	Basse ¹ Technologie	Haute ² Technologie	Basse ¹ Technologie	Haute ² Technologie
Riz + Sorgho ou Mil Alterné avec SOJA + Sorgho ou Mil	2800 - 3200 + (700 - 900)	3600 - 4200 + (1400 - 2000)	2200 - 2700 + (500 - 700)	3600 - 4200 + (900 - 1400)
Riz + Sorgho ou Mil Alterné avec SOJA + Crotalaire	2400 - 3000 + (250 - 400)	3200 - 3600 + (360 - 600)	2800 - 3300 + (800 - 1200)	4600 - 5400 + (1600 - 2300)
	M. O. % Dans l'horizon 0-20 cm ≥ 3%		Biomasse aérienne totale sur 3 ans comprise entre 42 et 54 t/ha	
1 - Basse technologie	Fumure minérale [Sur Soja = 5N + 50P ₂ O ₅ + 50K ₂ O + oligos/ha Sur Riz = 55N + 50P ₂ O ₅ + 50K ₂ O + oligos/ha Aucune fumure sur les pompes biologiques de succession = Mil, Sorgho, Crotalaire Traitement fongicide minimum des semences			
2 - Haute technologie	Fumure minérale [Sur Soja = 120P ₂ O ₅ + 92K ₂ O + oligos E. + 200 kg gypse/ha Sur Riz = 85N + 120P ₂ O ₅ + 92K ₂ O + oligos E. + 200 kg de gypse/ha Aucune fumure sur les pompes biologiques de succession = Mil, Sorgho, Crotalaire Traitement fongicide et insecticide des semences + traitements fongicides sur les cultures			

(*) Expérimentations conduites en conditions d'exploitation réelles - (Matrice systèmes = 320 ha; parcelle élémentaire = 4 ha)
 SOURCE: L. Ségué, S. Bouzinac, CIRAD-CA/GEC; M. Matsubara, Fazenda Progresso; A. Trentini, Cooperlucas; Lucas do Rio Verde/MT, 1992/95

**FIG. 80 CENTRE OUEST BRÉSIL
ET
FRONTIÈRES AGRICOLES
DU SUD DE L'AMAZONIE**

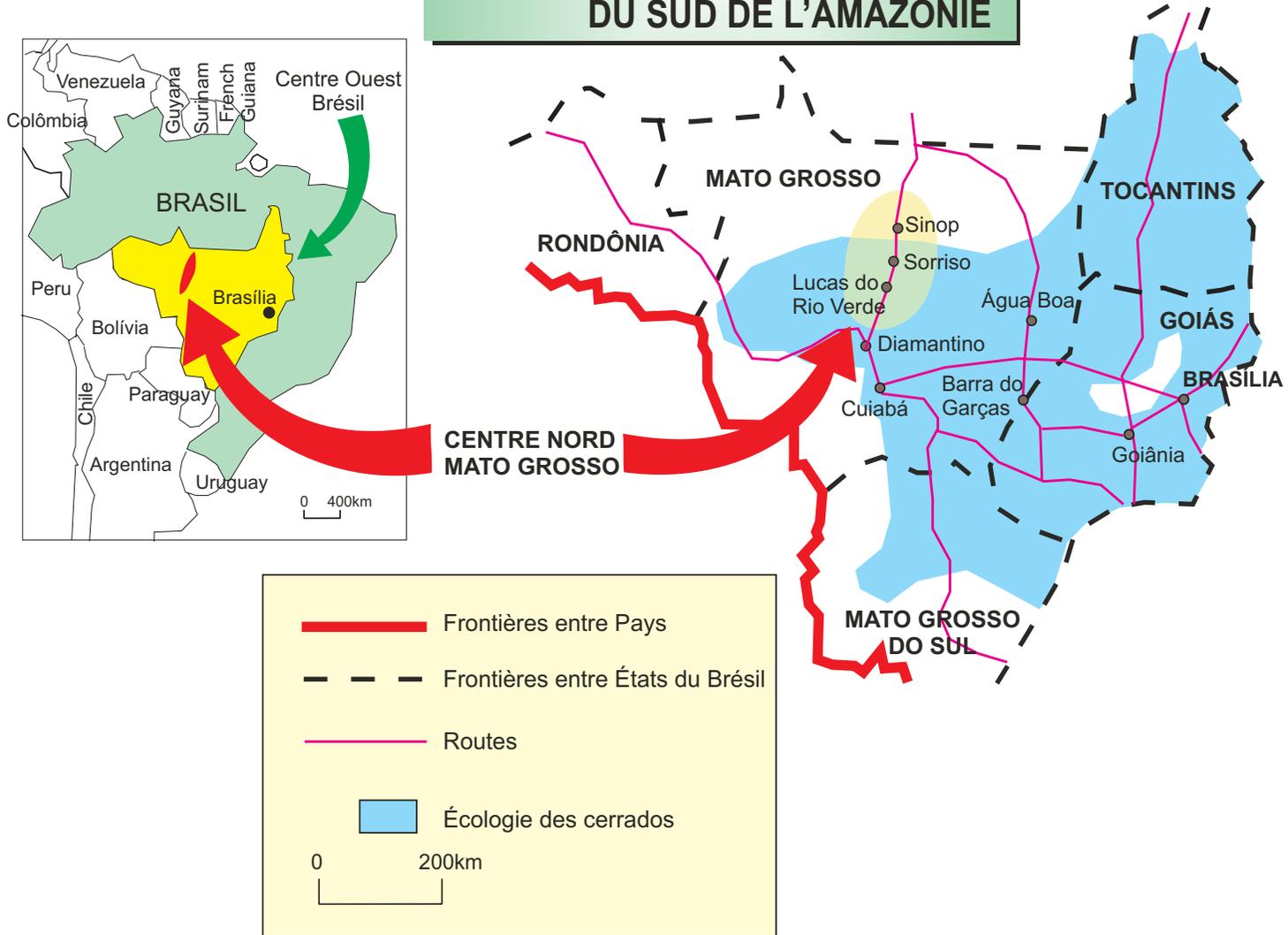


FIG. 81 SEMIS DIRECT

MOTS ET EXPRESSIONS CLÉS

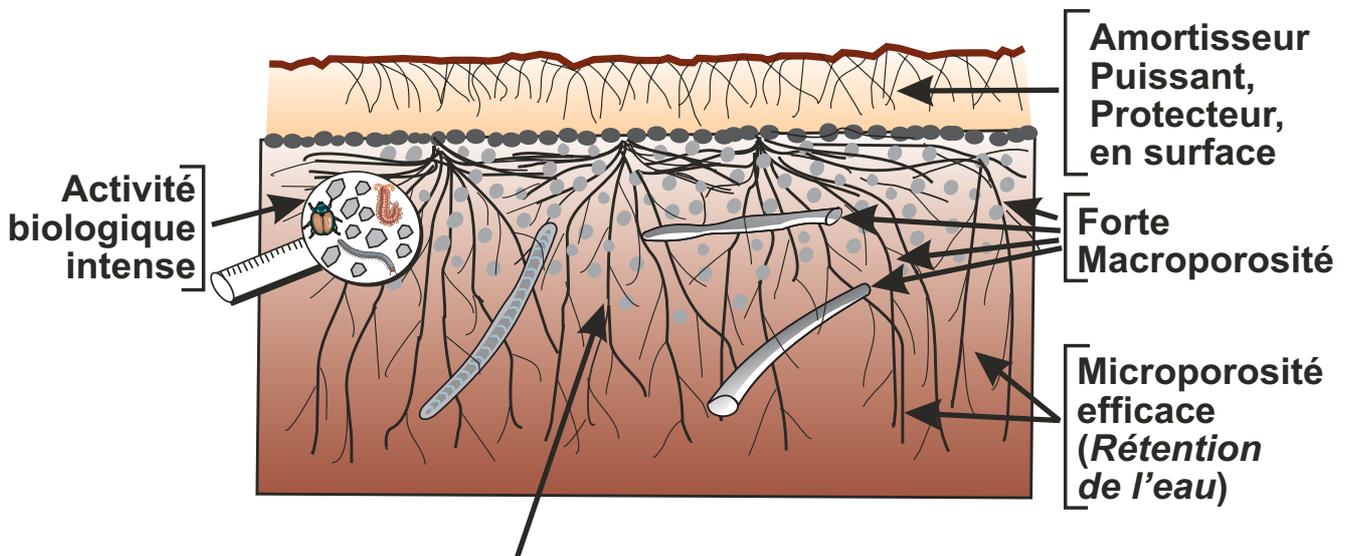
- AU NIVEAU DE LA PLANÈTE → Réduction de l'émission de gaz à effet de serre (*réchauffement de la planète*) en particulier CO₂ (*Séquestration de C*)
- AU NIVEAU DES ÉCOSYSTÈMES → Production durable et au moindre coût, des écosystèmes cultivés
 - Fonctionnement du système "Sols-Cultures", en circuit fermé, reproduisant le fonctionnement de l'écosystème forestier, sans perte de nutriments -
 - Protection de la ressource sol et de sa qualité biologique (*érosion, excès climatiques, xénobiotiques*), des unités de paysage (*biodiversité accrue, régulation des flux "Infiltration-Ruissellement", protection des routes et infrastructures*) et de la qualité de l'eau des rivières, lacs et des nappes (*pollution par xénobiotiques, engrais minéraux dont phosphates et surtout nitrates*)
 - Meilleure efficacité agronomique de la ressource sol -
 - Meilleure efficacité de l'eau
 - Recyclage de nutriments dont nitrates, bases
 - Capacité de désintoxication par voie biologique
 - Restructuration biologique (*Activité biologique = Systèmes racinaires + faune + microflore*)
 - Meilleure contrôle des adventices par les voies naturelles (*ombrage + allélopathie*)
 - Séquestration de C (*Augmentation de la M. O. du sol avec ses effets bénéfiques*)
 - Meilleure efficacité technique et économique des systèmes de culture -
 - Meilleure efficacité des engrais minéraux (*moins d'engrais*)
 - Plus grande capacité des équipements mécanisés, de la main d'oeuvre, plus grande flexibilité d'utilisation (*moins de machines, moins de main d'oeuvre, facilité opérationnelle accrue*)
 - Coûts de production moindres, compatibles avec une production agricole toujours plus élevée, toujours plus stable -

FIG. 82 LE SEMIS DIRECT SUR COUVERTURE VÉGÉTALE

DÉFINITION

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

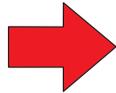
REPRÉSENTATION



**SQUELETTE ORGANIQUE DE SUSTENTATION DU SOL
QUI CONFÈRE AU PROFIL CULTURAL = STRUCTURE
ENTRETENUE, RÉSISTANCES AU TASSEMENT ET À LA
DÉFORMATION, RESSUYAGE RAPIDE.**

**SYSTEMES RACINAIRES
+
CONSTRUCTIONS DE LA FAUNE**

FIG. 83 COUVRIR LE SOL EN ZONE TROPICALE HUMIDE



PRINCIPAL PROBLÈME:
MAINTENIR UNE COUVERTURE PERMANENTE DU SOL

• À L'INVERSE DES RÉGIONS SUBTROPICALES ET SUBTROPICALES D'ALTITUDE (*États du Sud, en dessous des tropiques*), OÙ IL EXISTE UNE SAISON FROIDE QUI FREINE LA MINÉRALISATION DE LA MATIÈRE ORGANIQUE

➔ EN CONDITIONS TROPICALES CHAUDES ET HUMIDES DE BASSE ALTITUDE, TAUX ÉLEVÉ, CONTINU, DE MINÉRALISATION DE LA MATIÈRE ORGANIQUE,

➔ LA COUVERTURE DU SOL ASSURÉE, UNIQUEMENT PAR LES RESTES DE RÉCOLTE EST ÉPHÉMÈRE ET INSUFFISANTE DURANT LE CYCLE DE LA CULTURE -

FIG. 84 LA RECHERCHE CIRAD, EN ZTH, A MIS AU POINT, ENTRE 1987 ET 1998, 3 GRANDS TYPES DE SYSTÈMES DE SEMIS DIRECT SUR COUVERTURES

• LES SUCCESSIONS ANNUELLES SUR COUVERTURES

MORTES

- 1 Culture commerciale, précédée par une pompe biologique (*Mil, Sorgho, Eleusine, Crotalaire, Cajanus*)
- 1 Culture commerciale, suivie par une pompe biologique dite "SAFRINHA" (*Maïs, Sorgho, Eleusine, Mil, Crotalaire, Cajanus*)

• LES MÊMES SUCCESSIONS, MAIS QUI ASSOCIENT LA SAFRINHA AVEC *BRACHIARIA Ruzizensis* -

Le *Brachiaria* continue à produire de la matière sèche, même en saison sèche (*niveau racinaire surtout*), constitue une assurance tous risques contre les feux accidentels de saison sèche (*reprise rapide → couverture du sol*)

• LES SUCCESSIONS ANNUELLES "PRODUCTION DE GRAINS, COTON, + PÂTURAGE" =

- * Cultures de Riz haute technologie, Maïs, Coton, sur le genre *Arachis*
- * Cultures de Soja, Coton, Riz pluvial haute technologie sur le genre *Cynodon D. (Tifton 85)*

FIG. 85 → **LA CONSTRUCTION** DES SYSTÈMES DE SEMIS DIRECT S'EST INSPIRÉE D'UN MODÈLE DE FONCTIONNEMENT NATUREL STABLE:

→ **L'ÉCOSYSTÈME FORESTIER**

→ **OBJECTIFS DES AGRONOMES**

- Adapter le fonctionnement de l'écosystème Forestier aux agrosystèmes de production de grains et d'élevage, en reproduisant les fonctions essentielles de l'écosystème forestier:

→ **Sa stabilité**

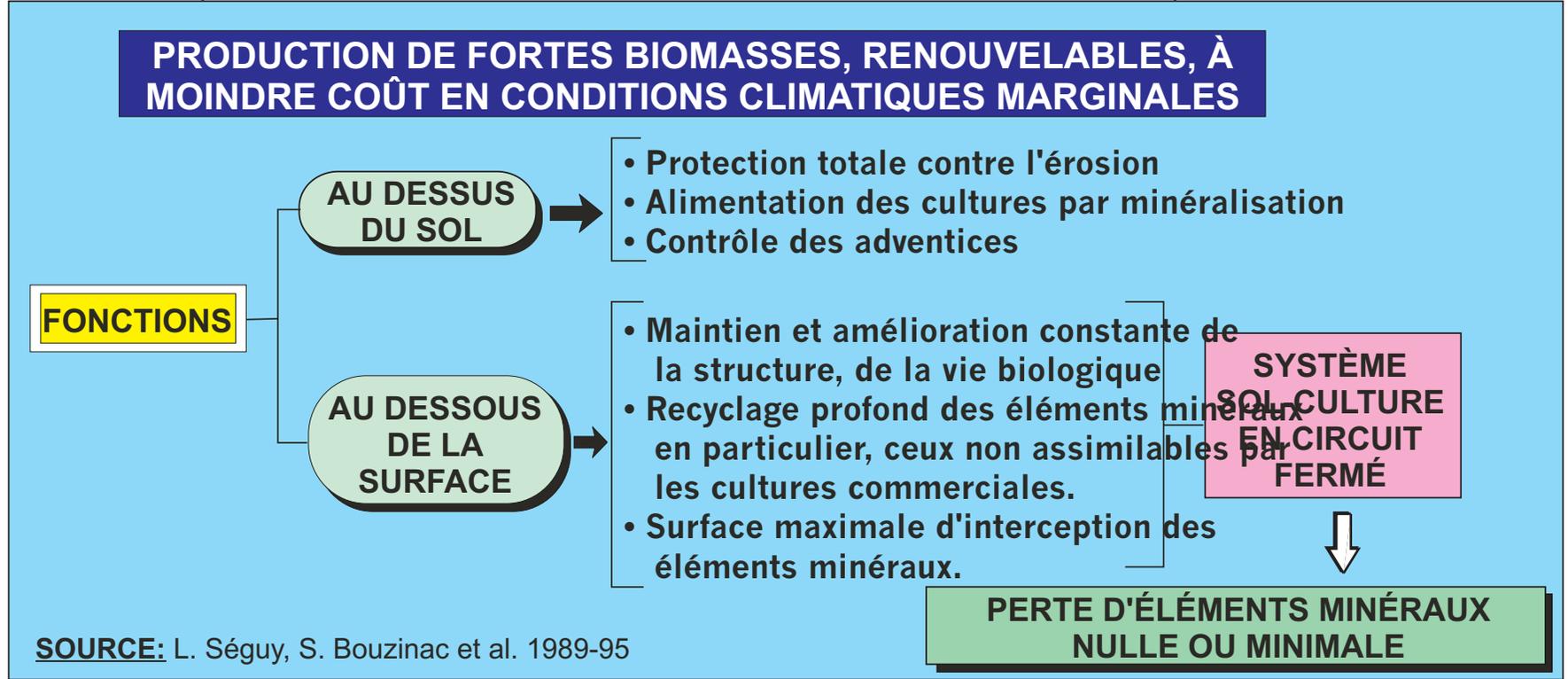
→ **Fonctionnement de l'écosystème sol-plante, en circuit fermé (recyclage, entre matière organique vivante et morte**
→ **minimiser l'importance du facteur sol)**

→ **Création et maintien d'une forte activité biologique (systèmes racinaires + faune + microflore)**

"Faire travailler la nature au profit des activités de production agricole durable, au moindre coût, tout en préservant la capacité de production de la ressource sol, dans un environnement protégé, propre"

➔ **FIG. 87**
LA NOTION DE POMPE BIOLOGIQUE

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



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

FIG. 88 EFFETS DES COUVERTURES

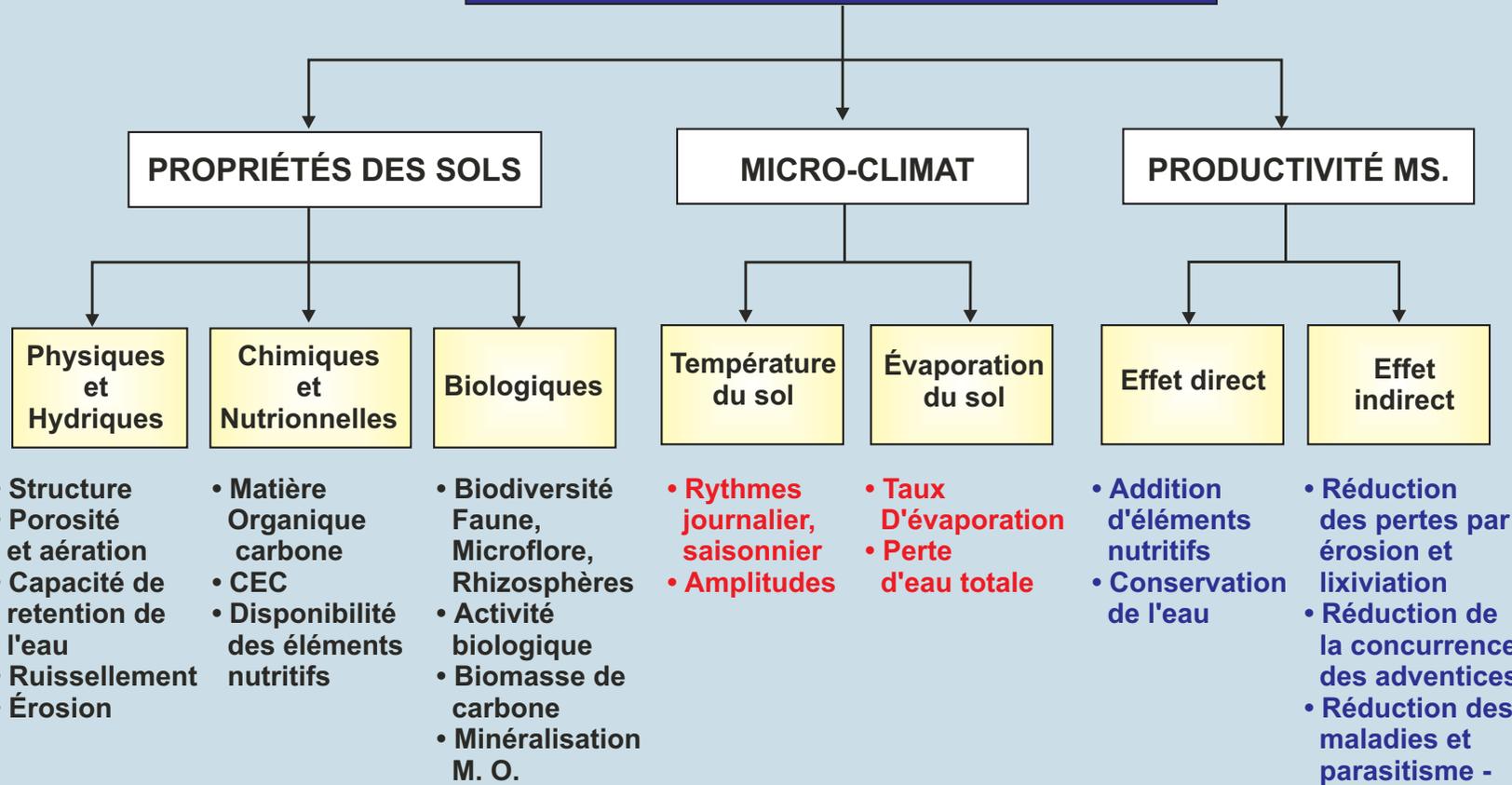


FIG. 89 MÉTHODOLOGIE - ACTIONS DE RECHERCHES

- **Conditions de production des semences des plantes de couverture, à la propriété** (*Facilité de production au moindre coût, importance des surfaces immobilisées, conditions de conservation*)
- **Modes de gestion technique des plantes de couverture dans les systèmes de culture** (*Gestion mécanique, herbicide en pré-semis, gestion herbicide en post semis*)
- **Évaluation des impacts agronomique et technico-économique des plantes de couverture sur les performances des systèmes de culture** (*Systèmes de production de grains, du Coton, d'élevage*)
- **Choix des plantes couverture en fonction des problèmes agronomiques et technico-économiques à résoudre en milieu réel, chez les agriculteurs:**

Aide à la prise de décision, conseil de gestion

FIG. 90 CHOIX DES PLANTES DE COUVERTURE

THÈMES SCIENTIFIQUES, CRITÈRES ET MÉTHODES

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

ADAPTABILITÉ DES ESPÈCES SUR SOLS FERRALLITIQUES

Brésiliens, Africains, Asiatiques (*Roches acide et basique*)
(Réseau gestion agrobiologique piloté par L. Séguy)

DÉFINITION ET DESCRIPTION DES PRINCIPALES FONCTIONS

Des plantes de couverture dans les systèmes de culture, en semis direct (*Agrosystèmes Brésiliens, Africains, Asiatiques*):

- Protectrice du sol et alimentaire (*cultures, élevage*),
 - Restructurante et recycleuse,
 - Suppressives des adventices (*ombrage, allélopathie*), des champignons pathogènes du sol (*Pythium, Rhizoctonia, Fusarium, Aspergillus, Rhizopus etc...*)
-
- Capacité de mobilisation des nutriments en situation de déficience, carence, pour les cultures alimentaires et commerciales, dans les sols acides (*P, K, Ca, Mg, Oligos; neutralisation Al*)
 - Capacité de sequestration du carbone, et de recharge du profil cultural (*dessus, dessous*), de rétention des bases -

FIG. 91 FONCTION ALIMENTAIRE DES COUVERTURES

OBJECTIFS → Renforcer le pouvoir alimentaire du sol, par celui des biomasses (*Pompe biologique*) tout au long du cycle de la culture

→ Identifier les biomasses qui peuvent mobiliser des nutriments (macro, micro) que les cultures commerciales sont incapables d'extraire du pool alimentaire du sol en conditions suffisantes pour conduire aux objectifs de productivité fixés - (*Nécessité d'apport d'engrais minéraux*)

Ex.

- Le Mil, Le Sorgho comme pompes à **K**
- L'*Eleusine C.* comme pompe à **K, Ca, Mg**
- *Cassia rotundifolia* et le genre *Brachiaria* comme pompes biologiques capables d'exploiter les sols très acides (*forts pouvoirs: neutralisant de l'acidité, mobilisateur de nutriments, recycleur*)

→ Analyser le rythme de minéralisation des couvertures, ses conséquences sur la dynamique des ions: (bases, cycles d'immobilisation - libération de N, P, en fonction de la nature des couvertures)

FIG. 92 LA FONCTION ALIMENTAIRE DÉPEND:

➔ D'abord, de la capacité de la plante de couverture, à produire une très forte biomasse instantanée en conditions climatiques aléatoires

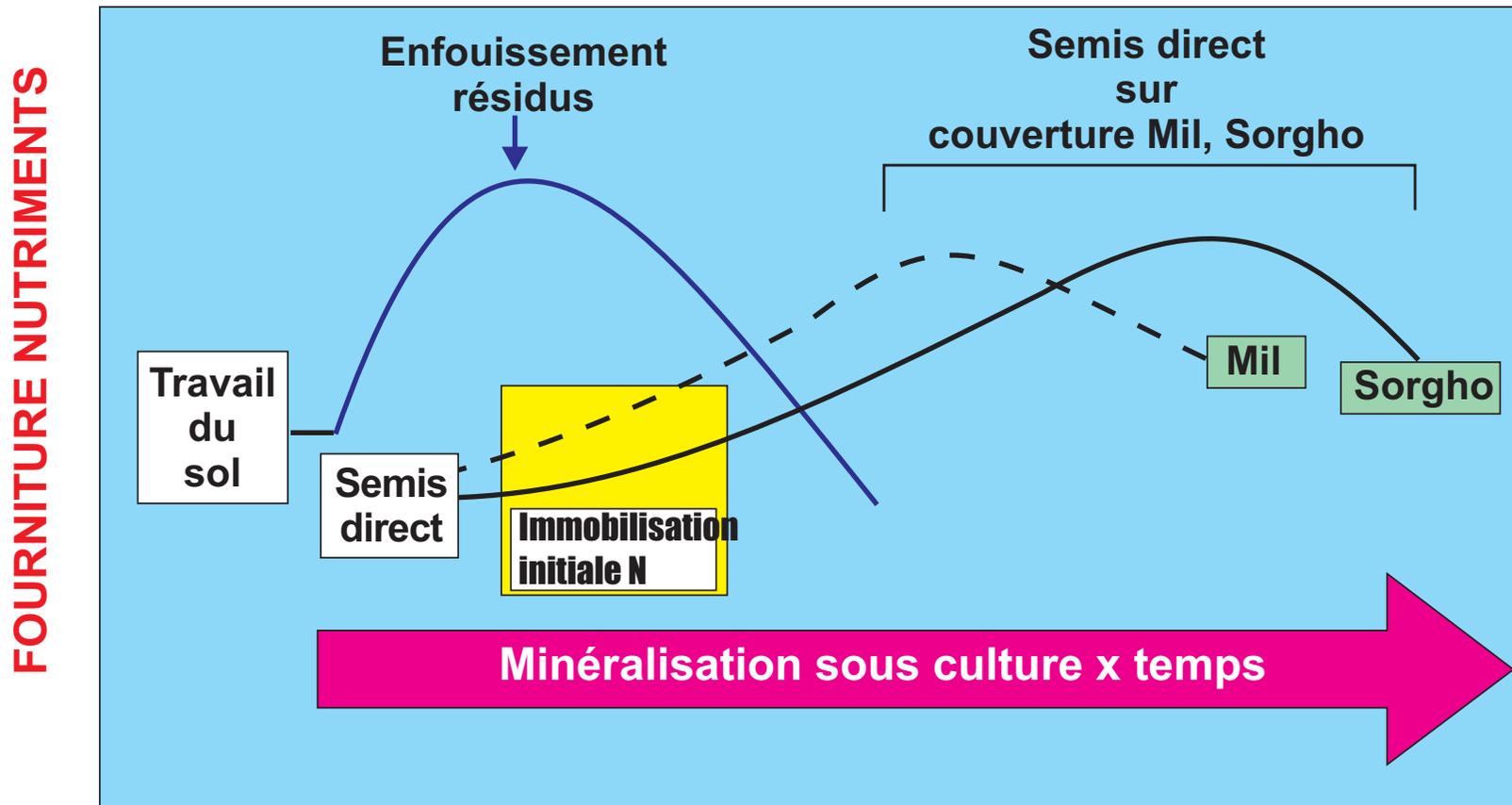
*[Début et fin de saison des pluies,
la biomasse remplace le travail du sol]*

➔ Ensuite, de la vitesse de minéralisation de la couverture dans les conditions pédoclimatiques locales -
La vitesse de minéralisation est réglée par:

- La teneur en lignine
- La teneur en C
- La rapport C/N
- L'activité biologique.

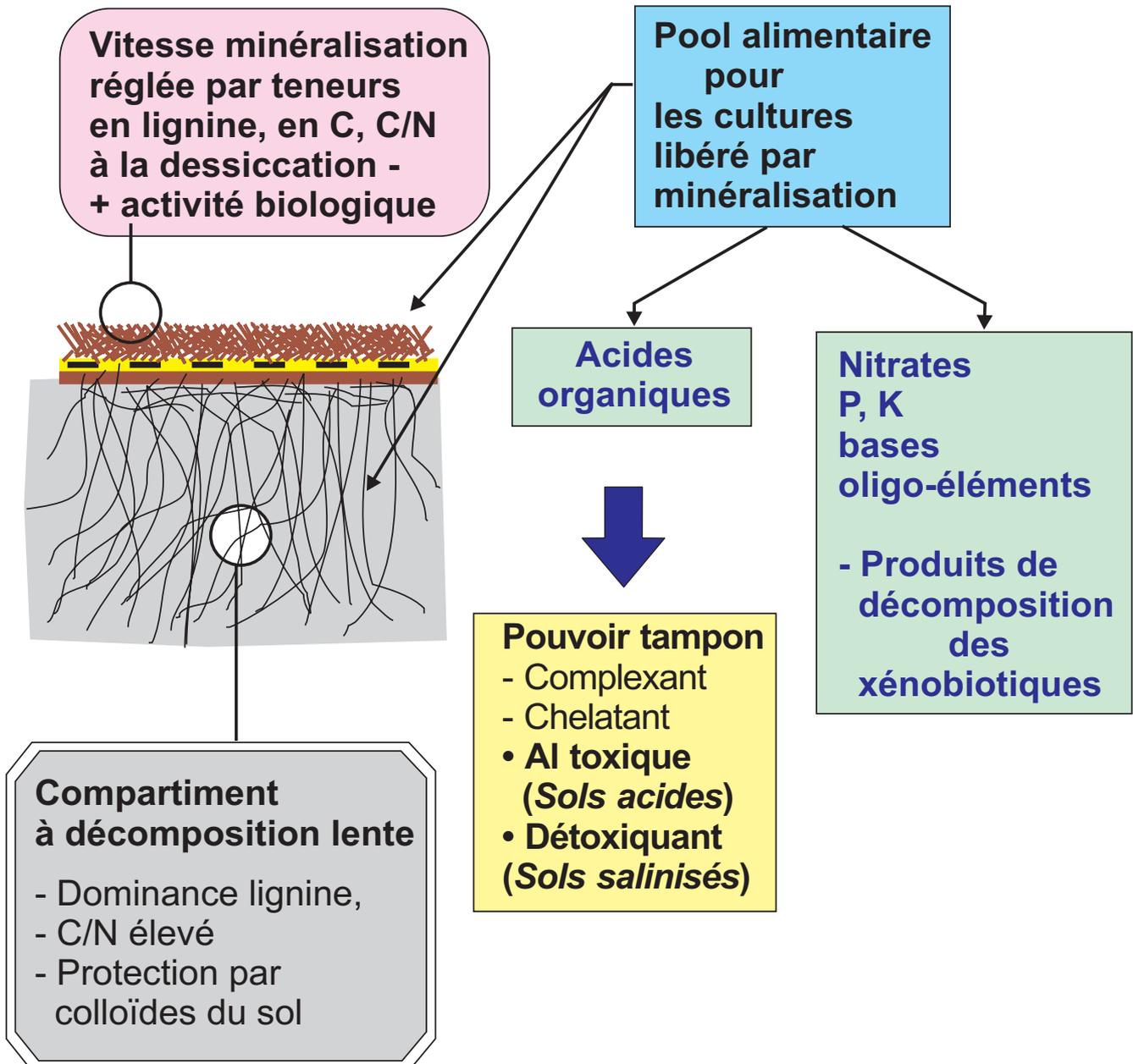
➔ De la dynamique des ions fortement influencée par la nature des couvertures (*acides organiques* ⇒ *Pouvoir neutralisant de l'acidité, détoxiquant, migrations des sels, dont ceux de NO₃, K, Ca, Mg*)

FIG. 93 FONCTION ALIMENTAIRE (*Tendances*) DES MATIÈRES ORGANIQUES À TURN OVER RAPIDE, EN FONCTION DU MODE DE GESTION DU SOL



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

FIG. 94 FONCTIONS ALIMENTAIRE, COMPLEXANTE, DES POMPES BIOLOGIQUES - (Cas des graminées)



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

FIG. 95 MINÉRALISATION DES COUVERTURES MORTES = MILS ET SORGHOS GUINEA, SOUS CULTURE DE COTON - FAZENDA RECANTO - ITUMBIARA/GO, 1997

Macro-Éléments	Mil ⁽³⁾		Sorgho guinea ⁽³⁾	
	Quantité minéralisée (kg/ha) ⁽¹⁾	Quantité restante (kg/ha) ⁽²⁾	Quantité minéralisée (kg/ha) ⁽¹⁾	Quantité restante (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	28,0
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 la quantité d'éléments contenus dans la biomasse à la dessiccation avant semis direct et la quantité restante de ces mêmes éléments, 1 mois avant récolte du coton.

2 - Quantité d'éléments minéraux restants, 1 mois avant récolte du coton.

3 - Biomasse sèche de Mil à la dessiccation = 3830 kg/ha; Biomasse restante = 1360 kg/ha (35%)

Biomasse sèche de Sorgho guinea à la dessiccation = 4600 kg/ha; Biomasse restante = 2780 kg/ha (60%)

- Taux de minéralisation du Mil (120J) = 65%; Taux de minéralisation du Sorgho = 40%

SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD CA - GEC; Groupe Maeda, Itumbiara/GO, 1997

FIG. 96 FONCTIONS= ALIMENTAIRE, NEUTRALISATION DE L'ACIDITÉ

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

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

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

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

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

FIG. 97 FONCTION RECYCLEUSE

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

- Nécessité d'une forte capacité recycleuse des plantes de couverture = Recyclage annuel des ions lixiviés en profondeur (*puissance du système racinaire: en surface d'interception, en profondeur, capacité à mobiliser des nutriments considérés comme non assimilables pour les cultures commerciales*).
- Capacité de séquestration du carbone et recharge du profil cultural —

Dessus
Dessous

 - Impacts sur la CEC (*nature, évolution*), V%, propriétés physiques et hydrodynamiques du sol, activité biologique -
- Liaison rapide avec l'eau profonde du sol en fin de cycle des pluies, à l'image de l'écosystème forestier, pour production de biomasse en saison sèche -

**FIG. 98 TENEURS EN MACRO ET MICRO-ÉLÉMENTS RECYCLÉS DANS
LES COUVERTURES MORTES (*Pompes biologiques*),
À LA RÉCOLTE - SOLS FERRALLITIQUES OXYDÉS -
ÉCOLOGIE DES FORÊTS - SINOP/MT, 1998**

Nature de la couverture morte	Macro-éléments (kg/ha)							Micro-éléments (g/ha)					
	N	P	K	Ca	Mg	S	C	C/N %	Zn	Cu	Fe	Mn	B
1. PARTIE AÉRIENNE ⁽¹⁾													
• <i>Eleusine C.</i> (CV 5352)	65	2,5	145	60	17	8	2275	35	115	34	915	205	12
• Sorgho (CIRAD 321) + <i>Brachiaria R.</i> (100J)	104	4	120	29	15	5	3830	37	132	63	1912	293	51
1. RACINES ⁽²⁾													
• <i>Eleusine C.</i> (CV 5352)	44	2	6,4	12,8	2	3,6	2240	51	94	52	23592	138	135
• Sorgho (CIRAD 321) + <i>Brachiaria R.</i> (100J)	52	2,4	24,8	12,8	4	2,8	2000	38	104	46	7532	114	57

(1) - Productivité de matière sèche aérienne → *Eleusine C.* = 5t/ha; Sorgho + *Brachiaria R.* = 8t/ha

(2) - Productivité de matière sèche racinaire → *Eleusine C.* = 4t/ha; Sorgho + *Brachiaria R.* (100J) = 4t/ha

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

FIG. 99 FONCTION RECYCLEUSE DES RACINES

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

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

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

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

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

FIG. 100 FONCTION = CONTRÔLE DES ADVENTICES

• MÉCANISMES MIS EN JEU

- Allélopathie
- Ombrage
- Durée de la couverture et capacité de reprise

• OBJECTIFS

- Réduction maximum de l'utilisation des herbicides, du coût - (*molécules les moins polluantes pour la ressource sol*)
- Répondre au feu accidentel (*capacités de reprise et de dominance sur adventices*)
- Contrôle des pestes végétales
 - + *Cyperus rotundus* (*sols tropicaux riches en M. O.*)
 - + *Striga* (*sols tropicaux érodés, pauvres en M. O.*)

• FAISABILITÉ TECHNIQUE → Dans les systèmes de semis direct (*évolutive*) -

- Les successions annuelles de production de grains = 1 culture commerciale + Safrinha,
- Les successions annuelles de grains = 1 culture commerciale + safrinha associée à *Brachiaria R.*,
- Les successions annuelles sur tapis vivant = 1 culture commerciale + pâturage, (*ou engrais vert*), en succession -

FIG. 101 FONCTION: CONTROLE DES ADVENTICES ANNUELLES ET VIVACES

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

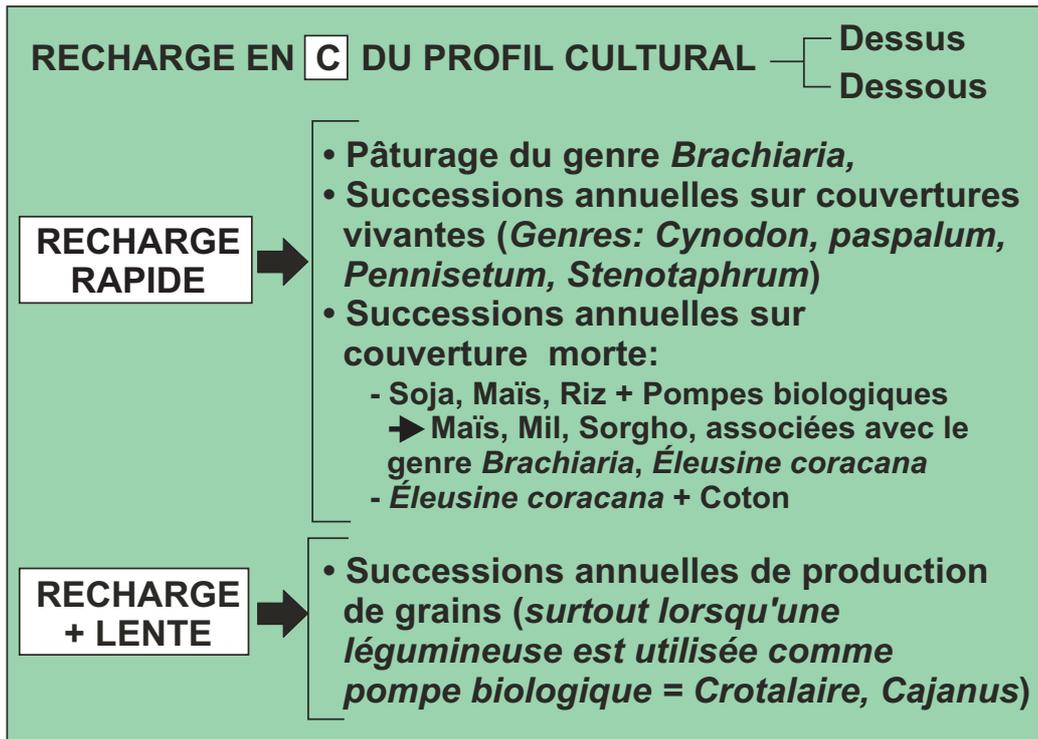
(1) Mils, Sorghos. Eleusine C., d'alimentation humaine - Farines à haute valeur nutritive, sans tanins, riches en protéines (11-14%)

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

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

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

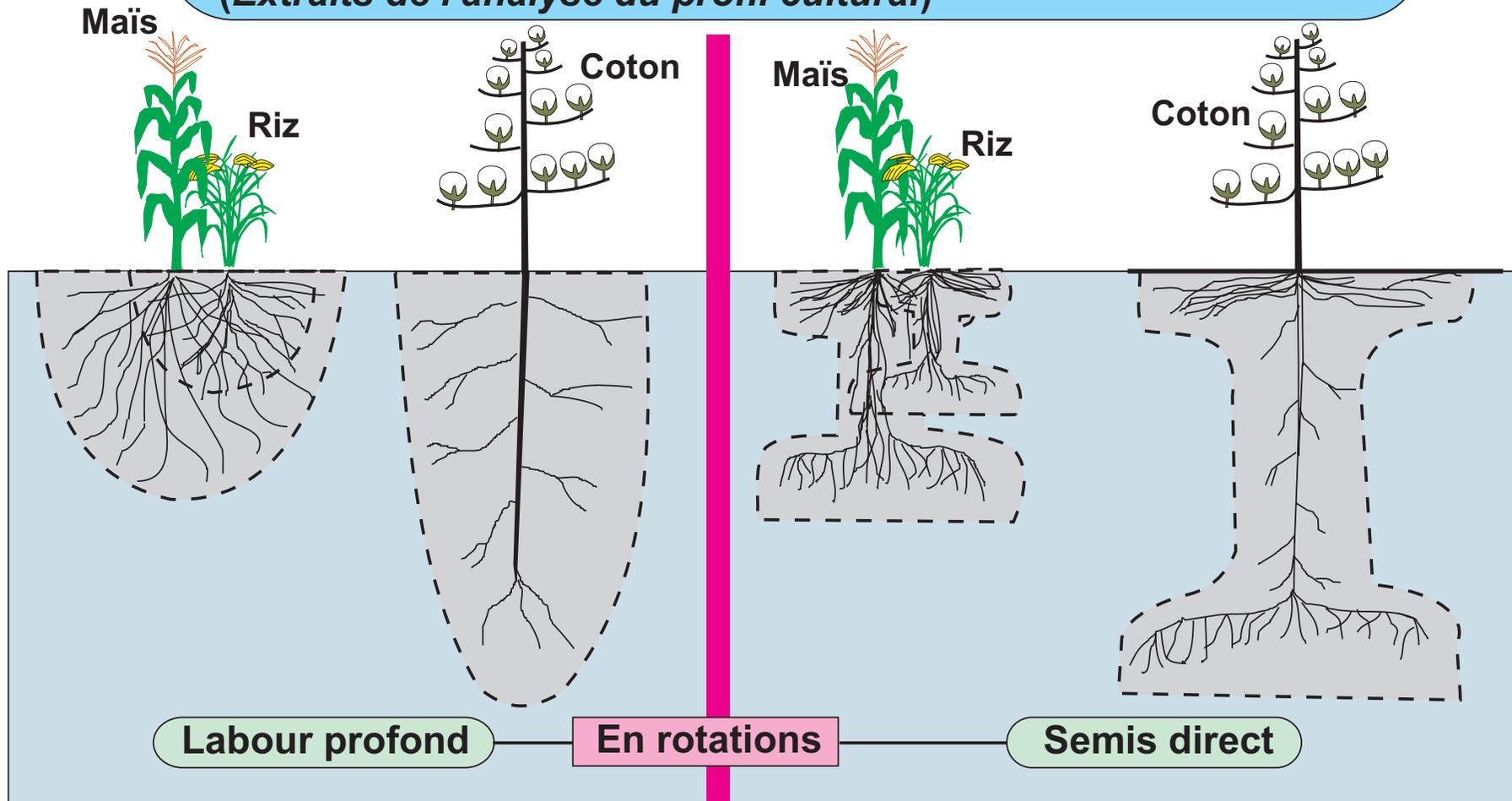
FIG. 102 CARBONE, CEC, V%, PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET HYDRODYNAMIQUES DU PROFIL CULTURAL EN SEMIS DIRECT



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

FIG. 103 DÉVELOPPEMENT RACINAIRE ET MODES DE GESTION DES SOLS

- Comportement reproductible au cours des 5 premières années de semis direct en sols ferrallitiques du centre ouest du Brésil - *(Extraits de l'analyse du profil cultural)*



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

FIG. 104 ESPACE PORAL DANS LES CINQ PREMIÈRES ANNÉES DE SEMIS DIRECT - (Sols ferrallitiques ZTH)

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

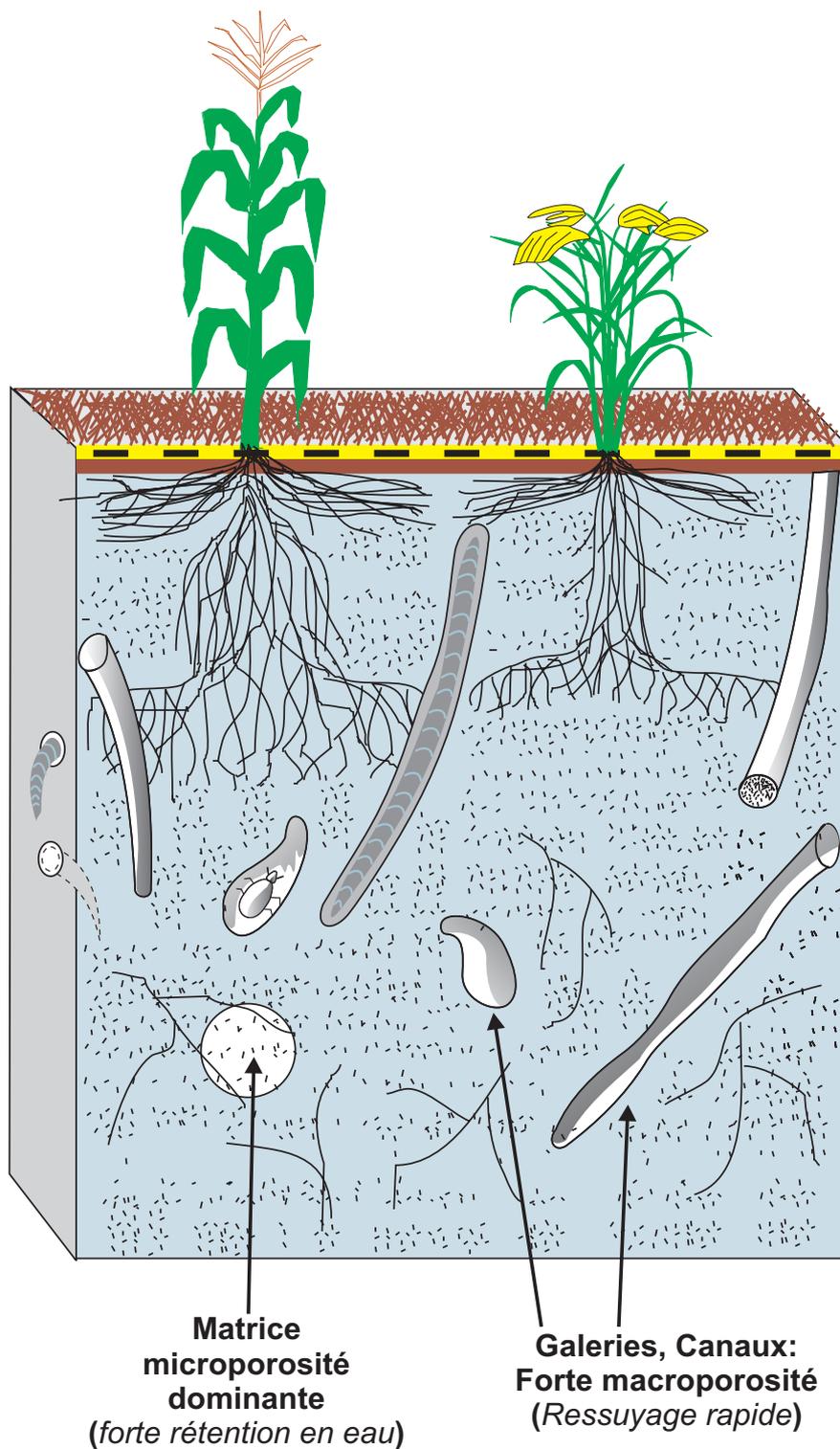


FIG. 105 Importance des matières organiques de faible poids moléculaire, en semis direct, sur la dynamique des ions

L. Séguy, S. Bouzinac et al., 1997

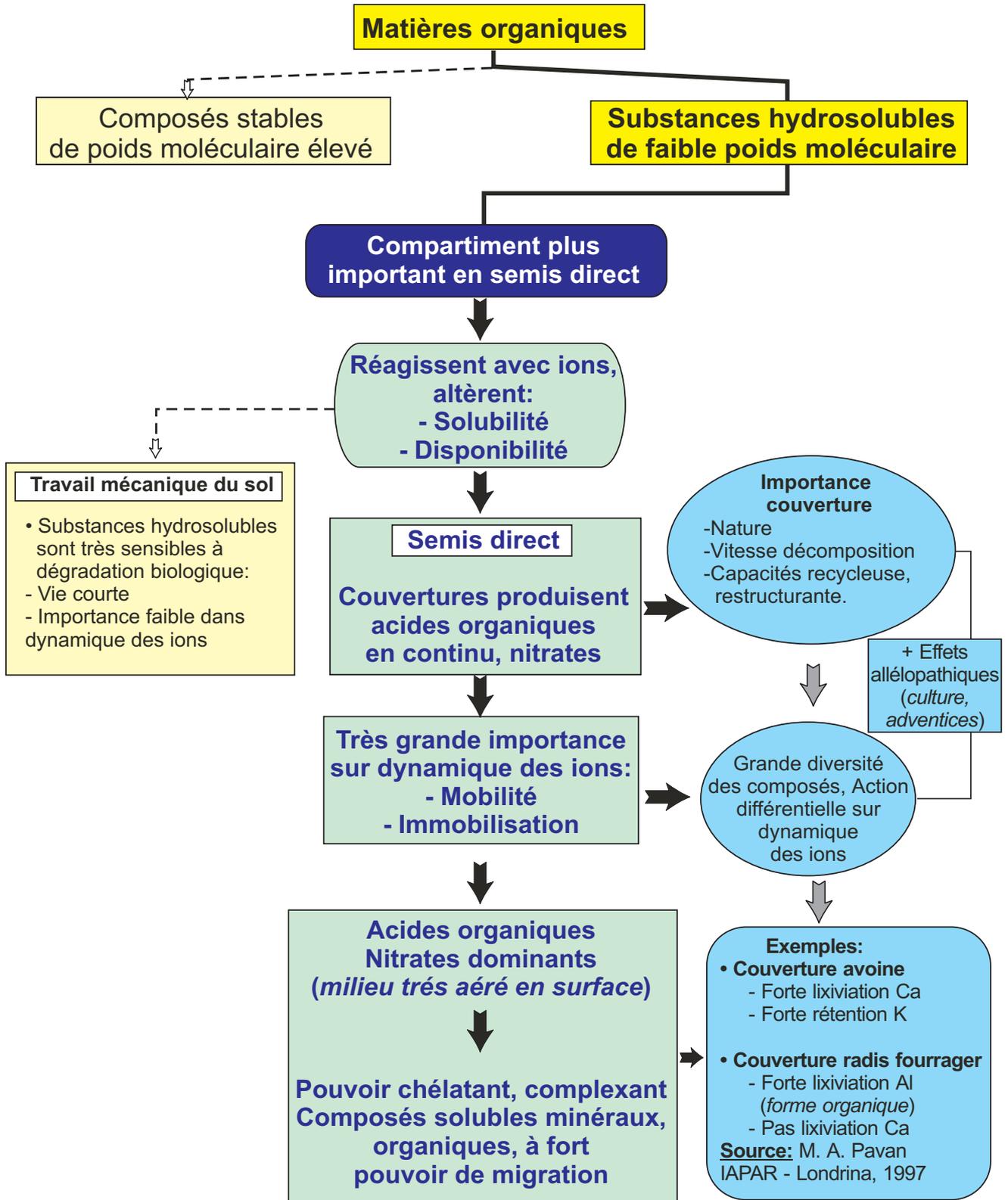


FIG. 106 ACTIVITÉ BIOLOGIQUE SOUS DIVERS MODES DE GESTION DES SOLS ET DES CULTURES EN ÉCOLOGIES DE FORÊTS ET SAVANES HUMIDES DU CENTRE NORD MATO GROSSO

Écosystème	Modes de gestion du sol et des cultures	Activités termites (1)	Activités M.O. (Test H ₂ O ₂) (1)	Test d'aération Fe ³⁺ (1)	Test lixiviation Fe ³⁺ (1)	Autres éléments biologiques notables	
Cerrados							
• Pâturage dégradé (<i>Brachiaria d.</i> 15 ans)	Pâturage extensif	+++	S	+++	++	++	Nombreuses boulettes fécales de termites
			M	0	+	+++	
			F	0	0	0	
• 18 ans de culture	2 ans offset x monoculture riz 10 ans offset x monoculture soja 4 ans labour x rotations 2 ans semis direct soja + mil	++	S	0	+++	+++	Nombreuses galeries termites
			M	0	+	+	
			F	0	0	+	
• 16 ans de culture + 2 ans de <i>Panicum m.</i>	4 ans offset x monoculture riz 8 ans offset x monoculture soja 4 ans semis direct (maïs + soja)	0	S	+++	+++	++	Acarions, collemboles <i>Enchytraeides</i> Forte densité poils absorbants sur racines à partir 170 cm (racines à 2,50 m)
			M	+	++	+++	
			F	0	0	0	

(1) 0 = nulle; + = faible; ++ = moyenne; +++ = forte; ++++ = très forte - S = surface; M = milieu profil (60-80 cm); F = 150 cm

(2) Sol ferrallitique hydraté

SOURCE: C. Bourguignon - LAMS
Fronts pionniers Mato Grosso - 1994

FIG. 107 ACTIVITÉ BIOLOGIQUE SOUS DIVERS MODES DE GESTION DES SOLS ET DES CULTURES EN ÉCOLOGIES DE FORÊTS ET SAVANES HUMIDES DU CENTRE NORD MATO GROSSO

Écosystème	Modes de gestion du sol et des cultures	Activités termites (1)	Activités M.O. (Test H ₂ O ₂) (1)	Test d'aération Fe ³⁺ (1)	Test lixiviation Fe ³⁺ (1)	Autres éléments biologiques notables		
Forêt (2)	Milieu naturel	+++	S	+++	++++	++++	Acariens + champignons racines mycorrhisées	
			M	+	+	++		
			F	0	+	0		
	• 3 ans de culture	Monoculture riz	0	S	0	++++	++++	Sol compacté
				M	0	++	++	
				F	0	+	+	
	• 10 ans de culture	2 ans offset x monoculture riz	++	S	+	++++	++++	Forte densité poils absorbants sur racines à partir 1,20 m
		6 ans offset x monoculture soja		M	0	+	++++	
		2 ans semis direct (maïs + soja)		F	0	0	+	

(1) 0 = nulle; + = faible; ++ = moyenne; +++ = forte; ++++ = très forte - S = surface; M = milieu profil (60-80 cm); F = 150 cm

(2) Sol ferrallitique hydraté

SOURCE: C. Bourguignon - LAMS
Fronts pionniers Mato Grosso - 1994

FIG. 108 CONDITIONS D'INSTALLATION, PRODUCTION DE MATIÈRE SÈCHE

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

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

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

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

(2) Fonction du niveau de fumure x cultivars

(3) Les pailles de *Eleusine* sont très riches en **K** (2,9%), **Ca** (1,2%), **Mg** (0,34%), **S** = (0,16%)

Celles de **Mil**, riches en **K** (2,6%)

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

**FIG. 109 INTERVALLES DE PRODUCTIVITÉ DE GRAINS DES SAFRINHAS
(CULTURES DE SUCCESSION) SUR DIVERS SYSTÈMES DE
CULTURE EN SEMIS DIRECT -**

Ecologies des forêts et des savanes humides du Centre Nord Mato Grosso

AGRONORTE/MT - 2000

Culture de succession X Date de semis direct	Niveaux de fumure appliqués à la culture principale ¹		
	250 kg/ha	500 kg/ha	500 kg/ha + thermophosphate ym 1500 kg/ha/3 ans
■ APRÈS SOJA CYCLE COURT ➔ Semis direct entre 10-25/02 Fumure faible ²			
• Mil Nangagolo	1000 - 1300	1300 - 1800	1800 - 2500
• Sorgho 321	1200 - 1600	1600 - 2000	2000 - 3200
• Sorgho 321 + <i>Brachiaria</i>	1100 - 1500	1500 - 1800	1800 - 3000
• Sorgho pool preto	1000 - 1200	1200 - 1700	1700 - 2200
• <i>Éleusine C.</i> (PG 5352)	1200 - 1500	1500 - 1800	1800 - 3000
• <i>Éleusine C.</i> (PG 5352) + <i>Crotalaria spectabilis</i>	600 - 900 300 ⁺ - 500	900 - 1300 500 ⁺ - 850	1300 - 1800 850 ⁺ - 1200
■ APRÈS RIZ CYCLE COURT ➔ Semis direct entre 10-25/02 Fumure faible ²			
• <i>Éleusine C.</i> (PG 5352) + <i>Crotalaria spectabilis</i>	500 - 700 200 ⁺ - 400	700 - 900 400 ⁺ - 600	900 - 1200 600 ⁺ - 800
■ APRÈS SOJA CYCLE MOYEN ➔ Semis direct entre 10-20/03 Sans fumure			
• Mil Nangagolo	1100 - 1300	1300 - 1600	1600 - 2200
• Sorgho pool preto	1100 - 1400	1400 - 1800	1800 - 2300
• <i>Crotalaria spectabilis</i>	350 - 550	550 - 700	700 - 900
• <i>Éleusine C.</i> (PG 6240)	700 - 900	900 - 1200	1200 - 1800

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

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

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

FIG. 110 PRODUCTIVITÉ DES BIOMASSES "POMPES BIOLOGIQUES DE SAFRINHAS", EN SEMIS DIRECT PRÉCOCE DU 15-20 FÉVRIER, ET EN SUCCESSION DU SOJA DE CYCLE COURT OU INTERMÉDIAIRE

AGRONORTE - SINOP/MT - 2000

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

1. Fumure faible ➔ 100 kg 5 - 15 - 15/ha

Fumure moyenne et forte ➔ 200 kg 5 - 15 - 15/ha

2. Niveaux de fumure minérale appliqués par ha à la culture principale qui précède la biomasse safrinha:

- Fumure faible ➔ 40P₂O₅ + 40 K₂O sur Soja; 56 N + 38 P₂O₅ + 62 K₂O sur Riz, Maïs

- Fumure moyenne ➔ 80P₂O₅ + 80 K₂O sur Soja; 89 N + 75 P₂O₅ + 119 K₂O sur Riz, Maïs

- Fumure forte ➔ 80P₂O₅ + 80 K₂O sur Soja; 89 N + 75 P₂O₅ + 119 K₂O sur Riz, Maïs + 1500 kg Thermophosphate ym/3 ans

3. Semis direct de décembre, après biomasse d'Éleusine C. ➔ Option pour les éleveurs -

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

FIG. 111 PRODUCTIVITÉ DES BIOMASSES "POMPES BIOLOGIQUES", EN DÉCEMBRE 1999, AVANT LE SEMIS DIRECT DES CULTURES DE RIZ, COTON SAFRINHA ET MAÏS SAFRINHA

AGRONORTE - SINOP/MT - 2000

BIOMASSE ¹	INTERVALLE DE PRODUCTIVITÉ DE MATIÈRE SÈCHE (t/ha)		
	Fumure faible ²	Fumure moyenne ²	Fumure forte ²
<i>Brachiaria r.</i>	4,3 - 8,0	6,0 - 8,1	7,6 - 10,4
<i>Éleusine C. (CV 5352)</i>	4,8 - 7,6	6,2 - 8,0	8,3 - 10,0
<i>Éleusine C. (CV 5352)</i> + <i>Crotalaria spectabilis</i>	4,2 - 6,4	4,6 - 6,7	5,8 - 8,9

1. Sans engrais, ni herbicide

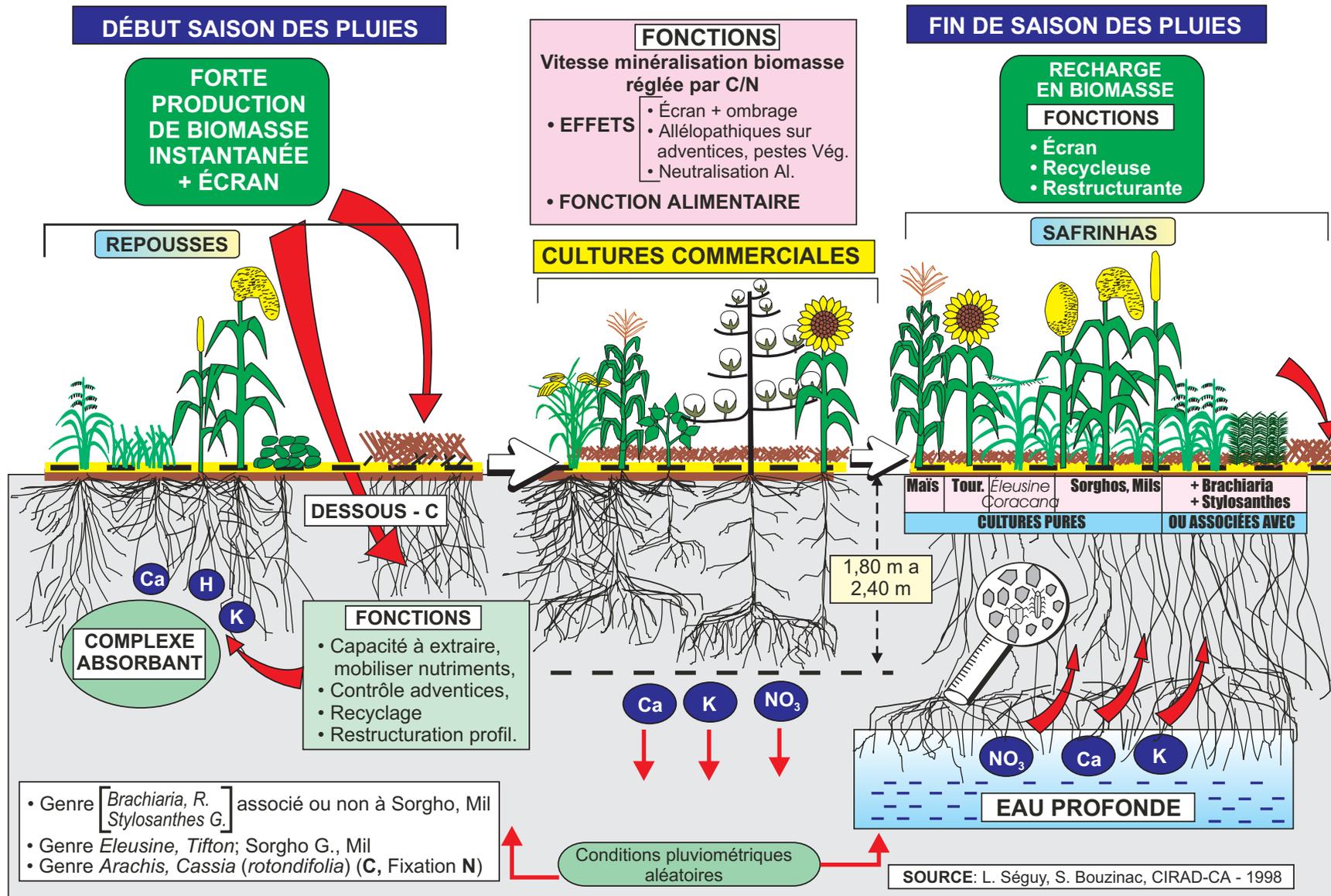
2. Niveaux de fumure minérale appliqués à la culture principale qui suit =

- Fumure faible ➔ 40P₂O₅ + 40 K₂O sur Soja; 56 N + 38 P₂O₅ + 62 K₂O sur Riz, Maïs
- Fumure moyenne ➔ 80P₂O₅ + 80 K₂O sur Soja; 89 N + 75 P₂O₅ + 119 K₂O sur Riz, Maïs
- Fumure forte ➔ 80P₂O₅ + 80 K₂O sur Soja; 89 N + 75 P₂O₅ + 119 K₂O sur Riz, Maïs + 1500 kg Thermphosphate ym/3 ans

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

FIG. 112 SYSTÈMES DE CULTURE DIVERSIFIÉS DE LA ZTH, EN SEMIS DIRECT

➔ Intégration: Productions alimentaires, industrielles et élevage



**FIG. 113 ÉCOSYSTÈME FORESTIER AMAZONIEN
ET
MEILLEURS SYSTÈMES DE SEMIS DIRECT
• Sols ferrallitiques du sud du bassin amazonien - Sinop/MT, 1999**

	FORÊT	MEILLEURS SYSTÈMES DE SEMIS DIRECT
M. O. (0 - 20 cm)	18 t/ha C → litières + racines ⁶ 55 t/ha humus dont 44t/ha fortement liée matière minérale	14 - 20 t/ha litières + racines ¹⁰ > 40 à 50 t/ha humus
Porosité	Macropores dominants ⁷ (0,1 - 100 m) ressuyage rapide	Idem restructuration profil > 2 m ¹⁰ 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	Reconstitution horizon 0 - 5 cm ¹⁰ Nourricier - systèmes racinaires en chandelier Important recyclage profond
<p>← Nutrition entre M. O. Vivante et morte → Peu d'échanges avec sol minéral</p>		

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. Séguéy L. et Bouzinac S., CIRAD/GEC - 1990-99.

**FIG. 114 ÉCOSYSTÈME FORESTIER AMAZONIEN
ET
MEILLEURS SYSTÈMES DE SEMIS DIRECT
• Sols ferrallitiques du sud du bassin amazonien - Sinop/MT, 1999**

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

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

**FIG. 115 LE SUCCÈS, ET LA PÉRENNISATION DU SEMIS DIRECT
DÉPENDENT
DE PROPRIÉTÉS PHYSIQUES INCONTOURNABLES DU PROFIL CULTURAL**

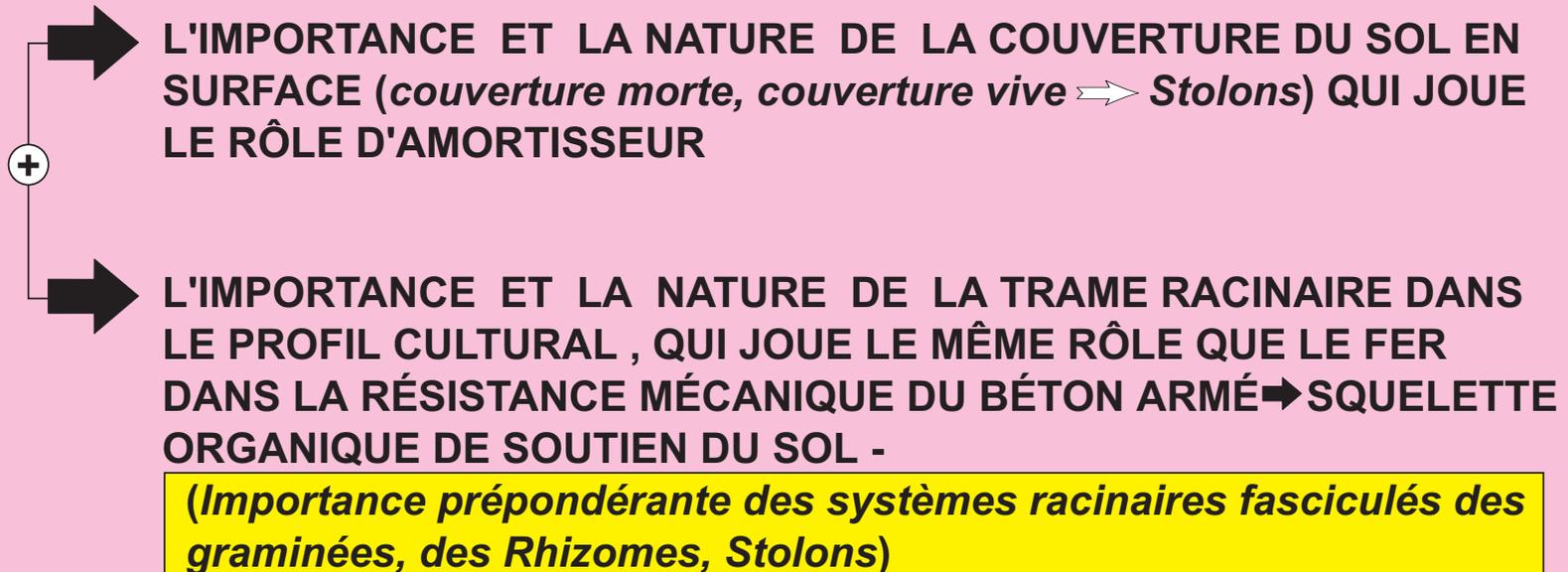
SOURCE:L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD CA - GEC, 1999

➔ 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, DÛE AU TRAFIC DES MACHINES, EN SOL HUMIDE -

FIG. 116 LA RÉSISTANCE MÉCANIQUE DU PROFIL CULTURAL À LA DÉFORMATION ET AU TASSEMENT, EN SEMIS DIRECT

DÉPEND, À LA FOIS, DE:



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

FIG. 117 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 =

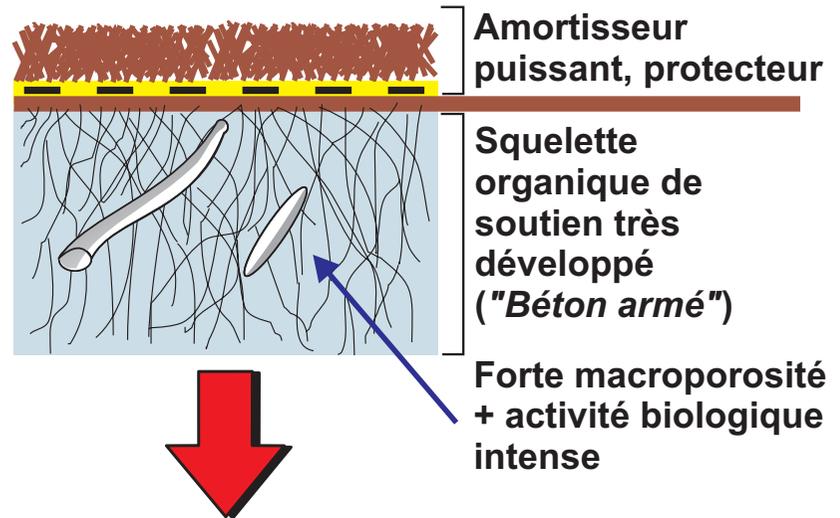
SOURCE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD CA - GEC, 1999



FIG. 118 PROFILS TYPES EN SEMIS DIRECT

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

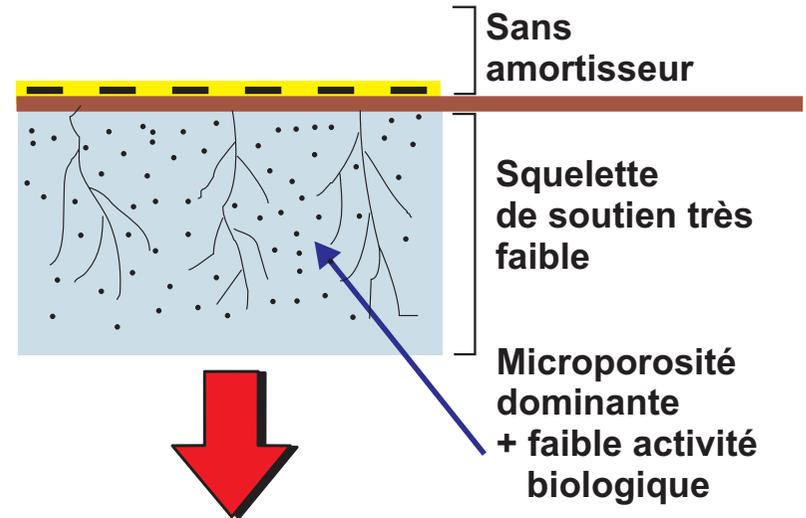
SEMIS DIRECT BIEN GÉRÉ



- **PROFIL CULTURAL RÉSISTANT**
Au tassement et à la déformation ("Béton armé")
- **Ex:** Les meilleures plantes de couverture =
 - *Brachiaria* pur ou associé aux Sorghos, Mils
 - *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