

# ÉCOSYSTÈMES CULTIVÉS ET STOCKAGE DU CARBONE. CAS DES SYSTÈMES DE CULTURE EN SEMIS DIRECT AVEC COUVERTURE VÉGÉTALE.

Alain **Capillon** et Lucien **Séguy** <sup>(1)</sup>

Ce document a fait l'objet d'une présentation à l'Académie d'Agriculture <sup>(2)</sup>.

## RÉSUMÉ

Les systèmes de culture en semis direct avec couvertures végétales mortes, le plus souvent des résidus de culture, qui protègent le sol entre deux cultures, ont été adoptés pour lutter contre la dégradation des sols par l'érosion éolienne ou hydrique. Par la suite, pour faire face à des situations où les résidus de culture disparaissaient rapidement (climat tropical humide ou enlèvement des résidus), ce sont les systèmes avec couvertures vives qui ont été proposés. La possibilité de maîtriser durablement, en milieu tropical, un système où plantes cultivées et peuplement de couverture se succèdent et son intérêt économique ont été reconnus.

Des progrès sont réalisés tout particulièrement dans la sélection, au sein de ces systèmes, des variétés des plantes cultivées et des espèces de couverture. Après un exposé des principes de construction de ces systèmes de culture, des résultats obtenus en divers milieux tropicaux sont présentés. Les niveaux de rendement sont comparables, voire supérieurs au travail du sol classique et les temps de travaux réduits très fortement. La consommation d'intrants est réduite du fait de l'enrichissement minéral de la couche superficielle du sol et de l'effet herbicide des couvertures végétales. L'accumulation de matière organique qu'ils génèrent contribue à la fourniture d'éléments minéraux, mais aussi à enrichir le stock d'humus à travers l'apport de matières végétales à C/N élevé. Ces systèmes présentent un intérêt pour le stockage du carbone.

Des exemples d'évolution de la teneur en matière organique sur plusieurs années sont fournis. En milieu tropical ou subtropical, les teneurs en matière organique des situations initiales de jachère ou de défriche forestière sont à nouveau atteintes après quelques années de culture sous couverture végétale vivante. Ces systèmes apparaissent comme les plus performants parmi les systèmes cultivés.

**Mots clés** : carbone, sol agricole, cycle biogéochimique, agroécosystème, semis direct, semis sous couvert, non travail du sol, zone tropicale.

## SUMMARY

*Direct sowing mulch-based cropping Systems, mostly with crop residues that protect soil between two successive cultures have been adopted to fight against soil degradation i.e. wind or water erosion. Thereafter, to face situations where the crop residues disappear quickly (tropical humid climate or residues removal) living covers have been proposed. The possibility to master, for a long time in tropical environment, a System where crops and cover plants follow each other and its economic interest have been recognized. Progress are especially achieved in the selection within these Systems of crop varieties and plant cover species. After presenting the design principles of these cropping Systems, results obtained in various tropical areas are shown. Yield levels are close to and even higher than those obtained in classical soil tillage Systems, with less work. The inputs are reduced because of the mineral enrichment of the subsoil and of the herbicidal effect of the plant covers. The organic matter accumulation that they generate contributes to the supply of mineral elements and also to enrich the stock of humus*

---

<sup>1</sup> Cirad, Département des cultures annuelles, avenue Agropolis, 34398 Montpellier cedex 5.

<sup>2</sup> C.R. Acad. Agri. Fr., 2002,88, n° 5, pp. 63-70. Séance du 19 juin 2002.

*through the contribution of vegetal mater/a/ of high C/N ratio. These Systems present an interest for carbon storage. Examples of organic matter content evolution during several years are provided. In tropical or subtropical environment, the contents in organic matter of the initial situations of fallow or of cleared forest are reached again after a few years of cropping under living plant cover. These Systems appear like the most effective among the cultivated Systems.*

**Key words:** carbon, agricultural soils, cycling, agro ecosystems, direct sowing, under-sowing, zero tillage, tropical zones.

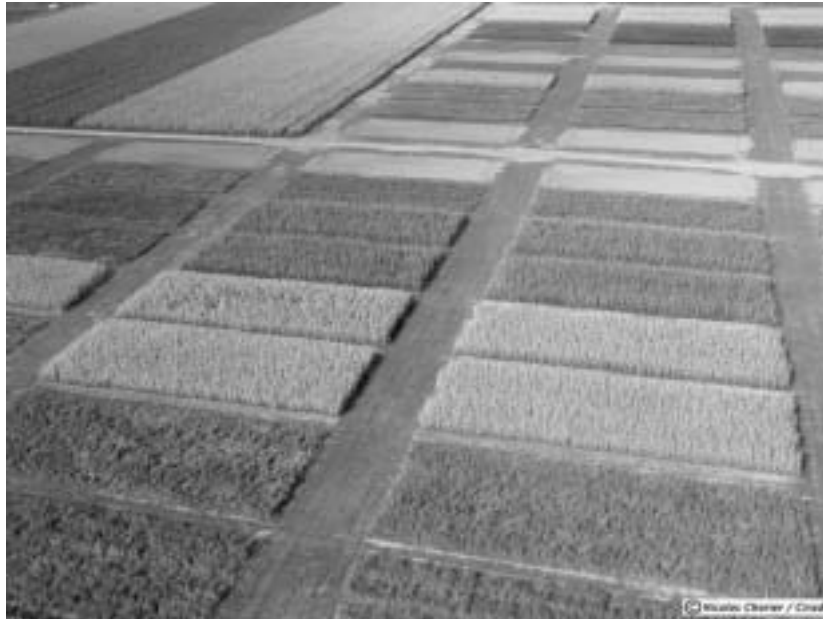
## **INTRODUCTION**

Utilisés pour lutter contre la dégradation des sols par l'érosion éolienne ou hydrique, les systèmes de culture en semis direct avec couvertures végétales ont été améliorés. Les couvertures mortes, le plus souvent des résidus de culture, qui protègent le sol entre deux cultures, ont été adoptées puis ce sont les couvertures vives qui ont été proposées. La démonstration de la possibilité de maîtriser durablement, en milieu tropical, un système où plantes cultivées et peuplement de couverture se succèdent et de son intérêt économique a été apportée. Des progrès sont réalisés tout particulièrement dans la sélection, au sein de ces systèmes, des variétés des plantes cultivées et des espèces de couverture. Nous énoncerons rapidement les principes de ces systèmes de culture et montrerons des résultats obtenus dans divers milieux tropicaux. La transformation du milieu cultivé par ces systèmes de culture dépasse les seules caractéristiques de lutte contre l'érosion. L'accumulation de matière organique qu'ils génèrent contribue à la fourniture d'éléments minéraux, mais aussi à enrichir le stock d'humus au travers de l'apport de matières végétales à rapport C/N élevé. Ces systèmes présentent un intérêt pour le stockage du carbone.

Erosion constatée sur parcelle labourée à la charrue à disque et cultivée en soja. Cerrados-Brésil. ( source: L.Séguy)



Dispositif de création- modélisation des systèmes de culture SCV dans le nord du Mato Grosso au Brésil ( source: L.Séguy).



Des exemples d'évolution de la teneur en matière organique sur plusieurs années sont fournis. Ils concourent à positionner ces systèmes comme les plus performants parmi les systèmes cultivés.

## **1. ORIGINE ET PRINCIPES**

Le développement de la culture sans labour a eu pour principal objectif de lutter contre l'érosion : c'est pour la conservation des sols que les techniques de semis direct ont diffusé dans les grandes plaines américaines (Dust Bowl dans les années quarante). L'apparition du paraquat en 1960, permettant de lutter contre les adventices sans les enfouir, puis la construction de semoirs adaptés conçus par Allis Chalmers (1966) ont favorisé l'extension de ces techniques, particulièrement pour la culture mécanisée en Amérique du Nord, puis en Amérique latine.

Dans le cas du Brésil, ces techniques ont été introduites au sud dès la fin des années soixante. H. Bartz et l'IAPAR (Institut de recherche agricole du Parana) ont mis au point des systèmes de culture avec couverture du sol par les résidus de culture, le climat subtropical du sud du Brésil permettant le maintien de la matière végétale en surface. Plus au Nord, dans les cerrados, le risque d'érosion est accru et le maintien de la couverture végétale morte est problématique : la décomposition rapide de la matière organique en climat tropical humide a amené L. Séguy et al. (i,ii) à concevoir des successions de cultures couvrant le sol en continu : insertion de plantes dites de couverture entre deux cultures et même, comme cela est rendu possible en climat tropical, succession de deux cultures de rente par an et pâturage en saison sèche. Dans les systèmes avec couverture morte permanente, la

couverture des sols est assurée par les résidus de cultures commerciales, mais aussi par une culture intermédiaire desséchée par herbicide avant le semis direct de la culture de rente. Dans les systèmes avec couverture vivante permanente, cette dernière est toujours une espèce pérenne à stolons ou rhizomes. La culture de rente est implantée sur la couverture vivante dont la biomasse aérienne a été desséchée et qui recouvre à nouveau le sol dès que la culture de rente laisse pénétrer la lumière en fin de cycle.

Elle peut alors être utilisée comme fourrage (coupe ou pâture) avant l'implantation d'un autre cycle de cultures. Les deux systèmes précédents peuvent être combinés : la couverture est alors constituée d'une culture produisant du grain et de la biomasse morte (maïs, sorgho, mil) associée à une culture fourragère. Ainsi, on obtient deux récoltes en saison des pluies ; par exemple, soja puis maïs et une production fourragère en saison sèche. C'est la longueur de la saison des pluies qui autorise l'un ou l'autre système.

## **2. QUELQUES RÉSULTATS CULTURAUX DANS DIVERS MILIEUX**

Nous avons choisi de présenter les résultats obtenus dans deux situations différentes tant du point de vue du milieu physique que du type d'agriculture :

- à Madagascar, en agriculture manuelle de petit paysannat sous climat subtropical,
- au Brésil, en grande culture mécanisée et commerciale sous climat tropical humide.

Les rendements en soja obtenus sur les hauts plateaux malgaches pour quatre sites d'expérimentation et durant les quatre années consécutives à l'adoption de la technique de semis direct sous couverture (SCV) ont été comparés. Il apparaît un écart croissant entre le système traditionnel de labour manuel à l'angade et les deux modalités de semis sous couverture. Sans autre fertilisation que le maigre apport de fumier traditionnel on constate un doublement au cours du temps des rendements en SCV, lié à la transformation du milieu par ces systèmes de culture. Par ailleurs, l'apport de fertilisation permet un accroissement des rendements plus important en SCV.

Au Brésil, pour deux types de cultivars de soja, en moyenne sur cinq ans, les rendements des systèmes SCV sont toujours plus élevés. L'écart entre modes de culture selon la fertilisation n'évolue pas de la même façon pour les deux types de cultivars : il est plus élevé et s'atténue moins avec des fumures plus fortes pour les cultivars de cycle de 120 à 130 jours. C'est une illustration des interactions génotype x milieu qui amènent aujourd'hui à pratiquer la sélection du matériel végétal au sein même des systèmes de culture auxquels il est destiné. Concernant la réponse du rendement aux fumures pour deux cultures : soja et riz pluvial (ce dernier répond mieux à la fumure), l'écart entre SCV et système traditionnel est moindre, mais à l'avantage de ce dernier. Ces résultats sont expliqués, entre autres, par la transformation du milieu opérée par les systèmes de culture tant sur les composantes biologiques, que chimiques et physiques. Ainsi, la pratique de semis direct de coton sur pailles de sorgho a permis de maîtriser l'infestation de *Cyperus rotundus* L, ennemi de cette culture au Brésil (iii). L'effet herbicide est lié à la présence de mulch, mais aussi à l'effet de compétition exercé par les peuplements

de couverture, aux relations allélopathiques et, enfin, à l'amélioration des conditions de milieu qui permet une implantation plus précoce et dans de meilleures conditions des cultures. C'est ainsi que l'on a pu contenir le *Striga* dans les cultures céréalières africaines.

Sur le plan chimique, la minéralisation de la matière organique des cultures et des couvertures contribue à l'enrichissement du milieu et, par là, à la nutrition des plantes. En climat tropical, les quantités fournies peuvent être importantes. C'est crucial pour les agricultures qui ne peuvent disposer d'intrants et source d'économie pour les autres. Les plantes de couverture à enracinement profond ont un autre effet : elles prélèvent des éléments dans les couches profondes du sol et les recyclent dans les couches superficielles. C'est particulièrement le cas pour les bases échangeables : calcium, magnésium, potassium, mais aussi pour les oligoéléments. Le tableau 1 montre, pour quelques situations, l'effet de différents systèmes de culture sur les teneurs en manganèse, cuivre et zinc.

**Tableau 1 : Teneurs des sols<sup>2</sup> en manganèse (Mn), cuivre (Cu) et zinc (Zn), en fonction des systèmes de culture. Ecologie des forêts humides et sols ferrallitiques du centre nord du Mato Grosso.**

*Table 1 : Soil contents in manganese (Mn), copper (Cu) and zinc (Zn) as a function of cropping Systems.*

| SYSTEMES DE CULTURE  |          | Manganèse<br>mg/l | Cuivre<br>mg/l | Zinc<br>mg/l |
|--|----------|-------------------|----------------|--------------|
| 5 ANS (GR)<br>Discages x<br>Monoculture Soja*  | 0-5 cm   | 9,70              | 0,80           | 6,00         |
|  | 5-10cm   | 7,80              | 0,40           | 3,70         |
|  | 10-20 cm | 2,90              | 0,10           | 3,00         |
| 5 ANS (SD)<br>Riz sur<br>Arachis pintoi.   | 0-5 cm   | 22,60             | 1,60           | 20,80        |
|  | 5-10 cm  | 10,00             | 0,70           | 5,70         |
|  | 10-20 cm | 2,60              | 0,20           | 0,40         |
| 5 ANS (SD)<br>Soja sur<br>Tifton1  | 0-5 cm   | 8,60              | 0,50           | 4,20         |
|  | 5-10 cm  | 4,60              | 0,60           | 1,10         |
|  | 10-20 cm | 2,10              | 0,30           | 0,30         |
| 5 ANS (SD)<br>• Riz + éleusine<br>• Soja + éleusine<br>• Mais + <i>Stylosanthes guianensis</i><br>• <i>Stylosanthes guianensis</i><br>•Riz | 0-5 cm   | 16,00             | 0,90           | 9,40         |
|  | 5-10 cm  | 13,20             | 0,50           | 4,20         |
|  | 10-20 cm | 1,40              | 0,20           | 0,40         |

Sinop/MT- 2002 Laboratoire du CPAC/EMBRAPA – Brasilia

1 : Tifton = *Cynodon dactylon* (L) Pers. - Hybride (N° 85).

2 : Un échantillon moyen est composé de 20 sous-échantillons.

On constate un fort effet pour les trois éléments après cinq ans de riz et *Arachis pintoï* Krap. et Greg. ou riz, soja maïs avec éleusine et *Stylosanthes guianensis* (Aubl.) Sw. Contrairement au soja en monoculture ou même avec *Cynodon*. Le choix et l'amélioration variétale des plantes de couverture se font en fonction des effets attendus. Ils prennent en compte le type de système racinaire et sa puissance non seulement pour leur contribution à l'enrichissement organique du sol, mais aussi pour leur capacité à remonter et à recycler les éléments minéraux ; cette fonction de « pompes biologiques » est recherchée pour limiter les fuites hors système cultivé et pour améliorer des sols pauvres afin de les rendre productifs et /ou de les restaurer.

Ces quelques exemples montrent que les performances de ces systèmes concernent les rendements, mais aussi la transformation durable du milieu qui permet ces niveaux de production. On aurait également pu évoquer la gestion de l'eau par la pratique du mulch et la conception d'un calendrier adapté, mais aussi l'accumulation de matière organique et la constitution d'un réseau de racines qui confèrent une amélioration des propriétés physiques du sol, en particulier de la stabilité structurale.

Les pratiques de ces systèmes de culture s'en trouvent favorisées : par exemple la suppression du labour et l'impact sur les adventices réduisent fortement les temps de travaux au champ. Ainsi, en culture manuelle à Madagascar, les temps de travaux ont été réduits de plus de la moitié (tableau 2) Ce gain de temps permet de mieux maîtriser l'ensemble de l'assolement de l'exploitation et de libérer la main-d'œuvre pour d'autres activités.

De la même façon, en culture mécanisée, on a une très forte réduction du temps de travail à l'hectare, principalement liée à la suppression du travail du sol et corrélativement une réduction des charges en équipement et en carburant ; à titre d'illustration, la consommation de carburant par hectare a été réduite de 30 en trois ans dans une exploitation cotonnière de 4 000 ha au Brésil après adoption du semis direct sous couverture.

### **3. ACCUMULATION DU CARBONE, UNE CONSÉQUENCE DE LA TRANSFORMATION DU MILIEU ; QUELQUES RÉSULTATS**

L'accroissement de la matière organique du sol provient des résidus de culture et de plantes de couverture. Ces dernières peuvent avoir une contribution importante même en fumure faible et apportée sur les cultures uniquement. On atteint souvent, en régions tropicales, des biomasses aériennes de 4 à 8 t/ha auxquelles il faut ajouter les masses des racines.

Pour illustrer la remontée des taux de matière organique liée aux SCV, nous prendrons deux chronoséquences qui, partant de la jachère ou de la forêt, comportent cinq ans de culture traditionnelle avec travail du sol, puis cinq ans de SCV (iv) à Madagascar ; on observe une chute de la matière organique dans les deux compartiments de la couche travaillée après cinq ans de système traditionnel à l'angade ; cinq ans de SCV remontent le taux pour atteindre des valeurs bien supérieures (140) à celles atteintes en fin de jachère.

**Rendement en soja supérieur à 5 T/ha sur mode de conduite en semis direct sur couverture permanente.**  
( Agronorte- Brésil- Séguy et al)



**Tableau 2 : Réduction du travail humain : temps de travaux manuels par itinéraire technique en jour/ha, sols ferrallitiques et volcaniques des hauts plateaux malgaches.**

*Table 2 : Labor reduction : working time (day/ha) according to the technical itinerary, ferrallitic and volcanic soils in Madagascar highlands.*

|              |              | Minimum<br>(jour/ha)                        | Maximum<br>(jour/ha) |
|--------------|--------------|---|----------------------|
|              |              | Préparation<br>Semis<br>Sarclage<br>Récolte |                      |
|              |              | Toutes<br>Opérations<br>Manuelles           |                      |
| LABOUR       | Mais         | 190   | 225                  |
| ECOBUAGE     | Mais/Riz     | 162   | 176                  |
| SEMIS DIRECT | Blé          | 72  | 76                   |
|              | Mais         | 80  | 88                   |
|              | Riz          | 90  | 102                  |
|              | Soja/Haricot | 82  | 93                   |

Au sud de l'Amazonie, le défrichement pour la monoculture de soja implantée avec un travail du sol aux disques conduit à une très forte baisse (30 %) de la matière organique après 10 ans de culture.

L'introduction de SCV après cinq ans de monoculture (tableau 3) fait remonter les taux de matière organique, faiblement dans le cas du soja - *Cynodon*, beaucoup plus fortement avec des cultures de riz et maïs avec éleusine et *Stylosanthes* puisque l'on retrouve des taux de matière organique de la couche superficielle proches ou égaux à ceux sous forêt. Quelques illustrations sont données dans le tableau 3.

Cette opération, financée par le ministère des Affaires étrangères, le Fonds français pour l'Environnement mondial (FFEM) et l'Agence française de Développement (AFD), associe le CIRAD et l'IRD pour l'évaluation du stockage du carbone et l'émission de gaz à effet de serre.

Des études préliminaires portant sur des chronoséquences de 22 ans de culture en semis direct et couverture au Parana (Brésil), donnent un stockage annuel d'environ une tonne de carbone à l'hectare. On peut donc avancer que ces systèmes de culture sont plus performants que les systèmes classiques comportant un travail du sol. La présence de couvertures vives notamment, avec des résidus racinaires importants contribue au stockage.

En l'état actuel de nos connaissances, la durabilité de cette accumulation ne peut être remise en cause que par le retour à des pratiques de travail du sol.

**Tableau 3 : Évolution du taux de matière organique (en %), selon les systèmes de culture pratiqués. Forêts tropicales humides du Sud de l'Amazonie. Introduction des SCV après cinq ans de Disques + monoculture**

*Table 3 : Evolution of organic matter content (in %), according to cropping systems. Shifting to direct sowing after five years of disc ploughing and monocropping.*

| Horizon             | t <sub>0</sub> | t+10  |                             |   |   |
|---------------------|----------------|---|-----------------------------|---|---|
|                     | Forêt          | 5ans x<br>Monoculture<br>de soja<br>disques | 5 ans<br>Soja sur<br>Tifton | 5 ans<br>Riz sur<br><i>Arachis<br/>pintoï</i> | Riz + <i>Eleusine coracana</i><br>Soja + <i>Eleusine coracana</i><br>Maïs + <i>Stylosanthes<br/>guianensis</i><br><i>Stylosanthes guianensis</i><br>Riz |
| Horizon<br>0-10 cm  |                | 2,6   | 2,8                         | 3,2   | 3,5   |
| Horizon<br>10-20 cm |                | 1,8   | 2,3                         | 1,8   | 1,9   |

Source : L. Séguy, S. Bouzinac, Cirad-ca/scv - A.C. Maronezzi. AGRONORTE - Sinop/MT - 2002

- 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 : 2 000 à 3 000 mm sur 7-7,5 mois



L'analyse précise des évolutions du stockage de carbone sous SCV est en cours. Dans cinq localités contrastées du point de vue du milieu physique et agricole au Brésil, au Cameroun, au Laos, à Madagascar et au Mali ces systèmes seront comparés aux pratiques paysannes traditionnelles du double point de vue de la production et des performances agricoles et du stockage du carbone. Le CIRAD assure la conception, l'adaptation à ces diverses situations et le suivi des SCV.

## **CONCLUSION / PERSPECTIVES**

Leur capacité à stocker du carbone confère aux systèmes de culture en semis direct sous couverture végétale un intérêt environnemental supplémentaire. L'enrichissement du sol en matière organique était recherché pour des raisons de performances agricoles et de transformation du milieu cultivé (apport de minéraux, stabilité structurale, protection de surface, économie d'eau, ...) ; il peut devenir un objectif à part entière dans le cadre du débat international, marchand ou non, sur l'effet de serre.

Si, d'une manière générale, les performances des systèmes cultivés quant au stockage du carbone n'atteignent pas celles des forêts, les systèmes SCV marquent un progrès pour les milieux agricoles productifs. La conception même de ces systèmes : recyclage des éléments minéraux par la biomasse végétale, limitation des pertes par lessivage en combinant divers types d'enracinement, enrichissement de la couche superficielle par prélèvement des racines en profondeur, association d'espèces végétales, s'inspire de l'écosystème forestier.

Les recherches avancent dans la maîtrise - souvent délicate au démarrage - de ces systèmes quant à l'adaptation à divers milieux (climats et sols) et types d'agriculture. La mise en évidence de caractéristiques pertinentes des plantes de couverture pour leur insertion permet de proposer aux agriculteurs des règles de décision pour le choix et la conduite de systèmes. Les performances et le fonctionnement de ces systèmes de culture amènent à poser de nouvelles questions de recherche ; à titre d'exemple on peut citer quatre thèmes qui font l'objet de travaux en cours ou projetés :

- les relations allélopathiques entre espèces végétales et la possibilité de les utiliser,
- la biologie des sols, minéralisation et conduite des cultures,
- l'amélioration et l'adaptation des plantes de couverture conjointement à la sélection des plantes cultivées au sein des systèmes de culture,
- la suppression des herbicides non seulement dans les cultures mais aussi de ceux utilisés pour arrêter la croissance des plantes de couverture.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- i SEGUY L BOUZINAC S., MAEDA E. et MAEDA M., 1998. - Large-scale mechanized direct drilling o cotton in Brazil. Thé ICAC Recorder, technical information section, **16**, (1) 11-17
- ii SEGUY L.et BOUZINAC S., 2001. - Direct seeding on plant cover : sustainable cultivation of our planet's soils First World Congress on Conservation Agriculture, Madrid, 1 -5 October 2001, 85-91
- iii SEGUY L., BOUZINAC S., MAEDA E., IDE M.A. et TRENTINI A., 1999. - La maîtrise de *Cyperus rotundus* par le semis direct en culture cotonnière au Brésil. Agriculture et développement, **21**, 87-97
- iv SEGUY L., BOUZINAC S. et MARONEZZI A.C., 2001. - Cropping Systems and organic matter dynamics. First World Congress on Conservation Agriculture, Madrid, 1-5 October 2001, 301-305
- v CERRIC.C., LAL R., DICK W.A., VENKZE FILHO S.P., PICCOLO M., et FEIGL B., 2000. - Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. Soil Sci. Soc Am. J., in press.