

# Interactions agriculture-environnement

## Impacts des systèmes de culture en semis direct avec couverture végétale (SCV) sur la dynamique de l'eau, de l'azote minéral et du carbone du sol dans les *cerrados* brésiliens

Eric Scopel<sup>1</sup>  
Jean-Marie Douzet<sup>1</sup>  
Fernando-Antonio Macena da Silva<sup>2</sup>  
Alexandre Cardoso<sup>2</sup>  
José Aloisio Alves Moreira<sup>2</sup>  
Antoine Findeling<sup>3</sup>  
Martial Bernoux<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Cirad), Département Cultures annuelles, Embrapa Cerrados, Planaltina DF, Brésil  
<eric.scopel@cirad.fr>

<sup>2</sup> Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), Centres des Cerrados et du Riz-Haricot, Planaltina DF, Brésil  
<macena@cpac.embrapa.br>

<sup>3</sup> Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Cirad), Dép AMIS, Avenue Agropolis, Montpellier, France  
<antoine.findeling@cirad.fr>

<sup>4</sup> Institut de recherche pour le développement (IRD), Unité de recherche Séquestration de carbone, Avenue Agropolis, Montpellier, France  
<martial.bernoux@mpl.ird.fr>

### Résumé

Dans les conditions tropicales humides des *cerrados* brésiliens, de nouveaux systèmes de culture étaient nécessaires pour assurer une production agricole durable. Des systèmes en semis direct avec couverture végétale (SCV) ont été mis au point en incorporant des plantes de couverture avant ou après la culture commerciale. Depuis 1999, différentes études ont été réalisées dans le cadre d'un projet de recherche franco-brésilien. Elles ont permis de quantifier les effets de ces SCV sur les dynamiques de l'eau, de l'azote et du carbone en particulier. Il a été ainsi confirmé que les SCV permettent de diminuer le ruissellement et donc l'érosion qui lui est liée. De même, les SCV permettent une fourniture en azote supérieure pour la plante commerciale. L'eau et l'azote non valorisées par cette culture peuvent l'être par la plante de couverture additionnelle, de même que l'eau et l'azote mis à disposition en dehors de ce cycle commercial. Les importantes restitutions de phytomasse de ces nouveaux systèmes à plusieurs plantes dans l'année aboutissent à un bilan de carbone positif et une augmentation des taux de matière organique des sols.

**Mots clés :** agronomie ; sols ; ressources naturelles et environnement.

### Abstract

#### Impact of direct-sowing mulch-based crop systems (DMC) on water, mineral nitrogen and soil carbon dynamics in the Brazilian *cerrados*

Under the humid tropical climate of the Brazilian *cerrados*, new cropping systems have become necessary to ensure sustainable agricultural production. Direct-sowing mulch-based cropping systems (DMC) introduce a cover crop before or just after the commercial crop. They help farmers enhance natural resources and produce more total biomass during the year. Crop residues protect the soil and increase organic restitution to the system. In 1999, a Franco-Brazilian collaborative project began scientific studies aimed at quantifying the impact of DMC, especially on the dynamics of water, carbon and nitrogen. DMC systems significantly decrease water runoff. In this way they effectively fight against soil erosion, even if additional infiltrated water can sometimes saturate the system and escape by drainage. The cover crop can then recycle some of that drainage loss and protect and use water resources better throughout the year. DMC systems also provide more favourable conditions that ensure the more intensive and more regular mineralisation of soil organic matter during the rainy season. Some of the organic mulch mineralises at the same time, providing the commercial crop with the benefit of a higher pool of inorganic nitrogen. The additional cover crop can recycle part of the nitrogen not used by the commercial crop and some of the nitrogen mineralised before or after this commercial cycle. Under DMC high microbial activity is responsible for higher CO<sub>2</sub> emissions to the atmosphere, but the soil carbon balance is nonetheless positive because of the large biomass production and organic input from the introduction of the cover crop. Even under the hot and humid conditions of the *cerrados*, soil carbon content increases under the more productive DMC systems.

**Key words:** agronomy; soils; natural resources and environment.

Tirés à part : E. Scopel

**A**u Brésil, environ 16 millions d'hectares sont actuellement cultivés avec des systèmes de culture en semis direct avec des couvertures végétales (SCV) [1]. Concernant les *cerrados*, vaste région de savanes tropicales au centre du pays, ces techniques se sont développées surtout récemment à partir des années 1980. En effet, malgré la levée des contraintes liées à l'acidité naturelle des Ferralsols (sols largement majoritaires et localement appelés *Latossolos*) grâce au chaulage dès les années 1960-1970, ces grands plateaux aux conditions favorables à la mécanisation ont rapidement été dégradés par érosion et perte de leur matière organique sous l'effet d'un travail du sol intensif aux disques. Dans les nouveaux systèmes SCV, introduits surtout initialement pour leur capacité à lutter contre l'érosion des sols [2, 3], de nombreuses modifications de gestion du sol et des biomasses sont préconisées et ces dernières ont des conséquences importantes sur le fonctionnement du profil cultural. La suppression de toute opération de travail du sol et la présence permanente d'un paillis protecteur de résidus modifie les équilibres infiltration/ruissellement ainsi que l'évaporation directe du sol [4, 5]. La minéralisation de l'azote est liée aux modifications d'humidité et de température des horizons de surface dues à la présence de ce paillis [6]. L'introduction de cultures additionnelles, dites de couverture, permet de valoriser efficacement l'eau et les éléments minéraux disponibles en dehors du cycle des cultures commerciales principales [7]; elles constituent des entrées organiques supplémentaires qui peuvent avoir des répercussions à long terme sur l'évolution des stocks de carbone du sol.

L'étude de ces modifications est essentielle pour apprécier la durabilité des systèmes de culture ainsi créés. Différentes études ont été développées très tôt au Brésil pour estimer la capacité de tels systèmes à contrôler l'érosion [8] ou pour estimer l'intérêt de l'introduction de légumineuses sur les bilans azotés [9]. En revanche, peu de travaux étaient disponibles sur l'étude dynamique de l'eau de l'azote ou du carbone dans ces systèmes. À cet effet, un projet a été mis en place par l'Empresa brasileira de pesquisa agropecuária (Embrapa) et le Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Cirad), mobilisant de multiples autres partenaires de la recherche française et brésilienne, sur la caractérisation et la

modélisation de ces effets des SCV dans le contexte spécifique des *cerrados* brésiliens.

## Effets sur la dynamique de l'eau

Dans les *cerrados*, la pluviosité est souvent importante (1 500 à 2 000 mm), mais sa répartition annuelle présente des périodes fortement excédentaires, une saison sèche fortement marquée, de durée variable selon les régions, et parfois de courtes périodes sans pluies de plus de quinze jours en janvier-février pouvant porter préjudice à la production commerciale [10]. Dans ces conditions, les effets des SCV sur la dynamique de l'eau ont donné lieu à différents travaux visant à caractériser les modifications des termes du bilan hydrique, leurs conséquences sur la productivité de la culture commerciale principale et la valorisation de la ressource hydrique par ces systèmes sur l'ensemble de l'année (ensemble culture commerciale et plante de couverture).

Comme il est très difficile de quantifier directement les effets des systèmes de culture sur certains flux hydriques peu accessibles à la mesure, la démarche adoptée a cherché dans un premier temps à quantifier les effets d'un paillis sur i) l'interception directe de l'eau de pluie, ii) le ratio infiltration-ruissellement, iii) l'évaporation directe du sol. L'interception a été estimée grâce à la capacité

des résidus à stocker de l'eau, les ruissellements ont été mesurés sur des dispositifs en lots fermés avec collecteurs, et les effets sur l'évaporation du sol ont été abordés par la capacité du paillis à intercepter le rayonnement, principale source énergétique de ce phénomène. Ces effets ont ensuite été introduits dans le module hydrique de modèles de croissance des cultures, modèles qui, après avoir été dûment calibrés et validés, ont pu être utilisés pour calculer, de façon itérative sur l'ensemble de l'année, le bilan hydrique sous chacun des systèmes étudiés [11]. Cette démarche a été appliquée avec le modèle STICS au cas d'une succession maïs-mil en SCV [10] et avec le modèle Pastis au cas d'un SCV riz-*Brachiaria* [12]. Dans les deux cas, ces SCV ont été comparés aux systèmes de culture conventionnels avec travail du sol de la culture commerciale seule. Dans le cadre de la première étude, le modèle a aussi pu être étendu au cycle de la plante de couverture, et les principaux résultats sont présentés dans le *tableau 1*.

Les SCV contribuent à diminuer de plus de 50 % les pertes par ruissellement. Le paillis a également un effet positif sur l'évaporation directe de l'ensemble sol-résidus, car malgré l'eau qu'il intercepte directement, il peut réduire au total cette perte de 10 à 20 %. Ce supplément d'eau disponible est favorable à la culture principale qui peut ainsi mieux passer les périodes sèches éventuelles de janvier-février et améliorer sa consommation d'eau par transpiration. Ces effets liés à la présence du paillis végétal sont tout à fait conformes à des résultats obtenus anté-

**Tableau 1. Bilan hydrique comparé entre systèmes de culture en semis direct avec couverture végétale (SCV) et système conventionnel pour une succession maïs-mil [10] et une succession riz-*Brachiaria* + Sorgho [14].**

Table 1. Compared water balance between DMC and conventional cropping system for a maize-millet succession [10] and a rice-*Brachiaria*+sorghum succession [14].

Bilan hydrique du maïs							
Gestion	P Mm	R mm	Es mm	Ep mm	D mm	Tc Mm	ΔSt mm
Conv.	907	45	260	-	206	306	89
SCV	907	9	159	56	202	350	131
Bilan hydrique du mil							
SCV	63	1	63	16	0	126	- 114
Bilan hydrique du riz							
Conv.	856	95	229	-	396	127	- 53
SCV	856	47	208	30	403	141	- 78

P = pluviométrie ; R = ruissellement ; Es = évaporation du sol ; Ep = évaporation du paillis ; D = drainage ; Tc = transpiration de la culture ; ΔSt = variation de stocks.

rieurement au Mexique [13]. On retrouve également des stocks d'eau dans le sol généralement supérieurs à l'issue de la culture principale (*tableau 1*). Cette eau supplémentaire, additionnée à l'eau stockée également durant la fin de saison des pluies, peut être valorisée par la plante de couverture qui produira ainsi plus de biomasse en deuxième cycle comme cela peut être observé ici dans le cas du mil. Dans les deux cas étudiés, le supplément d'infiltration ne se traduit pas par un drainage supérieur en comparaison avec le traitement conventionnel. En effet, pour les deux traitements, le drainage est important, mais dans le cas des SCV la plus forte infiltration a été compensée en partie par une plus grande consommation d'eau par le couvert sur l'ensemble du cycle.

Toutefois, une analyse fréquentielle a été réalisée en appliquant ces modèles à la série climatique de longue durée de la station expérimentale de l'Embrapa-CPAC qui est située en plein cœur des *cerrados*. Elle a montré que, pour une culture de maïs pluvial, la probabilité de drainage augmente quand même avec les SCV, particulièrement pour des sols sableux à faible capacité de stockage, lorsque la quantité de paillis augmente et pour les années fortement pluvieuses avec des pluies intenses ou particulièrement abondantes [11]. Même si l'eau qui percole dans le sol peut représenter un avantage en ce qui concerne la réalimentation des nappes phréatiques, elle représente une perte pour l'agrosystème à partir du moment où elle échappe à la zone prospectée par les plantes. Cela renforce l'importance, pour les SCV dans ces régions, de l'introduction de plantes de couverture spécialement choisies pour leur capacité à s'enraciner rapidement et profondément : elles seront ainsi capables de prélever, lors des années pluvieuses, une partie de l'eau drainée en dessous du niveau atteint par les racines de la culture commerciale.

## Effets sur la dynamique de l'azote

Une étude spécifique en milieu contrôlé a porté sur la dynamique de l'azote dans un SCV riz – *Brachiaria* + sorgho comparé à une culture conventionnelle de riz avec travail du sol au pulvérisateur à disques, sans plante de couverture [14]. Elle a

**Tableau 2. Bilan de l'azote minéral sur le cycle du riz pluvial selon différents types de systèmes de culture [14].**

Table 2. *Inorganic nitrogen balance for a rainfed rice under different cropping systems [14].*

Traitements	Conventionnel		SCV	
	kg N.ha <sup>-1</sup>			
N minéral initial (0-120 cm)	189	(50) <sup>a</sup>	34	(16)
N minéral final (0-120 cm)	47	(11)	86	(26)
<b>Entrées :</b>				
Fertilisation	93	(10)	139	(10)
Minéralisation	121	(20)	187	(20)
Dégradation du paillis			60	(30)
<b>Sorties :</b>				
Consommation des plantes	91	(11)	156	(28)
Volatilisation + ruissellement	37	(10)	56	(10)
Lixiviation	228	(50)	122	(50)

<sup>a</sup> écarts types entre parenthèses ; SCV : systèmes de culture en semis direct avec couverture végétale.

d'abord caractérisé l'offre d'azote du système « sol-résidus » de façon dynamique tout au long du cycle par des suivis de minéralisation *in situ* de chacun de ces deux compartiments. Par la suite, un bilan global a été réalisé sur l'ensemble du cycle du riz : les résultats sont reportés dans le *tableau 2*. Les conditions physiques de température et d'humidité suivies durant cette étude, sont plus souvent favorables en SCV. De ce fait, la minéralisation de la matière organique est plus intense dans la couche 0-20 cm, et la mise à disposition d'azote pour la culture plus importante. Par ailleurs, les résidus de la plante de couverture se minéralisent rapidement au début du cycle de riz suivant, puis plus lentement par la suite. Globalement, un tiers de l'azote qu'ils contiennent est restitué au système durant le cycle du riz [12].

Une étude complémentaire en laboratoire a montré que la vitesse de décomposition de ces résidus varie peu lorsque ces derniers restent en surface comme paillis protecteur ou lorsqu'ils sont enfouis après un travail du sol [15]. Toutefois, un tel comportement pourrait être modifié pour des résidus à fort rapport C/N et demandera à être confirmé en conditions réelles au champ.

En l'absence de culture de couverture, le traitement conventionnel avec travail du sol entraîne de fortes teneurs en azote minéral du sol en début de saison des pluies suivante. Cet azote provient de l'activité de minéralisation en fin de saison des pluies précédente, non valorisée par la végétation en l'absence de culture en croissance, ou mal valorisée par les

adventices éparses. Ce fort stock initial ajouté au pic de minéralisation de début de cycle est faiblement utilisé par les plantes de riz en tout début de croissance, et on observe de fortes lixiviations de cet élément [14]. En SCV, en revanche, on part d'un profil faiblement pourvu en azote minéral ; ce dernier ayant été absorbé par les plantes de couverture (*Brachiaria* + sorgho) est d'ailleurs restitué lors de leur décomposition. Malgré des probabilités de drainage plus fortes sous SCV, le recyclage *via* la plante de couverture permet de diminuer de plus de 30 % l'ensemble des pertes par lixiviation de cet élément sur l'ensemble du cycle du riz [14]. Un tel bénéfice est particulièrement important lorsque l'on a affaire à des systèmes très intensifs utilisant des quantités importantes d'azote pour la culture des céréales.

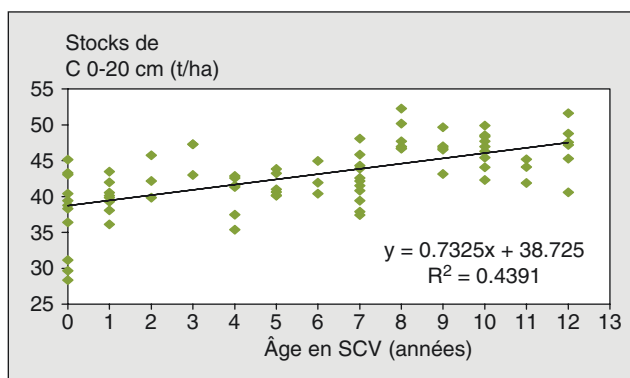
## Effets sur la dynamique du carbone

Nous l'avons vu en ce qui concerne l'azote, la dynamique de minéralisation des matières organiques du sol et des résidus est généralement plus favorable sous SCV. Une étude concernant l'émission de gaz à effet de serre dans différents types de systèmes de culture a pu montrer que, juste après la réalisation d'un travail du sol, les émissions de CO<sub>2</sub> résultant de l'activité microbienne connaissent un pic important en comparaison avec les

traitements sans travail du sol, celui-ci pouvant durer de 2 à 3 jours [16]. Comme dans d'autres conditions, cette émission trouve sa source dans l'oxygénation importante du profil et dans l'action mécanique des outils sur les agrégats qui rendent plus accessible la matière organique du sol qu'ils contenaient et libèrent du CO<sub>2</sub> piégé dans l'espace poral [17]. En revanche, à la suite de chaque événement pluviométrique important, les émissions pour ces traitements conventionnels sont nulles durant plusieurs heures alors qu'elles reprennent immédiatement sous SCV. La semelle de labour créée par un travail du sol intensif répété plusieurs années rend en effet difficile le ressuyage du profil sur sa partie superficielle et limite temporairement les échanges gazeux [16].

Globalement, sur l'ensemble du cycle, on rencontre plus d'activité et plus d'émission de CO<sub>2</sub> sous SCV. Toutefois, en termes de bilan annuel du carbone, ces émissions sont largement compensées par les restitutions organiques dans ces mêmes systèmes. En effet, si une culture unique de soja permet de restituer au sol 6 à 8 t.ha<sup>-1</sup> de matière sèche et une culture de maïs 10 à 12 t.ha<sup>-1</sup>, certains SCV à deux cycles par an incluant des plantes de couverture performantes (*Brachiaria*, sorgho, mil ou associations) permettent de restituer jusqu'à 20 t.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup> de matière sèche [5]. L'activité photosynthétique du système sur l'ensemble de l'année est beaucoup plus efficace et valorise au mieux les ressources (rayonnement, eau, éléments minéraux) disponibles à chaque instant.

Cette dynamique annuelle a bien évidemment des conséquences sur le plus long terme. Afin d'aborder ces aspects, une première étude synchronique été réalisée sur une chronoséquence de parcelles en SCV dans la région de Rio Verde (sud de l'État de Goiás) dans une écologie typique des *cerrados* (Ferralsols et pluviosité de 1 500 mm.an<sup>-1</sup>). Dans cette région, où les SCV sont utilisés depuis plus de 15 ans, l'étude a concerné 28 parcelles cultivées en SCV depuis 0 à 12 ans, mais semblables dans leurs principales caractéristiques : elles étaient toutes situées en partie haute de toposéquence, sur des Ferralsols présentant un horizon B rouge sombre, dans une gamme texturale argileuse (50 à 70 % de particules inférieures à 20 µm). Pour toutes les parcelles, le SCV mis en oeuvre reposait essentiellement sur une rotation soja avec un deuxième cycle annuel de graminées (maïs, sorgho



**Figure 1.** Relation entre les stocks de carbone sur 0-20 cm et le temps d'application en systèmes de culture en semis direct avec couverture végétale (SCV) sur une trentaine de parcelles aux conditions comparables dans la région de Rio Verde, Goiás, au Brésil.

**Figure 1.** Relation between 0-20 cm carbon stocks and DMC time of application over thirty farmers fields with similar conditions and management in Rio Verde Region, Goiás, Brazil.

ou mil) [18]. Les stocks de carbone ont été estimés sur 0-20 cm sur trois points différents de chaque parcelle. Les taux de carbone du sol ont été mesurés par la méthode de Walkley et Black et les densités apparentes ont été estimées à partir d'études antérieures effectuées dans la région [19]. On constate une augmentation significative de la teneur en carbone du sol avec l'âge en SCV : le taux moyen d'accroissement est d'environ 0,750 t.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup> (figure 1). Ce taux est toutefois entaché d'une erreur de l'ordre de 25 % rendant cette estimation relativement grossière. On ne peut réellement conclure, au vu de ces données, si cette tendance au stockage est continue sur la période de 12 années étudiée ou si elle est plus importante sur les premières années avec une tendance à la saturation à partir de 8-10 ans. En effet, une autre étude réalisée par ailleurs par la même équipe dans le nord du Mato Grosso sous un climat plus humide, aboutit à des taux moyens de stockage du carbone beaucoup plus élevés sur 5 ans, de l'ordre de 1,7 t.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup> sous des SCV particulièrement productifs en phytomasse [20]. On confirme alors que la capacité de ces systèmes à stocker du carbone est grandement liée à leur capacité de production et de restitution de phytomasse. Des SCV très intensifs, recourant notamment à beaucoup d'engrais et incorporant des plantes de couverture très productives, seront les plus efficaces pour augmenter sur le long terme les stocks de C et de N organiques dans les sols.

## Conclusion

Dans les conditions tropicales humides des *cerrados*, les SCV se révèlent être non seulement efficaces pour contrôler l'érosion des sols et diminuer les coûts de production, raisons principales de leur adoption par une grande majorité de producteurs, mais ils permettent aussi une meilleure valorisation de l'ensemble des ressources disponibles sur un pas de temps annuel. Même si les études réalisées jusqu'à présent sont encore incomplètes, elles ont permis de souligner le grand intérêt de l'introduction dans le système d'un second cycle de culture (commercial ou simplement de plantes de couverture). L'eau est mieux valorisée (diminution du ruissellement et de l'évaporation directe du sol, recyclage de l'eau profonde) sur toute la saison des pluies, l'azote est mieux géré, de fortes quantités de phytomasse sont restituées au sol et contribuent à un bilan positif de carbone, un stockage de celui-ci et une augmentation sur le long terme de la matière organique du sol. Les SCV permettent donc d'améliorer la production agricole par l'optimisation des ressources naturelles disponibles sur le court et sur le long terme ; ils contribuent également à minimiser les impacts de cette production agricole sur l'environnement par la diminution de l'érosion des sols, par une réduction des nitrates lixiviés ou par la séquestration du carbone dans le compartiment sol. Ces systèmes constituent une alternative pour la durabilité de la

production agricole en zone tropicale humide même si quelques points peuvent encore susciter des questionnements. En termes de bilan environnemental, on peut par exemple se demander quel est le poids énergétique (bilan carbone) et le devenir (pollution, qualité des produits) des pesticides utilisés dans ces SCV intensifs. Par ailleurs, on peut aussi se demander quel est le domaine possible d'extrapolation des effets décrits ici, notamment dans le cadre de SCV beaucoup moins intensifs, appliqués dans les conditions diverses et contraintes de l'agriculture familiale de ces mêmes régions. ■

### Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier et associer à cet article M. Corbeels, L. Ségué, V. Reyes Gomez, F. Maraux, R. Oliver et A. Metay du Cirad, F. Lafolie et S. Recous de l'Institut national de la recherche agronomique (Inra), C.C. Cerri et M. Siqueira Neto du Centro de energia nuclear na agricultura-Universidade de São Paulo (Cena-USP) et C. Feller de l'Institut de recherche pour le développement (IRD) pour leur participation active à ce grand projet pluridisciplinaire.

### Références

1. Federação brasileira de plantio direto na palha (FEBRAPDP). <http://www.febrapdp.org.br>, 2003.
2. Ségué L, Bouzinac S, Trentini A, Cortez NA. Brazilian frontier agriculture. *Agriculture et développement*. 1998 ; Special Issue : 64 p.
3. Resck DVS, Vasconcellos CA, Vilela L, Macedo MCM. Impact of conversion of Brazilian cerrados to cropland and pastureland on soil carbon pool and dynamics. In : Lal R, Kimble JM, Stewart BA, eds. *Global climatic change and tropical ecosystems. Advances in Soil Science*. Boca Raton (États Unis) : CRC Press, 2000 : 169-96.
4. Rao K, Steenhuis T, Cogle A, Srinivasan S, Yule D, Smith G. Rainfall infiltration and runoff from an alfisol in semi-arid tropical India. I. No-till systems. *Soil and Tillage Research* 1998 ; 48 : 51-9.
5. Steiner JL. Crop residue effects on water conservation. In : Unger PW, ed. *Managing Agricultural Residues*. Boca Raton (États-Unis) : Lewis Pub, 1994 : 41-76.
6. Schomberg HH, Ford PB, Hargrove WL. Influence of crop residues on nutrient cycling and soil chemical properties. In : Unger PW, ed. *Managing Agricultural Residues*. Boca Raton (États-Unis) : Lewis Pub, 1994 : 99-121.
7. Anderson S, Güendel S, Pound B, Triomphe B. *Cover crops in Smallholder Agriculture : lessons from Latin America*. London : IT Publications, 2001 ; 253 p.
8. Kemper B, Derpsch R. Results of studies made in 1978 and 1979 to control erosion by cover crops and no-tillage techniques in Paraná, Brazil. *Soil and Tillage Research* 1981 ; 1 : 253-67.
9. Derpsch R, Calegari A. *Plantas para adubação verde de inverno. Circular 73*. Londrina (Paraná) Brésil : Instituto agrônômico do Paraná (IAPAR), 1992 ; 80 p.
10. Macena F. *Parametrização e modelagem do balanço hídrico em sistema de plantio direto no cerrado brasileiro*. Thèse de doctorat de l'université de Campinas, SP, Brésil, 2004, 210 p.
11. Scopel E, Macena F, Corbeels M, Affholder F, Maraux F. Modelling crop residue mulching effects on water use and production of maize under semi-arid and humid tropical conditions. *Agronomie* 2004 ; 24 : 383-95.
12. Reyes Gomez V. *Quantification et modélisation des flux hydriques, thermiques et azotés dans les systèmes de culture en semis direct avec couverture végétale dans la région des Cerrados brésiliens*. Thèse de doctorat de l'université des sciences et techniques du Languedoc (USTL), Montpellier, France, 2002, 204 p.
13. Scopel E, Findeling A. *Conservation tillage impact on rainfed maize production in semi-arid zones of western Mexico. Importance of runoff reduction*. "Conservation agriculture, a worldwide challenge", 1st World Congress on Conservation Agriculture, Madrid, 1-5 October 2001 : 179-84.
14. Reyes Gomez V, Findeling A, Marlet S, et al. *Influence of no-tillage and cover plants on water and nitrogen dynamics in the Cerrados (Brazil)*. XVII World Congress of Soil Science, Bangkok, Thailand, September 2002 (poster with extended publication).
15. Abiven S, Recous S, Reyes V, Oliver R. In : *Impact of residue quality and location in soil on the C and N mineralisation of residues from cropping systems from Cerrados (Brazil)*. XVII World Congress of Soil Science, Bangkok, Thailand, September 2002 (poster with extended publication).
16. Metay A, Oliver R, Douzet JM, et al. *Short-term evolution of C-CO2 in conventional and no till system for a Brazilian oxisol : effect of tillage and rainfall*. II World congress on Sustainable Agriculture proceedings, Iguacu, Brazil, 2003, 10-15 of August (poster summary).
17. Reicoski DC. Tillage-induced CO<sub>2</sub> emissions from soil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 1997 ; 49 : 273-85.
18. Scopel E, Doucène N, Primot S, Douzet JM, Cardoso A, Feller C. *Diversity of direct seeding mulch based cropping systems (DMC) in the Rio Verde region (Goiás, Brazil) and consequences on soil carbon stocks*. "Producing in harmony with nature". II World congress on Sustainable Agriculture proceedings, Iguacu, Brazil, 2003, 10-15 of August (poster summary).
19. Oliver R, Douzet JM, Scopel E, et al. *Medium-term impact of no tillage on some physical properties of a Brazilian oxisol of Cerrados (tropical humid savannah of central Brazil)*. XVII World Congress of Soil Science, Bangkok, Thailand, September 2002, (poster with extended publication).
20. Bernoux M, Cerri CC, Cerri CEP, et al. Influence of direct seeding mulch based cropping systems on carbon sequestration and erosion in Brazil (à paraître dans *Agronomie*).