

Biomasse microbienne et « statut organique » des sols tropicaux : exemple d'un sol vénézuélien des Llanos sous différents systèmes de culture

Rémi CHAUSSOD (1), Marilena ZUVIA (2), Marie-Christine BREUIL (1) et Jean-Marie HETIER (3).

(1) Laboratoire de microbiologie des sols, Inra, BV 1540, 21034 Dijon (France).

(2) Urb. Las Terrazas n°28 - 5101 Mérida (Venezuela).

(3) Mission Orstom, Apartado 68.183 - 1062.A Caracas (Venezuela).

RÉSUMÉ

Pour étudier les effets de l'utilisation du sol (système de culture et pratiques culturales) sur la matière organique d'un sol tropical, des mesures chimiques et biologiques ont été réalisées sur des échantillons provenant de 4 parcelles représentant des traitements contrastés d'un essai au champ situé à Barinas (Venezuela) : prairie naturelle (Panicum), maïs continu depuis 15 ans avec 2 récoltes par an, maïs continu à une récolte par an et avec développement de mauvaises herbes (Panicum) durant la saison sèche, 4 années de prairie à Digitaria après 10 ans de maïs continu.

Alors que les teneurs en C et N total sont fonction de l'histoire à long terme des parcelles, la biomasse microbienne, la matière organique hydrolysable et le carbone minéralisé en incubation sont, par ordre décroissant, les paramètres les plus liés aux entrées de carbone et à l'utilisation actuelle des sols. Le rapport C-biomasse/C total, qui varie ici de 1 à 2% selon les traitements, est le paramètre le plus fiable pour évaluer précocement l'évolution du « statut organique » et pourrait déjà être utilisé en tant qu'outil de gestion des sols.

D'autres développements sont maintenant possibles, notamment l'utilisation de modèles prévisionnels de l'évolution de la matière organique, à condition que d'autres paramètres soient estimés ou mesurés au champ.

MOTS CLÉS : Biomasse microbienne – Matière organique – Système de culture – Agrosystème tropical – Sol ferrallitique – Venezuela

ABSTRACT

MICROBIAL BIOMASS AND «ORGANIC STATUS» OF TROPICAL SOILS: EXAMPLE OF A VENEZUELIAN SOIL OF THE LLANOS UNDER DIFFERENT CROPPING SYSTEMS

To study the effects of soil management (cropping system and agricultural practices) on organic matter in a tropical soil, chemical and biological measurements were performed on soil samples from 4 plots of contrasted treatments in a field trial located at Barinas (Venezuela): natural pasture (Panicum), continuous maize for 15 years with 2 crops/year, continuous maize with one crop/year and weed growth during the dry season, 4 years of pasture (Digitaria) after 10 years of continuous maize.

While total C & N content was related to long term history of the plots, microbial biomass, hydrolysable organic matter and mineralized carbon during incubation were, in decreasing order, the more related to carbon inputs and present soil use. The ratio Biomass-C/total-C, between 1 and 2% according to the treatments, was the more reliable parameter for an early appraisal of soil organic matter evolution, and could already be used as a tool for soil management.

Further developments are now possible, through the use of previsional models of soil organic matter evolution, provided additional parameters are estimated or measured in the field.

KEY WORDS: Microbial biomass – Organic matter – Cropping system – Tropical agrosystem – Alfisol – Venezuela.

BIOMASA MICROBIANA Y « ESTATUTO ORGANICO » DE SUELOS TROPICALES : EJEMPLO DE UN SUELO VENEZOLANO DE LOS LLANOS BAJO DIFFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO.

RESUMEN

*Para estudiar los efectos de la utilización del suelo (sistemas de cultivo y prácticas agrícolas) sobre la materia orgánica de un suelo tropical, medidas químicas y biológicas fueron realizadas sobre muestras proveniente de 4 parcelas representando tratamientos contrastados de un ensayo de campo situado en Barinas (Venezuela) : pradera natural (*Panicum*), maíz continuo desde hace 15 años con dos cosechas cada año, maíz continuo con una cosecha cada año y con desarrollo de malas hierbas (*Panicum*) durante la estación seca, 4 años de pradera de *Digitaria* después de 10 años continuos de maíz.*

Mientras que las cantidades de C y N total son función de la historia a largo plazo de las parcelas, la biomasa microbiana, la materia orgánica hidrolizable y el carbono mineralizado en incubación son, por orden decreciente, los parámetros más ligados a las entradas de carbono y a la utilización actual de los suelos. La relación C-biomasa / C-total, que varía aquí de 1 a 2% según los tratamientos, es el parámetro más fiable para evaluar precozmente la evolución del « estatuto orgánico » y podría ser utilizado actualmente como un útil de gestión de suelos.

Otros desarrollos son ahora posibles, principalmente la utilización de modelos previsionales de la evolución de la materia orgánica, a condición que otros parámetros sean estimados o medidos en condiciones de campo.

PALABRAS CLAVES : Biomasa microbiana – Materia orgánica – Sistema de cultivo – Agrosistema tropical – Suelo ferralítico – Venezuela

INTRODUCTION

Comme beaucoup de sols ferrallitiques, les sols des « Llanos » au Venezuela sont très pauvres et le rôle de la matière organique dans la « fertilité » est considérable. Sous végétation naturelle (savane à *Panicum*), les taux de matière organique se situent, à l'équilibre, aux environs de 1,5 %. Cependant, ils peuvent chuter rapidement après mise en culture et entraîner un effondrement de la fertilité physico-chimique et biologique. En particulier, l'intensification de la production agricole par l'utilisation d'engrais azotés (urée) aux effets acidifiants et l'abandon progressif des pratiques de brûlis (CHACON *et al.*, 1991) sont susceptibles de diminuer considérablement les stocks organiques. Et donc, éventuellement, de conduire à un « seuil critique » au-dessous duquel de graves difficultés risquent d'apparaître.

Il convient donc de pouvoir évaluer rapidement l'influence de diverses pratiques culturales (fertilisation, gestion des résidus de récolte, maîtrise des adventices, travail du sol) sur le « statut organique »

des sols. Ce dernier concept regroupe un ensemble de caractéristiques des constituants organiques : stock global, entrées annuelles, cinétiques d'évolution des différents compartiments, relations avec les constituants minéraux, répartition dans le profil.

Or, pour juger de l'évolution des stocks organiques des sols mis en culture, les compartiments jeunes à renouvellement rapide sont les plus sensibles, donc les plus importants, ainsi que le montrent les modèles d'évolution de la matière organique (JENKINSON et RAYNER, 1977 ; THIERY, 1985 ; HETIER *et al.*, 1989a). Nous avons donc entrepris de caractériser les compartiments les plus labiles de la matière organique de différentes parcelles d'un dispositif expérimental, par des mesures biologiques au laboratoire. La taille du compartiment « Biomasse Microbienne » et d'un pool de matières organiques labiles, ainsi que les activités de minéralisation du carbone et de l'azote en conditions standard ont été déterminées sur 4 échantillons de terre représentant des situations contrastées sur un même type de sol ferrallitique.

Il s'agit ici d'une étude préliminaire, de type synchronique, pour essayer de quantifier les modifications entraînées par la culture du maïs fertilisé et d'évaluer les possibilités d'entretien ou de restauration des stocks organiques, notamment par des cultures fourragères intercalaires. Ces mesures biologiques se situent dans une perspective d'utilisation de modèles compartimentaux d'évolution de la matière organique, pour lesquels les expérimentations en milieu tropical présentent un intérêt considérable : les constantes de vitesse très élevées permettent de valider des modèles par un suivi diachronique sur des durées beaucoup plus courtes que sous climat tempéré.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Échantillons de sol

Ils sont issus de 4 parcelles expérimentales situées dans l'enceinte du jardin botanique de l'université de Barinas (8°37' N, 70°12' W, 180 m alt.), choisies pour représenter des situations très contrastées au plan de la gestion des sols. Le climat de cette station est caractérisé par une température moyenne annuelle de 26 °C, montrant peu de variations saisonnières. Les précipitations, qui atteignent 1 700 mm, sont presque exclusivement réparties sur 8 mois, d'avril à novembre, la saison sèche s'étendant de décembre à mars. Les 4 échantillons étudiés correspondent aux traitements suivants :

- PN : prairie naturelle, proche de la savane secondaire issue du déboisement pratiqué entre la fondation de Barinas, il y a environ 400 ans, et le siècle dernier. Cette parcelle n'a jamais porté de culture, au contraire des trois suivantes mises en culture il y a 15 ans ;

- MU : parcelle en monoculture de maïs depuis 15 ans, avec une fertilisation azotée de 90 kg N/ha/an. Les résidus de récolte sont laissés sur place et le *Panicum* qui pousse spontanément durant l'interculture de novembre à avril est coupé et exporté avant travail du sol pour implantation de la culture suivante de maïs ;

- MUDC : deux cultures successives de maïs ont lieu chaque année dans cette parcelle, qui reçoit au total 150 kg N/ha/an. Les pratiques culturales (désherbage) empêchent le développement du *Panicum* ;

- PD : prairie temporaire à *Digitaria decumbens* (pangola). Elle a été semée en 1986 après monoculture de maïs comme ci-dessus ; elle reçoit

150 kg N/ha/an pour 4 coupes effectuées chaque année. C'est une prairie de 4 ans au moment du prélèvement.

Les échantillons de sol ont été prélevés fin octobre 1990 dans la couche 0-20 cm des 4 parcelles et ont été rapportés rapidement en France à l'état frais pour y être traités. Les sols n'ont pas été séchés car un stress hydrique peut perturber les mesures biologiques.

Mesures

Pour chaque traitement, on disposait d'environ 500 g de sol tamisé à 4 mm et homogénéisé. Chaque détermination a été effectuée avec un minimum de 3 répétitions sur des sous-échantillons de 30 g, le reste du sol étant utilisé pour les analyses physico-chimiques.

MINÉRALISATION DU CARBONE ET DE L'AZOTE

On enregistre les quantités de C-CO₂ dégagé et d'azote minéralisé lors d'une incubation de 28 jours à 28 °C. Le C-CO₂ est dosé par colorimétrie en flux continu (Technicon) comme décrit par CHAUSSOD *et al.*, 1986a. L'azote minéral est également dosé par colorimétrie en flux continu, en utilisant les méthodes préconisées par la firme Technicon (NH₄⁺ d'après la réaction de Berthelot, NO₂⁻ par diazotation selon la méthode Griess Ilosvay et NO₃⁻ comme précédemment après réduction des nitrates en nitrites par passage sur une colonne de cadmium cuivré). Tous les résultats sont exprimés en mg N/kg sol sec.

BIOMASSE MICROBIENNE

Elle a été déterminée par fumigation-extraction (CHAUSSOD *et al.*, 1988 ; WU *et al.*, 1990) : fumigation par des vapeurs de chloroforme pendant 16 heures à 20 °C, extraction par agitation de 40 mn dans K₂SO₄ 0,05 N (rapport sol/solution = 1/5), centrifugation 10 mn à 6 000 g, dosage du carbone organique par oxydation persulfate-U.V. (appareil Dorhmann DC80). Le carbone extractible microbien (E.C.) est égal au supplément de carbone extrait dans les échantillons fumigés par rapport aux échantillons témoins, non traités par le chloroforme. E.C. est une proportion sensiblement constante, quel que soit le type de sol, de la biomasse microbienne (VANCE *et al.*, 1987 ; INUBUSHI *et al.*, 1991) :
biomasse = E.C. / 0,38.

Les résultats des mesures de biomasse microbienne sont donnés en mg C/kg sol sec. Il est intéressant de les exprimer aussi en pourcentage du

carbone total (CHAUSSOD *et al.*, 1986b ; SPARLING, 1992).

FRACTION LABILE DE LA MATIÈRE ORGANIQUE

Après élimination de la partie extractible de la biomasse microbienne (pool I), on caractérise expérimentalement un « pool II » (MOLINA *et al.*, 1983 ; HOUOT *et al.*, 1989) de matières organiques labiles, par autoclavage (LEMAITRE, 1992). Le culot de centrifugation des échantillons fumigés est additionné de 100 ml d'eau, remis en suspension et porté à 121 °C sous pression équilibrante pendant 12 h. Après refroidissement et agitation, la suspension est centrifugée et le carbone et l'azote sont dosés dans le surnageant comme précédemment.

RÉSULTATS

Caractéristiques physico-chimiques

Le sol de la station de Barinas est un alfisol (Cambic Paleustalf), profond d'environ 2,5 m (HETIER *et al.*, 1992). La couche 0-20 cm est de texture sableuse (69 % sables, 12 % limons, 18 % argiles), à capacité d'échange très faible (1 à 2 cmol/kg sol) avec un taux de saturation de 60 % ; le pH se situe aux environs de 5,5 sous végétation naturelle (HETIER *et al.*, 1989b).

Les teneurs en carbone total et en azote total des 4 échantillons de sol ainsi que leur pH sont rapportés dans le tableau I. La teneur en eau des échan-

tillons lors du prélèvement est donnée, en pourcentage du sol sec, dans le même tableau. Compte tenu de la période de prélèvement, on peut considérer que ces valeurs sont proches de la capacité au champ ; les incubations ont donc été réalisées en conservant ces teneurs en eau.

Biomasse microbienne

À conditions pédoclimatiques comparables, la taille du compartiment « biomasse microbienne » est directement fonction du carbone disponible pour satisfaire les besoins énergétiques des micro-organismes (carbone du sol, plus ou moins biodégradable, et surtout carbone des « entrées » par les végétaux : résidus de culture et rhizodépôts). On constate, dans le tableau II, que la biomasse microbienne est environ deux fois plus élevée dans les parcelles sous prairie que dans celles cultivées en maïs. Il n'y a pas de différence significative entre la prairie naturelle et la prairie semée en *Digitaria*, bien que la première soit plus riche en matière organique. Pour les parcelles en maïs, celle dans laquelle le *Panicum* pousse de novembre à avril présente une biomasse sensiblement plus élevée que celle où les deux cultures successives empêchent le développement des « mauvaises herbes ».

Minéralisation du carbone et de l'azote

Les quantités Cm(28) de C-CO₂ minéralisées en 28 jours à 28 °C figurent dans le tableau III. Elles

TABLEAU I
Quelques caractéristiques des échantillons de sols
Some characteristics of soil samples
Algunas características de las muestras de suelos

Parcelle		C total	N total	C/N	pH	Humidité
		mg/g sol sec				% sol sec
PN	Prairie Naturelle	8,9	0,79	11,3	5,4	16,1
MU	Maïs (90 N) avec <i>Panicum</i>	7,6	0,60	12,7	4,9	12,8
MUDC	2 Maïs (150 N) sans <i>Panicum</i>	7,2	0,55	13,1	5,0	12,6
PD	Prairie à <i>Digitaria</i> après Maïs	7,3	0,62	11,8	4,9	12,3

TABLEAU II
Éléments de calcul de la biomasse microbienne
Elements for the calculation of microbial biomass
Elementos para el cálculo de la biomasa microbiana

Parcelle	Témoins T	Fumigés F	E.C. = F-T	Biomasse = EC/0,38	Biomasse	
					%Ct	
					mg C / kg sol sec	%Ct
PN	Prairie Naturelle	20,4 ± 0,8	75,7 ± 2,0	55,3 ± 2,7	146 ± 7	1,64
MU	Maïs (90 N) avec <i>Panicum</i>	21,8 ± 0,2	53,7 ± 1,2	31,9 ± 1,3	84 ± 3	1,11
MUDC	2 Maïs (150 N) Sans <i>Panicum</i>	16,3 ± 0,9	43,9 ± 1,0	27,6 ± 1,9	73 ± 5	1,01
PD	Prairie à <i>Digitaria</i> après Maïs	24,6 ± 0,5	79,0 ± 1,9	54,4 ± 2,4	143 ± 6	1,96

représentent de 1,3 à 1,6 % du carbone total du sol. La valeur absolue la plus élevée est observée sous prairie naturelle alors que les chiffres les plus faibles, en valeur absolue comme en valeur relative, sont observés pour la parcelle portant chaque année deux cultures de maïs, donc sans développement de *Panicum*.

Le C-CO₂ respiré, rapporté à la biomasse microbienne, permet de calculer la « respiration spécifique » (R.S.) qui est la quantité de carbone minéralisé par g de C-biomasse (C-BM) et par jour :

$$R.S. = C_{m28} / (28 \cdot C-BM).$$

Les valeurs sont nettement plus élevées dans les parcelles cultivées en maïs (respectivement 52 et 46 mgC-CO₂/g C-biomasse/jour dans les parcelles avec et sans *panicum*) que dans les parcelles en prairie où elles n'atteignent que 31 et 30 mg C-CO₂/g C-biomasse/jour sous prairie naturelle et sous prairie à *Digitaria*.

Les quantités d'azote minéral extraites sont également rapportées dans le tableau III. Les teneurs élevées en ammonium, aussi bien avant qu'après incubation, mettent en évidence une nitrification peu active, vraisemblablement en raison du pH acide du sol. Les quantités nettes d'azote minéralisé varient de 5,1 à 8,8 mg N/kg sol. La valeur la plus faible, observée sous *Digitaria*, est probablement liée à un phénomène de réorganisation brute plus important que dans les autres parcelles, ainsi

qu'en témoigne le rapport C minéralisé/N minéralisé, qui atteint ici 23,8 alors qu'il se situe entre 14,5 et 15,7 pour les 3 autres parcelles.

Matière organique hydrosoluble à chaud

Les résultats correspondant à l'extraction après hydrolyse à l'eau chaude (121 °C) sous pression équilibrante sont présentés dans le tableau IV.

L'autoclavage des échantillons de sol pendant 12 h libère de 9,1 à 12,8 % du carbone total. La matière organique solubilisée est relativement riche en azote car le rapport C/N est compris entre 6,4 et 8,4. La quantité la plus élevée de carbone extrait et le rapport C/N le plus élevé sont observés sous culture de *Digitaria*. La prairie naturelle a un comportement assez voisin, avec une valeur relativement élevée du rapport C/N et du carbone total extrait. Cependant, ce dernier ne représente que 10 % du carbone total, témoignant d'une proportion plus importante de carbone non extractible dans cette parcelle. C'est dans la monoculture de maïs, sans développement de *Panicum*, que le carbone extrait est le plus faible, en valeur absolue comme en valeur relative.

DISCUSSION - CONCLUSION

L'application de diverses mesures biologiques et chimiques à des échantillons d'un même type de sol maïs provenant de parcelles sous différentes

TABLEAU III
 Minéralisation du carbone et de l'azote
Cm(28) = carbone minéralisé (C-CO₂) en 28 jours à 28 °C
Nm(0) et *Nm(28)* = azote minéral initial et à 28 jours
 Carbon and nitrogen mineralization
Cm(28) = mineralized carbon in 28 days at 28 °C
Nm(0) y *Nm(28)* = mineral nitrogen at time 0 and 28 days
 Mineralización del carbono y del nitrógeno
Cm(28) = carbono mineralizado (C-CO₂) en 28 días a 28 °C
Nm(0) y *Nm(28)* = nitrógeno mineral inicial y a 28 días

Parcelle	Cm(28)	Nm(0)			Nm(28)			N minéralisé		Cmin	
		NH ₄	NO ₃	total	NH ₄	NO ₃	total	Nm(28)-Nm(0)		Nmin	
		mg / kg sol sec						mg/kg	% Nt		
PN	Prairie Naturelle	127,4 ± 3,9	13,8	2,1	15,9 ± 0,2	17,1	7,6	24,7 ± 0,1	8,8 ± 0,3	1,11	14,5
MU	Maïs (90 N) avec <i>Panicum</i>	122,9 ± 7,0	12,4	1,8	14,2 ± 0,2	11,6	11,1	22,7 ± 2,1	8,5 ± 2,3	1,42	14,5
MUDC	2 Maïs (150 N) sans <i>Panicum</i>	94,1 ± 1,2	3,7	3,4	7,1 ± 0,1	2,8	10,3	13,1 ± 0,3	6,0 ± 0,4	1,09	15,7
PD	Prairie à <i>Digitaria</i> après Maïs	121,2 ± 5,3	11,5	2,0	13,5 ± 0,2	10,5	8,1	18,6 ± 0,6	5,1 ± 0,8	0,82	23,8

TABLEAU IV
 Carbone et azote « extractibles » par autoclavage de 12h à 121 °C
 Carbon and nitrogen extracted after autoclaving (12h at 121 °C)
 Carbono y nitrógeno « extractibles » por autoclavaje de 12h a 121 °C

Parcelle	Matière organique extraite			
	C	N	C/N	
		mg / kg sol sec		
PN	Prairie Naturelle	890 ± 18	101 ± 5	8,1 ± 0,4
MU	Maïs (90 N) avec <i>Panicum</i>	815 ± 2	127 ± 4	7,0 ± 0,2
MUDC	2 Maïs (150 N) sans <i>Panicum</i>	658 ± 4	103 ± 4	6,4 ± 0,3
PD	Prairie à <i>Digitaria</i> après Maïs	936 ± 7	111 ± 2	8,4 ± 0,2

végétations permet de tirer quelques premiers enseignements quant aux critères les plus pertinents pour juger de l'état organique d'un sol tropical et de son évolution.

En ce qui concerne le carbone organique total, la parcelle portant une prairie naturelle de très longue date est, fort logiquement, la mieux pourvue. Les deux parcelles cultivées en maïs sont sensiblement au même niveau de matière organique, 15 à 20 % en dessous de la teneur observée sous prairie permanente. Cette diminution est faible par comparaison à ce qui est habituellement observé pour d'autres sols tropicaux à argiles 1:1, où la chute du taux de matière organique peut atteindre en moyenne 40 % après mise en culture d'un écosystème naturel (FELLER *et al.*, 1991a). Enfin on constate que quatre années de culture de *Digitaria* après 10 ans de monoculture de maïs ne suffisent pas à restaurer le taux de matière organique au niveau de la prairie naturelle.

Si l'on considère la biomasse microbienne, compartiment actif à renouvellement rapide, les différences entre traitements apparaissent considérables, allant du simple au double. Mais surtout, rapportées à la teneur en carbone ou en azote total du sol, les valeurs de biomasse microbienne permettent d'apprécier l'évolution du système. Il existe en effet un équilibre entre d'une part la taille et les besoins énergétiques de la microflore, d'autre part la biodisponibilité de la matière organique (SMITH and PAUL, 1990).

Dans la parcelle sous prairie naturelle, que l'on peut considérer à l'équilibre sur le plan des stocks organiques, 1,64 % du carbone total se trouve sous forme de biomasse microbienne. Le pourcentage plus élevé (1,96 %) dans la parcelle sous *Digitaria* depuis 4 ans, après plus de 10 ans de maïs, rend compte d'une dynamique d'amélioration des réserves organiques du sol : les entrées, de type prairie, sont élevées par rapport au niveau de carbone total qui est encore très influencé par le précédent système de culture. À terme, ce pourcentage devrait tendre vers celui observé sous prairie naturelle, lorsque les compartiments à turnover lent (et le carbone total du sol) auront retrouvé leurs niveaux d'équilibre sous prairie. Dans les parcelles cultivées en maïs, le pourcentage de carbone sous forme microbienne est plus faible que ce qui est observé à l'équilibre, illustrant la faiblesse relative des entrées de carbone par rapport au carbone total et mettant en évidence la dynamique d'appauvris-

sement du sol. On peut noter que cet appauvrissement est moins intense dans le système où le *Panicum* se développe durant la saison sèche.

La respiration des échantillons de sol, mesurée par le dégagement de C-CO₂, n'est pas un critère très discriminant pour caractériser les traitements. Les valeurs les plus faibles observées pour la parcelle en maïs sans développement de *Panicum* confirment la faiblesse des entrées de carbone dans ce traitement. La respiration spécifique (rapport de la respiration à la biomasse microbienne) est nettement plus élevée dans les parcelles en maïs que dans les parcelles en prairie. Cet écart, de plus de 50 %, peut résulter du travail du sol entraînant une déprotection tant des composés organiques que des micro-organismes ; il peut être dû également à la différence de nature et de localisation des substrats carbonés : le rendement d'assimilation du carbone provenant des résidus de maïs serait plus bas que celui des rhizodépôts sous prairie.

Au plan méthodologique, la détermination des quantités de carbone et d'azote minéralisées en incubation de laboratoire semble simple à mettre en œuvre. Néanmoins, les résultats sont étroitement dépendants des composés organiques disponibles lors du prélèvement et risquent de montrer des fluctuations saisonnières importantes. En outre, ces quantités dépendent des conditions de température et d'humidité lors de l'incubation ; si la température peut être parfaitement contrôlée, il est plus difficile de s'assurer que les échantillons sont incubés à des humidités comparables au plan biologique (même potentiel hydrique). Cela représente donc une caractérisation biologique des traitements moins fiable qu'une détermination plus directe des compartiments organiques d'où provient la matière organique minéralisable.

L'extraction de matières organiques hydrosolubles à chaud représente une tentative de définir un pool de matières organiques labiles. Les quantités de carbone extraites sont clairement en lien avec les rhizodépôts. Dans les parcelles sous maïs, le développement du *Panicum* représente un apport de carbone hydrolysable important. On remarque également une relation directe entre les quantités de carbone extraites et les valeurs du rapport C/N qui témoigne d'un enrichissement relatif en azote des matières organiques labiles dans les parcelles cultivées en maïs.

L'autoclavage donne des résultats cohérents avec les mesures de biomasse microbienne mais est pro-

bablement plus sensible à la présence de résidus végétaux. Il serait peut-être préférable d'appliquer cette extraction non pas sur le sol entier mais sur une fraction fine, débarrassée des débris végétaux. Des travaux de FELLER *et al.* (1991b) ont montré que la matière organique extraite à l'eau chaude de la fraction 0-2 µm avait beaucoup plus des caractères de composés microbiens que de composés végétaux. De même, le fait que le rapport C-biomasse / C-hydrolysable soit sensiblement plus bas dans les parcelles cultivées en maïs (0,10 et 0,11 pour MU et MUDC) que dans les parcelles en prairie (0,15 et 0,16 pour PD et PN) est cohérent avec un taux de renouvellement plus rapide du compartiment biomasse que du pool de matières organiques hydrolysables. De telles matières organiques, résultant de l'action microbienne sur les produits de l'exsudation racinaire ou des débris végétaux, correspondent bien à la définition du « pool II » de modèles d'évolution du carbone et de l'azote (MOLINA *et al.*, 1983).

Ces modèles accordent une place privilégiée à la « biomasse microbienne », considérée comme le compartiment clé des transformations de la matière organique dans le sol (MOLINA *et al.*, 1983 ; JENKINSON *et al.*, 1987). La biomasse microbienne s'avère effectivement ici le critère biologique le plus fiable et le plus discriminant pour juger rapi-

dement de l'impact des pratiques agricoles sur les stocks organiques. La biomasse microbienne, la matière organique hydrolysable à chaud et le carbone minéralisé en incubation sont, dans l'ordre décroissant, les paramètres les plus sensibles au mode de gestion des sols. Ils illustrent bien la dynamique actuelle des réserves organiques, alors que les teneurs en carbone ou azote total ne donnent accès qu'aux stocks globaux, intégrant une histoire beaucoup plus longue.

Spécialement dans les sols tropicaux, où le turnover des compartiments est très rapide, la détermination de la biomasse microbienne (en valeur absolue et en pourcentage du carbone total) peut donner une indication précoce de l'évolution des stocks organiques, connaissant le niveau d'équilibre sous différents systèmes de culture. Enfin, la mesure expérimentale des principaux compartiments organiques permet aussi, et surtout, de donner une représentation cohérente du fonctionnement d'ensemble, grâce à l'utilisation de modèles. L'acquisition de résultats expérimentaux sur des dispositifs au champ reste indispensable pour déterminer de façon fiable les principaux paramètres de ces modèles.

Manuscrit accepté par le Comité de rédaction le 5 avril 1993.

BIBLIOGRAPHIE

- BOLLAG (J.M.), STOTZKY (G.) (eds.), 1990.— *Soil Biochemistry*, vol. 6, New York, Marcel Dekker.
- CHACON (P.), LOPEZ-HERNANDEZ (I.D.), LAMOTTE (M.), 1991.— Le cycle de l'azote dans une savane à *Trachypogon* au centre du Venezuela. *Rev. Ecol. Biol. Sol*, 28 : 67-75.
- CHAUSSOD (R.), NICOLARDOT (B.), CATROUX (G.), 1986a.— Mesure en routine de la biomasse microbienne des sols par la méthode de fumigation au chloroforme. *Science du Sol*, 24 : 201-211.
- CHAUSSOD (R.), NICOLARDOT (B.), CATROUX (G.), CHRETIEN (J.), 1986b.— Relations entre les caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques de quelques sols cultivés. *Science du Sol*, 24 : 213-226.
- CHAUSSOD (R.), HOUOT (S.), GUIRAUD (G.), HETIER (J.M.), 1988.— « Size and turnover of the microbial biomass in agricultural soils : laboratory and field measurements » in D.S. JENKINSON and K.A. SMITH (eds.), 1988 : 312-326.
- COME (G.M.), DUCLOY (J.), SOULIE (E.), THIERY (J.M.) (eds.), 1985.— *Logiciels pour la chimie*, Paris, Soc. Fr. Chimie et CNRS Nancy — Assoc. Nat. Logiciel.
- FELLER (C.), FRITSCH (E.), POSS (R.), VALENTIN (C.), 1991a.— Effet de la texture sur le stockage et la dynamique des matières organiques dans quelques sols ferrugineux et ferrallitiques (Afrique de l'Ouest, en particulier). *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, vol. XXVI, n° 1 : 25-36.
- FELLER (C.), FRANÇOIS (C.), VILLEMIN (G.), PORTAL (J.M.), TOUTAIN (F.), MOREL (J.L.), 1991b.— Nature des matières organiques associées aux fractions argileuses d'un sol ferrallitique. *C. R. Acad. Sci. Paris*, t. 312, série II : 1491-1497.
- HETIER (J.M.), ZUVIA (M.), HOUOT (S.), THIERY (J.M.), 1989a.— Comparaison de trois modèles pour la simulation du cycle de l'azote dans les agrosystèmes tropicaux. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, vol. XXV, n° 4 : 443-451.

- HETIER (J.M.), SARMIENTO (G.), ALDANA (T.), ACEVEDO (D.), ZUVIA (M.), THIERY (J.M.), 1989b.— Nitrogen fate under maize and pasture cultivated on an alfisol in the Western Llanos savannas, Venezuela, *Plant and Soil*, 114 : 295-302.
- HETIER (J.M.), SCHARGEL (R.), VALLEJO-TORRES (O.), SARMIENTO (G.), GOMEZ (C.), 1992.— Les sols de savane des Llanos vénézuéliens et le sol ferrugineux tropical de Barinas. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, à paraître.
- HOUOT (S.), MOLINA (J.A.E.), CHAUSSOD (R.), CLAPP (C.E.), 1989.— Simulation by NCSOIL of net mineralization in soils from the Dehérain and 36 parcelles fields at Grignon. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 53 : 451-455.
- INUBUSHI (K.), BROOKES (P.C.), JENKINSON (D.S.), 1991.— Soil microbial biomass carbon, nitrogen and ninhydrin-N in aerobic and anaerobic soils measured by the fumigation-extraction method. *Soil Biol. Biochem.*, 23 : 737-741.
- JENKINSON (D.S.), RAYNER (J.H.), 1977.— The turnover of soil organic matter in some of the Rothamsted classical experiments. *Soil Science*, 123 : 298-305.
- JENKINSON (D.S.), SMITH (K.A.) (eds.), 1988.— *Nitrogen efficiency in agricultural soils*, London, Elsevier Applied Science.
- JENKINSON (D.S.), HART (P.B.S.), RAYNER (J.H.), PARRY (L.C.), 1987.— Modelling the turnover of organic matter in long-term experiments at Rothamsted. *INTECOL Bulletin*, 15 : 1-8.
- LEMAITRE (A.), 1992.— *Rôle de la biomasse microbienne et des métabolites rhizosphériques dans l'humification en milieu calcique drainant*. Thèse Univ. Franche-Comté, 277 p.
- MOLINA (J.A.E.), CLAPP (C.E.), SHAFFER (M.J.), CHICHESTER (F.W.), LARSON (W.E.), 1983.— NCSOIL, a model of nitrogen and carbon transformations in soil : description, calibration and behavior. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 47 : 85-91.
- SMITH (J.L.), PAUL (E.A.), 1990.— « The significance of microbial biomass estimations » in J.M. BOLLAG and G. STOTZKY (eds.), 1990 : 357-396.
- SPARLING (G.P.), 1992.— Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. *Austr. J. Soil Res.*, 30 : 195-207.
- THIERY (J.M.), 1985.— « Voyons, programme de simulations conversationnelles en physico-chimie et en agronomie » in G.M. COME, J. DUCLOY, E. SOULIE ET J.M. THIERY (eds.), 1985 : 156-157.
- VANCE (E.D.), BROOKES (P.C.), JENKINSON (D.S.), 1987.— An extraction method for measuring microbial biomass C. *Soil Biol. Biochem.*, 19 : 703-707.
- WU (J.), JOERGENSEN (R.G.), POMMERENING (B.), CHAUSSOD (R.), BROOKES (P.C.), 1990.— Measurement of soil microbial biomass C by fumigation-extraction — An automated procedure. *Soil Biol. Biochem.*, 22 : 1167-1169.