

# Azote minéralisable et statut organique des Andosols de Guadeloupe

## Influence du milieu et des pratiques culturales

M. Dorel<sup>(1)</sup>, K. Lombard<sup>(1)</sup> et R. Oliver<sup>(2)</sup>

(1) CIRAD-FLHOR, Station de Neufchateau, 97130 Capesterre Belle-Eau - Guadeloupe

(2) CIRAD-AMIS, Avenue Agropolis, 34398 Montpellier Cedex 5

### RÉSUMÉ

Les Andosols de Guadeloupe présentent des teneurs en matière organique très variables. Ces variations peuvent être liées à celles des conditions pédo-climatiques ou à l'effet des pratiques culturales. Dans un contexte où la limitation des pollutions d'origine agricole implique une réduction de la fertilisation azotée, les conséquences de ces variations sur la quantité d'azote minéralisable doivent être prises en compte pour évaluer la fertilité des sols et la durabilité des systèmes de cultures.

Après avoir étudié les variations du statut organique des Andosols sous bananeraie en relation avec la pluviométrie, l'intensité du caractère andique des sols et le mode de conduite de la culture, nous avons cherché à établir des relations entre la quantité d'azote minéralisable et le contenu des différents compartiments de la matière organique du sol (fractions granulométriques, biomasse microbienne). L'effet, sur ces paramètres, de l'introduction de la canne à sucre dans l'assolement des exploitations bananières a ensuite été évalué. Nous avons comparé pour ceci, sur une même exploitation, des parcelles sous monoculture bananière et des parcelles où ce système a été abandonné au profit de la rotation canne à sucre/ banane.

La teneur en matière organique des Andosols est fortement liée à la pluviométrie et à l'intensité du caractère andique qui est évalué par la rétention en eau à -1 500 kPa. La forte influence des conditions climatiques et édaphiques sur la teneur en carbone du sol et une localisation préférentielle des modes de conduite non mécanisés et peu intensifs dans les zones d'altitude soumises aux pluviométries les plus fortes rend l'effet des pratiques culturales sur la teneur en carbone du sol difficile à mettre en évidence. La quantité d'azote minéralisable apparaît sans relation avec la teneur en carbone organique total du sol mais est en revanche bien corrélée à la taille de la biomasse microbienne. Elle est nettement supérieure dans les bananeraies pérennes non mécanisées.

L'accroissement du rapport C/N de la matière organique du sol, du carbone contenu dans les fractions grossières et de la biomasse microbienne observé sous culture de canne à sucre semble lié à l'importante quantité de matière sèche apportée par les résidus de culture de canne à sucre. La faible teneur en azote des résidus de canne à sucre explique, qu'en dépit de l'accroissement de la biomasse microbienne, la quantité d'azote minéralisable n'augmente pas sous canne à sucre.

### Mots clés

Andosol, matière organique, azote minéralisable, biomasse microbienne, pratiques culturales, bananeraie, canne à sucre

**SUMMARY****MINÉRALISABLE NITROGEN AND ORGANIC STATUS OF ANDOSOLS IN GUADELOUPE****Climatic and edaphic determinants – Influence of soil management**

In Guadeloupe, andosols exhibit large variations in soil organic matter contents. Such a situation can be attributed to variations in climatic and edaphic conditions (figure 1) or to cultural practices. There is an increasing need to lessen the non intentional and detrimental effects of agriculture on the environment and to particularly reduce the use of nitrogen fertilisers. The influence of soil organic matter variations on the amount of mineralisable nitrogen must be taken into account to evaluate soil fertility and sustainability of the cropping systems. In the present study, we firstly analysed how soil organic matter status varies with annual rainfall and cultural practices. Secondly, we attempted to identify existing relations between the amount of mineralisable nitrogen and the content of the different soil organic matter pools (particle size fractions, microbial biomass). Then, the effects on the former parameters of sugarcane introduction in a banana cropping system was further investigated by comparing, on the same farm, plots of continuous banana monoculture and plots where banana monoculture has been replaced by sugarcane/banana rotation (table 1).

Soil organic carbon was found to be strongly linked to rainfall level and to soil andic character as evaluated by soil water content at -1 500 kPa (figure 3, figure 4). The strong influence of climate and edaphic conditions on soil organic carbon and the preferential location of no-till and weakly intensified cropping systems at the higher elevation sites make the effect of cultural practices on soil organic carbon difficult to establish clearly. There was no relationship between the amount of mineralisable nitrogen and the soil organic carbon contents in the studied soils. However the amount of mineralisable nitrogen was closely related to microbial biomass (table 3). Mineralisable nitrogen and microbial biomass were found higher under no-till perennial banana cropping systems (table 2, figure 5).

The increase of soil organic matter C/N ratio (figure 6), carbon content of coarse fractions (figure 7) and microbial biomass (figure 8) observed in sugarcane plots could result from the high quantity of crop residues returned to soil by sugar cane cultivation. The low nitrogen content of sugar cane residues (table 5) could explain why, despite the observed increase of microbial biomass, the amount of mineralisable nitrogen was not improved by sugarcane crop.

**Key-words**

Andosol, organic matter, mineralisable nitrogen, microbial biomass, cultural practices, banana plantation, sugar cane

**RESUMEN****NITRÓGENO A MINERALIZAR Y ESTATUTO ORGÁNICO DE LOS ANDOSOLES DE GUADALUPE.****Influencia del medio y de las practicas de cultivo**

Los andosoles de Guadalupe presentan contenidos en materia orgánica muy variables. Estas variaciones pueden ser ligadas a las de las condiciones pedo- climáticas o al efecto de las practicas de cultivo. En un contexto donde la limitación de las contaminación de origen agrícola implica una reducción de la fertilización nitrogenada, las consecuencias de estas variaciones sobre la cantidad de nitrógeno a mineralizar deben ser tomadas en cuenta para evaluar la fertilidad de los suelos y la sostenibilidad de los sistemas de cultivos.

Después de haber estudiado las variaciones del estatuto orgánico de los andosoles bajo plataneros en relación con las lluvias, la intensidad del carácter ándico de los suelos y el modo de manejo del cultivo, buscamos establecer relaciones entre la cantidad de nitrógeno a mineralizar y el contenido de los diferentes compartimentos de la materia orgánica del suelo (fracciones granulométricas, biomasa microbiana). Se evaluó el efecto sobre estos parámetros de la introducción de la caña de azúcar en la rotación de las explotaciones plataneras. Comparamos para eso, sobre una misma explotación, parcelas con monocultivo de plátanos y parcelas donde este sistema fue abandonado al beneficio de la rotación caña de azúcar / plátano.

El contenido en materia orgánica de los andosoles es fuertemente ligado a las lluvias y a la intensidad del carácter ándico evaluado por la retención en agua a -1500 kPa. La fuerte influencia de las condiciones climáticas e edáficas sobre la tasa de carbono del suelo y una localización preferencial de los modos de manejo no mecanizados y poco intensivos en las zonas de altitud sometidas a lluvias más abundantes hacen que el efecto de las practicas de cultivos sobre el contenido en carbono del suelo es difícil ponerlo en evidencia. La cantidad de nitrógeno a mineralizar aparece sin relación con el contenido en carbono orgánico total del suelo pero es al contrario bien relacionado al tamaño de la biomasa microbiana. Es netamente superior en plataneros perennes no mecanizados. El crecimiento de la relación C/N de la materia orgánica del suelo, del carbono contenido en las fracciones gruesas y de la biomasa microbiana observada en cultivo de caña de azúcar parece ligado a la importante cantidad de materia seca aportada por los residuos de cultivo de caña de azúcar. La pequeña tasa en nitrógeno de los residuos de caña de azúcar explica, que mientras el crecimiento de la biomasa microbiana, la cantidad de nitrógeno a mineralizar no aumenta bajo caña de azúcar.

**Palabras clave**

Andosol, materia orgánica, nitrógeno a mineralizar, biomasa microbiana, practicas de cultivos, plataneros, caña de azúcar.

La matière organique est reconnue comme le principal indicateur de la qualité et de la fertilité du sol. (Robert, 2002). La matière organique du sol joue en effet de nombreux rôles. Elle constitue d'abord un substrat carboné, source d'énergie pour les micro-organismes du sol. En se minéralisant, elle fournit ensuite aux plantes des éléments nutritifs et notamment de l'azote. Elle génère une grande partie des propriétés d'échange et d'adsorption du sol qui conditionnent la disponibilité des éléments minéraux, les équilibres cationiques et l'efficacité des engrais. La matière organique joue également un rôle primordial au niveau de l'agrégation des constituants du sol, de la stabilité de la structure et des propriétés physiques qui en découlent (porosité, conductivité hydraulique, résistance mécanique, aération...).

Les bananeraies de Guadeloupe sont situées majoritairement sur des sols volcaniques appartenant à la classe des Andosols. La teneur en matière organique de ces sols peut atteindre des niveaux très élevés. Cependant, une fraction importante de la matière organique des Andosols est considérée comme difficilement minéralisable (Quantin, 1972; Shoji *et al.*, 1993) car elle forme des associations très stables avec les constituants minéraux non cristallins. En conséquence, le rapport entre l'azote total du sol et la quantité d'azote potentiellement minéralisable est plus faible dans les Andosols que dans les sols dépourvus de caractère andique (Dahlgren *et al.*, 2004).

En Guadeloupe, la banane est principalement produite dans le cadre de systèmes monocultureux. Il existe toutefois divers degrés d'intensification, allant de la culture pérenne non mécanisée conduite avec un minimum d'intrants à une monoculture intensive mécanisée où les parcelles sont labourées et replantées régulièrement. La pratique d'une monoculture associant une utilisation massive d'intrants chimiques et une mécanisation lourde génère des dégradations de la fertilité du sol et constitue une menace pour l'environnement (Dorel, 1993; Dorel, 2001; Bonan et Prime, 2001; Cabidoche *et al.*, 2001).

De nouveaux systèmes de culture bananiers, reposant sur la pratique de rotations culturales, principalement avec la canne à sucre, se développent depuis peu en Guadeloupe. Ces nouveaux systèmes permettent, en limitant le développement des populations de parasites inféodés au bananier, de réduire l'utilisation des pesticides. L'évaluation de la durabilité de ces nouveaux systèmes de culture implique de prévoir l'évolution des différentes composantes de la fertilité des sols. La quantité d'azote potentiellement minéralisable constitue un critère d'évaluation de la fertilité du sol à prendre en considération dans un contexte général où la limitation des pollutions d'origine agricole impose une réduction des quantités d'engrais azotés appliquées sur les cultures.

Nous étudierons d'abord, sous monoculture bananière, l'influence des conditions pédo-climatiques et du mode de conduite de la culture sur le statut organique du sol. Nous essaierons d'établir des relations entre la quantité d'azote minéralisable et l'importance des différents compartiments de la matière organique du sol. Nous nous intéresserons notamment à la biomasse microbienne, com-

partiment actif dont le rôle central au niveau de la minéralisation de l'azote a été démontré (Chaussod et Houot, 1993), et à la matière organique associée aux différentes fractions granulométriques du sol.

Nous évaluerons ensuite l'effet de l'introduction de la canne à sucre dans un système de culture bananier intensif mécanisé sur ces descripteurs du statut organique et de l'activité biologique du sol.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

### Présentation des sols

Les Andosols sont situés en Guadeloupe dans la partie sud de la Basse-Terre. La classification régionale des Andosols, proposée par Colmet-Daage et Lagache (1965) repose, en majeure partie, sur des critères physiques (porosité, rétention en eau du sol) traduisant l'intensité du caractère andique (teneur en minéraux non cristallins fortement hydratés). Celui-ci varie, sur les deux versants de l'île, avec l'altitude et la pluviométrie (*figure 1*).

Aux altitudes les plus élevées, sous des pluviométries moyennes annuelles comprises entre 4 000 et 6 000 mm, on observe des Andosols perhydratés à porosité importante et forte rétention en eau (humidité pondérale à la capacité au champ supérieure à 100 %). Aux altitudes moyennes et sous une pluviométrie comprise entre 3 000 et 4 000 mm par an, les Andosols présentent une porosité et une rétention en eau plus faible (humidité pondérale à la capacité au champ comprise entre 70 et 100 %). En bas de versant, sous des pluviométries annuelles inférieures à 3 000 mm, le caractère andique du sol s'estompe progressivement et on passe des Andosols aux Sols Brun Andiques puis aux Sols Brun-Rouille à halloysite.

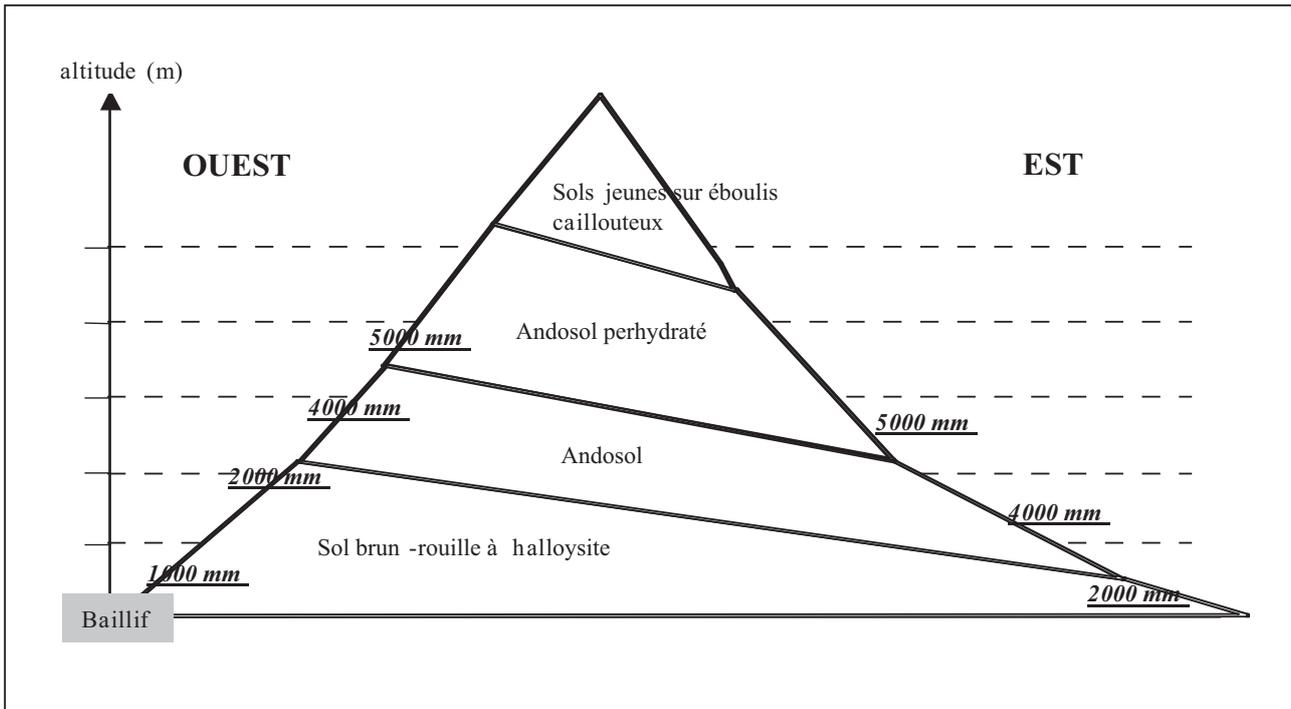
Sur ce type de climoséquence, la pluviométrie détermine la nature des minéraux secondaires. Sous les pluviométries les plus fortes, le lessivage intense de la silice et des bases conduit à la formation de minéraux non cristallins (allophanes) et de complexes humus-Al (Mizota et van Reeuwijk, 1989; Chadwick *et al.*, 2003). Lorsque la pluviométrie diminue, l'augmentation de la disponibilité de la silice et le dessèchement temporaire du sol favorisent la formation de minéraux argileux 1:1 tels que l'halloysite (Parfitt *et al.*, 1983; Dahlgren *et al.*, 2004).

### Mode de conduite des bananeraies

En Guadeloupe, le mode de conduite des bananeraies traduit généralement les contraintes du milieu. Les bananeraies du versant Ouest de la Basse-terre sont situées sur des terres souvent très pentues et à forte pierrosité. Un mode de conduite traditionnelle avec un faible niveau d'intensification de la culture (absence de mécanisation, replantations très peu fréquentes) domine dans cette zone de production. Les applications de pesticides sont rares, le parasi-

**Figure 1** - Distribution des sols et de la pluviométrie dans le sud de la Basse-Terre. D'après Colmet-Daage (1969) et Chaperon *et al.* (1985). Les chiffres soulignés correspondent à la pluviométrie moyenne annuelle

**Figure 1** - Soil and rainfall distribution in the southern part of the island Basse-Terre. Adapted from Colmet-Daage (1969) and Chaperon *et al.* (1985). Underlined numbers express Mean Annual Rainfall



tisme se maintenant à des niveaux modérés sans recours à la lutte chimique. Sur le versant Est, les bananeraies sont situées en majeure partie sur une zone de piémont où les terres, en pente douce et présentant une pierrosité faible, sont favorables à la mécanisation. Le mode de conduite des bananeraies est basé sur des replantations périodiques visant à homogénéiser le peuplement végétal. Ces replantations sont effectuées après une destruction de l'ancienne bananeraie à l'aide d'engins lourds et un décompactage profond du sol (Dorel, 2001). On observe également des bananeraies dans la partie supérieure du versant Est (altitude supérieure à 300 m), où les pentes étant nettement plus fortes, la bananeraie pérenne non mécanisée redevient le mode de conduite dominant. On observe entre les 2 modes de conduite extrêmes (bananeraie mécanisée et replantées régulièrement / bananeraie pérenne non mécanisée) des modes de conduite intermédiaires où le recours à la mécanisation et les replantations ne sont pas systématiques.

## Dispositifs expérimentaux

- Une enquête agronomique a tout d'abord été entreprise en 2003 afin d'évaluer l'effet du mode de conduite de la bananeraie sur la fertilité des sols. Cette enquête a été conduite sur un échantillon A de 50 parcelles couvrant la gamme de variation en altitude et la diversité des modes de conduite des bananeraies en monoculture sur

Andosols dans le Sud de la Basse Terre. Nous ne présenterons ici que les résultats concernant les teneurs en matière organique du sol.

- Une étude plus précise du statut organique du sol a ensuite été réalisée sur douze parcelles représentatives de 3 modes de conduite types identifiés au cours de l'enquête précédente :

- mode de conduite BM : bananeraie intensive mécanisée replantée tous les 5 ans recevant des apports mensuels d'engrais et des applications régulières de pesticides (2 à 3 applications de nématicides- insecticides et 4 à 6 applications d'herbicides par an).

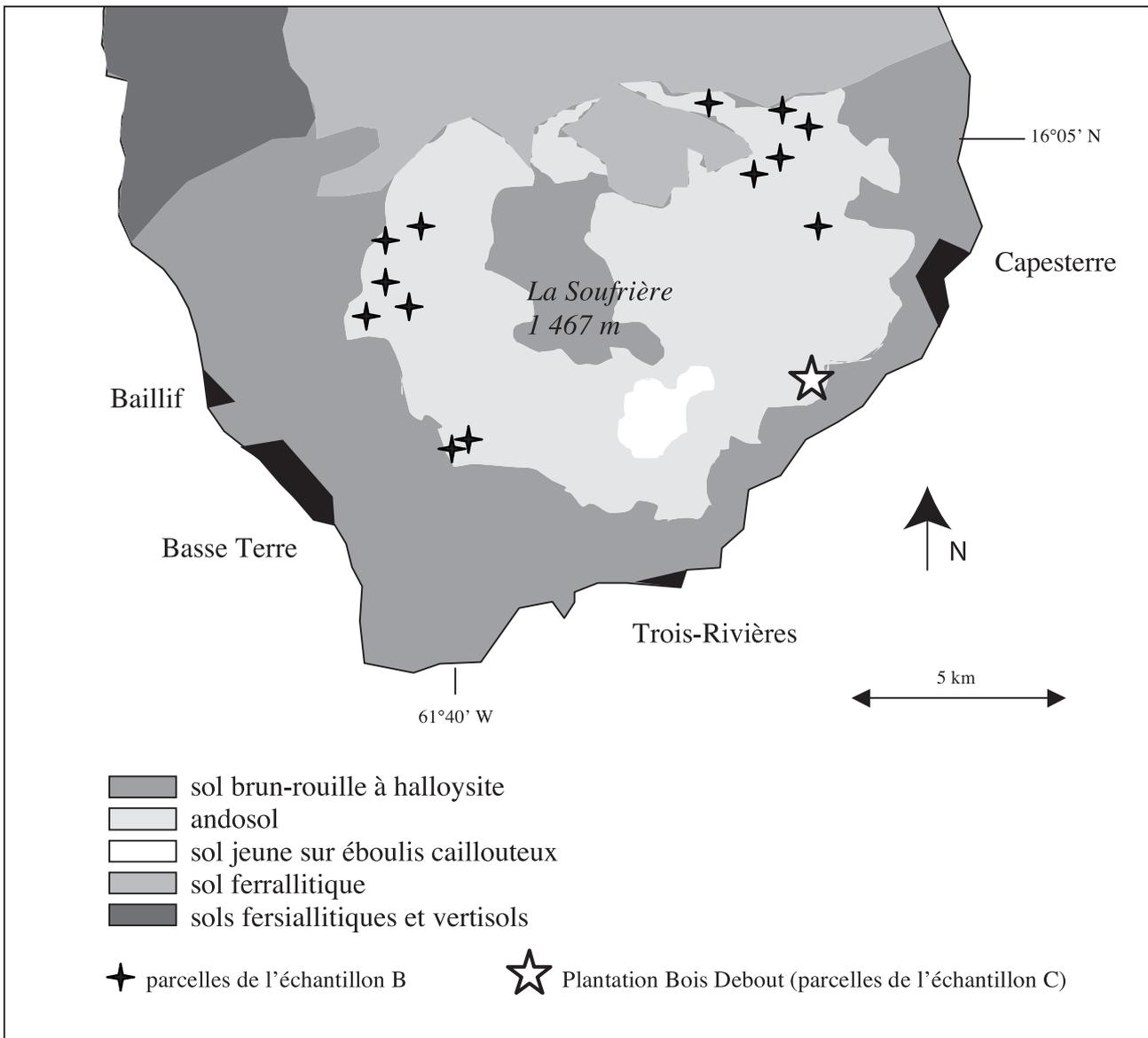
- mode conduite BP : bananeraie pérenne non mécanisée (en place depuis plus de 15 ans) conduite avec un minimum d'intrants chimiques (3 à 5 applications d'engrais et 2 à 3 applications d'herbicides par an).

- mode de conduite BI : mode de conduite intermédiaire dérivé de BM. Les replantations et le travail du sol ne sont pas effectués régulièrement et les applications d'engrais et pesticides ne sont pas systématiques.

Pour chaque mode de conduite 4 parcelles ont été sélectionnées sur des Andosols du sud de la Basse-Terre (*figure 2*) s'éta-geant entre 400 et 700 m sur le versant Ouest et entre 150 et 450 m sur le versant Est. Cette répartition altitudinale correspond

**Figure 2** - Localisation des parcelles étudiées sur une carte simplifiée des sols du Sud de la Basse-Terre (d'après Colmet-Daage, 1969)

**Figure 2** - Location of the experimental plots on a simplified soil map of the southern part of the island Basse-terre (Colmet-Daage, 1969)



sur les 2 versants à une pluviométrie annuelle moyenne comprise entre 3000 et 5000 mm.

Ces douze parcelles ont constitué l'échantillon B.

- L'effet de l'introduction de la canne à sucre dans les systèmes de culture bananiers est étudié sur un échantillon C de parcelles situées sur une exploitation du versant Est de la Basse Terre (Plantation Bois Debout) à une altitude comprise entre 100 et 160 m (figure 2). Sur cette exploitation, le système de monoculture bananière mécanisée avec replantations tous les 5 ans (système BM) est

abandonné progressivement au profit de rotation banane / canne à sucre. L'échantillon C comprend 12 parcelles représentatives des différents états de ces deux systèmes de culture (tableau 1).

### Pluviométrie

La pluviométrie augmente régulièrement avec l'altitude sur les deux versants de la Basse-Terre (figure 1). La relation altitude / pluviométrie est cependant différente entre le versant Est, exposé directement aux alizés, et le versant Ouest soumis à un effet de foehn

**Tableau 1** - Caractéristiques des parcelles de l'échantillon C**Table 1** - Characteristics of the plots of the C sample

Culture en cours	Historique cultural	Nombre de parcelles
Banane (2 <sup>e</sup> cycle de culture)	Plantation après 3 années de culture de canne à sucre succédant à 30 ans de monoculture bananière	2
Banane (2 <sup>e</sup> cycle de culture)	Monoculture bananière depuis plus de 30 ans	4
Canne à sucre (2 <sup>e</sup> cycle de culture)	Plantation après plus de 30 années de monoculture bananière.	6

Une pluviométrie moyenne annuelle a été calculée pour chaque parcelle étudiée à partir de son altitude en utilisant un gradient d'augmentation de la pluviométrie avec l'altitude, déterminé, pour chaque versant de la Basse-Terre, à partir les données fournies par les différents pluviomètres présents dans le Sud de la Basse-terre (Chaperon *et al.*, 1985).

## Mesures

### Parcelles des échantillons A

Sur un échantillon composite constitué à partir de 30 carottes de terre prélevées à la tarière dans l'horizon 0-20 cm, la teneur en carbone et en azote organique est déterminée par combustion sèche.

### Parcelles de l'échantillon B

Mesure de la teneur en eau à un potentiel hydrique de -1500 kPa

Cette mesure peut être utilisée comme un indicateur de la teneur en allophane (Dorel, 2001) et de l'intensité du caractère andique du sol (Shoji *et al.*, 1996; Colmet-Daage et Lagache, 1965). La mesure de la teneur en eau est effectuée sur dix mottes prélevées dans l'horizon 0-20 cm après fixation du potentiel hydrique grâce à une presse à plaque de céramique poreuse (Richards, 1941).

### Parcelles des échantillons B et C

Sur un échantillon composite constitué de 30 carottes prélevées à la tarière dans l'horizon 0-20 cm en juin 2004 :

- mesure de la teneur en carbone et en azote organique des fractions granulométriques 2 mm-200 microns, 200-50 microns, 50-0 microns obtenues par tamisage après agitation dans l'eau en présence de billes de verre et traitement à l'hexamétaphosphate de sodium (Feller et Beare, 1997) ;
- mesure la biomasse microbienne déterminée après fumigation au chloroforme par dosage colorimétrique de l' $N-\alpha$  aminé extrait au KCl molaire (Amato et Ladd, 1988). Le carbone de la biomasse microbienne est évalué à partir de la quantité d' $N$  alpha-aminé (C microbien =  $N$  alpha-aminé x 21) ;
- mesure de la quantité d'azote minéralisé après 7 jours d'incu-

bation du sol en condition d'anaérobie à 40 °C (méthode Waring-Bremner, 1964).

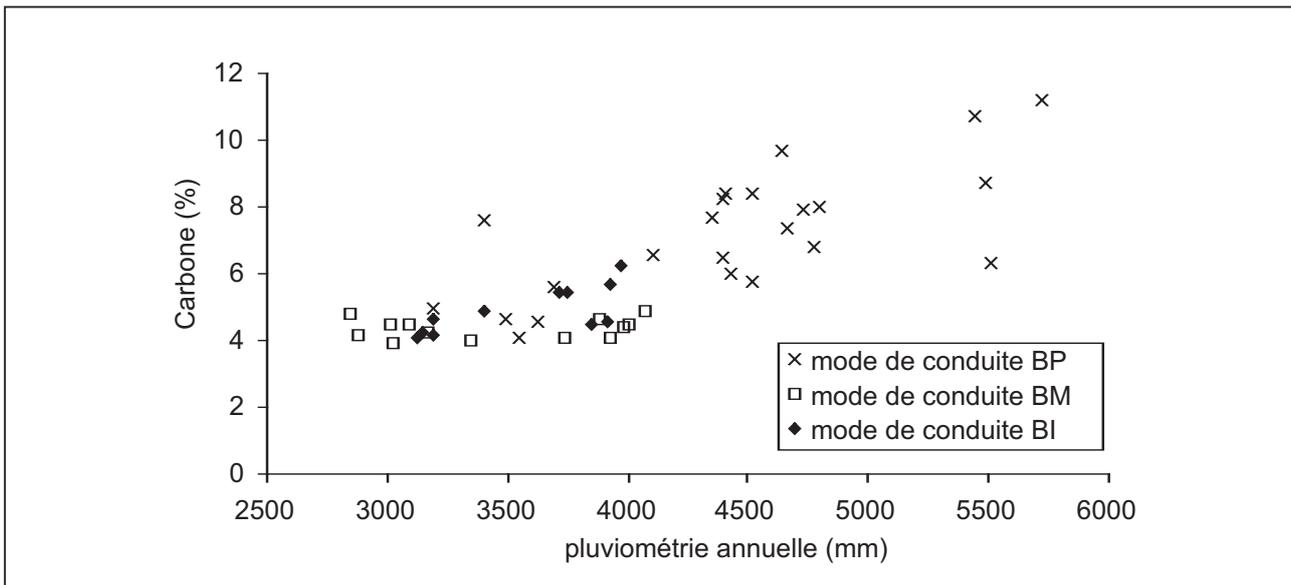
## RÉSULTATS

### Variations des teneurs en carbone organique des Andosols sous bananeraie

Les variations de la teneur en carbone en fonction de la pluviométrie moyenne annuelle des parcelles de l'échantillon A sont présentées sur la *figure 3*. On observe une corrélation entre la teneur en carbone et la pluviométrie ( $r^2 = 0,64$ ;  $P < 0,01$ ) Les bananeraies pérennes (BP) présentent les teneurs en carbone les plus fortes mais constituent le mode de conduite dominant dans les zones à forte pluviométrie où les bananeraies mécanisées BM sont absentes. Si l'on restreint l'analyse à la tranche pluviométrique où les 3 modes de conduite sont représentés de manière égale (pluviométrie comprise entre 3000 et 4000 mm an<sup>-1</sup>), les teneurs en carbone les plus fortes s'observent pour des bananeraies de type BP et BI mais on relève des teneurs en carbone faibles pour les 3 modes de conduite.

Les *figures 4 a et b* présentent les variations de la teneur en carbone en fonction de la pluviométrie annuelle et de la teneur en eau à -1500 kPa pour les 12 parcelles de l'échantillon B. La teneur en carbone du sol apparaît comme précédemment étroitement liée à la pluviométrie ( $r^2 = 0,77$ ;  $P < 0,01$ ). Elle est également bien corrélée à la teneur en eau à -1500 kPa ( $r^2 = 0,80$ ;  $P < 0,01$ ) qui est une mesure de l'hydratation du matériau nous permettant d'évaluer l'intensité du caractère andique. Sur cet échantillon B, les teneurs en carbone les plus fortes s'observent de nouveau sur des parcelles de type BP ou BI qui se caractérisent également par des pluviométries et des teneurs en eau à -1500 kPa les plus fortes. Dans la tranche pluviométrique et de teneur en eau où les 3 modes de conduite sont représentés (pluviométrie 3000 à 4000 mm an<sup>-1</sup>; teneur en eau 0,25 à 0,4 g g<sup>-1</sup>), même si les bananeraies de type BM tendent à présenter des teneurs en carbone plus faibles, il est difficile de dégager un effet net du mode de conduite de la bananeraie.

**Figure 3** - Variations des teneurs en carbone du sol des parcelles de l'échantillon A en fonction de la pluviométrie (couche 0-20 cm)  
**Figure 3** - Soil carbon content (0-20cm layer) as a function of mean annual rainfall for the plots of the A sample



### Variations des quantités d'azote minéralisable des Andosols sous bananeraie - Relations avec les différents compartiments de la matière organique du sol

On observe au *tableau 2* les quantités d'azote minéralisable dans les parcelles de l'échantillon B pour les différents modes de conduite de la bananeraie. Celles-ci diminuent nettement lorsque l'on passe des bananeraies mécanisées BP aux bananeraies BI puis aux bananeraies pérennes BM (BP > BI > BM).

Les corrélations entre l'azote minéralisable et différentes variables caractérisant les différents compartiments de la matière organique du sol sont présentées au *tableau 3*.

Il n'existe aucune corrélation entre l'azote minéralisable et le carbone organique total du sol. Les corrélations avec le carbone organique contenu dans les différentes fractions granulométriques du sol augmentent lorsque l'on passe des fractions grossières aux fractions moyennes puis aux fractions fines. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par Feller (1994) montrant que, sur des sols tropicaux riches en minéraux secondaires fins, la matière organique associée aux fractions granulométriques fines constitue la principale source d'azote minéralisable.

La variable la plus fortement corrélée à l'azote minéralisable est le carbone microbien ( $r^2 = 0,80$ ).

Chaussod et Houot (1993) ont également montré que, pour un type de sol donné, la quantité d'azote minéralisable était proportionnel à la taille de la biomasse microbienne.

La relation entre ces deux variables est présentée à la *figure 5*.

**Tableau 2** - Azote minéralisable des parcelles de l'échantillon B (mg d'azote kg<sup>-1</sup> de sol)

**Table 2** - Mineralisable nitrogen of the 0-20 cm layer for the plots of the B sample

	BP	BI	BM
	n = 4	n = 4	n = 4
Moyenne	8,25	4,46	2,45
Mini	6,52	3,43	1,90
Maxi	9,78	6,63	3,18

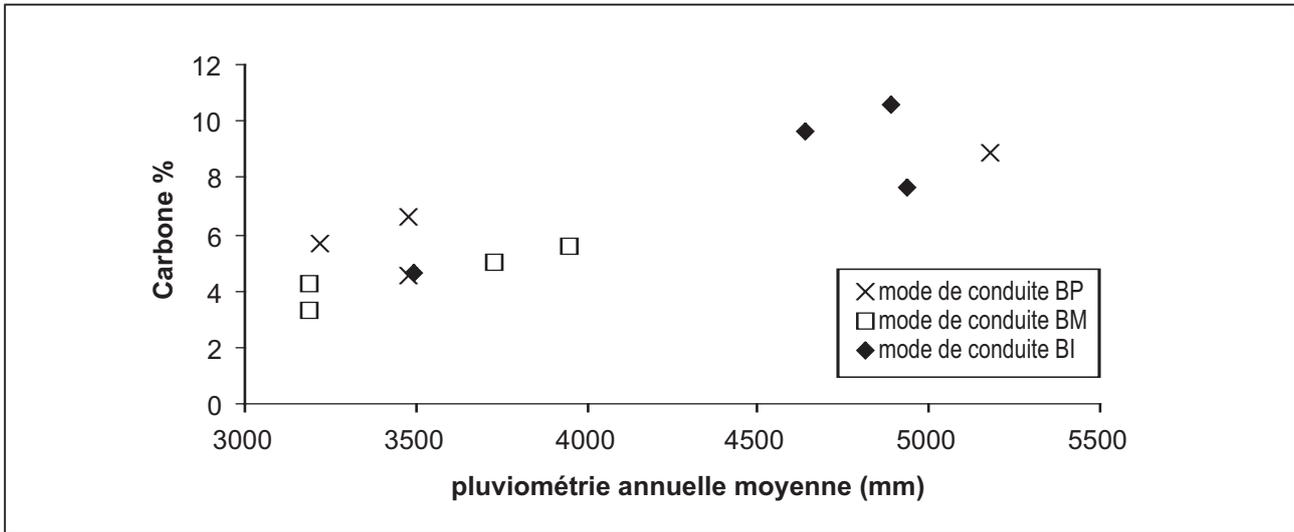
**Tableau 3** - Corrélations entre l'azote minéralisable et le carbone organique de différents compartiments du sol des parcelles de l'échantillon B)

**Table 3** - Correlations between the mineralisable nitrogen and the carbon content of the different soil pools for the plots of the B sample

n = 12	r <sup>2</sup>	P
Carbone total	0,006	0,81
Carbone de la fraction grossière (2mm-200 μm)	0,30	0,06
Carbone de la fraction moyenne (200-50 μm)	0,43	0,02
Carbone de la fraction fine (50-0 μm)	0,53	< 0,01
Carbone de la biomasse microbienne	0,80	< 0,01

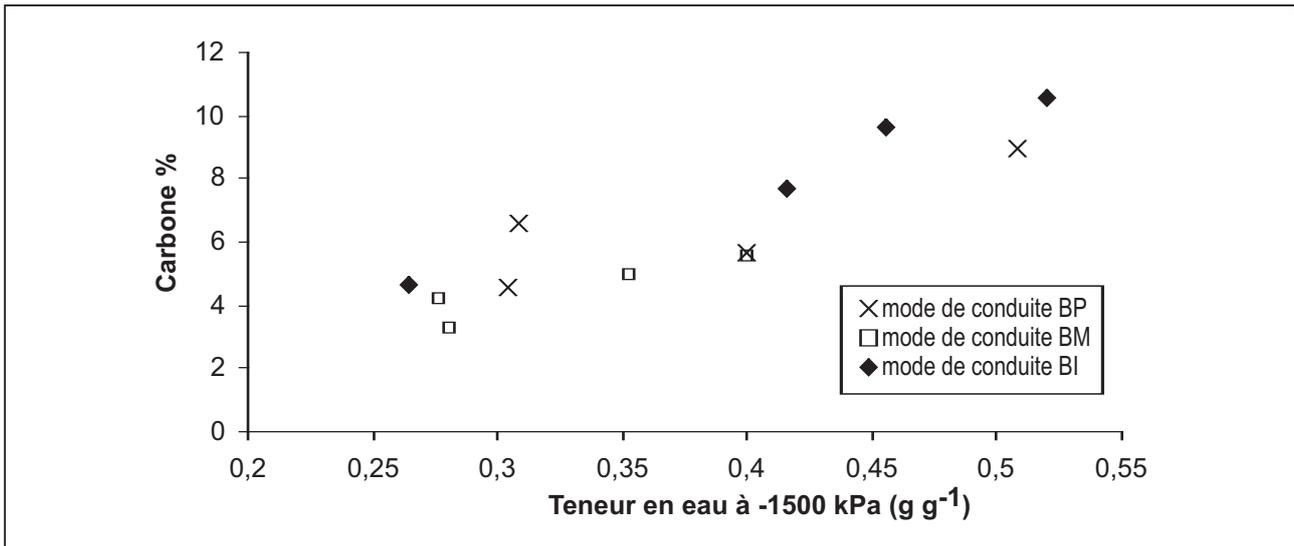
**Figure 4a** - Variation des teneurs en carbone du sol en fonction de la pluviométrie des parcelles de l'échantillon B (couche 0-20 cm)

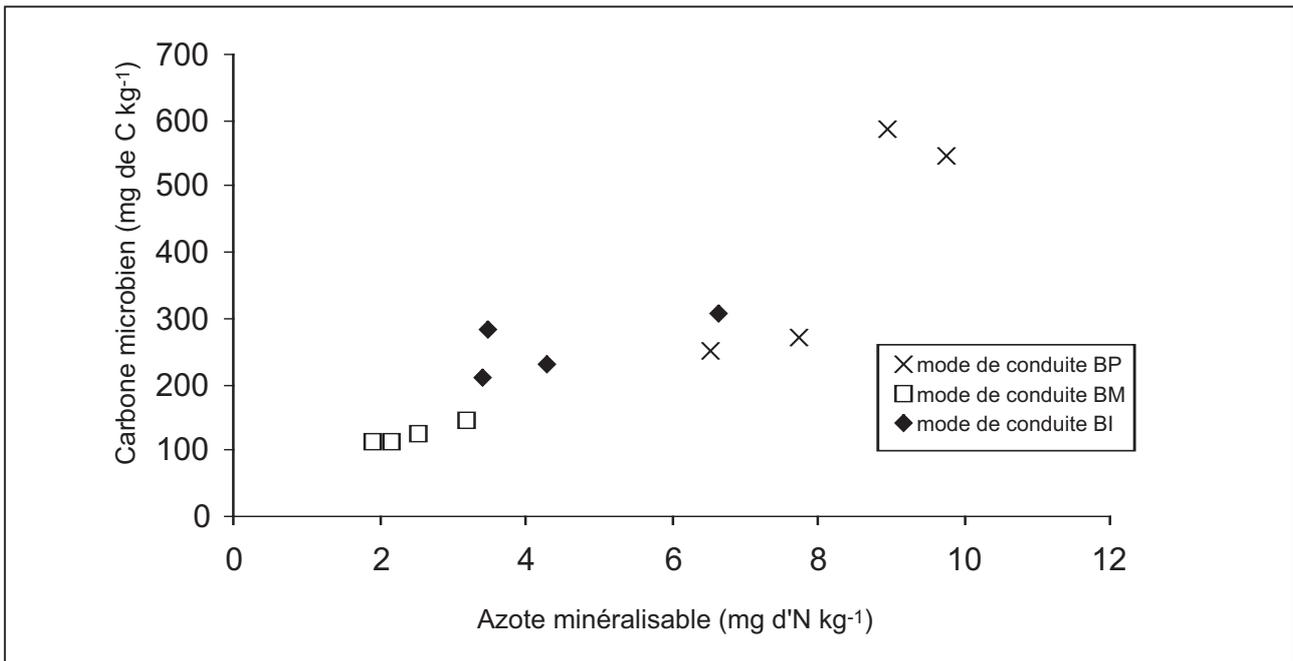
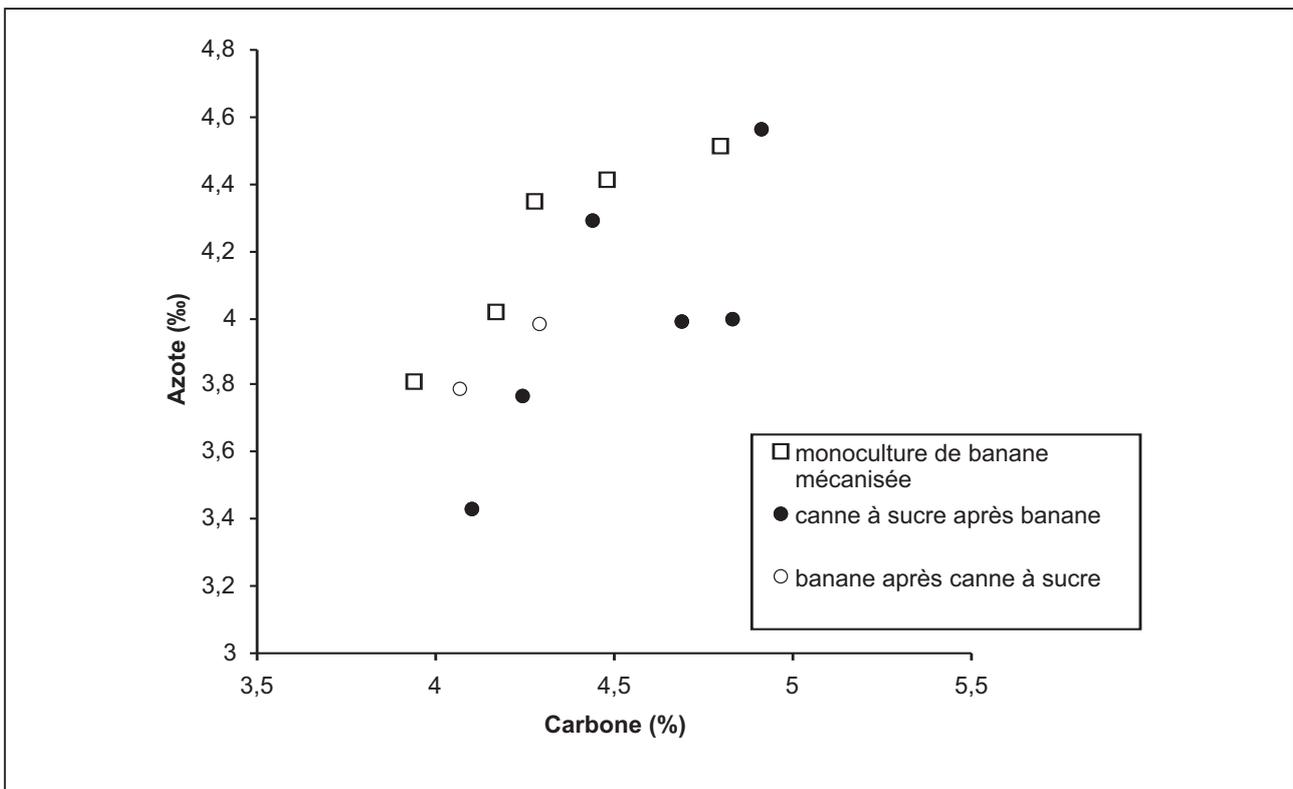
**Figure 4a** - Soil carbon content (0-20 cm layer) as a function of mean annual rainfall for the plots of the B sample



**Figure 4b** - Variation des teneurs en carbone du sol en fonction de la teneur en eau à -1500 kPa des parcelles de l'échantillon B (couche 0-20 cm)

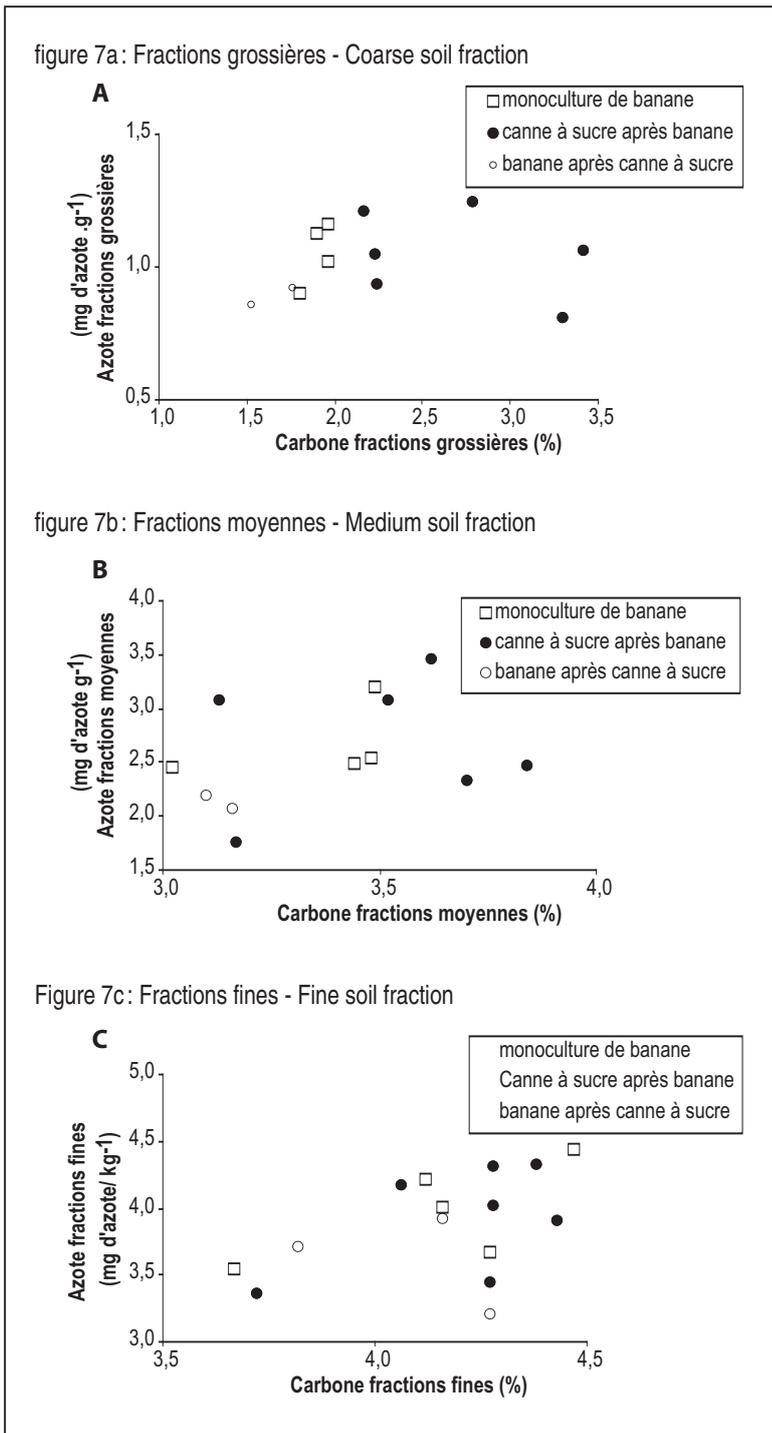
**Figure 4b** - Soil carbon content (0-20 cm layer) as a function of soil water content at -1500 kPa for the plots of the B sample



**Figure 5** - Azote minéralisable et biomasse microbienne du sol des parcelles de l'échantillon B (couche 0-20 cm)**Figure 5** - Soil mineralisable nitrogen as a function of soil microbial biomass for the plots of the B sample.**Figure 6** - Carbone et azote total du sol des parcelles de l'échantillon C**Figure 6** - Total soil carbon and soil nitrogen content for the plots of the C sample

**Figure 7** - Teneurs en carbone et azote minéralisable des sols des parcelles de l'échantillon C

**Figure 7** - Carbon and nitrogen contents for the plots of the C sample



Les plus fortes quantités d'azote minéralisable mesurées dans les sols des bananeraies de type BP et BI s'accompagnent de quantités de carbone microbien également plus élevées.

### Effet de l'introduction de la canne à sucre dans les systèmes de culture bananiers sur le statut organique et la quantité d'azote minéralisable du sol

- Les teneurs en carbone et en azote total de l'horizon 0-20 cm des parcelles de l'échantillon C ne varient pas de manière nette avec le système de culture (figure 6). En revanche, pour une teneur en azote donnée, les parcelles en canne à sucre présente une teneur en carbone et donc un rapport C/N significativement plus élevé que les parcelles en culture bananière (Test de Fisher,  $Pr > F = 0,01$ ).

- La proportion moyenne des différentes fractions granulométriques dans la couche 0-20 cm est présentée pour chaque système de culture de l'échantillon C. (tableau 4)

On n'observe pas d'effet du système de culture sur la proportion des différentes fractions granulométriques.

Les teneurs en carbone et en azote total des différentes fractions granulométriques du sol des parcelles de l'échantillon C sont présentées sur les figures 7 a, b, c.

L'effet des systèmes de culture sur le carbone et l'azote des fractions fines et moyennes n'apparaît pas clairement.

Les fractions grossières du sol des parcelles en canne à sucre se distinguent par contre nettement avec des teneurs en carbone plus élevées que celles des parcelles en monoculture de banane ou sous culture de banane après canne à sucre. Les teneurs en azote étant équivalentes dans les différents systèmes de culture, le sol des parcelles en canne à sucre présente un rapport C/N dans la fraction grossière significativement plus élevé (Test de Fisher,  $Pr > F = 0,01$ ).

- La biomasse microbienne et l'azote minéralisable de l'horizon 0-20 cm de chacune des parcelles étudiées sont présentées sur la figure 8. Les parcelles en canne à sucre présentent des biomasses microbiennes supérieures à celles des parcelles de banane, que celles-ci soient en monoculture ou plantées après une culture de canne à

**Tableau 4** - Proportion moyenne des différentes fractions granulométriques dans la couche 0-20 cm pour chaque système de culture de l'échantillon C.**Table 4** - Mean particle-size distribution in the 0-20 cm layer for the different cropping system of the C sample.

	Fraction grossière (2 mm-200 µm) %	Fraction moyenne (200 µm-50 µm) %	Fraction fine < 50 µm %
Monoculture banane	5 0,4*	21 3,8*	72 3,5*
Canne à sucre après banane	5 0,5*	17 4*	76 3,9*
Banane après canne à sucre	5 1,1*	18 0,4*	75 1,4*

\* écart-type

sucre (Test de Fisher,  $Pr > F = 0,001$ ). Par contre, bien que l'on observe encore une fois une bonne corrélation entre la biomasse microbienne et l'azote minéralisable, les quantités d'azote minéralisable des parcelles en canne à sucre ne sont pas significativement supérieures à celles des parcelles sous culture bananière.

## DISCUSSION

L'augmentation des teneurs en carbone dans les sols d'altitude soumis à une forte pluviométrie peut s'expliquer par un ralentissement de la minéralisation de la matière organique (températures plus fraîches, pluviométrie plus forte maintenant les sols à une humidité proche de la saturation). Elle est également liée au fait que les fortes pluviométries génèrent des conditions propices à la formation de minéraux secondaires non cristallins (allophanes) et de complexes humus-Al qui favorisent la conservation de la matière organique en la protégeant de la dégradation par les micro-organismes (Powers et Schlesinger, 2002; Mikuta *et al.*, 2005; Sollins *et al.*, 1996).

Des travaux précédents réalisés sur les Andosols de Guadeloupe ont montré un effet négatif du travail du sol sur la teneur en matière organique des sols de bananeraies :

- A partir d'une approche de type enquête, Clermont-Dauphin *et al.* (2004) ont observé une diminution du stock de carbone sous l'effet du travail du sol.

- En conditions expérimentales, Dorel (1993) a montré qu'un labour profond à la charrue à soc provoquait une dilution de la matière organique dans la couche travaillée induisant une diminution de la teneur en carbone des horizons de surface.

La mise en évidence d'un tel effet est cependant, à partir de nos résultats, plus délicate. Les raisons en sont les suivantes :

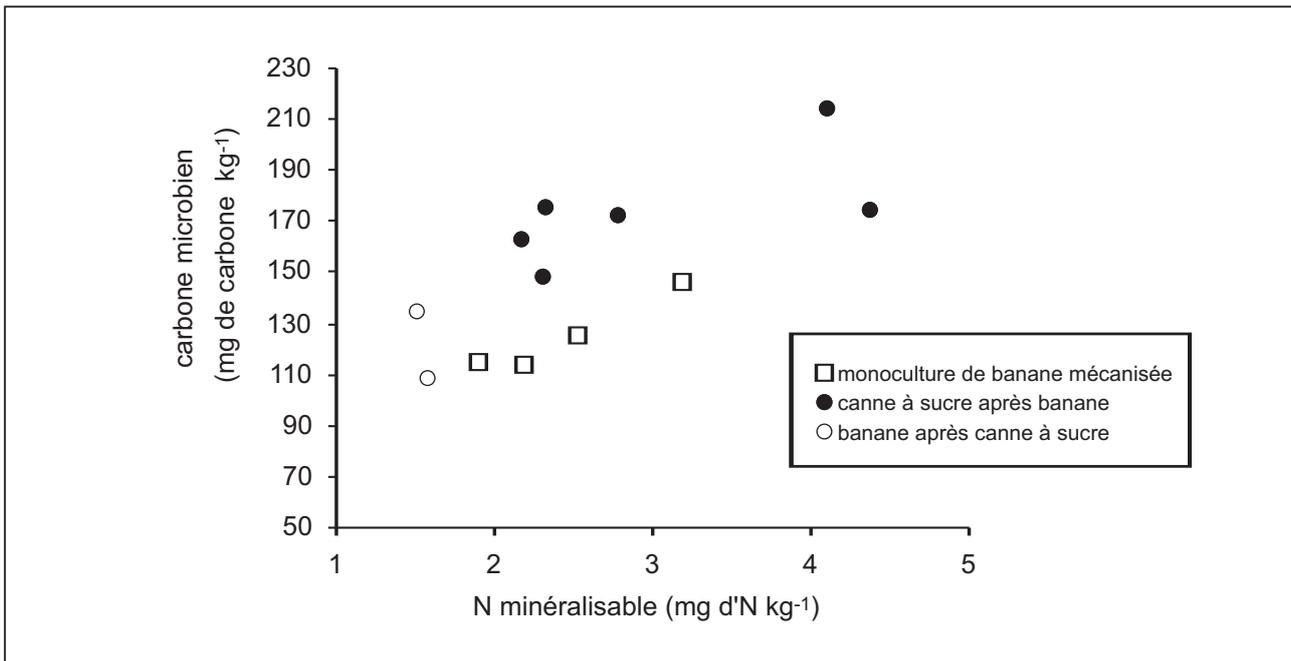
- Les bananeraies pérennes étant situées dans des zones montagneuses et les bananeraies mécanisées dans des zones de plaine, il est difficile de séparer l'effet des conditions climatiques et édaphiques de celui des pratiques culturales.

- Lors de la replantation des bananeraies, l'enfouissement de la matière organique est effectué à l'aide d'un pulvérisateur à disques qui opère sur une profondeur limitée (15-20 cm). Un décompactage du sol est ensuite effectué plus profondément (60 cm) mais avec un outil à dents (sous-soleuse) qui ne provoque pas de mélange des différents horizons du profil cultural (Dorel, 1993). Ce type de préparation des sols n'entraîne donc pas de dilution de la matière organique contenue dans la couche 0-20 cm.

- L'augmentation de l'accessibilité de la matière organique aux micro-organismes liée à la fragmentation des agrégats par le travail du sol entraîne une minéralisation plus rapide qui est présentée comme un des principaux facteurs expliquant la diminution du stock en matière organique des sols travaillés (Sollins *et al.*, 1996). Dans notre cas, la fragmentation des agrégats élémentaires par le travail du sol est certainement limitée en raison de la très forte stabilité structurale des Andosols (Dahlgren *et al.*, 2004), d'où un effet peu marqué du travail du sol sur la teneur en matière organique du sol.

La quantité d'azote minéralisable, qui conditionne l'aptitude du sol à produire avec une fertilisation azotée minimale, n'apparaît pas liée à la teneur en matière organique du sol. Ceci pourrait être lié à une augmentation simultanée, sur la climoséquence étudiée, de la teneur en minéraux non cristallins et de la teneur en matière organique. L'allophane et l'aluminium amorphe ont en effet un rôle inhibiteur sur la minéralisation du carbone et de l'azote organique (Boudot *et al.*, 1988; Saggar *et al.*, 1994) qui expliquerait que la quantité d'azote minéralisable ne soit pas proportionnelle à la teneur en matière organique du sol.

La quantité d'azote minéralisable est par contre fortement corrélée à la biomasse microbienne (*figure 8*) qui ne représente qu'une fraction faible (1 à 5 %) de la matière organique du sol (Sparling, 1997). La quantité d'azote minéralisable et la biomasse microbienne sont plus importantes dans les sols des bananeraies pérennes non mécanisées recevant de faibles quantités d'engrais et de pesticides. D'après Chaussod *et al.*, (1992), la biomasse microbienne est un compartiment de la matière organique du sol actif, à renou-

**Figure 8** - Azote minéralisable et biomasse microbienne du sol des parcelles de l'échantillon C**Figure 8** - Soil mineralisable nitrogen as a function of soil microbial biomass for the plots of the C sample**Tableau 5** - Composition des résidus de culture de banane et de canne à sucre)**Table 5** - Contents of banana and sugar cane crop residues

Résidus de culture	Banane*	Canne à sucre**
Matière sèche (t ha <sup>-1</sup> )	11	19
N (kg ha <sup>-1</sup> )	140	91

\* d'après Khamsouk (2001)

\*\* d'après Pouzet et al., (2002)

vement rapide, particulièrement sensible à l'effet des pratiques culturales. Dans les situations étudiées ici, il est difficile d'identifier précisément les pratiques à l'origine de cette meilleure activité biologique du sol. Il semble cependant que, dans le cas des bananeraies pérennes, l'absence de travail du sol et le maintien d'une litière permanente de résidus végétaux à la surface du sol soient des pratiques plus favorables à l'activité biologique du sol (Carter, 1991 ; Angers et al, 1993) que les travaux du sol effectués lors des replantations dans les bananeraies mécanisées. Lors des replantations, l'ancienne bananeraie est détruite par des passages répétés, souvent en conditions très humides, de pulvérisateurs à disques lourds qui créent, à faible profondeur, des zones compactes à conductivité hydraulique réduite (Dorel, 2001).

L'introduction de la canne à sucre dans les systèmes de cultu-

re bananiers ne semble pas augmenter la teneur en carbone organique de la couche 0-20 cm. Cette culture augmente par contre le rapport C/N de la matière organique du sol, la teneur en carbone des fractions granulométriques grossières et la biomasse microbienne. Elle ne provoque pas d'augmentation de la quantité d'azote minéralisable. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que les résidus de culture de canne à sucre apportent plus de matière sèche mais moins d'azote que les résidus de culture de banane (tableau 5).

La biomasse microbienne et la matière organique de la fraction granulométrique grossière constituent deux compartiments susceptibles de traduire, à court terme, les variations quantitatives ou qualitatives des restitutions organiques. Les résidus de culture enrichissent en effet rapidement, sous forme de débris végétaux, la fraction grossière (Feller, 1994). Ils influent simultanément sur la taille de la biomasse microbienne en augmentant la source de substrat carboné disponible (Chaussod, 1996). Lorsque les parcelles de canne à sucre retournent à la culture bananière, ces deux compartiments retrouvent un niveau voisin de celui observé sur les parcelles en monoculture bananière.

## CONCLUSIONS

Nos résultats montrent que la teneur en matière organique des Andosols sous bananeraie est fortement liée à la pluviométrie. Sur la climoséquence étudiée, la pluviométrie détermine également l'intensité du caractère andique du sol (teneur en minéraux secondaires

non cristallins). Dans ces conditions, l'évaluation de l'effet du mode de conduite de la culture sur la teneur en matière organique est délicate et doit être faite en tenant compte de la forte variabilité sur de courtes distances des conditions climatiques et édaphiques.

La quantité d'azote minéralisable n'est pas liée à la teneur en carbone du sol mais à la taille de la biomasse microbienne. Elle varie fortement en fonction du mode de conduite des bananeraies, le sol des bananeraies pérennes non mécanisées et peu intensifiées présentant des biomasses microbiennes et des quantités d'azote minéralisable les plus fortes.

Dans les sols de bananeraie étudiés, la biomasse microbienne constitue un compartiment de la matière organique du sol, sensible à l'effet des pratiques culturales, jouant un rôle déterminant au niveau de la minéralisation de l'azote organique du sol.

L'introduction de la canne à sucre dans les systèmes de culture bananiers s'accompagne d'une augmentation de la quantité de carbone restitué et d'un accroissement de la taille de la biomasse microbienne du sol. Les quantités d'azote restituées par la canne à sucre étant plus faibles que celles restituées par le bananier, l'augmentation de la taille de la biomasse microbienne ne s'accompagne pas d'une augmentation de la quantité d'azote minéralisable. Les modifications du statut organique du sol liées à la culture de la canne à sucre sont cependant de courte durée car le sol retrouve ses caractéristiques initiales lorsqu'il est de nouveau cultivé en banane.

## BIBLIOGRAPHIE

- Amato M., Ladd J.N., 1988 - Essay for microbial biomass based on ninhydrin-reactive nitrogen in extracts of fumigated soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 20, pp. 107-114.
- Angers D.A., N'Dayegamiye, Cote D. 1993 - Tillage induced differences in organic matter of particle-size fractions and microbial biomass. *Soil Science Society American Journal*. 57, pp. 512-516.
- Bonan H., Prime J.L., 2001 - Rapport sur la présence de pesticides dans les eaux de consommation humaine en Guadeloupe. Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement, Ministère de l'emploi et de la solidarité, rapport n° 2001-070, 77 pages.
- Boudot J.P., Bel Hadj Brahim A., Chone T. 1988 - Dependence of carbon and nitrogen mineralization rates upon amorphous metallic constituents and allophanes in highlands soils. *Geoderma*, 42, 3-4, pp. 245-260.
- Cabidoche Y.-M., Dorel M., Paillet J.-M., Robin P., 2001 - Inventaire des données scientifiques et techniques disponibles dans les DOM INSULAIRES, relatives à la fertilisation azotée des cultures, à leur conduite, au fonctionnement des aquifères et aux phénomènes de transfert d'azote dans le milieu et à leur incidence. Expertise demandée par le Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, Direction de l'Eau, APC INRA Antilles-Guyane, 68 pages.
- Carter M.R. 1991. The influence of tillage on the proportion of organic carbon and nitrogen in the microbial biomass of medium-textured soils in a humid climate. *Biol. Fertil. Soils*, 11, pp.135-139.
- Chadwick O.A., Gavenda R.T., Kelly E.F., Ziegler K., Olson C., Elliott W.C., Hendricks D.M., 2003 - The impact of climate on the biogeochemical functioning of volcanic soils. *Chemical Geology*, 202, pp. 195-223.
- Chaperon P., L'hotte Y., Vuillaume G., 1985 - Les ressources en eau de surface de la Guadeloupe. Monographies hydrologiques de l'Orstom, n°7. 834 p.
- Chaussod R., Zuvia M., Breuil M.C., Hétier J.M., 1992 - Biomasse microbienne et statut organique des sols tropicaux : exemple d'un sol vénézuélien des Llanos sous différents systèmes de culture. *Cahier de l'Orstom, série Pédologie*, 27, 1, pp. 59-67
- Chaussod R., Houot S., 1993 - La biomasse microbienne des sols : perspectives d'utilisation de cette mesure pour l'estimation de la fourniture d'azote par les sols. *In: Matières organiques et agriculture*; J.Decroux et J.C. Ignazi, Eds, pp. 17-26.
- Chaussod R. 1996 - La qualité biologique du sol. Evaluations et implications. *Etude et Gestion des Sols*, 3, 4. pp. 261-277.
- Clermont-Dauphin C., Cabidoche Y.M., Meynard J.M., 2004 - Effects of intensive monocropping of bananas on properties of volcanic soils of uplands of the French West Indies. *Soil Use and Management*, 20, pp. 1-9.
- Colmet-Daage F. et Lagache P. 1965 - Caractéristiques de quelques sols dérivés de roches volcaniques aux Antilles françaises. *Cahier de l'ORSTOM, Série Pédologie*, 3, 2, pp. 91-121.
- Colmet-Daage F. 1969 - Carte des sols des Antilles. ORSTOM.
- Dahlgren R.A., Saigusa M., Ugolini F.C., 2004 - The Nature, Properties and Management of Volcanic Soils. *In Advances in Agronomy*. Sparks Ed., pp. 113-182.
- Dorel M., 1993 - Travail du sol en bananeraie : cas des Andosols. *Fruits*, 48, 2, pp. 77-82.
- Dorel M., 2001 - Effet des pratiques culturales sur les propriétés physiques des sols volcaniques de Guadeloupe et influence sur l'enracinement du bananier. Thèse Université Catholique de Louvain, 129 pages.
- Feller C., 1994 - La matière organique dans les sols tropicaux à argile 1 : 1 : Recherche de compartiments organiques fonctionnels. Une approche granulométrique. Thèse ULP Strasbourg. ORSTOM Editions, Série TDM, 393 pages.
- Feller C. and Beare M.H., 1997 - Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. *Geoderma* 79, pp. 69-116.
- Khamsouk B., 2001 - Impact de la culture bananière sur l'environnement. Influence des systèmes de culture bananières sur l'érosion, le bilan hydrique et les pertes en nutriments sur un sol volcanique en Martinique. Thèse ENSA Montpellier, 214 pages.
- Mikuta R., Kleber M., Jahn R., 2005 - Poorly crystalline minerals protect organic carbon in clay fractions from acid subsoil horizons. *Geoderma*, 128, pp. 106-115.
- Mizota C., van Reeuwijk L.P., 1989 - Clay mineralogy and chemistry of soils formed in volcanic material in diverse climatic regions. *Soil Monograph*, volume 2, ISRIC, Wageningen, 185 pages.
- Parfitt R.L., Russel M., Orbell G.E., 1983 - Weathering sequence of soils from volcanic ash involving allophone and halloysite, New Zealand. *Geoderma* 29, pp. 41-57.
- Pouzet D., Velle A., Rassaby A., 2002 - Estimation des résidus de récolte de la canne à sucre. Bilan des études menées au cours des campagnes sucrières 2000 et 2001 sur l'île de la Réunion. *Doc. Interne Cirad-CA*, 14 pages.
- Powers J.S., Schlesinger W.H., 2002 - Relationships among soil carbon distributions and biophysical factors at nested spatial scales in rain forests of northern Costa Rica. *Geoderma*, 109, pp. 165-190.
- Quantin P. 1972 - Les Andosols. *Revue bibliographique des connaissances actuelles. Cahier de l'Orstom. Série Pédologie.*, 10, 3, pp. 273-301.
- Richards L.A., 1941 - A pressure-membrane extraction apparatus for soil solution. *Soil Science*, 51, pp. 377-386.
- Robert M., 2002 - La séquestration du carbone dans le sol pour une meilleure gestion des terres. *Rapport sur les ressources en sol du monde*, n°96. FAO 76 pages.
- Saggar S., Tate K.R., Feltham C.W., Childs C.W., Parshotam A., 1994 - Carbon

- turnover in a range of allophanic soils amended with labelled glucose. *Soil Biology and Biochemistry*, 26, 9, pp. 1263-1271.
- Shoji S., Nanzyo M., Dahlgren R.A., 1993 - Volcanic Ash Soils, Genesis, Properties and Utilization. *Development in soils science* 21. 288 pages.
- Shoji S., Nanzyo M., Dahlgren R.A., Quantin P., 1996 - Evaluation and proposed revisions of criteria for andosols in the World Reference Base for soil resources. *Soil Science*, 161, 9, pp. 604-615.
- Sollins P., Homan P. Caldwell B.A., 1996 - Stabilization and destabilization of soil organic matter: mechanisms and controls. *Geoderma* 74, pp. 65-104.
- Sparling G.P., 1997 - Soil microbial biomass, activity and nutrient cycling as indicators of soil health. *In* *Biological Indicators of Soil Health*, Ed. Pankhurst C.E, Doube B.M., Gupta V.V.S.R., pp. 97-119.
- Waring S.A, Bremner J.M., 1964 - Ammonium production in soil under waterlogged conditions as an index of nitrogen availability. *Nature*, 201, pp. 951-952.