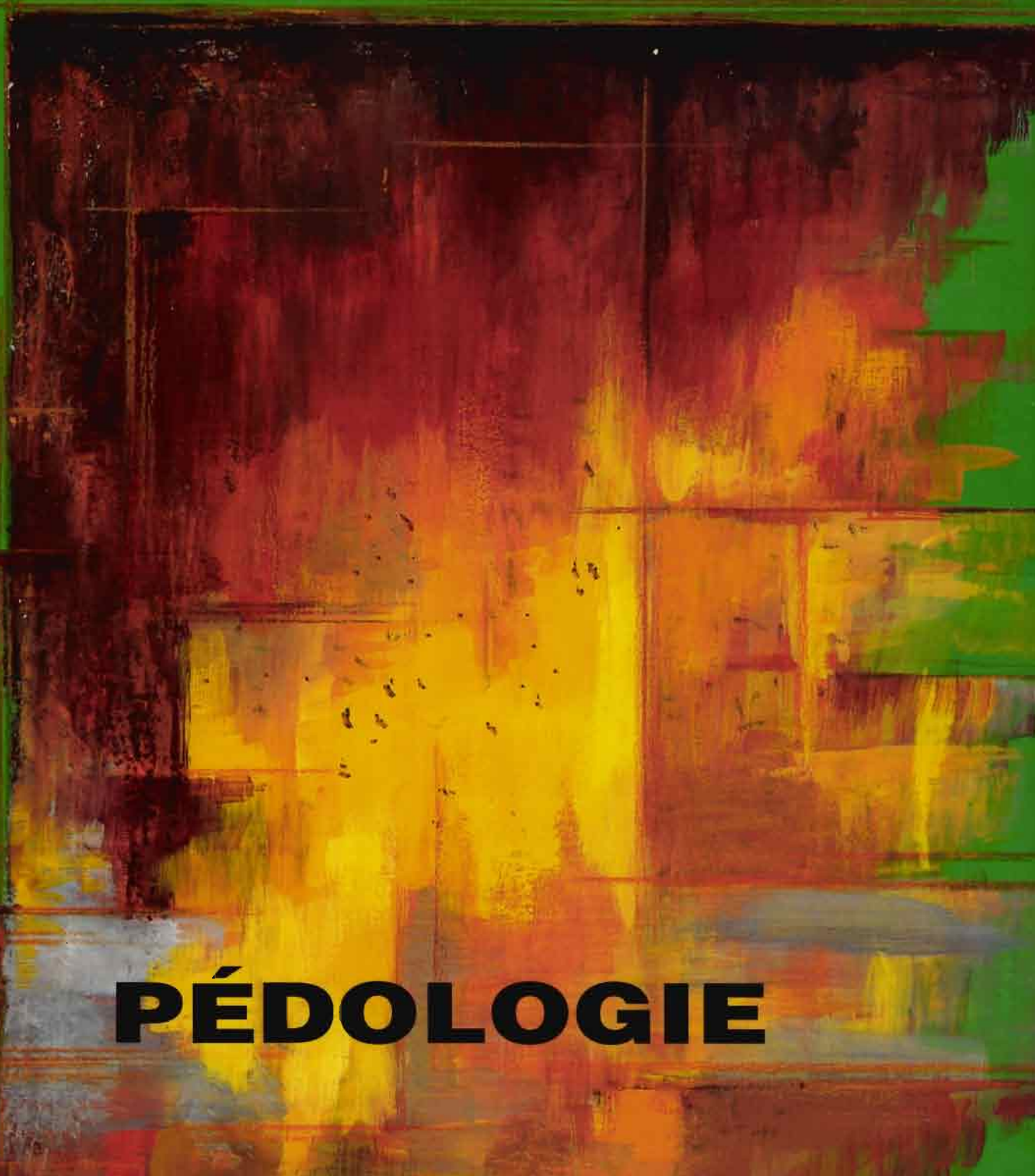


CAHIERS ORSTOM

An abstract painting featuring a grid of thin, dark lines. The background is a vibrant green, while the grid cells are filled with expressive brushstrokes in shades of yellow, orange, and red, creating a sense of depth and texture. The overall composition is dynamic and layered.

PÉDOLOGIE



Depuis 1962, les Éditions de l'Orstom publient :

dans les cahiers de Pédologie, des travaux consacrés à l'étude des sols : morphologie, caractérisations physico-chimique et minéralogique, classification, relation entre sols et géomorphologie, problèmes liés aux sels, à l'eau, à l'érosion, à la fertilité.

En dehors des articles des cahiers, les études sont publiées sous forme de documents divers, dont la liste figure au catalogue des éditions de l'Orstom.

COMITÉ SCIENTIFIQUE

G. AUBERT, membre de l'académie d'Agriculture (France)
P. AUDRY, directeur de recherches à l'Orstom
M. BECH-BORRAS, professeur à l'université de Barcelone
J. BOULAIN, professeur à l'Institut national agronomique Paris-Grignon (France)
G. CALLOT, Directeur de recherches à l'Inra
C. CHEVERRY, professeur à l'Ensa de Rennes
P. DUBREUIL, vice-président de la commission hydrologie-pédologie
P. DUCHAUFOR, directeur honoraire du centre de pédologie biologique, Vandoeuvre-les-Nancy
R. DUDAL, professeur à l'université catholique de Louvain
H. FAURE, professeur à l'université de Marseille (France)
E. FERNANDEZ-CALDAS, professeur d'édaphologie à l'université de la laguna à Ténérife, Iles Canaries (Espagne)
A. FINCK, professeur à l'université de Kiel (RFA)
M. GAVAUD, directeur de recherches à l'Orstom
M.C. GIRARD, maître de conférence
S. HENIN, membre de l'académie d'Agriculture (France)
A. HERBILLON, professeur à l'université de Nancy I
F. X. HUMBEL, directeur de recherches à l'Orstom
M. JAMAGNE, chef du service des sols et de la carte pédologique de France

J. KILIAN, chef de l'unité pédologique à l'Irat
N. LENEUF, professeur à l'université de Dijon (France)
J.C. LEPRUN, directeur de recherches à l'Orstom
A. MELFI, directeur de l'institut de géo-sciences à l'université de Sao Paulo (Brésil)
G. MILLOT, membre de l'académie des Sciences (France)
R. MOREAU, chargé de recherches à l'Orstom, responsable de l'UR 509
G. MURDOCH, Head, Soil Science and Geomorphology Section (Royaume Uni)
A. OSMAN, directeur de la division science du sol Acsad (Syrie)
M. RIEU, directeur de recherches à l'Orstom
M. ROBERT, directeur de recherches à l'Inra
A. RUELLAN, professeur de pédologie
K.F. SEDDOH, recteur de l'université de Lomé (Togo)
G. STOOPS, professeur à l'université de Gand (Belgique)
G. SYS, professeur à l'université de Gand (Belgique)
Y. TARDY, professeur à l'université L. Pasteur de Strasbourg
F. TOUTAIN, directeur de recherches au CNRS Nancy
J. TRICHET, professeur à l'université d'Orléans (France)
A. VAN WAMBEKE, professeur à l'université Cornell (USA)
B. VOLKOFF, directeur de recherches à l'Orstom, responsable de l'UR 104

Rédacteur en chef : G. PEDRO, président de la commission hydrologie-pédologie Orstom

Secrétaire de rédaction : M. MISSET, Orstom, commission scientifique pédologie (C-5.2), 213, rue La Fayette, 75480 Paris cedex 10

Tarif d'abonnement (2 numéros par volume)

Subscription price (2 issues per volume)

France : **180 F**

Étranger (surface) / *Foreign (surface)* : **225 F**

Étranger (avion) / *Foreign (air)* : **270 F**

Veillez adresser votre commande à votre librairie ou à / Please send your order to your bookseller or to**

***Orstom Éditions-Diffusion**

72, Route d'Aulnay - F - 93143 Bondy cedex

*Paiement par virement postal à l'ordre de ** (ou par chèque barré) / Please pay by giro transfer to** (or by crossed check)*

**** Régisseur d'avance et de recettes de l'Orstom Bondy**

CCP : Paris 9152-54 X

Volume XXVII

N° 1 — 1992

CAHIERS ORSTOM

série PÉDOLOGIE

**Matière organique et activités biologiques
dans les sols tropicaux**

Éditions de l'Orstom

INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE POUR LE DÉVELOPPEMENT EN COOPÉRATION

PARIS – 1994

Les numéros du vol. XXVI du Cah. Orstom, sér. Pédol. ont paru aux dates suivantes :
n° 1 en avril 1992, n° 2 en septembre 1992, n° 3 en août 1993, n° 4 en décembre 1993

Manuscrits déposés le 29 avril 1993 au Secrétariat des Éditions de l'Orstom

.....

« La loi du 11 mars n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayant cause, est illicite » (alinéa 1^{er} de l'article 40).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code Pénal ».

AVANT-PROPOS

Au moment où se crée à l'Orstom un Grand Programme sur le *Biofonctionnement des Sols Tropicaux* (GP.BST), il m'est particulièrement agréable de présenter ce numéro spécial des Cahiers Orstom de Pédologie, consacré au thème *Matière organique et activités biologiques dans les sols tropicaux*.

Même si tous les mécanismes d'action sont loin d'être parfaitement connus, l'importance du rôle joué par la matière organique et les agents biologiques (racines, faune, microflore) dans les propriétés édaphiques et les relations sol-plante n'est plus à démontrer :

- participation aux grands cycles biogéochimiques avec des conséquences sur la biodisponibilité des nutriments pour la plante ;
- rôle dans le mode d'organisation des constituants organiques et minéraux avec des implications d'hydrodynamique et d'érosion des sols.

Selon le mode de gestion du milieu par l'homme, le niveau et la nature des stocks organiques et des activités biologiques des sols peuvent varier fortement. C'est particulièrement net pour un grand nombre de sols de la zone intertropicale où la demande alimentaire accrue entraîne une intensification des défrichements et une forte diminution des durées de jachère. Des pratiques culturales non adaptées aux conditions édaphiques locales et la trop faible intégration de l'élevage dans certaines sociétés rurales provoquent bien souvent, et parfois sur les court et moyen termes, une « dégradation » des sols consécutive à de fortes baisses des stocks organiques et au bouleversement de leur fonctionnement biologique.

Mieux connaître le fonctionnement biologique des sols tropicaux et ses conséquences sur le milieu dans des contextes agronomiques et écologiques très variés du monde intertropical doit aider à résoudre la question de la pertinence des pratiques culturales en terme de durabilité de la production alimentaire et de la conservation, à long terme, du capital-sol.

Dans ce Cahier sont réunis quelques articles qui illustrent certains points particuliers évoqués ci-dessus :

- effet de différents systèmes de culture sur le stock organique des sols (DJEGUI *et al.*, ALBRECHT *et al.*) ;
- relations entre le mode de gestion du milieu et l'activité faunique (LEROY *et al.*, CADET et ALBRECHT) ou microbienne (LEROY *et al.*, CHAUSSOD *et al.*, LUIZAO *et al.*) ;
- relations entre l'agrégation et l'activité microbienne (CHOTTE *et al.*) ;
- relations entre les formes de l'azote organique et la fertilité azotée (WANEUKEM et GANRY) ;
- relations entre la matière organique et le statut en phosphore des sols (BROSSARD et LAURENT) ;
- relations entre la matière organique et la stabilité structurale (ALBRECHT *et al.*).

Je terminerai cet avant-propos en remerciant chaleureusement tous les auteurs qui ont accepté de répondre à mes demandes d'articles, et qui, pour un grand nombre, participent directement ou indirectement (collaborations) au *Grand Programme : Biofonctionnement des Sols Tropicaux* de l'Orstom.

Je remercie aussi très vivement M. A. MISSET, rédacteur des *Cahiers de Pédologie*, pour son aide précieuse dans l'élaboration de ce numéro.

Christian FELLER
Éditeur scientifique de ce Cahier
Responsable du GP.BST

Montpellier, décembre 1992

Statut organique d'un sol ferrallitique du Sud-Bénin sous forêt et différents systèmes de cultures

Narcisse DJEGUI (1), Paul de BOISSEZON (2) et Évelyne GAVINELLI (2)

(1) Station de recherches sur le palmier à huile, B.P. 1, Pobè (République du Bénin).

(2) Centre Orstom, B.P. 5045, 34032 Montpellier cedex 1 (France).

RÉSUMÉ

On compare les stocks de matières organiques (C, N) dans les profils de trois sols rouges ferrallitiques appauvris en argile sur terres de barre sous forêt et sous différents systèmes de cultures : palmiers à huile, cultures vivrières annuelles et plantations forestières.

La diminution des teneurs en matière organique par rapport aux sols forestiers est marquée dans l'ensemble du profil des sols cultivés qui ne présentent pas de brusques gradients texturaux. Dans le cas contraire, elle n'est importante que dans les horizons supérieurs.

Il existe une forte hétérogénéité spatiale des teneurs en matière organique à mettre en relation :

- avec les façons culturales propres aux cultures vivrières conduites en billons ;*
- avec le mode de plantation en lignes et la restitution en andains des matières végétales résultant de l'élagage des palmiers à huile qui entraînent un développement différent des systèmes racinaires sous les « ronds » autour des palmiers, sous les andains et dans les interlignes.*

La quantification du stock organique des sols doit donc s'appuyer sur un échantillonnage raisonné des volumes de sols identifiés au préalable sur des profils culturaux et représentatifs de différentes zones dues aux techniques culturales.

Avec la mise en culture, la baisse des stocks organiques totaux concerne surtout les débris d'origine végétale de taille supérieure à 50 μm (C/N compris entre 12 et 15) et affecte peu, en particulier, les matières organiques associées aux argiles.

MOTS CLÉS : Matière organique – Fractionnement granulométrique – Sols ferrallitiques – Texture – Systèmes de culture.

ABSTRACT

ORGANIC MATTER LEVELS OF FERRALLITIC SOILS UNDER DIFFERENT CROPPING SYSTEMS IN THE SOUTH OF BENIN

The objective of this study was to compare the organic matter levels (C, N) encountered in three ferrallitic soils low in clay (designated by «terre de barre»), which developed under forests or were brought under cultivation (oil palm, food crops and tree plantation).

Compared to forest soils, cultivated soils that did not exhibit a sharp textural gradient showed a marked decrease of the organic matter content in the whole profiles. Otherwise, the most important decline in organic matter content occurred in the upper horizons.

There was a significant spatial heterogeneity amongst the organic matter contents; this is to be related to:

- the tillage practices adopted for food crops grown in ridges,*
- the row planting system and the incorporation of plant residues collected in windrows after pruning of oil palm; these residues had a marked effect on the development of the root system.*

Therefore, in order to determine the quantity of organic matter in the soil, it is important to rely on a reasoned sub-sampling of soil volumes previously identified on soil profiles.

Upon cultivation, the decrease of C and N affected essentially the plant residues > 50 μm ($12 < \text{C/N} < 15$) and very little the organic materials associated with the clay fractions.

KEY WORDS: Organic matter – Particle-size fractionation – Ferrallitic soils – Texture – Cropping systems.

INTRODUCTION

Le défrichement et la mise en culture des sols tropicaux provoquent généralement une brusque diminution des teneurs en matière organique, une variation rapide et importante de diverses propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols et une baisse de la productivité végétale (DABIN, 1956 ; FAUCK *et al.*, 1969 ; SIBAND, 1974 ; SANCHEZ *et al.*, 1982).

La comparaison et l'évolution dans le temps des stocks de matières organiques du sol sous végétation naturelle et sous différents types ou successions culturales montrent qu'à l'influence des systèmes de cultures s'ajoutent de nombreux facteurs édaphiques et pédoclimatiques qui interfèrent avec les pratiques culturales dans le fonctionnement des écosystèmes agricoles (LAL et KANG, 1982).

Parmi les facteurs édaphiques qui interviennent dans cette évolution, nous retiendrons principalement le type de sol et particulièrement la texture (de BOISSEZON, 1973 ; FELLER *et al.*, 1991 b), le pH et la réserve minérale (ALLISON, 1973). Ces caractéristiques du sol conditionnent le type d'humus, la nature et l'importance des complexes organominéraux plus ou moins stables (MARTIN et HAIDER, 1986) et l'organisation (agrégation, porosité) des horizons humifères (HUMBEL *et al.*, 1977).

Le pédoclimat (température et humidité) conditionne la production végétale et donc l'apport des matières végétales ainsi que la vitesse d'évolution des résidus végétaux et des matières organiques du sol (SANCHEZ *et al.*, 1982).

Pour étudier l'influence des cultures annuelles ou pérennes sur le stock organique des sols du Sud-Bénin, nous avons donc essayé de minimiser les interactions avec les facteurs édaphiques et pédoclimatiques. Les parcelles étudiées ont été choisies sur des sols analogues, en position topographique identique, avec seulement des différences limitées du profil textural, du climat et du passé cultural.

Les écosystèmes qui ont été comparés constituent néanmoins un échantillonnage assez représentatif des situations agricoles les plus courantes de ces plateaux de faible altitude sur terres de barre. Ces sols sont actuellement soumis à une exploitation de plus en plus intensive avec réduction de la jachère pour les cultures vivrières et une fertilisation organique et/ou minérale très limitée, voire inexistante, même pour les plantations industrielles de palmiers à huile. Il s'ensuit une baisse des rendements qui s'accompagne d'une diminu-

tion des résidus végétaux laissés dans et sur les sols (WERTZ, 1979 ; PFEIFFER, 1988). Enfin, la diminution des restitutions organiques est aggravée par l'exportation de plus en plus fréquente d'une partie des résidus végétaux qui sont utilisés comme combustible domestique.

L'objectif de cette étude est de comparer les stocks de carbone et d'azote présents dans un sol ferrallitique du Sud-Bénin sous végétation naturelle forestière et sous différents systèmes de cultures : palmier à huile, cultures vivrières annuelles et plantations forestières. La caractérisation de la matière organique est faite par un fractionnement granulométrique.

LOCALISATION DES SITES ÉTUDIÉS ET CLIMAT

Cette étude a été conduite dans la partie sud du Bénin dans une zone constituée de plateaux de faible altitude et peu accidentée sur terres de barre. Trois sites échelonnés d'est en ouest (site 1 : Pobè ; site 2 : Akpadanou et site 3 : Ouidah) ont été choisis pour comparer l'influence de différents systèmes de cultures (tabl. I).

Le climat

Sur l'ensemble des trois sites, le climat est de type « soudano-guinéen ». Il est caractérisé par l'alternance de deux saisons sèches et de deux saisons pluvieuses d'inégales durées. Les hauteurs pluviométriques augmentent d'ouest en est ; en moyenne sur les dix dernières années, elles sont de 850 mm à Ouidah, de 1 100 mm à Akpadanou et 1 200 mm à Pobè. La température moyenne annuelle est de 26,8 °C.

La végétation et le paysage agricole

La végétation climacique est une forêt ombrophile semi-sempervirente fortement secondarisée par endroit. Cette forêt existe sous forme d'îlots dont le plus important est celui de Pobè.

En raison de la pression démographique, ces forêts denses, et même les jachères forestières spontanées, ont généralement disparu au cours des dernières décades. L'espace agricole est maintenant dominé par des plantations villageoises ou industrielles de palmiers à huile et surtout par des cultures vivrières. Seuls les sols épuisés par la culture continue sont laissés en friche sous forme d'une savane faiblement arbustive dont la couverture herbacée est discontinue.

TABLEAU I
Caractéristiques des différents sites et parcelles étudiés
Characteristics of the different sites and plots studied

SITE	1. POBE	2. AKPADANOU	3. OUIDAH
CLIMAT - Pluviométrie moyenne annuelle	1200 mm	1100 mm	850 mm
PARCELLES - Forêt (F) - Plantation forestière (PF) - Palmeraie sol couvert (PSC) - Palmeraie sol nu (PSN) - Cultures vivrières (CV)	Forêt dense semi-décidue 1 ^{re} plantation 1957 (32 ans) 1 ^{re} plantation 1957 (32 ans) 30 - 40 ans	Forêt faiblement secondarisée Plantation de Cassia (21 ans) 1 ^{re} plantation 1969 (20 ans) 1 ^{re} plantation 1969 (20 ans) > à 20 ans	Forêt très secondarisée Plantation de Teck (22 ans) 1 ^{re} plantation 1973 (16 ans) > à 14 ans
SOLS HORIZON A1 (0-15 cm) - Argile + limons fins (0-20 µm) - pH (H ₂ O) - Bases échangeables cmol (+) kg ⁻¹ HORIZON AB (50-70 cm) - Argile + limons fins (0-20 µm) - pH (H ₂ O) - Bases échangeables cmol (+) kg ⁻¹	 15.9 6.3 7.7 52.8 5.75 5.8	 8.9 7.5 6.6 13.9 7.2 3.7	 8.2 5.9 3.6 15.8 5.7 1.9

Les sols

Les sols de ces trois sites sont des sols rouges très analogues, développés sur matériaux sédimentaires du Continental Terminal et appelés localement « terres de barre » (fig. 1). Du point de vue de la classification CPCS (1967), ils appartiennent à la même famille des *sols ferrallitiques faiblement désaturés, appauvris en argile*. Dans le système de classification FAO (1989), il s'agit de *ferralsol rhodique*, mollique sous forêt et ochrique sous culture, et pour la *Soil Taxonomy* USDA, ce sont des sols *Eustrustox*.

Ils sont caractérisés par la présence d'horizons humifères sablo-faiblement argileux, brun rouge (5YR 4/4), donc peu colorés par la matière organique, avec une structure grumeleuse très fine à particulière. Les teneurs en éléments fins augmentent progressivement en profondeur sans qu'un horizon d'accumulation puisse être identifié par un ventre de la courbe granulométrique, ni par les observations morphologiques du profil pédologique. La couleur devient progressivement rouge de plus en plus vif (2,5YR 4/6 à 10R 4/6) et la structure plus massive est à débit polyédrique subanguleux faiblement développé, mais les hori-

zons AB et B oxiqne restent meubles à l'état humide et assez cohérents à l'état sec.

Plusieurs séries de sols rouges sur terres de barre ont été distinguées en fonction de la teneur en argile de l'horizon B et de l'épaisseur des horizons A et AB appauvris en argile. De ce point de vue, le sol du site 1 de Pobè appartiendrait à la série « Rouge argileux » dont l'horizon B a des teneurs en argile supérieures à 45 % et dont l'horizon appauvri est peu épais. Au contraire, les sols des deux autres sites se classent dans la série « Rouge sableux », l'horizon B a moins de 35 % d'argile et l'horizon appauvri est beaucoup plus épais (IRHO, 1964 ; FAUCK, 1972 ; RAUNET, 1973). De plus, le gradient textural est nettement plus brutal dans le sol du site 1 et la proportion de sables fins par rapport aux sables grossiers y est plus importante. La fraction argileuse est surtout constituée de kaolinite, de goethite et d'hématite avec des traces de minéraux interstratifiés.

La densité apparente, qui est analogue sous forêt dans la couche 0-15 cm de ces trois sites (da = 1,2 à 1,3), augmente, plus rapidement en profondeur dans le site 1 et atteint des valeurs élevées de 1,6 en profondeur.

Les caractéristiques du complexe argilo-humique de ces sols sont résumées dans le tableau I.

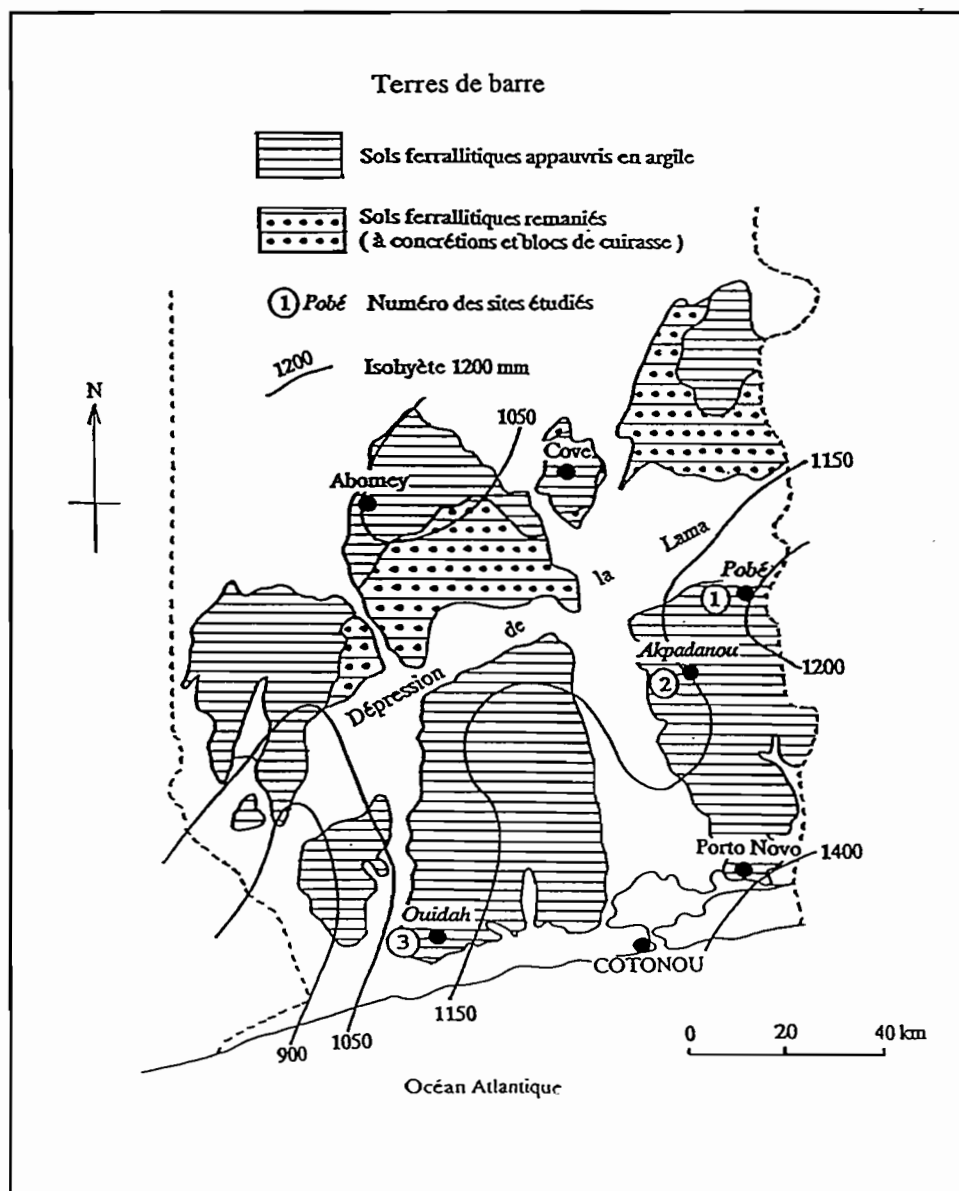


FIG. 1 – Sols ferrallitiques sur « Terres de barre » du Sud-Bénin, isohyètes annuelles et localisation des sites, d'après M. RAUNET, 1973.

Ferrallitic soils of Southern Benin (designated by « Terres de barre »), annual isohyet and site localization.

DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

Forêt et systèmes de culture

L'étude porte sur des parcelles sous forêt naturelle (F), sous plantations industrielles de palmiers à huile (PSC, PSN), sous plantations forestières (PF) et sous cultures vivrières (CV).

Dans les plantations de palmiers à huile (*Elaeis guineensis*), les techniques culturales utilisées créent

une hétérogénéité spatiale du développement des systèmes racinaires et de l'apport des résidus végétaux qui nous conduiront à distinguer les « ronds » autour des palmiers (15 % de la surface) qui sont désherbés et reçoivent les engrais, les andains (25 % de la surface) qui reçoivent les palmes provenant de l'élagage et enfin les interlignes (60 % de la surface) qui sont maintenus au jeune âge soit en sol nu (PSN) par entretien mécanique, soit en sol couvert

avec une plante de couverture (PSC), généralement une légumineuse rampante, le *Pueraria* sp. Toutefois, la couverture herbacée régresse progressivement avec le temps sous l'effet de la concurrence avec les palmiers pour la lumière. Sous les plantations anciennes, la couverture végétale dans les interlignes est dans les deux cas (PSC et PSN) peu exubérante, voire discontinue.

Les plantations forestières (PF) après cultures vivrières de longue durée sont le *Cassia siamea* sur le site 2 et le *Tectona grandis* sur le site 3.

Les cultures vivrières (CV) annuelles sont réalisées sur des billons dans lesquels sont enfouis les résidus de la récolte précédente. La terre du billon provient essentiellement de la couche superficielle (0-12 cm) du sol de l'interbillon. Ces billons d'une dizaine de cm de haut sont espacés d'environ 80 cm. Les principales cultures associées et successives réalisées au cours des deux saisons de pluie sont : le maïs (*Zea mays*), le manioc (*Manihot esculenta*), l'arachide (*Arachis hypogea*) et le niébé (*Vigna unguiculata*). Après un an de culture, les billons sont refaits dans l'interbillon et cette pratique est alternée avec des jachères de très courte durée (un an et demi environ) qui ne permettent guère la reconstitution du stock organique de ces sols. Il s'ensuit une perte de rendement néfaste pour l'agriculteur (DJEGUI, 1982 ; PFEIFFER, 1988).

Méthodes de prélèvement des sols et mesures de terrain

PRÉLÈVEMENTS POUR L'ÉTUDE DE LA VARIABILITÉ INTERSITE

Dans chaque parcelle, une microparcelle représentative de 20 m x 20 m a été matérialisée autour de chaque fosse d'observation du profil cultural.

Les échantillons moyens des sols sont constitués à partir de 40 prélèvements élémentaires effectués à la tarière pour les couches suivantes : 0-15, 15-35, 35-50, 50-70 et 100-120 cm. Pour les parcelles sous palmiers, les prélèvements ont été faits dans les interlignes. Pour les parcelles sous cultures vivrières, les prélèvements ont été réalisés uniquement dans les billons.

PRÉLÈVEMENTS POUR L'ÉTUDE DE LA VARIABILITÉ INTRAPARCELLAIRE

Afin d'apprécier la variabilité intraparcellaire dans une parcelle de palmiers sur le site 3, un échantillonnage a été réalisé dans le cadre de la maille élémentaire définie comme l'espace com-

pris entre quatre palmiers sains et comprenant deux andains, un interligne et quatre « ronds » autour des palmiers. Les échantillons moyens ont été constitués par 5 prélèvements élémentaires par horizon dans chacun des andains (soit au total 10 prélèvements élémentaires), 8 prélèvements élémentaires par horizon pour les ronds (2 par rond) et 8 par horizon pour l'interligne.

Pour la parcelle sous cultures vivrières, deux échantillons moyens séparés ont été constitués à l'aide de 5 prélèvements élémentaires dans le sous-ensemble billon et 5 prélèvements élémentaires dans l'interbillon.

Dans les deux cas, quatre parcelles élémentaires, constituant quatre répétitions, ont ainsi été prélevées sous plantation de palmiers à huile et sous cultures vivrières.

PRÉPARATION DES ÉCHANTILLONS ET ANALYSE

Les échantillons ont été séchés à l'air, puis tamisés à 2 mm. La fraction supérieure à 2 mm, très négligeable en masse, n'est pas conservée. Pour le dosage du carbone et de l'azote des fractions aliquotes sont broyées finement.

MESURE DE LA DENSITÉ APPARENTE

La densité apparente (d_a) est déterminée par la méthode du cylindre (150 ml) sur la base de six à huit répétitions pour les horizons A et AB et quatre répétitions pour l'horizon B.

Méthodes d'analyse

Le carbone a été dosé par voie sèche à l'aide d'un analyseur élémentaire CHN LECO, et l'azote par la méthode Kjeldahl.

Le stock (Q en kg/m²) de carbone ou d'azote contenu dans un horizon d'épaisseur e (cm) est obtenu par la formule suivante : $Q = C \times e \times d_a / 100$ dans laquelle d_a est la densité apparente et C les teneurs en carbone ou en azote exprimées en mg/g de sol.

La méthode de fractionnement granulométrique utilisée est inspirée de celles décrites par BRUCKERT (1979) et FELLER (1979). Après divers essais visant d'une part à minimiser l'énergie mécanique appliquée pour éviter une trop forte altération des matières organiques (TIESSEN *et al.*, 1983), et d'autre part, à obtenir un état de dispersion satisfaisant du sol, le protocole suivant a été utilisé pour les horizons de surface de ces sols : l'échantillon de sol (25 g) est agité dans 150 ml d'eau avec trois billes d'agate de 1 cm de diamètre pendant une

heure. Le tamisage avec lavage sur un tamis d'ouverture 200 μm permet de séparer la fraction sableuse grossière (SG). La suspension de sol inférieure à 200 μm est soumise à un traitement modéré (5 minutes) dans une cuve à ultrasons. Le tamisage à 50 μm sous eau permet d'isoler la fraction sableuse fine (50 à 200 μm). La suspension du sol inférieure à 50 μm est à nouveau passée pendant dix minutes dans la cuve à ultrasons. Les particules inférieures à 2 μm sont séparées de la fraction limoneuse L (2 à 50 μm) par sédimenta-

tions successives dans une allonge jusqu'à épuisement. Les différentes fractions sont séchées à l'étuve ventilée à 60 °C, pesées et broyées finement (100 μm) pour le dosage de C et de N.

Une analyse mécanique est aussi effectuée après destruction des matières organiques par l'eau oxygénée et dispersion par l'hexamétaphosphate de sodium. Dans ce cas, les fractions minérales fines sont prélevées à la pipette Robinson, dans les allonges de sédimentation, et les fractions sableuses sont obtenues par tamisage à sec.

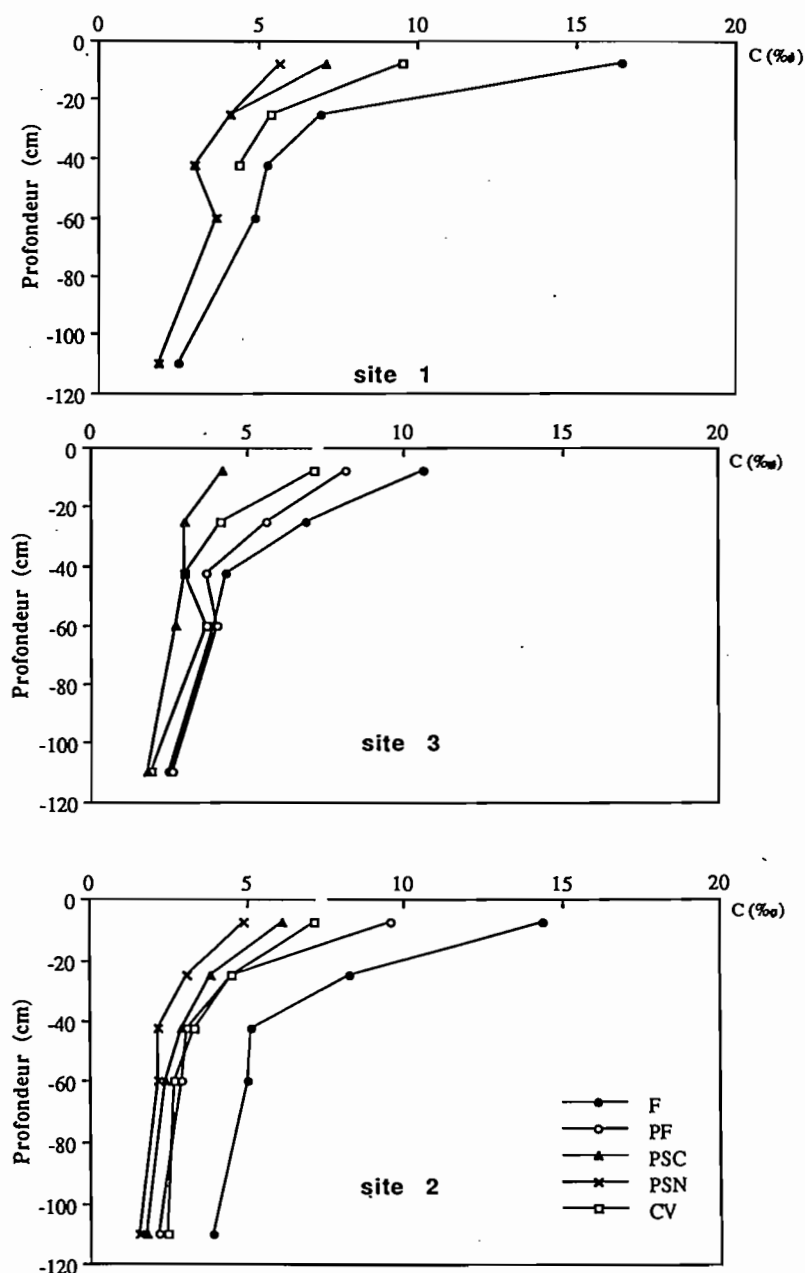


FIG. 2 a

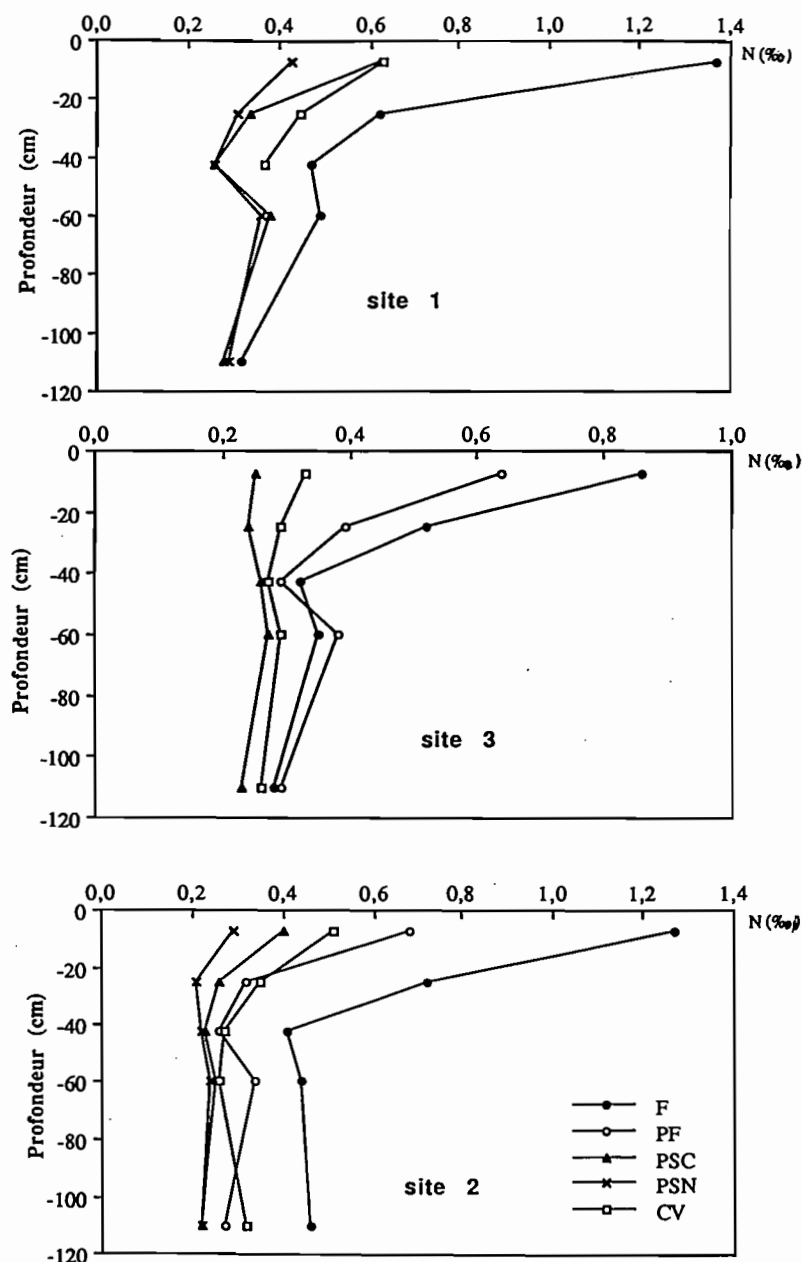


FIG. 2 b

FIG. 2 – Teneurs en carbone (fig. 2a) et azote (fig. 2b) dans les profils des différentes parcelles. (F) sous forêt, (PF) sous plantation forestière, (PSC) palmiers à huile avec plantes de couverture, (PSN) palmiers à huile sol nu, (CV) cultures vivrières. Carbon (fig. 2a) and nitrogen (fig. 2b) contents in the profiles of the different plots: for the forest soil (F), and the soil brought under cultivation (tree plantations: PF; oil palms with a leguminous cover, PSC; oil palms with no ground cover, PSN; food crops, CV).

RÉSULTATS

Répartition du carbone et de l'azote dans les profils de sols

Sous végétation naturelle forestière, les teneurs en C et N dans l'horizon des surfaces A1 sont plus

élevées sur le site 1 que sur les deux autres sites (fig. 2). Les teneurs diminuent dans l'horizon AB et un léger ventre d'accumulation apparaît vers 60 cm sur les sites 1 et 3.

Sur les trois sites, les teneurs en C et N dans les horizons superficiels des sols cultivés, varient dans

le sens $F > PF > CV > PSC > PSN$. Sur les sites 1 et 3 les différences entre parcelles sous forêt et parcelles sous cultures s'amenuisent à partir de 50/60 cm et les teneurs deviennent très voisines. Sur le site 2 par contre, la baisse des teneurs de C et de N dans les sols cultivés affecte non seulement les horizons superficiels mais aussi les horizons en profondeur.

L'effet du mode de couverture du sol pour les sols sous palmiers à huile s'exprime uniquement sur les 20 premiers centimètres avec un léger avantage pour les parcelles avec plantes de couverture au jeune âge (PSC) par rapport à celles en sol nu (PSN).

Sous forêt, le rapport C/N varie entre 11 et 12 pour les horizons superficiels. Ces valeurs sont du

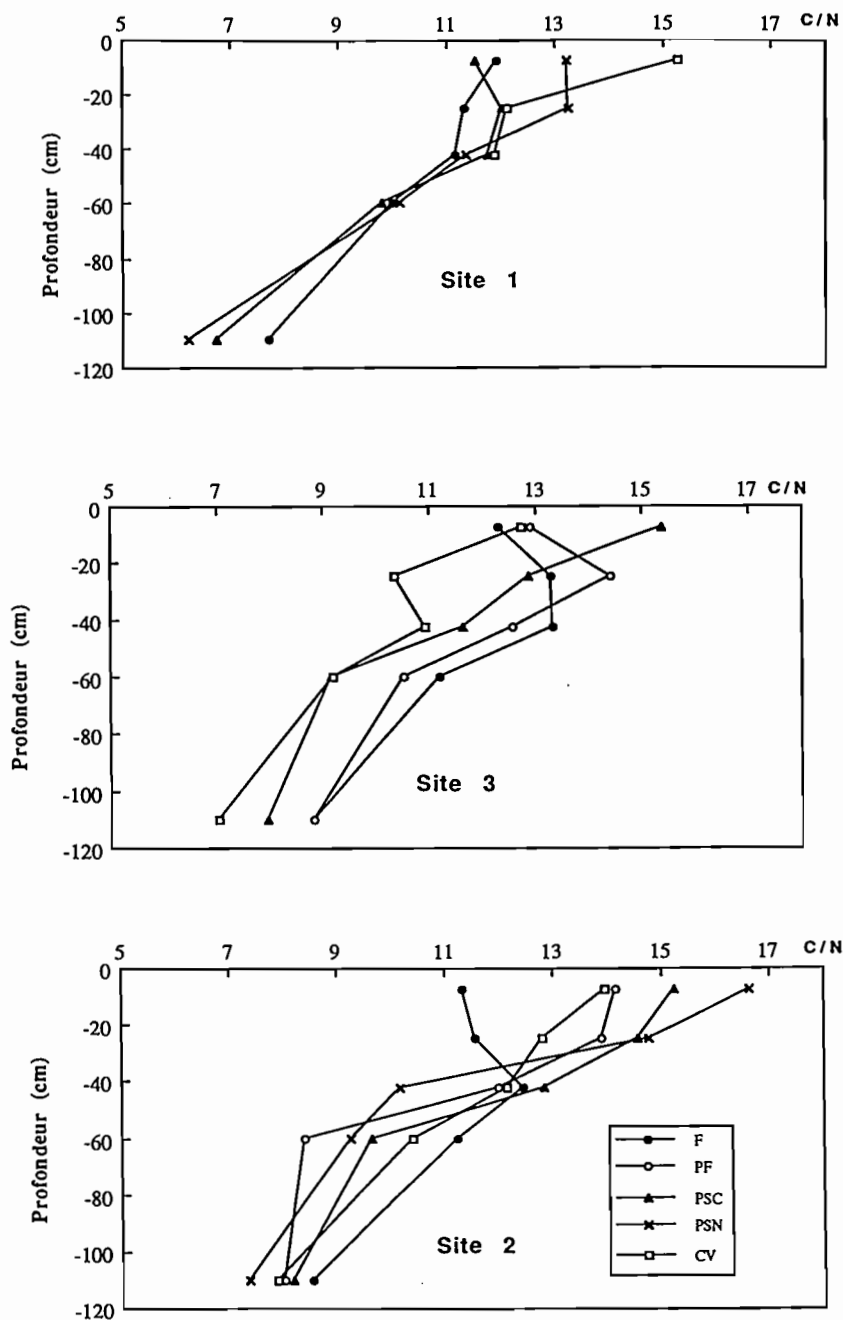


FIG. 3 – Rapport C/N dans les profils de parcelles étudiées, sur les trois sites.
C/N ratios in the profiles of the plots studied, at the three sites.

même ordre de grandeur que celles signalées par BOYER (1982) pour les sols ferrallitiques sous végétation naturelle. Elles traduisent une bonne décomposition de la matière végétale provenant de la litière et du système racinaire et la formation d'un « humus doux » qui peut être appelé suivant PERRAUD (1970) *mull forestier tropical* (eutrophe). Dans tous les profils, le rapport C/N décroît avec la

profondeur pour atteindre des valeurs de l'ordre de 8 dans l'horizon B (fig. 3).

Les stocks organiques

ÉVALUATION DES STOCKS ORGANIQUES DANS LES PROFILS ÉTUDIÉS

Pour comparer ces sols sous forêt et différents systèmes de cultures, il convient d'intégrer

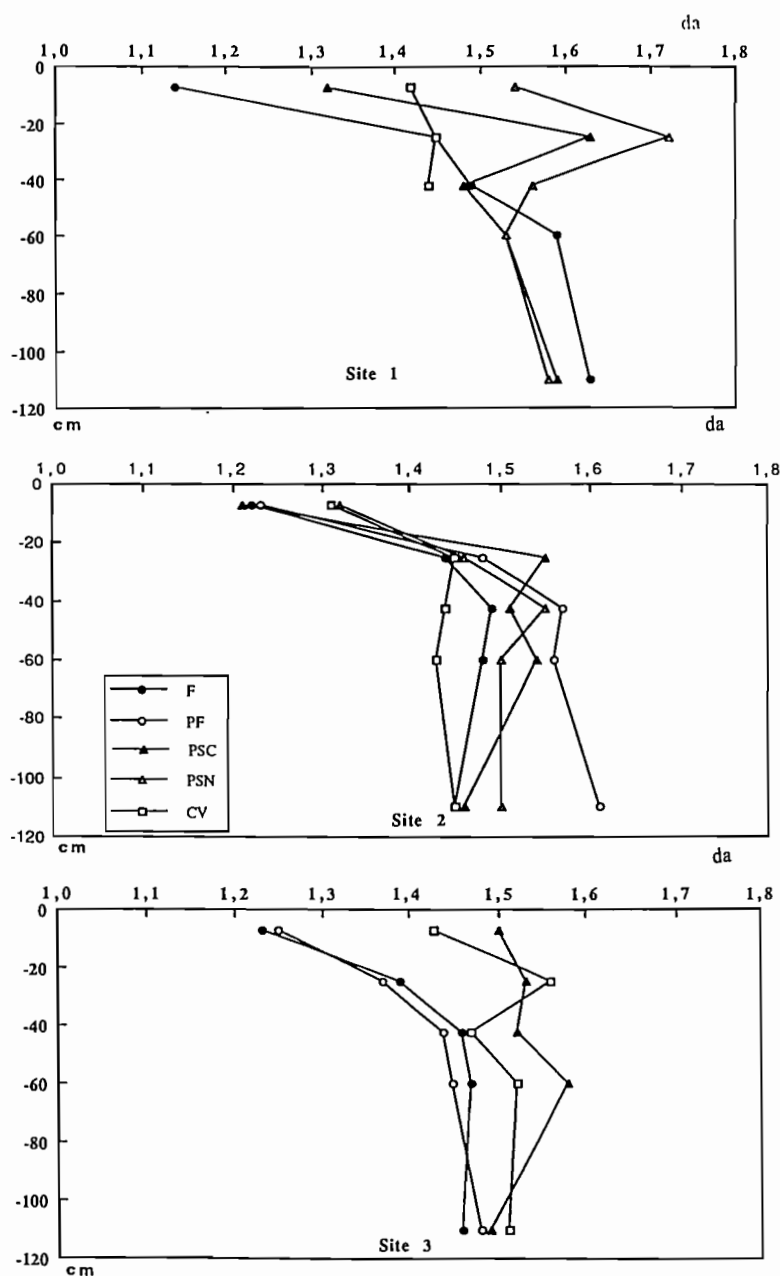


FIG. 4 – Densité apparente dans les profils des parcelles étudiées, sur les trois sites.
Bulk densities in the profiles of the plots studied, at the three sites.

l'ensemble des horizons humifères pour rendre compte des différences importantes dues au travail du sol et au développement des systèmes racinaires suivant les cultures. Il a donc été nécessaire d'étudier les quantités pondérales de matière organique pour l'ensemble du profil. D'autre part, la mise en culture provoque aussi une différenciation profonde de la morphologie et surtout de la densité apparente des horizons supérieurs en fonction du mode d'utilisation des parcelles (fig. 4). En cumulant ces différents paramètres, nous avons évalué pour chaque système de culture les stocks cumulés (0 à 70 cm) en C et en N (kg/m²) (tabl. IIa et IIb).

Pour chaque horizon, un indice de variation a été calculé de la manière suivante : indice de variation = 100 x (stock organique sous forêt – stock organique sous culture) / stock organique sous forêt.

Les principaux résultats sont les suivants :

(a) la couche 0 à 35 renferme 60 à 70 % des stocks organiques contenus dans les 70 cm superficiels de ces sols ;

(b) les indices de variation des stocks organiques indiquent un appauvrissement relatif plus important de l'ensemble des horizons sur le site 2 ;

(c) tout comme les teneurs, les stocks organiques des horizons superficiels se classent dans l'ordre F>PF>CV>PSC>PSN.

RELATIONS ENTRE SYSTÈMES DE CULTURES ET STOCKS ORGANIQUES

Hétérogénéité intraparcélaire

Lorsqu'on compare les teneurs ou les stocks de matières organiques dans les sols cultivés pendant des périodes analogues, on constate que les sols sous palmiers sont plus pauvres que ceux sous cultures vivrières (fig. 2 et tabl. IIa et IIb). Cela peut

TABLEAU IIa

Stocks de carbone (kgC/m²) dans les couches 0-35 cm et 0-70 cm des sols. (F) sous forêt, (PF) plantation forestière, (PSC) palmeraie sol couvert, (PSN) palmeraie sol nu, (CV) cultures vivrières
Organic-C levels (kgC/m²) in the 0-35 and 0-70 cm layers of the forest soil (F), and of the soils brought under cultivation (tree plantations: PF; oil palms with a leguminous cover, PSC; oil palms with no ground cover, PSN; food crops, CV)

	SITE 1 : POBE		SITE 2 : AKPADANOU		SITE 3 : OUIDAH	
	0-35 cm	0-70 cm	0-35 cm	0-70 cm	0-35 cm	0-70 cm
Forêt	4.83	7.57	5.03	7.65	3.75	5.84
PF	-	-	3.10	4.73	3.04	5.00
PSC	2.77	4.56	2.27	3.66	1.84	3.37
PSN	2.73	4.56	1.86	3.02	-	-
CV	2.99	-	2.70	4.21	2.70	4.21
"Effet culture" Indice de variation relative	de 38 à 44 %		de 46 à 63 %		de 28 à 51 %	

TABLEAU IIb

Stocks d'azote (kgN/m²) dans les couches 0-35 cm et 0-70 cm des sols
Organic-N levels (kgN/m²) in the 0-35 and 0-70 cm layers of the soils

	SITE 1 : POBE		SITE 2 : AKPADANOU		SITE 3 : OUIDAH	
	0-35 cm	0-70 cm	0-35 cm	0-70 cm	0-35 cm	0-70 cm
Forêt	0.41	0.68	0.44	0.66	0.30	0.47
PF	-	-	0.22	0.39	0.23	0.40
PSC	0.23	0.41	0.15	0.30	0.13	0.28
PSN	0.21	0.38	0.12	0.26	-	-
CV	0.26	-	0.20	0.35	0.16	0.31
Indice de variation relative	de 37 à 44 %		de 47 à 72 %		de 34 à 57 %	

s'expliquer par les exportations et mobilisations de l'azote plus importantes au niveau des palmeraies. Cependant cette conclusion doit être nuancée pour deux raisons :

(a) cette évaluation ne prend pas en compte les restitutions organiques importantes concentrées au niveau des andains dans les plantations de palmiers, tandis que dans les interlignes où nous avons effectué les premiers prélèvements, les intrants végétaux (racines de palmiers et parfois plantes de couverture) sont limités ;

(b) les prélèvements dans les parcelles de cultures vivrières ont été effectués dans les billons où sont enfouis les résidus de récolte. Ces billons sont, d'autre part, constitués par les mottes prélevées avec le système racinaire dans les premiers centimètres superficiels de l'interbillon. Par cette pratique, la couche du sol la plus riche en matière organique est concentrée sur la surface réduite du

billon et les racines des plantes cultivées se développent dans une couche de terre relativement plus riche en éléments fertilisants.

Ces deux observations nous ont amenés à comparer sur le site 3 l'influence des deux systèmes de cultures sur chacune des zones relativement homogènes conditionnées par les techniques culturales.

Dans les palmeraies, les teneurs en carbone et d'azote sont beaucoup plus élevées sous les andains qu'au niveau des ronds et des interlignes. Cependant les différences se limitent aux deux horizons superficiels (tabl. IIIa et IIIb).

Dans les parcelles sous cultures vivrières, les teneurs en carbone et en azote sous le billon et dans l'interbillon ne sont pas différentes. La terre rassemblée dans les billons présente par contre des teneurs en carbone nettement plus élevées que celles de l'interbillon (tabl. IV).

TABLEAU IIIa

Variabilité spatiale des teneurs en carbone (%) sous palmeraie (PSC) du site 3. (Les teneurs suivies de lettres différentes diffèrent significativement au seuil de probabilité de 5 %)

Spatial variabilities of organic-C levels (%) found under oil palms with a leguminous cover (PSC), at site 3 (the values followed by different letters are significantly different at the 5 % level)

	ANDAIN	INTERLIGNE	ROND
0 - 5 cm	0.82 ± 0.14 a	0.46 ± 0.08 c	0.55 ± 0.09 b
15 - 35 cm	0.54 ± 0.09 b	0.35 ± 0.06 d,e	0.46 ± 0.02 c
35 - 50 cm	0.40 ± 0.05 c,d	0.37 ± 0.05 d,e	0.34 ± 0.02 d,e
50 - 70 cm	0.33 ± 0.03 d,e	0.29 ± 0.05 e,f	0.35 ± 0.03 d,e
100 - 120 cm	0.23 ± 0.03 f,g	0.25 ± 0.02 f,g	0.22 ± 0.03 g

TABLEAU IIIb

Variabilité spatiale des teneurs en azote (‰) sous palmeraie (PSC) du site 3

Spatial variabilities of organic-N levels (‰) found under oil palms with a leguminous cover (PSC), at site 3

	ANDAIN	INTERLIGNE	ROND
0 - 15 cm	0.52 ± 0.04 a	0.26 ± 0.03 d,e	0.36 ± 0.08 b
15 - 35 cm	0.34 ± 0.03 c	0.24 ± 0.03 c	0.32 ± 0.06 c,d
35 - 50 cm	0.28 ± 0.02 c,d,e	0.27 ± 0.03 d,e	0.29 ± 0.03 c,d,e
50 - 70 cm	0.29 ± 0.02 c,d,e	0.27 ± 0.02 d,e	0.31 ± 0.02 c,d,e
100 - 120 cm	0.25 ± 0.04 d,e	0.25 ± 0.02 d,e	0.25 ± 0.02 d,e

TABLEAU IV
Variabilité spatiale des teneurs en carbone (%) et en azote (‰) dans une parcelle de cultures vivrières du site 3
Spatial variabilities of organic-C (%) and organic-N (‰) levels found on a plot cultivated with food crops at site 3

	CARBONE/BILLON	CARBONE/INTERBILLON	AZOTE/BILLON	AZOTE/INTERBILLON
+ 8 - 0 cm	0.57 ± 0.04		0.40 ± 0.09	
0 - 15 cm	0.43 ± 0.06	0.46 ± 0.05	0.33 ± 0.06	0.32 ± 0.03
15 - 35 cm	0.30 ± 0.04	0.29 ± 0.02	0.24 ± 0.02	0.27 ± 0.01
35 - 50 cm	0.30 ± 0.03	0.28 ± 0.03	0.21 ± 0.02	0.27 ± 0.01
50 - 70 cm	0.29 ± 0.05	0.27 ± 0.03	0.30 ± 0.05	0.30 ± 0.05
100 - 120 cm	0.20 ± 0.03	0.18 ± 0.02	0.27 ± 0.02	0.25 ± 0.02

TABLEAU V
Stocks organiques dans les parcelles sous palmiers avec plantes de couverture (PSC) et sous cultures vivrières (CV) du site 3
Organic levels found on the plots cultivated with oil palms with a leguminous cover (PSC) and food crops (CV) at site 3

Système de culture	ZONE	CARBONE			AZOTE		
		mg/g sol	kg/m2/zone	kg/m2/parcelle	mg/g sol	kg/m2/zone	kg/m2/parcelle
P S C 0 - 35 cm	ANDAIN	6.5	3.01	0.76	0.41	0.191	0.048
	ROND	5.0	2.65	0.40	0.34	0.179	0.027
	INTERLIGNE	4.0	2.11	1.26	0.25	0.132	0.079
	TOTAL			2.42			0.154
C V 0 - 40 cm	BILLON	3.9	2.51	1.50	0.27	0.170	0.11
	INTERBILLON	3.7	1.89	0.76	0.24	0.150	0.06
	TOTAL			2.26			0.170

Influence de l'hétérogénéité spatiale intraparcél-laire sur l'estimation des stocks organiques

En intégrant les données relatives à la teneur, à la densité apparente et à la superficie relative de chaque sous-ensemble, on obtient les stocks de matière organique qui figurent au tableau V. En tenant compte des andains et des ronds, les stocks de carbone et d'azote contenus dans les horizons superficiels (0-35 cm) de l'ensemble de la parcelle sous palmiers sont majorés d'environ 15 % par rapport à l'estimation faite dans les interlignes (comparer par exemple, pour le carbone, et sous PSC, le total 2,42 à l'estimation réalisée dans l'interligne 2,11).

Toutefois cette majoration n'est justifiée que dans le cas où toutes les palmes sont entassées dans

les andains. Ce n'est pas le cas dans la plupart des plantations industrielles du Sud-Bénin, car une partie des palmes est exportée comme bois de cuisine. Les andains sont alors réduits, voire inexistantes.

Inversement, les stocks de matières organiques contenues dans les 35 premiers centimètres des sols sous cultures vivrières qui ont été évalués à partir des échantillons prélevés dans et sous les billons (C = 2,51 kg/m²) dépassent d'environ 10 % les stocks évalués (C = 2,26) en tenant compte également des stocks de matières organiques dans l'interbillon.

En tenant compte de la variabilité intraparcél-laire, il apparaît qu'après une vingtaine d'années de cultures, les stocks moyens de carbone et

d'azote dans les 35 premiers cm des sols sont à peu près identiques dans les parcelles sous palmiers à huile ($C = 2,42 \text{ kg/m}^2$) et sous cultures vivrières ($C = 2,26 \text{ kg/m}^2$).

Répartition du carbone et de l'azote dans les fractions granulométriques

BILAN EN MASSE, CARBONE ET AZOTE

La comparaison des mesures répétées obtenues par l'analyse mécanique (An. méca.) et par la méthode de fractionnement granulométrique (Fr. granu.) utilisée indique (tabl. VI) que la méthode de fractionnement granulométrique par tamisage sous eau avec deux traitements successifs et peu intenses aux ultrasons permet d'obtenir pour ces horizons de surface assez sableux une dispersion assez bonne des agrégats supérieurs à $50 \mu\text{m}$ en évitant les dispersants chimiques et une trop forte altération des constituants organiques contenus dans les diverses fractions. La fraction argileuse est toutefois sous-estimée au bénéfice de la fraction limoneuse. Tous échantillons confondus, les bilans en masse varient de 99,1 à 101,3 %, les bilans en carbone (tabl. VII) de 99,1 à 103 % et ceux en azote (tabl. VIII) de 95 à 109 %.

COMPOSITION CHIMIQUE DES FRACTIONS

Les teneurs en carbone (mgC g^{-1} de fraction), en azote (mgN g^{-1} de fraction) et le rapport C/N apparaissent aux tableaux VII et VIII.

Les teneurs en carbone et en azote des fractions sont nettement plus élevées dans la fraction limoneuse et, dans une moindre mesure, dans la fraction argileuse des sols forestiers que dans les fractions sableuses sur les deux sites. Cependant, les différences entre les quantités de matières organiques contenues dans les fractions sableuses et celles contenues dans les fractions limoneuses et argileuses sont nettement plus accusées sur le site 1 que sur le site 2, en particulier pour l'azote.

Avec la mise en culture, la diminution des teneurs en azote dans les fractions argileuses est limitée, particulièrement sur le site 1, ce qui laisse supposer que l'azote organique est stabilisée dans les complexes organo-minéraux. Par contre, les teneurs en C et N des fractions limoneuses et surtout sableuses décroissent fortement avec la mise en culture. On observe enfin une tendance à l'augmentation du rapport C/N des fractions grossières dans les parcelles sous palmeraie.

En résumé, sur toutes les situations étudiées, on peut noter que :

(a) les teneurs en C et N des fractions varient dans l'ordre Limons > Argiles > Sables. Cette hiérarchie n'est pas affectée par la mise en culture ;

(b) les rapports C/N permettent de caractériser les différentes fractions. Ils varient en effet de 12,3 à 18 pour la fraction supérieure à $50 \mu\text{m}$, de 10 à 14 pour la fraction comprise entre 50 et $2 \mu\text{m}$ et

TABLEAU VI

Comparaison des bilans massiques ($\text{g}/100 \text{ g}$ de sol) de l'analyse mécanique (An. méca.) avec destruction de la matière organique par H_2O_2 et dispersant, et du fractionnement granulométrique (Fr. granu.) par tamisage humide avec traitement aux ultrasons des horizons 0-15 cm sous forêt et sous plantation de palmiers avec plantes de couverture (PSC) des sites 1 et 2
Difference between weights ($\text{g}/100 \text{ g}$ of soil) of particle-size obtained by mechanical analysis (An. méca.) after removal of organic matter with H_2O_2 and the use of a dispersing agent, and particle-size fraction (Fr. granu.) after wet sieving and ultrasonication in the 0-15 cm horizons of the forest soils and the soils brought under cultivation with oil palms with a leguminous cover (PSC), at the sites 1 and 2

SITE	SITE 1				SITE 2			
	FORET		PSC		FORET		PSC	
Méth. Fract.	An. méca.	Fr. granu.	An. méca.	Fr. granu.	An. méca.	Fr. granu.	An. méca.	Fr. granu.
SG + SF ($2000/50 \mu\text{m}$)	79.9 %	88.6 %	87.0 %	87.5 %	87.8 %	90.2 %	92.5 %	93.0 %
LG + Lf ($50/2 \mu\text{m}$)	5.2 %	5.5 %	4.2 %	6.7 %	2.4 %	4.5 %	2.4 %	3.7 %
A ($< 2 \mu\text{m}$)	12.1 %	7.2 %	7.4 %	5.9 %	6.8 %	4.4 %	4.1 %	2.4 %
Mat. orga.	2.82 %		1.24 %		2.5 %		1.1 %	
SOMME	100.2 %	101.3 %	99.8 %	100.1 %	99.5 %	99.1 %	99.6 %	99.9 %

TABLEAU VII

Teneurs (mgC/g fraction) et quantités (mgC/g sol) de carbone dans les fractions granulométriques pour les horizons 0-15 cm des sites 1 et 2. (F) sous forêt, (PSC) palmiers à huile avec plantes de couverture
Carbon contents (mgC/g of fraction) and amount (mgC/g of soil) of the particle-size fractions in the 0-15 cm horizons of the sites 1 and 2, under forest (F), and oil palms with a leguminous cover (PSC)

Parcelles	POIDS		mgC/g fract.		mgC/g sol		% C total		ΔC $100 \Delta C/C$		C/N	
	F	PSC	F	PSC	F	PSC	F	PSC	F	PSC	F	PSC
SITE 1												
2000/50	88.6	87.6	9.59	2.90	8.50	2.50	57.0	34.6	6.00	78	12.3	15.3
50/2	5.5	6.7	69.1	41.7	3.80	2.63	25.5	36.4	1.17	15	11.9	10.4
< 2	7.2	5.9	36.7	35.8	2.60	2.08	17.5	28.8	0.52	7	7.3	8
Somme	101.3	100.2			14.9	7.21	100	100	7.69			
Sol brut					16.4	7.20					12	12
SITE 2												
2000/50	90.2	93.0	7.5	3.03	6.75	2.82	50.2	44.9	3.93	54.8	12.5	18.9
50/2	4.5	3.7	97.8	61.6	4.40	2.28	32.7	36.3	2.12	29.6	10.7	14.3
< 2	4.4	2.4	52.2	49.2	2.30	1.18	17.1	18.8	1.12	15.6	8.8	10.7
Somme	99.1	99.1			13.45	6.28	100	100	7.17			
Sol brut					14.40	6.10					11.3	15.3

TABLEAU VIII

Teneurs (mgN/g fraction), et quantités (mgN/g sol) d'azote dans les fractions granulométriques des sites 1 et 2. (F) sous forêt, (PSC) palmiers à huile avec plantes de couverture
Nitrogen contents (mgN/g of fraction) and amount (mgN/g of soil) of the particle-size fractions at sites 1 and 2, under forest (F), and oil palms with a leguminous cover (PSC)

Parcelles	POIDS %		mgN/g fraction		mgN/g de sol		% N total		ΔN $100 \Delta N/N$	
	F	PSC	F	PSC	F	PSC	F	PSC	F	PSC
SITE 1										
2000/50	88.6	87.6	0.78	0.19	0.69	0.17	50.7	25.0	0.52	76
50/2	5.2	6.7	5.81	4.00	0.32	0.26	23.5	38.2	0.06	9
< 2	7.1	5.9	5.0	4.5	0.35	0.25	25.7	36.8	0.10	15
Somme	101.3	100.2			1.36	0.68	100	100	0.68	
Sol brut					1.37	0.62				
SITE 2										
2000/200	90.2	93.0	0.60	0.16	0.54	0.15	50.2	44.9	0.39	49
200/50	4.5	3.7	9.11	4.32	0.41	0.16	32.7	36.3	0.25	32
< 2	4.4	2.4	5.91	4.58	0.26	0.11	17.1	18.8	0.15	19
Somme	99.1	99.1			1.21	0.42	100	100	0.79	
Sol brut					1.27	0.40				

enfin de 8 à 10 pour la fraction inférieure à 2 μm . Le rapport C/N diminue donc des fractions grossières aux fractions fines. Ces résultats confirment ceux publiés par différents auteurs en milieu tropical (FELLER *et al.*, 1991a) et en milieu tempéré (ANDERSON *et al.*, 1981).

DISTRIBUTION DU CARBONE ET DE L'AZOTE DANS LES FRACTIONS : EFFET DE LA MISE EN CULTURE

Sur les deux sites 1 et 2, plus de 50 % du carbone et de l'azote sont contenus dans la fraction sableuse pour les sols forestiers. La fraction sableuse (2 000/50 μm) contient 57 et 50 % du carbone total du sol, la fraction limoneuse (50/2 μm) 25 et 32 % et la fraction argileuse inférieure à 2 μm environ 17 % respectivement sur les sites 1 et 2. En ce qui concerne l'azote, les fractions prises dans le même ordre que précédemment contiennent 50, 23 et 25 % de l'azote total sur le site 1 et 50, 32 et 17 % sur le site 2.

L'influence du passage à l'élæiculture sur le site 1 se traduit principalement par une baisse des quantités de matières organiques contenues dans la fraction sableuse. Par contre, les quantités de C et N contenues dans les fractions limoneuses et argileuses décroissent faiblement. Sur le site 2, la diminution des quantités de C et de N porte encore principalement sur la fraction sableuse mais les quantités de C et N contenues dans les fractions limons et argile décroissent un peu plus nettement que sur le site 1.

DISCUSSION ET CONCLUSIONS

La décroissance des stocks organiques dans les sols cultivés par rapport aux sols forestiers peut être expliquée par la diminution des apports de matières végétales et par une décomposition plus rapide des matières organiques qui est due aux façons culturales. Mais l'effet de ces différentes techniques de culture crée une hétérogénéité intra-parcellaire quant à la localisation des restitutions et aux conditions de leur évolution.

Nous avons observé une inégale répartition des stocks organiques dans les horizons supérieurs des sols cultivés en billons et dans les plantations de palmiers à huile. Cette hétérogénéité spatiale apparaît analogue à celle liée à la présence du palmier à huile qui a été décrite par KANG (1977) au Nigéria pour des jachères forestières dans lesquelles les palmiers à huile ne sont pas abattus.

Dans les parcelles sous palmiers à huile que nous avons étudiées, les teneurs en matière orga-

nique sous andains illustrent localement l'influence des restitutions végétales sur le statut organique des sols. Les teneurs en carbone dans les horizons humifères des sols sous andains sont nettement plus élevées que dans les interlignes, mais elles restent inférieures aux teneurs observées dans les sols forestiers. L'entassement des feuilles d'élage dans les andains et leur faible contact avec la matière minérale du sol, ainsi que l'action des termites, semblent limiter les possibilités d'incorporation et de stabilisation des produits issus de la biodégradation des palmes.

Dans les parcelles sous cultures vivrières, l'enfouissement des résidus végétaux des cultures précédentes ou des adventices et l'entassement des mottes plus humifères prélevées dans l'interbillon provoquent une augmentation significative des teneurs en matière organique dans le billon ; mais cet accroissement localisé des teneurs en matière organique n'est que temporaire, car l'année suivante, les billons seront refaits dans l'interbillon. Cette étude de l'hétérogénéité spatiale liée aux techniques culturales nous a permis d'estimer avec plus de précision les stocks organiques moyens contenus dans les parcelles élémentaires sous plantation de palmiers à huile et sous cultures vivrières.

Sur les trois sites étudiés, les stocks organiques sous différents systèmes de cultures se rangent dans l'ordre suivant : F > PF > CV > PSC > PSN. Le défrichement et la mise en culture continue ou sous plantations pérennes, après 20 à 30 ans, se traduit par une décroissance de 40 à 70 % du stock de matière organique contenu dans le profil. Ce déclin assez important des stocks organiques après le défrichement a été observé sur des sols analogues par FAUCK *et al.* (1969) puis SIBAND (1974) au Sénégal et AYANABA *et al.* (1976) au Nigéria. Il s'explique par la diminution des restitutions végétales.

Pour les parcelles sous palmiers à huile, les estimations effectuées par HARTMANN (1991) en Côte-d'Ivoire indiquent que les apports de palmes élaguées concernent des quantités de biomasse végétale assez importantes, environ 10 tonnes de matières sèches/ha/an. Dans les conditions du Bénin où le déficit hydrique limite le développement végétatif, les quantités de matières végétales restituées par les plantations de palmier à huile doivent être plus faibles que les apports annuels de litière dans les écosystèmes forestiers. La chute de litière a été évaluée par SOKPON et LEJOLY (1991) au Bénin à 9,4 t/ha et au Ghana par NYE (1961) à 9,66 t/ha. Cependant, les teneurs en matière orga-

nique des sols sous andains restent inférieures à celles de la parcelle forestière. L'exportation d'une partie des palmiers comme bois de feu et la biodégradation aérienne des palmiers restantes paraissent expliquer la diminution des stocks moyens de matières organiques dans ces parcelles.

La baisse des teneurs en carbone ou en azote dans les plantations de palmiers à huile conduites en sol nu au jeune âge, parcelles PSN, est encore significative 20 à 30 ans plus tard, bien que cette technique favorise le développement végétatif des palmiers et la précocité de la production des arbres (BENARD et DANIEL, 1971). L'entretien mécanisé du sol pour supprimer le recrû dans les interlignes et l'absence d'écran thermique favorisent la décomposition des matières organiques des horizons humifères de surface. D'autre part, l'absence de plante de couverture sur les parcelles PSN permet d'expliquer la baisse des teneurs en éléments fins sous PSN par rapport à celles observées dans les parcelles avec plantes de couverture au jeune âge PSC. Ceci serait dû à l'impact des gouttes de pluie sur le sol nu, qui provoque une désagrégation du sol et une dispersion plus forte des éléments fins que dans les plantations protégées par une plante de couverture. Il en résulte une érosion sélective de l'argile et des matières organiques plus marquée dans les parcelles PSN que PSC.

Par ailleurs, on s'aperçoit que la diminution des stocks organiques dans les sols cultivés est d'autant plus importante que les horizons humifères sont plus sableux. Si pour l'ensemble des situations forestières et cultivées étudiées la corrélation entre le stock d'éléments fins (argile + limons fins) et le stock de matière organique dans la couche 0-35 cm n'est pas significative, on remarque que sur le site 1 la diminution des stocks organiques dans les sols cultivés par rapport au sol forestier est plus faible que sur les deux autres sites. La richesse en éléments fins un peu plus grande sur ce site 1 a donc favorisé une certaine stabilisation des matières organiques à un niveau d'équilibre dynamique un peu plus élevé.

Le fractionnement granulométrique par tamisage humide et dispersion par les ultrasons des échantillons provenant de l'horizon humifère de surface montre que c'est principalement les matières organiques contenues dans les fractions grossières (>50 µm) et, secondairement, celles des fractions 2-50 µm qui ont diminué au cours des cultures. Par contre, les quantités de matières organiques contenues dans la fraction argileuse ont peu varié. Ces dernières paraissent donc relativement stables, mais

dans cet horizon, leur contribution au stock total de carbone et d'azote organique de ces sols est faible. Ces résultats sont en accord avec les données de la littérature concernant le renouvellement des matières organiques associées aux différentes fractions granulométriques des sols (CERRI *et al.*, 1985 ; MARTIN *et al.*, 1990 ; DESJARDINS, 1991 pour les situations tropicales, BALESSENT *et al.*, 1987 pour les situations tempérées). Ces différents auteurs, en utilisant l'isotope ¹³C en abondance naturelle comme traceur du carbone lors de succession de végétation de type C₃-C₄ ou C₄-C₃, ont en effet montré qu'en première approximation, le taux de renouvellement des débris végétaux résiduels associés aux sables est plus élevé que celui des matières organiques liées aux limons et aux argiles.

Les débris organiques figurés plus ou moins humifiés de la fraction grossière des horizons humifères paraissent en grande partie biodégradés lors de la mise en culture. Ils constituent le compartiment organique le plus important dans l'horizon supérieur sableux de ces sols forestiers sur terre de barre, mais c'est également le compartiment organique qui varie le plus sous l'influence des systèmes de culture.

Ces comparaisons du statut organique sous forêt et sous culture montrent que la décroissance des stocks organiques dans ces sols sableux ne peut être évitée ou corrigée que par une bonne gestion des restitutions. En particulier, on notera l'effet très défavorable pour les stocks de carbone et d'azote du travail du sol et de l'absence de plantes de couverture dans les plantations de palmiers à huile, spécialement pour les sols les plus sableux. Inversement, les plantations forestières permettent de remonter le stock organique de ces sols à un niveau intermédiaire avec celui des sols sous jachère ou forêt secondaire (GREENLAND et NYE, 1959).

Il apparaît donc que la durabilité des systèmes de culture continue sur terres de barre passe par :

- une politique de régénération des stocks organiques par la jachère ou des plantations forestières dans les sols les plus sableux ou les plus épuisés ;
- une intensification de la production de biomasse par fertilisation minérale, irrigation d'appoint et façons aratoires minimales dans les sols les moins dégradés ;
- la recherche d'associations ou de succession de cultures favorisant les restitutions organiques, en particulier racinaires. À ce sujet, les effets de divers systèmes agro-forestiers devraient être étudiés sur ces terres de barre.

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

BIBLIOGRAPHIE

- ALLISON (F.E.), 1973. – *Soil organic matter and its role in crop production. Development in Soil Science 3*. New York, Elsevier Science Publishing Co.
- ANDERSON (D.W.), SAGGAR (S.), BETTANY (J.R.), STEWART (J.W.B.), 1981. – Particle size fractions and their use in studies of soil organic matter: I The nature and distribution of forms of carbon, nitrogen, and sulfur. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 45 : 767-772.
- AYANABA (A.), TUCKWELL (S.B.), JENKINSON (D.S.), 1976. – The effects of clearing and cropping on the organic reserves and biomass of tropical forest soils. *Soil Biol. Biochem.*, 8 : 519-525.
- BALESDENT (J.), MARIOTTI (A.), GUILLET (B.), 1987. – Natural ^{13}C abundance tracer for studies of soil organic matter dynamics. *Soil Biol. Biochem.*, 19 (1) : 25-30.
- BENARD (G.), DANIEL (C.), 1971. – Économie de l'eau en jeunes palmeraies sélectionnées du Dahomey. Castration et sol nu. *Oléagineux*, 26 (4) : 225-232.
- BOISSEZON (P. de), 1973. – « Les matières organiques des sols ferrallitiques », in *Les sols ferrallitiques*, T. 1 : 9-66, Paris, Orstom, I.D.T. 21, 146 p.
- BONNEAU (M.), SOUCHIEZ (B.) (éd.), 1979. – *Pédologie II*, Paris, Masson.
- BOYER (J.), 1982. – *Les sols ferrallitiques. Facteurs de fertilité et utilisation des sols*, Tome X. Paris, Orstom, I.D.T. 52, 384 p.
- BRUCKERT (S.), 1979. – « Analyse des complexes organo-minéraux des sols » in M. BONNEAU et B. SOUCHIER (éd), 1979 : 181-208.
- CERRI (C.), FELLER (C.), BALESDENT (J.), VICTORIA (R.), PLENECASSAGNE (A.), 1985. – Application du traçage isotopique naturel en ^{13}C à l'étude de la dynamique de la matière organique dans les sols. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 300, 9 : 423-428.
- CPCS, 1967. – *Classification des sols*. Rapp. Ensa Grignon, 87 p., multigr.
- DABIN (B.), 1956. – Contribution à l'étude de la fertilité des terres de barre. *Agron. trop.*, 11(4) : 490-506.
- DESJARDINS (T.), 1991. – *Variation de la distribution de la matière organique (carbone total et ^{13}C) dans les sols ferrallitiques du Brésil. Modifications consécutives à la déforestation et à la mise en culture en Amazonie orientale*. Thèse Univ. Nancy-1, 137 p. + annexes.
- DJEGUI (N.), 1982. – *Essai de caractérisation de l'état de dégradation des terres de barre*. Irat-Cirad Montpellier, 35 p., multigr.
- FAO-UNESCO, 1989. – Carte mondiale des sols. Légende révisée. Rapport sur les ressources en sols du monde, n° 60, FAO (Rome), 125 p.
- FAUCK (R.), MOUREAUX (C.R.), THOMANN (C.), 1969. – Bilans de l'évolution des sols de Séfa (Casamance, Sénégal) après quinze années de culture continue. *Agron. trop.* (3) : 263-301.
- FAUCK (R.), 1972. – *Les sols rouges sur sables et sur grès d'Afrique Occidentale*. Mémoire Orstom n° 61, 257 p.
- FELLER (C.), 1979. – Une méthode de fractionnement granulométrique de la matière organique des sols. Application aux sols tropicaux à texture grossière très pauvres en humus. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, vol. XVII, n° 4 : 339-346.
- FELLER (C.), FRANÇOIS (C.), VILLEMIN (G.), PORTAL (J.-M.), TOUTAIN (F.), MOREL (J.-L.), 1991a. – Nature des matières organiques associées aux fractions argileuses d'un sol ferrallitique. *C.R. Acad. Sci. Paris*, t. 312, Série II : 1491-1497.
- FELLER (C.), FRITSCH (E.), POSS (R.), VALENTIN (C.), 1991b. – 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.
- GREENLAND (D.J.), NYE (P.H.), 1959. – Increases in the carbon and nitrogen contents of tropical soils under natural fallows. *J. Soil Sci.*, 10 (2) : 284-299.
- HARTMANN (C.), 1991. – *Évolution et comportement des sols sablo-argileux ferrallitiques sous culture de palmiers à huile. Cas de la plantation R. Michaux à Dabou (Côte-d'Ivoire)*. Thèse de Doctorat de l'Université de Paris-VI, 201 p.
- HUMBEL (F.-X.), MULLER (J.-P.), RIEFFEL (J.-M.), 1977. – Quantités de matières organiques associées aux sols du domaine ferrallitique au Cameroun. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, vol. XV, n° 3 : 259-274.
- IRHO, 1964. – *Plan palmier à huile*. Étude de base. Annexe, 1, 55 p., multigr.
- KANG (B.T.), 1977. – Effect of some biological factors on variability in the tropics. 2. Effect of oil palm tree (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Plant and Soil* 47 : 451-462.
- LAL (R.), KANG (B.), 1982. – « Management of organic matter in soils of the tropics and sub tropics », in *Non-Symbiotic Nitrogen Fixation and Organic Matter in the Tropics*. Trans. 12th Intern. Congr. Soil Sci. (New Delhi 8-16 fév. 1982) : 153-178.
- MARTIN (J.-P.), HAIDER (K.), 1986. – Influence of mineral colloid on turnover rates of soil organic carbon. *Soil Sci. Soc. Am. J. Spec. Pub.* n° 17.
- MARTIN (A.), MARIOTTI (A.), BALESDENT (J.), LAVELLE (P.), VUATTOUX (R.), 1990. – Estimates of organic matter turnover rate in a savanna soil by ^{13}C natural abundance measurements. *Soil Biol. Biochem.*, 22 : 517-523.
- NYE (P.H.), 1961. – Organic matter and nutrient cycle under moist tropical forest. *Plant and soil*, 13 : 333-346.
- PERRAUD (A.), 1970. – Note sur les différents types d'humus des sols ferrallitiques forestiers de la Côte-d'Ivoire. *C.R. Acad. Sc. Paris*, 270 : 1302-1305.
- PFEIFFER (V.), 1988. – *Agriculture au Sud-Bénin. Passé et perspectives*. Paris, L'Harmattan, 172 p.

- RAUNET (M.), 1973. – Contribution à l'étude pédoagronomique des « terres de barre » du Dahomey et du Togo. *Agron. Trop.*, 28(1) : 1049-1069.
- SANCHEZ (P.A.), GICHURU (M.-P.), KATZ (L.B.), 1982. – « Organic matter in major soils of Tropical and Temperate regions », in *Non-Symbiotic Nitrogen Fixation and Organic Matter in the Tropics*. Trans. 12th Intern. Congr. Soil Sci. (New Delhi 8-16 fév. 1982) : 99-114.
- SIBAND (P.), 1974. – Évolution des caractères et de la fertilité d'un sol rouge de Casamance. *Agron. trop.*, 29 (12) : 1228-1248.
- SOKPON (N.), LEJOLY (J.), 1991. – Phénologie et production de litière dans la forêt dense semi-décidue de Pobè (Sud-Est Bénin). *Revue Forestière Française*, Hors série, 2 : 171-176.
- TIESSEN (H.), STEWART (J.W.B.), 1983. – Particle-size fractions and their use in studies of soil organic matter: II. Cultivation effects on organic matter composition in size fractions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 47 : 509-514.
- WERTS (R.), 1979. – *Dossier pour une synthèse des résultats de la recherche agronomique au Bénin en maïsiculture*. Irat-Cirad (Cotonou), 241 p., multigr.

Les stocks organiques des principaux sols cultivés de la Martinique (Petites Antilles)

Alain ALBRECHT (1), Michel BROSSARD (2), Jean-Luc CHOTTE (1) et Christian FELLER (3)

(1) Laboratoire matière organique des sols tropicaux, Orstom, BP 8006, 97259 Fort-de-France cedex, Martinique.

(2) Orstom clo Centre de pédologie biologique, CNRS, BP 5, 54501 Vandœuvre-lès-Nancy cedex.

(3) Laboratoire d'étude du comportement des sols cultivés, Orstom, BP 5045, 34032 Montpellier cedex.

RÉSUMÉ

On étudie les stocks organiques des principaux types de sols représentés à la Martinique selon le type de plante cultivée qu'ils supportent : systèmes agro-industriels (plantations de canne à sucre (Ca), de banane (Ba), d'ananas (An)), systèmes vivriers (Vi), maraîchers (Ma) et fourragers (Pr). Les types de sols étudiés, représentatifs de l'archipel des Petites Antilles, sont : les sols peu évolués sur cendres et ponces (J) ou sur alluvions (A), les andosols sur ponces (P) ou sur tufs (T), les sols bruns à halloysite (H), les vertisols (V) et les ferrisols (F).

On constate que, pour la couche 0 – 20 cm :

- toutes situations confondues, les stocks organiques varient de 23 tC/ha, pour les situations maraîchage sur vertisol, à 76 tC/ha pour les situations ananas sur andosols sur ponces ;*
- toutes situations agronomiques confondues, les stocks organiques des sols à caractères andiques (J, P, T) sont toujours supérieurs à ceux des sols à minéraux argileux cristallisés (H, V, F, A) ;*
- pour un sol donné, les stocks organiques varient dans le sens : pour la région Nord et Centre, $An = Ca = Ba > Vi$, et pour la région Centre et Sud, $Pr > Ca > Vi$.*

Les stocks organiques les plus faibles sont obtenus pour les cultures maraîchères sous vertisols, ceci étant dû à une faible restitution des résidus de récolte et à une relativement forte érosion en nappe. Pour les autres sols, les stocks organiques sous cultures restent relativement élevés en comparaison à d'autres types de sols tropicaux. Les prairies artificielles permettent une augmentation notable des stocks organiques en quelques années. Toutefois les pratiques culturales conduisant à atteindre des valeurs inférieures à 15 mgC/g sol (ou 30 tC/ha), pour la couche 0 - 20 cm, sont à proscrire pour une gestion conservatoire à moyen et long terme des sols argileux H, F, Af, V et Av.

MOTS CLÉS : Matière organique – Martinique – Sols tropicaux volcaniques – Modes d'occupation des sols.

ABSTRACT

SOIL ORGANIC MATTER STORAGE IN THE MAIN CULTIVATED SOILS OF MARTINIQUE (WEST INDIES)

The authors studied the effect of main cropping systems in Martinique (West Indies): agro-industrials (sugarcane (Ca), banana (Ba), pineapple (An)), food-crops (Vi), vegetables (Ma) and pastures (Pr) - on soil organic matter storage of the most representative soils of this island (and others in Lesser Antilles). These soils are young soils on ashes and pumices (J) or on alluvial materials (A), andisols on pumices (P) or « tufs » (T), vertisols (V), « ferrisols » (F).

The results showed, for the layer 0 - 20 cm, that:

- soil organic matter stocks of topsoils (0-20 cm) varied from 23 tC/ha (for the situation Ma/V) to 76 tC/ha (for the situation An/P),*

- for all cropping systems, organic matter stocks of soils with andic characteristics (J, P, T) were higher than organic matter stocks of soils with cristallized clay minerals (H, V, F, A),
- for a given soil type, the effect of the cultivated plant type on soil organic matter storage was: for the North and Middle areas of the island: $An = Ca = Ba > Vi$, and for the Middle and the South: $Pr > Ca > Vi$.

The lowest organic stocks described here were found on the situation with market-gardening on vertisols, owing to the low restitution of crop residues and a relatively high sheet erosion. For the other situations, soil organic stocks were comparatively high versus other tropical soils. Installation of pastures allowed a noteworthy increase of soil organic matter storage in a few years. Nevertheless soil management practices they decrease soil organic content under values of 15 mgC/g soil (or 30 tC/ha for soil organic stock), for the layer 0 - 20 cm, were to banish for the sustainability of the clayed soils H, F, Af, V and Av.

KEY WORDS: Martinique – Soil management – Soil organic matter – Tropical volcanic soils – West Indies.

INTRODUCTION

De nombreux travaux sur les sols tropicaux de différentes parties du monde ont mis en évidence les relations relativement étroites existant souvent entre les niveaux des stocks organiques et d'autres propriétés édaphiques : propriétés d'échange, pH, stabilité de la structure, azote, phosphore, etc. On pourrait citer entre autres les travaux de COMBEAU et QUANTIN (1964), FAUCK *et al.* (1969), BOISSEZON (1973), AGBOOLA (1974), CHARREAU (1974), SIBAND (1974), FELLER et MILLEVILLE (1977), PICHOT *et al.* (1977), COINTEPAS et MAKILO (1982), GODEFROY (1982), MILLER *et al.* (1982), MOREAU (1983), EGOUMINEDES *et al.* (1985), LEPRUN (1988), ADEJUWON et EKANADE (1988), CERRI *et al.* (1991).

Toutes choses égales par ailleurs, les conséquences sur l'érodibilité, par exemple, peuvent être importantes (ROOSE, 1981 ; LEPRUN, 1986). Enfin, dans un certain nombre de situations, les diminutions des stocks organiques des sols et les variations des caractères édaphiques qui y sont liées peuvent conduire à des diminutions importantes de la productivité végétale (CHARREAU, 1974 ; LEPRUN, 1986 ; PICHOT *et al.*, 1977 ; SEDOGO *et al.*, 1979 ; SIBAND, 1974), même si ce fait n'est pas généralisable (SANCHEZ et MILLER, 1986). C'est ainsi que, pour un type de sol donné, il est possible de proposer un seuil inférieur des teneurs en carbone organique des horizons de surface (0-20 cm), seuil qu'il ne faudrait pas atteindre au risque de dégradations très fortes du milieu (propriétés édaphiques, érosion, disponibilité des nutriments, productivité) plus ou moins irréversibles à long terme. Pour des oxisols du Brésil, LEPRUN (1986) situerait ce seuil à 9 mgC/g sol. L'analyse des résultats de SIBAND (1974) et SEDOGO *et al.* (1979) pour des sols sablo-

argileux à argilo-sableux de l'Afrique de l'Ouest conduit à des valeurs identiques. Des travaux effectués dans notre laboratoire (CHEVIGNARD *et al.*, 1987 ; BARRET *et al.*, 1991) montrent, dans le cas particulier de ferrisols (Martinique) ayant subi un décapage des horizons de surface en vue de l'aplanissement des reliefs pour la mécanisation des récoltes de la canne à sucre, que, pour des teneurs en carbone organique inférieures à 10 mgC/g sol, la baisse souvent observée des rendements serait attribuable en partie à des paramètres liés à la matière organique (minéralisation de l'azote, fixation du phosphore, entre autres).

Il apparaît donc important, pour les principaux types de sol d'une région donnée, d'étudier l'effet de divers systèmes d'exploitation du milieu sur le niveau des stocks organiques. Si de nombreux travaux pédologiques ont été menés par l'Orstom à la Martinique et à la Guadeloupe (COLMET-DAAGE et son équipe) jusqu'en 1980 en vue de la cartographie des sols, à notre connaissance, aucune étude systématique des stocks organiques des sols cultivés n'a été faite à ce jour pour les Petites Antilles.

Cette publication ne concerne que des situations à la Martinique mais les cultures considérées et les grands types de sols étudiés (sols peu évolués sur cendres et ponces, andosols, vertisols, ferrisols) sont souvent bien représentés dans les autres îles volcaniques de la région.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Les situations étudiées

Les sols sur matériaux d'origine volcanique, à la Martinique, se différencient essentiellement sous l'effet du climat (en particulier la pluviosité,

fig. 1b), de l'âge du matériau ou de la durée de la pédogenèse, de la nature du dépôt. On distingue ainsi (COLMET-DAAGE et LAGACHE, 1965) les principaux types de sols suivants (fig. 1a) :

- les sols peu évolués d'apport sur cendres et ponces (notés J) ;
- les sols peu évolués d'apport sur alluvions à caractère ferrisolique (notés Af) ou vertique (notés Av) ;
- les andosols sur ponces (notés P) ;
- les andosols sur tufs (notés T) ;
- les sols brun-rouille à halloysite (notés H) ;
- les sols ferrallitiques et fersiallitiques dont les ferrisols (notés F) ;
- les vertisols (notés V) ;
- les sols rouges à montmorillonite (non étudiés ici).

Les situations culturelles retenues sont :

- les monocultures de banane (notées Ba), canne à sucre (notées Ca), ananas (notées An), avocat (notées Avoc) ;

– les prairies (notées Pr), naturelles (notées Prn), ou artificielles (notées Pra) essentiellement plantées en *Digitaria decumbens* ;

– les rotations vivrières (notées Vi) et maraîchères (notées Ma) fortement (notées F), moyennement (notées m) ou faiblement (notées f) intensifiées (notées i).

Les situations maraîchères sont toutes fertilisées et irriguées. Leur « degré d'intensification » est fonction de la durée des jachères intercalaires (TYBURN, 1985) :

- inférieure à 4 mois pour les situations dites fortement intensifiées (2 cultures annuelles) ;
- de 4 à 9 mois pour les situations dites moyennement intensifiées (1 culture par an) ;
- de 5 à 21 mois pour les situations dites faiblement intensifiées (1 culture bisannuelle).

Ces situations culturelles sont parfois comparées à des situations dites « naturelles » : forêt, savanes arborées (notées Sav arb), prairies « naturelles » (notées Prn).

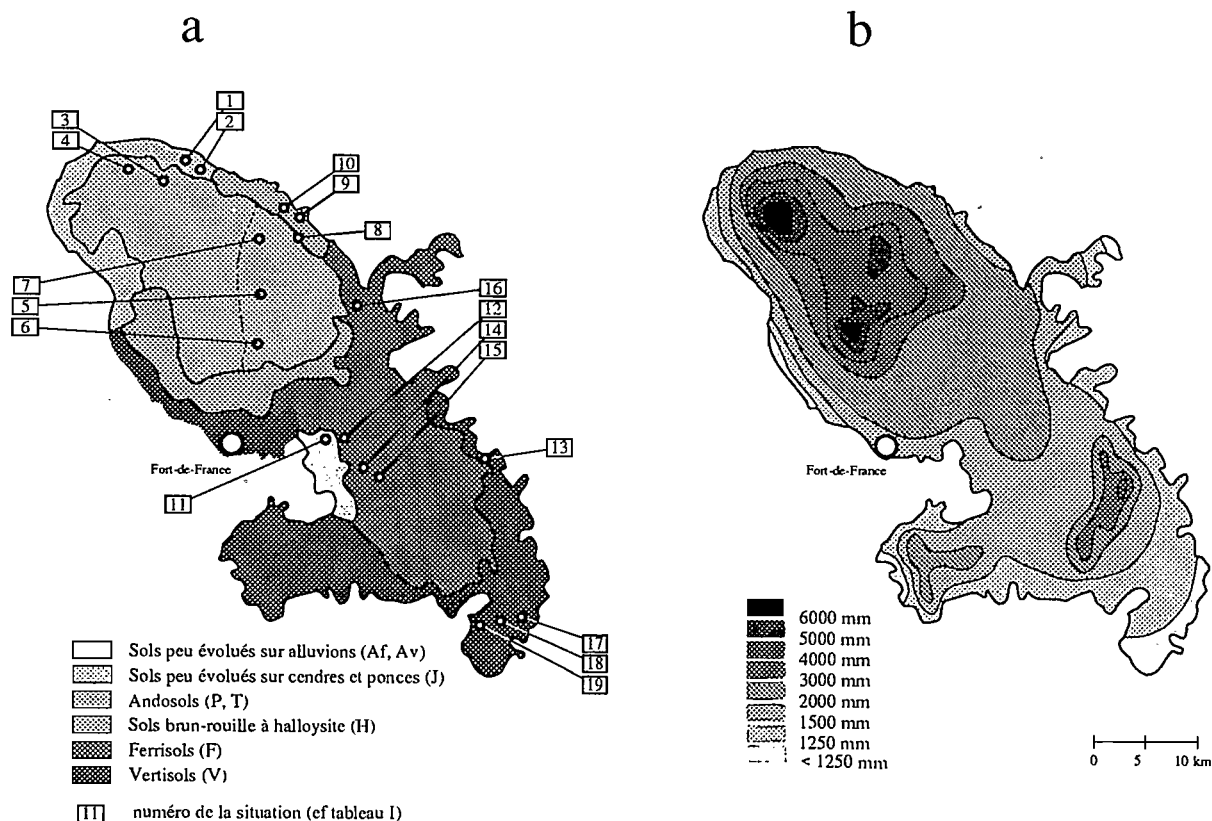


FIG. 1a – Carte simplifiée des sols de la Martinique et localisation des situations étudiées.
Simplified soil map of Martinique and samples locations.

FIG. 1b – Carte simplifiée de la pluviosité de la Martinique.
Simplified rainfall map of Martinique.

TABLEAU I
Présentation des situations agropédologiques étudiées
Presentation of the studied agropedological situations

Type de sol	Symbole de la situation	Végétation ou culture	Durée de la culture (années)	Renseignements divers	Pluviosité (mm/an)	Numéro de la situation (figure 1a)
J	J-An (1)	ananas	>20	Habitation Pécol, Basse Pointe	2300	1
	J-An (2)	ananas	>20	Habitation Pécol, Basse Pointe	2300	2
	J-Ba	banane	>20	Habitation Pécol, Basse Pointe	2300	1
P	P-An	ananas	>20	Habitation Eden, Ajoupa-Bouillon	3200	3
	P-Ba	banane	>20	Habitation Eden, Ajoupa-Bouillon	3200	3
	P-Ca	rotation canne à sucre/ananas	>20	Habitation Bellevue, Macouba - avant 1976 : rotation Ca/An - 1976-1978 : An - 1978-1985 : Ca	3200	4
T	T-Forêt (1)	forêt		Habitation St Etienne, St Joseph	2950	5
	T-Ca	canne à sucre	>20	Habitation St Etienne, St Joseph	2950	5
	T-Forêt (1)	forêt		Habitation Le Chalet, St Joseph	3210	6
	T-Ba	banane	>20	Habitation Le Chalet, St Joseph	3210	6
	T-Vi/Ma	rotation vivrier/jachère/canne à sucre	>20	Jardin "Ludon", Ste Marie	3210	7
T/H	T/H-Avoc/Pr	avocat & prairie	>20	Habitation Concorde, Ste Marie	2300	8
	T/H-Ba	banane	>20	Habitation Concorde, Ste Marie	2300	8
H	H-Ba	rotation banane/jachère	>20	Quartier Charpentier, Ste Marie - 1965-82 : banane - 1982-84 : jachère - 1984-85 : banane	2150	9
	H-Ca	canne à sucre	>20	Plantation St James, Ste Marie	2150	10
Af	Af-Ba	banane	11	Rivière Lézarde, Pt Morne, Lamentin - 1965-74 : canne à sucre - 1974-85 : banane	1800	11
	Af-Ca	canne à sucre	>20	Rivière Lézarde, Pt Morne, Lamentin	1800	11
	Af-Ma	maraîchage	>20	IRAT, Lareinty, Lamentin	1800	12
Av	Av-Ba/Ca	rotation banane/canne à sucre	>20	Habitation Simon, Baie du Simon - 1965-74 : banane - 1974-78 : canne à sucre - 1978-85 : banane	1500	13
	Av-Ca/Ba	rotation banane/canne à sucre	>20	Habitation Simon, Baie du Simon - 1965-74 : banane - 1974-85 : canne à sucre	1500	13
F	F-Sav arb	savane arborée		Ducos	1800	14
	F-Ma F i	maraîchage	>20	IRAT, Lareinty, Lamentin	1800	12
	F-Ma m i	maraîchage	>10	Quartier Morne Vert, Ducos	1800	15
	F-Ca	canne à sucre	>20	Habitation Gallon, Trinité	1820	16
V	V-Sav arb	savane arborée		Les Anglais, Ste Anne	1400	17
	V-Pra	prairie artificielle	7	Station SECI, Ste Anne	1400	18
	V-Prn	prairie naturelle	>10	prox. Station SECI, Ste Anne	1400	19
	V-Ma F i	maraîchage	7	Station SECI, Ste Anne	1400	18
	V-Ma m i	maraîchage	10	prox. Station SECI, Ste Anne	1400	19
	V-Ma f i	maraîchage	10	Quartier Les Anglais, Ste Anne	1400	17

Toutes ces situations agro-pédologiques sont regroupées et décrites dans le tabl. I et sont repérées sur la figure 1a.

Prélèvements et comparaison des situations agro-pédologiques

Chaque situation agro-pédologique a fait l'objet d'une description de profils, de prélèvements d'échantillons moyens (12 répétitions) pour trois épaisseurs de sol (0-10, 10-20, 20-40 cm), de mesures de densité apparente (γ_a) sur ces mêmes épaisseurs (3 à 6 répétitions), de prélèvements éventuels d'horizons pédologiques, de diverses analyses des échantillons prélevés : granulométrie, pH, teneurs en carbone et azote, teneurs en eau mesurées au champ (W_n) et à différents potentiels (pF 2,5 et pF 4,2), capacité d'échange cationique (CEC).

Pour un même type de sol, n'ont été retenues que les situations dont la texture et la minéralogie des horizons de surface sont proches, conditions indispensables pour tester des « effets culture » sur les variations des stocks organiques des sols (ROOSE et CHEROUX, 1966 ; BOISSEZON, 1973 ; FELLER *et al.*, 1991).

Des critères simples sont utilisés pour décider de ces comparaisons.

• Sols à caractère allophanique

Il est bien connu que, pour ces types de sol, la détermination des teneurs en argile est délicate à obtenir et difficile à interpréter, la dispersion au cours de l'analyse mécanique étant dépendante du pH (COLMET-DAAGE *et al.*, 1972). Ainsi, pour ces sols, avons-nous déterminé simplement les teneurs en terre fine (t.f. = 0-2 mm) pour les sols J et P et les teneurs en argiles + limons (0-50 μ m) pour les sols J, P, T et T/H. Les autres critères souvent utilisés pour les comparaisons des matériaux de ces types de sol sont la teneur en eau naturelle W_n (EGASHIRA *et al.*, 1986) et/ou les teneurs en eau à différents pF sur échantillons non préalablement séchés.

• Autres sols

Les critères de comparaison, d'ailleurs interdépendants, sont à la fois la teneur en éléments fins (A + LF, 0-20 μ m), la teneur en eau à pF 4,2 et la capacité d'échange (CEC) mesurée à pH 7.

Méthodes analytiques

Le carbone organique (C) et l'azote (N) sont dosés par voie sèche à l'auto-analyseur CHN Carlo Erba Mod. 1106.

Les teneurs en eau aux différents pF sont déterminées à la presse Richards selon SSC-OR-STOM (s.d.) sur échantillons non séchés pour les sols J, P, T et séchés préalablement pour les autres sols.

La capacité d'échange cationique est déterminée à l'acétate d'ammonium à pH 7 selon PELLOUX *et al.* (1971).

Les mesures de pH sont faites sur une suspension dans un rapport sol/solution de 1/2,5.

Les densités apparentes γ_a sont estimées par la méthode au cylindre sur un volume de 493 cm³ (hauteur du cylindre = 10 cm).

Le test de terrain « NaF » est fait selon FIELDS et PERROT (1966).

Estimation et comparaison des stocks de carbone et d'azote

Les stocks de carbone et d'azote exprimés en tonne par hectare sont calculés de la façon suivante :

$C \text{ (ou N) t/ha} = (C \text{ (ou N) mgC/g sol}) \times (\gamma_a) \times (\text{épaisseur de la couche de sol en dm})$

Pour les sols riches en éléments grossiers (J et P), la teneur totale en carbone (ou azote) intègre les fractions de tailles supérieure et inférieure à 2 mm (FELLER *et al.*, 1989).

Les écarts-types des stocks de carbone exprimés en tonne par hectare n'ont pas été déterminés systématiquement pour toutes les situations agro-pédologiques étudiées ici. Nous reportons au tabl. II quelques données obtenues pour d'autres situations agro-pédologiques similaires (Guadeloupe et Sainte-Lucie). Toutes situations confondues, on constate que les coefficients de variation varient de 4 à 21 % et les écarts-types de 1 à 7 tonnes de carbone par hectare.

Nous avons utilisé ces données pour obtenir, de manière statistique avec n répétitions (test de comparaison des moyennes pour de petits échantillons), la différence théorique ($\Delta m = m_A - m_B$) significative entre les stocks organiques de 2 situations différentes A et B. Pour la couche 0-10 cm, pour n variant de 10 à 13, au risque de 1 %, et pour un écart-type maximum de 4,2 tC/ha (tabl. II), on obtient alors $\Delta m = 1,4$ tC/ha. Si l'on considère les stocks organiques pour la couche 0-20 cm calculés par la somme de stocks 0-10 et 10-20 cm, Δm devient alors égal à 2,8 tC/ha. On a choisi la valeur $\Delta m = 5$ tC/ha pour exprimer des différences hautement significatives entre deux parcelles pour la couche 0-20 cm.

TABLEAU II

Moyennes (m), coefficients de variation (CV) des teneurs en carbone et écarts-types (s) des stocks organiques pour différentes situations agropédologiques de sols volcaniques des Petites Antilles (Martinique, Guadeloupe, Sainte-Lucie)
Soil organic content mean (m), coefficient of variation (CV) and standard deviation (s) of soil organic stocks for different agropedological situations on volcanic soils in the Lesser Antilles (Martinique, Guadeloupe, Saint Lucia)

Type de sol et localisation	Culture	Horizons	Nombre de répétitions	Teneur en carbone		γ_a	Stock organique	d'après
				m mgC.gsol ⁻¹	CV %			
(*)	(*)	cm				g.cm ⁻³	tC.ha ⁻¹	
T1	Ma/Vi	0-10	9	30,8	10	0,78	2,4	Feller et al. (1984)
F2	Pra	0-10	6	41,0	18	0,85	6,3	CEE-ORSTOM (1988)
		10-20	6	29,5	21	1,32	8,2	id
	Pra(Ma)	0-10	12	35,0	12	0,98	4,1	id
		10-20	12	23,0	7	1,05	1,7	id
	Ma	0-10	6	19,9	4	1,18	0,9	id
		10-20	6	19,8	5	1,12	1,1	id
F4	JP10	0-10	12	29,4	11	1,09	3,5	id
		10-20	4	21,4	10	1,18	2,5	id
	JP2	0-10	5	26,4	9	1,09	2,6	id
		10-20	5	24,5	19	1,22	5,7	id
	Ma/Vi	0-10	5	19,0	14	0,90	2,4	id
		10-20	3	19,4	9	0,92	1,6	id
V1	Ma	0-10	13	13,3	21	0,99	2,8	id
	Mais(Pra)	0-10	10	20,6	20	0,94	4,1	id

(*) : T, F, V : andosol (sur tuf), sols à caractères ferrallitiques, vertisol

1, 2, 4 : Martinique, Guadeloupe, Ste Lucie

Ma/Vi = rotations maraîchères et vivrières, Ca = canne à sucre, Pra = prairie artificielle, Ma = cultures maraîchères, JP = jachère pâturée (et sa durée), entre parenthèses = le précédent cultural de longue durée

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les résultats sont détaillés dans les tableaux III à VII.

Des observations du paragraphe concernant les prélèvements et la comparaison des situations agropédologiques, il ressort que :

- pour les sols P, la situation Ca est difficilement comparable aux situations An et Ba par suite de teneurs en terre fine beaucoup plus faibles (tabl. III) ;
- pour tous les autres sols, la comparaison, pour le même type de sol, entre situations culturales est possible.

Signalons que, pour les sols T et la situation F/Ca, les stocks de carbone n'ont été estimés que pour la couche 0-20 cm (tabl. IV).

Variations des teneurs en carbone et des stocks organiques selon le type de sol

Pour chaque type de sol, et toutes situations agromonomiques confondues, a été calculée la moyenne des teneurs (mgC/g sol) et des stocks (tC/ha) en carbone sur la couche 0-20 cm (fig. 2 et 3).

Pour les teneurs en carbone, on peut distinguer trois groupes de sols (fig. 2) :

- les andosols sur ponces (P) et sur tufs (T) aux teneurs moyennes d'environ 30 mgC/g sol et teneurs minimales supérieures à 20 mgC/g sol ;
- les sols à caractères andiques (J et T/H) sur matériaux ponceux relativement récents mais sous des pluviosités plus faibles (2 300 mm/an) que les sols P et T (3 200 mm/an), avec des teneurs moyennes d'environ 20 mgC/g sol ;
- les sols à minéraux argileux cristallisés, H, F, Af (à argile de type 1/1) et Av et V (à argile de type 2/1) sous des pluviosités variant de 2 100 à 1 400 mm/an et avec des teneurs en carbone d'environ 20 mgC/g sol ; une valeur minimum de 11 mgC/g sol est observée pour la situation maraîchère fortement intensifiée sous vertisol.

Pour les stocks en carbone (tC/ha), on peut distinguer, à partir des valeurs moyennes (fig. 3) :

- les andosols sur ponces (P) avec des stocks très élevés, d'environ 65 tC/ha ;

TABLEAU III
Caractéristiques physico-chimiques des sols allophaniques sur cendres et ponces
Analytical characteristics of allophanic soils on ashes and pumices

Sol	Culture	z (cm)	C (mg.g ⁻¹ sol)	N (mg.g ⁻¹ sol)	C/N	C (t.ha ⁻¹)	N (t.ha ⁻¹)	pH H ₂ O	pH KCl	CEC (cmol.kg ⁻¹)	γ_a (g.cm ⁻³)	Sol < 2 mm (%sol)	Wn (%sol)
J	An (1)	0-10	28,2	3,8	7,4	25	3	4,8	4,7	13	0,9	53,8	41,2
		10-20	25,9	2,8	9,1	23	2	5,1	4,6		0,88	54	45,1
		20-40	26,5	2,7	9,6	49	5	5,1	4,5		0,92	33,4	46,4
		0-40				97	10						
		0-20				48	5						
	An (2)	0-10	30,8	3,3	9,3	25	3	4,5	4,5	13,6	0,82	59,5	42,7
		10-20	26,3	2,6	10,5	22	2	4,9	4,8		0,84	40	57,5
		20-40	30	3,2	9,1	52	6	5	4,9		0,87	55,5	54,6
		0-40				99	12						
		0-20				47	5						
	Ba	0-10	26,3	2,9	8,8	30	3	5,6	4,8	9,8	1,11	67,7	23,3
		10-20	20,7	2,2	9,3	23	2	6	5,2		0,98	67,5	25
		20-40	19,3	2	9,3	42	5	6,2	5,1		0,88	68,7	26,7
		0-40				95	10						
		0-20				53	5						
P	An	0-10	41,3	4,26	9,7	37	4	4,5	4,4	10,7	0,9	56,6	54,3
		10-20	37,5	3,62	10,4	39	4	5,1	4,5		1,05	48,9	48,4
		20-40	30,9	3,09	10	66	7	5,1	5		1,07	53,8	43,1
		0-40				142	15						
		0-20				76	8						
	Ba	0-10	33,9	3,36	10,1	34	3	5,7	5,3	12,2	0,99	57,3	45,7
		10-20	32,5	3,55	9,2	34	4	6	5,2		1,05	70,5	42,4
		20-40	24,2	2,64	9,2	52	7	6	5,6		1,07	64,4	44,1
		0-40				120	14						
		0-20				68	7						
	Ca	0-10	30,4	3,08	9,9	27	3	5	4,4	11,7	0,89	35	53,1
		10-20	28,8	3,13	9,2	30	3	5,2	4,7		1,06	51,4	49,7
		20-40	24,1	2,57	9,4	44	5	5,2	4,8		0,91	30,7	65
		0-40				101	11						
		0-20				57	6						

– les autres sols à caractères andiques aux stocks élevés, d'environ 45 à 50 tC/ha ;

– les sols à minéraux argileux cristallisés (H, F, Af, Av, V) aux stocks plus faibles variant de 34 à 42 tC/ha.

Cette tendance à la diminution des valeurs moyennes quand on passe des sols à caractères andiques marqués (P, T) aux sols à caractères ferrisolique et vertique se retrouve aussi lorsque l'on analyse plus précisément les variations des stocks organiques des sols pour un agrosystème donné. Les agrosystèmes « banane » et « canne à sucre » permettent cette comparaison (fig. 4). Les stocks organiques varient dans le sens :

situations « banane »

P > T = J > T/H = H = Af = Av

situations « canne à sucre »

P > T = F = Af > H > Av

La capacité des sols cultivés à stocker de la matière organique semble donc être en relation étroite avec le type de sol.

Variations des stocks organiques selon le type de culture

Pour des raisons historiques et climatiques, les types de culture sont différemment répartis sur l'île. Aussi allons-nous comparer, d'une part, les cultures agro-industrielles (cultures dites de plantation) qui se concentrent dans le nord et le centre de l'île, à l'exception dans le Sud de cultures irriguées de banane sur alluvions vertiques (Av), d'autre part les

TABLEAU-IV
Caractéristiques physico-chimiques des andosols et sols brun-rouille à halloysite sur tufs
Analytical characteristics of andisols and halloysitic brown soils on tufs

Sol	Culture	z (cm)	C (mg.g ⁻¹ sol)	N (mg.g ⁻¹ sol)	C/N	C (t.ha ⁻¹)	N (t.ha ⁻¹)	pH H ₂ O	pH KCl	CEC (cmol.kg ⁻¹)	γ_a (g.cm ⁻³)	Wn (%sol)
T	Forêt (1)	0-20	66,9	6,48	10,3	80	8			23,5	0,6	
	Forêt (3)	0-20	67,5	5,72	11,8	81	7			22	0,6	77
	Ba (3)	0-20	48,9	3,75	10,3	54	4			22	0,55	77
	Ca (3)	0-20	32,7	2,43	14,5	51	4	5	4,7	18,5	0,78	63
	Vu/Ma	0-20	27,1	2,98	9,1	42	5	5,3	4,3	20	0,78	58
T/H	Avoc./Pr.	0-10	34,6	4,31	8	40	5	5,2	4,7	27,5	1,16	26,7
		10-20	31	4,26	7,3	26	3	4,9	4,4		0,83	42,2
		20-40	29,1	3,34	7,2	45	6	5	4,4		0,93	37
		0-40				121	14					
		0-20				60	8					
	Ba	0-10	18,3	2,96	6,2	17	3	4,8	4,3	25,3	0,96	31,6
		10-20	16,8	2,09	8	19	2	4,6	4		1,13	25,6
		20-40	14,1	2,04	6,9	27	4	4,7	4,2		0,95	35,3
		0-40				63	9					
		0-20				36	5					
	H	0-10	13,2	1,77	7,4	16	2	5,7	5,1	17,2	1,22	
		10-20	13,8	1,53	7,1	18	2	5,6	4,9		1,28	
		20-40	8,6	1,06	8,1	22	3	5,2	4,8	19,7	1,28	
		0-40				56	7					
		0-20				34	4					
	Ca	0-10	18,3	2,31	7,9	21	3	5,4	4,6	24,2	1,17	
		10-20	14,7	2,22	6,6	21	3	5,7	4,9	23,5	1,42	
		20-40	10,5	2,16	4,8	23	5	5,9	5,4	23,6	1,11	
		0-40				65	11					
		0-20				42	6					

cultures prairiales et maraîchères qui ont eu un développement plus récent dans le centre et le Sud, ceci étant lié à la mise en place d'un périmètre irrigué.

LES CULTURES AGRO-INDUSTRIELLES

Les résultats sont détaillés dans les tableaux III, IV, V et sont schématisés sur la figure 4. Ils concernent, comme précédemment, la couche 0-20 cm.

• Comparaison ananas-banane, sur sols P et J :

les stocks organiques sont identiques (sols J) ou supérieurs (sols P) sous culture d'ananas de longue durée à ceux sous culture de banane.

• Comparaison banane-canne à sucre, sur sols P, T, H, Af, Av :

les stocks organiques sous banane peuvent être supérieurs (sols P), égaux (sols T et Av) ou inférieurs (sols H et Af) à ceux sous canne à sucre ; la situation Av est un cas particulier puisqu'elle ne concerne pas des monocultures de longue durée (> 20 ans) mais des rotations banane/canne à sucre (cf. tabl. I).

• Autres comparaisons :

Notons qu'une culture maraîchère et vivrière sur les sols T s'accompagne d'un stock organique du sol plus faible que sous banane ou canne à sucre, alors qu'une prairie associée à une plantation d'avocats (sols T/H) permet un stockage de carbone organique plus important qu'une bananeraie.

De ces résultats nous retiendrons les points suivants :

1 – les cultures agro-industrielles dominantes dans le nord et le centre de la Martinique maintiennent les stocks organiques des sols à des niveaux élevés (de 35 à 75 tC/ha pour les vingt premiers centimètres) ; à titre de comparaison, GODEFROY (1974), GODEFROY et MARTIN (1969), GODEFROY *et al.* (1972) notent des stocks de 34,8 et 24,4 tC/ha pour des cultures de longue durée de banane et d'ananas respectivement pour des sols ferrallitiques de basse Côte-d'Ivoire, et CERRI *et al.* (1991) des stocks de 37,4 tC/ha pour une culture de canne

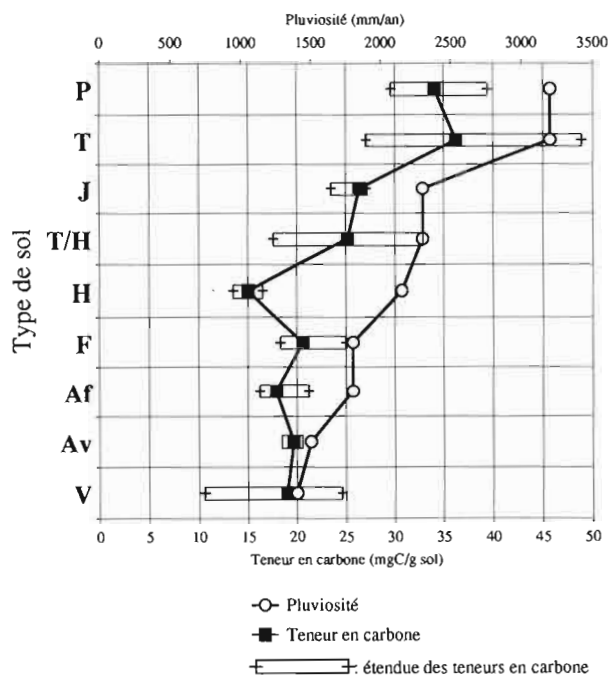


FIG. 2 – Moyenne et étendue des teneurs en carbone des sols étudiés (couche 0-20 cm).
Mean and range of soil organic carbon contents (layer 0-20 cm).

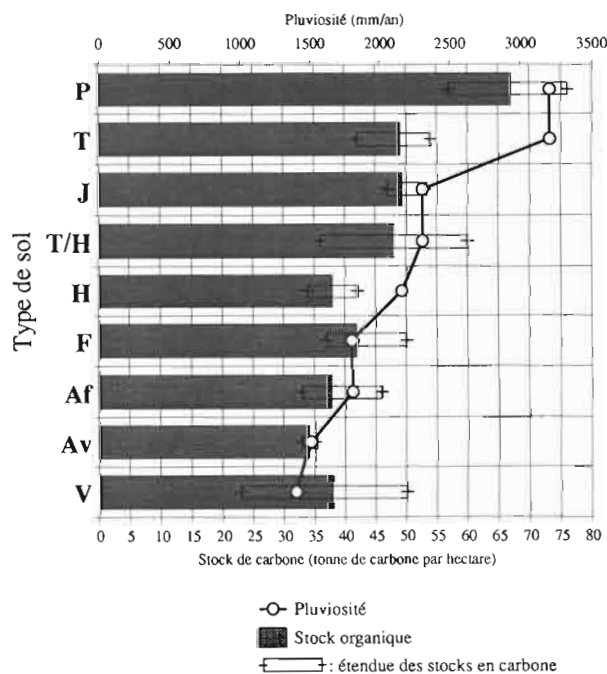


FIG. 3 – Moyenne et étendue des stocks organiques des sols étudiés (couche 0-20 cm).
Mean and range of soil organic stocks (layer 0-20 cm).

à sucre de 50 ans sur des oxisols (à comparer aux stocks de l'ordre de 50 tC/ha obtenus pour des ferrisols sous canne à sucre à la Martinique),

2 – les résultats présentés ici ne permettent pas d'établir une hiérarchie (niveau, sens de variation) dans les effets respectifs des cultures de banane, canne à sucre ou ananas sur les stocks organiques des sols.

LES CULTURES PRAIRIALES ET MARAÎCHÈRES

Les résultats détaillés sont présentés dans les tableaux VI et VII et schématisés sur la figure 5. Les comparaisons concernent les sols F et V. Les deux types de cultures différencient nettement les stocks organiques. Dans les deux cas, ceux-ci sont 1,5 à 2,5 fois supérieurs sous prairie que sous maraîchage.

Dans le cas des ferrisols, l'intensification des cultures maraîchères semble exercer peu d'effet sur les stocks organiques. Il n'en est pas de même des vertisols pour lesquels les situations les plus intensifiées correspondent aux stocks organiques les plus faibles (23 tC/ha pour 0-20 cm). Ceci pourrait être dû, pour les vertisols, 1. à de faibles restitutions organiques par suite de jachères de courte durée, 2. à une érosion par ruissellement des premiers centimètres du sol (ALBRECHT *et al.*, 1992), érosion d'autant plus intense que le sol est labouré plus régulièrement et que sa surface reste nue plus longtemps.

Sous prairie artificielle (Pra), les stocks organiques sont du même ordre que ceux observés sous prairie naturelle (Prn) et proches de ceux sous savane arborée. Sous canne à sucre (ferrisol, fig. 4), les stocks organiques ont des valeurs intermédiaires à celles des situations prairiales et maraîchères.

Enfin les niveaux très proches observés pour les stocks organiques des sols F et V sous une même végétation (Sav arb) ou pour un même système cultural (Ma mi) indiquent que la nature minéralogique des argiles (kaolinite/halloysite pour les sols F, smectites pour les sols V) a peu d'effet sur le stockage *in situ* de la matière organique des sols argileux.

CONCLUSIONS

De ces résultats, nous retiendrons que:

1 – les sols à caractères andiques (sols P, T, J, T/H) ont un « pouvoir de stockage de la matière organique » nettement supérieur aux sols contenant une fraction argileuse cristallisée (sols H, Af, Av, F et V) et ce quel que soit le type de plante cultivée

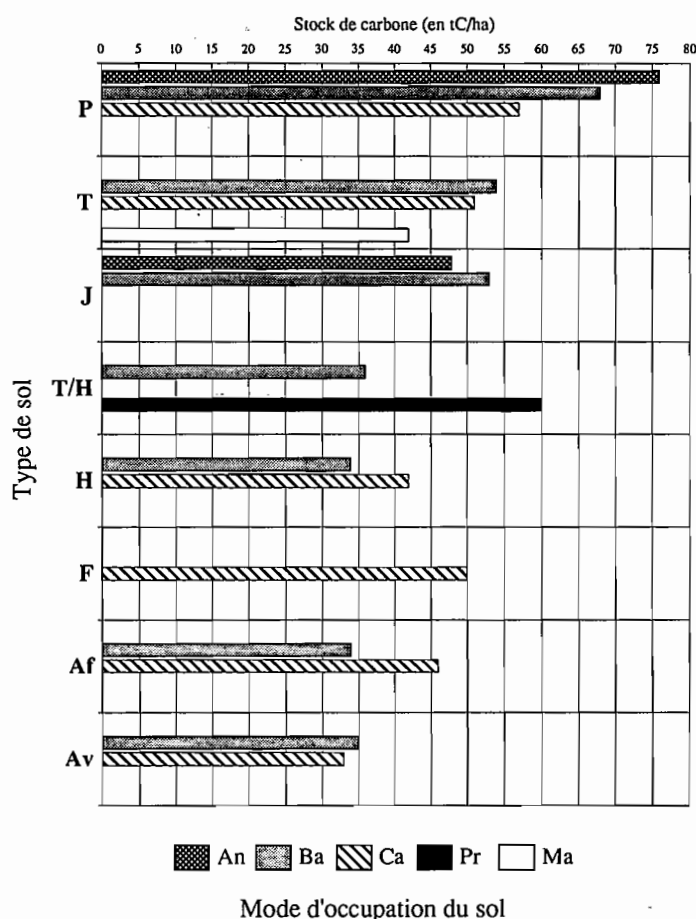


FIG. 4 – Stocks organiques des sols du nord et du centre de la Martinique sous monocultures.
Organic stocks of soils under agro-industrial cultures in the North and Middle Martinique.

considérée. Cet effet sur la stabilisation des matières organiques par des matériaux allophaniques est bien connu (WADA et INOUE, 1967 ; BROADBENT *et al.*, 1979 ; BOUDOT *et al.*, 1986 ;)

2 – les sols à minéraux argileux cristallisés étudiés ici ont tous (à l'exception de la situation MaFi sur vertisol V) des stocks organiques, pour la couche 0-20 cm, supérieurs à 30 tC/ha. Ainsi, en conditions habituelles de cultures, les stocks organiques de ces sols, dont on rappellera qu'ils ont tous une texture argileuse, restent-ils à un niveau relativement élevé, en comparaison des sols à textures plus grossières (Afrique de l'Ouest) ou à textures identiques mais à caractère ferrallitique plus accentué (Brésil). Par ailleurs, il ne ressort pas d'effet spécifique des smectites par rapport aux argiles 1/1 (kaolinite/halloysite) vis-à-vis du stockage *in situ* de la matière organique ;

3 – pour un sol donné, le « pouvoir de stockage de la matière organique » pour les principales cultures de la Martinique varie dans le sens :

Région Nord et Centre : An = Ca = Ba > Vi

Région Centre et Sud : Pra = Prn > Ca > Vi ;

4 – sur le plan de la gestion des stocks organiques :

- les trois principales monocultures (ananas, banane, canne à sucre) de la Martinique maintiennent les stocks organiques des sols à un niveau relativement élevé,

- le maraîchage, surtout fortement intensifié, induit de faibles niveaux de stocks organiques, mais ceux-ci peuvent être augmentés relativement rapidement (5 ans) par des pâturages artificiels (*Digitaria decumbens*) fortement ou faiblement intensifiés. Aussi, l'association maraîchage-pâturage, avec des rotations comprises entre 5 et 10 ans,

TABLEAU V
Caractéristiques physico-chimiques des sols peu évolués sur alluvions ferrallitiques et vertiques
Analytical characteristics of inceptisols on ferrallitic and vertic alluvial deposits

Sol	Culture	z	C	N	C/N	C	N	pH H ₂ O	pH KCl	CEC	γ_a	Wn	W pF 2,5	W pF 4,2	0-20 μ m
		(cm)	(mg.g ⁻¹ sol)			(t.ha ⁻¹)				(cmol.kg ⁻¹)(g.cm ⁻³)		(%sol)	(%sol)	(%sol)	(%sol)
Af	Ba	0-10	16,2	2,42	6,7	16	2	4,3	3,7	22	0,97	38	33,7	25,4	72
		10-20	16,4	2,85	5,7	18	3	4,4	3,8	21,6	1,12	35,1		73	
		20-40	14,1	2,1	6,7	31	5	4,8	4,1	23,9	1,1	32,3	35,1	26,3	75
		0-40				65	10								
		0-20				34	5								
	Ca	0-10	24	3,31	7,3	26	4	4,8	4	24,3	1,09	29,7	38,6	27,6	73
		10-20	18,4	2,22	8,3	20	2	5	4,1	23,9	1,09	30		76	
		20-40	14,5	2,12	6,8	31	5	5,5	4,4	22	1,06	34,2	36,9	26,9	76
		0-40				77	11								
		0-20				46	6								
	Ma	0-10	17,1	2,98	5,7	16	3	6	5	26,6	1,05	25,1	36,7	27,3	70
		10-20	15,2	1,78	8,6	17	2	6	5	27,9	1,13	25,1	38,6	28,3	69
		20-40	13,7	1,87	7,3	27	2	5,8	4,9	27,8	1,02	43,8	39,6	29,6	
		0-40				60	7								
		0-20				33	5								
Av	Ba/Ca	0-10	18,5	2,63	7,1	16	2	4,6	3,8	50,6	0,84	40,3	44,3	34,1	87
		10-20	21,1	2,75	7,7	19	2	4,5	3,7	51,4	0,9	42,3		71	
		20-40	20	2,2	9,1	48	5	5,1	4,1	50,5	1,19	39,2	47,7	38,7	70
		0-40				83	9								
		0-20				35	4								
	Ca/Ba	0-10	18,5	2,33	7,9	16	2	5,7	3,4	47,9	0,89	23,8	44,7	36,3	81
		10-20	20,5	2,22	9,3	17	2	5,8	4,4	49,8	0,85	42,2		76	
		20-40	20,5	2,39	8,6	45	5	6	4,5	47,5	1,09	43,6	51,2	39,4	75
		0-40				78	9								
		0-20				33	4								

TABLEAU VI
Caractéristiques physico-chimiques des ferrisols
Analytical characteristics of « ferrisols »

Sol	Culture	z	C	N	C/N	C	N	pH H ₂ O	pH KCl	CEC	γ_a	W pF 2,5	W pF 4,2	0-20 μ m
		(cm)	(mg.g ⁻¹ sol)			(t.ha ⁻¹)				(cmol.kg ⁻¹)(g.cm ⁻³)		(%sol)	(%sol)	(%sol)
F	Sav arb	0-10	31,5	3,11	10,1	41	4	5,4	5,1	23	1,31	41,9	32,1	66
		10-20	13,7	1,69	8,1	18	2	5,5	5,2	22	1,34	41,5	31	64
		20-40	14,4	1,71	8,4	51	6	5,5	5,2	24	1,77	46,7	35,2	72
		0-40				110	12							
		0-20				59								
	MaFi	0-10	19,7	2,33	8,5	20	3	6,4	5,9	18	0,99	41,4	30,4	74
		10-20	16,9	1,89	9	17	2	6,3	5,9	18,3	1,02	41,2	33,7	75
		20-40	13,7	1,68	8,2	28	6	5,9	5,3	16	1,04	42	35,7	76
		0-40				65	11							
		0-20				37								
	Mami	0-10	19,4	2,53	7,7	20	3	4,9	4,6	16	1,02	37,4	29,2	75
		10-20	17,4	2,18	8	18	2	4,9	4,7	16,5	1,06	32,2	32,2	75
		20-40	15,2	1,89	8	28	4	5	4,8	17	0,93	32,6	32,6	76
		0-40				66	9							
		0-20				38								
	Ca	0-20	25	2,69	9,7	50	5	5,2	4,7	18	1,00	37,9	31,9	67

TABLEAU-VII
Caractéristiques physico-chimiques des vertisols
Analytical characteristics of vertisols

Sol	Culture	z	C	N	C/N	C	N	pH H ₂ O	pH KCl	CEC	γ_a	W pF 2,5	W pF 4,2	0-20 μ m
		(cm)	(mg.g ⁻¹ sol)			(t.ha ⁻¹)				(cmol.kg ⁻¹)	(g.cm ⁻³)	(%sol)	(%sol)	(%sol)
V	Sav arb	0-10	40,7	4,20	9,7	29	3	6,1	5,1	54,8	0,72	50,3	42,2	69
		10-20	25,7	2,84	9,1	27	3	6,2	5,1	58,5	1,04	55,7	49,8	73
		20-40	20,3	2,24	9,1	42	4	6,4	5,1	62	1,04	59,1	56,8	75
		0-40				98	10							
		0-20				56								
	PraFi	0-10	31,2	3,06	10,2	31	3	5,5	4,8	40	0,98	44,4	37,2	60
		10-20	18,4	2,12	8,7	19	2	5,9	5	40,5	1,01	46,3	38,2	65
		20-40	15,3	2,01	7,6	32	4	6,1	5,1	42	1,03	47,1	38,9	64
		0-40				82	9							
		0-20				50								
	Pm	0-10	25,5	2,02	12,6	32	3	6,4	5,2	43,5	1,24	46,8	44,8	67
		10-20	15,3	1,54	9,9	14	1	6,4	5,1	44,5	0,93	54,7	49,3	70
		20-40	12,8	1,35	9,5	26	3	6,2	4,9	45,5	1,01	59,8	55,5	69
		0-40				72	7							
		0-20				46								
	MaFi	0-10	11,8	1,68	7	12	2	6,2	5,1	39,5	0,99	46,2	34,9	63
		10-20	9,4	1,46	6,5	11	2	6,4	5,2	44	1,18	51,6	39,7	67
		20-40	8,3	1,55	5,4	16	3	6,1	4,9	45,5	0,99	55,3	45,1	71
		0-40				39	7							
		0-20				23								
	Mami	0-10	19	2,16	8,8	18	2	7	5,6	43	0,95		33,5	68
		10-20	17,7	1,97	9	18	2	6,9	5,6	44,5	1,04		38,4	71
		20-40	15,6	1,75	8,9	31	4	7	5,6	43,5	1,02		38,5	72
		0-40				67	8							
		0-20				36								
	Mafi	0-10	20	2,2	9,1	20	2	6,9	5,9		0,099			
		10-20	21,2	2,73	7,8	15	2	6,3	5,9	39	0,71	44,1	33,5	68
		20-40	19,5	2,39	8,2	40	5	6,9	5,9	39,5	1,03	42,2	34,5	67
		0-40				75	9							
		0-20				35								

qui a été choisie dans l'optique du développement du périmètre irrigué du sud-est de la Martinique paraît-elle judicieuse en ce qui concerne le maintien des propriétés des sols,

• de manière générale, pour les sols argileux des Antilles volcaniques, et sur la base de nombreux résultats non rapportés ici concernant leurs propriétés physiques, chimiques et biologiques, des

teneurs d'environ 15 mgC/g sol (0-20 cm), ou des stocks de 30 tC/ha (0-20 cm), apparaissent comme des « valeurs-seuil » (minimum) à maintenir en vue d'une gestion conservatoire à long terme de ces sols fortement cultivés.

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

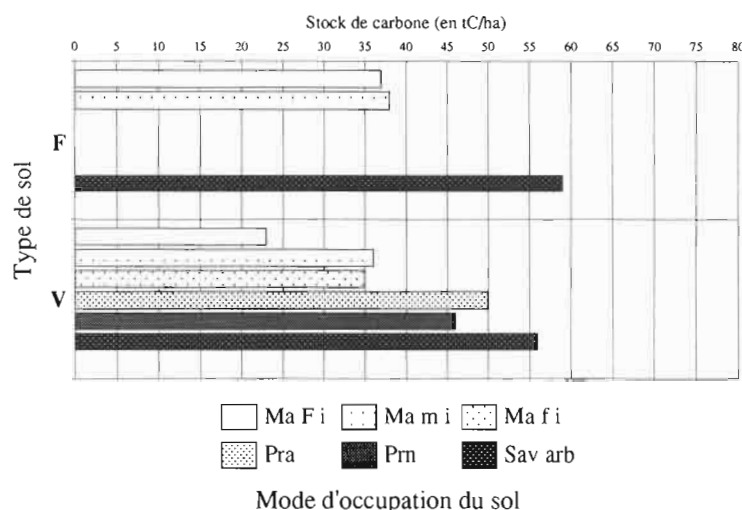


FIG. 5 – Stocks organiques des sols du centre et du sud de la Martinique sous cultures maraîchères et prairiales.
Organic stocks of soils under market gardening and pastures in the Middle and South Martinique.

BIBLIOGRAPHIE

- ADEJUWON (J.O.) et EKANADE (O.), 1988. – A comparison of soil properties under different land use types in a part Nigerian cocoa belt. *Catena*, 15 : 319-331.
- AGBOOLA (A.D.), 1974. – Problems of improving soil fertility by use of green manuring in the tropical farming system. *FAO Soils Bulletin* n°27 : 147-1663.
- ALBRECHT (A.), RANGON (L.) et BARRET (P.), 1992. – Effet de la matière organique sur la stabilité structurale et la détachabilité d'un vertisol et d'un ferrisol (Martinique). *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, vol. XXVII, n° 1 : 121-133.
- BARRET (P.), CADET (A.), FELLER (C.), ALBRECHT (A.), 1991. – Le remodelage des terres à la Martinique. 2. Variabilité intraparcellaire du remodelage en relation avec la productivité végétale. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, vol. XXVI, n° 2 : 105-113.
- BOISSEZON (P. de), 1973. – « Les matières organiques des sols tropicaux ». In *Les sols ferrallitiques n° IV*, Paris, Orstom, I.T.D., n°21 : 9-66.
- BOUDOT (J.P.), BEL HADJ (B.A.), CHONÉ (Th.), 1986. – Carbon mineralization in andosols and aluminium-rich highlands soils. *Soil Biol. Biochem.*, 18 : 457-461.
- BROADBENT (P.E.), JACKMAN (R.M.), McNICOLL (J.), 1979. – Mineralization of carbon and nitrogen in some New Zealand allophanic soils. *Soil Sci.*, 98 : 118-128.
- CEE-Orstom, 1988. – Rapp. Conv. CEE-Orstom n° TSDA-0178F « Fertilité des sols dans les agricultures paysannes caribéennes. Effet des restitutions organiques », mars 1988. *Rapp. multigr.* Orstom, Martinique.
- CERRI (C.C.), FELLER (C.), CHAUVEL (A.), 1991. – Evolução das principais propriedades de um latossolo vermelho escuro após desmatamento e cultivo por 12 e 50 anos com cana-de-açúcar. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, vol. XXVI, n° 1 : 37-50.
- CHARREAU (C.), 1974. – Organic matter and biochemical properties of soils in the dry tropical zone of West Africa. *FAO Soils Bulletin*, n°27 : 313-335.
- CHEVIGNARD (T.), FELLER (C.), ANDREUX (F.), QUANTIN (P.), 1987. – Le « remodelage » des terres en Martinique. Modifications des propriétés de « ferrisols » et d'andosols cultivés en canne à sucre. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, vol. XXVI, n° 4 : 223-236.
- COINTEPAS (J.P.), MAKILO (R.), 1982. – Bilan de l'évolution des sols sous culture intensive dans une station expérimentale en milieu tropical humide. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, vol. XIX, n° 3 : 271-282.
- COLMET-DAAGE (F.), LAGACHE (P.), 1965. – Caractérisation de quelques groupes de sols dérivés de roches volcaniques aux Antilles françaises. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, vol. III, n° 2 : 91-121.
- COLMET-DAAGE (F.), GAUTHEYROU (M.), KIMPE (C.), FUSIL (G.), 1972. – Dispersion et étude des fractions fines de sols à allophanes des Antilles et d'Amérique latine. 1^{re} partie : la dispersion. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, vol. X, n° 2 : 169-191.
- COMBEAU (A.), QUANTIN (P.), 1964. – Observation sur les relations entre stabilité structurale et matière organique dans quelques sols d'Afrique centrale. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, vol. XI, n° 1 : 3-11.
- EGASHIRA (K.), SOMA (K.), HAEDA (T.) 1986. – Natural water content as a useful index for predicting physical proper-

- ties of andosols in Japan. *Soil Sci. Pl. Nutr.*, 32 (1) : 141-144.
- EGOUMENIDES (CH.), OLIVER (R.), MARGER (J.L.), 1985. – « Effets de l'azote et du fumier sur "terres de barre" (Sud-Bénin) », in *ATP Dynamique des cations. Bilan des travaux 1984*. Montpellier, Cirad, rapp. multigr.
- FAUCK (R.), MOUREAUX (Cl.), THOMANN (Ch.), 1969. – Bilan de l'évolution des sols de Séfa (Casamance, Sénégal) après 15 années de cultures continues. *L'Agron. Trop.*, 24 (3) : 263-301.
- FELLER (C.), MILLEVILLE (P.), 1977. – Évolution des sols sous défriche récente dans la région des Terres Neuves (Sénégal Oriental). 1^{re} partie. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, vol. XII, n° 3 : 199-211.
- FELLER (C.), PLENECASSAGNE (A.), ETIFIER-CHALONO (E.), 1984. – Gestion des sols et leur perception dans le petit paysannat antillais. ATP « Jardins créoles ». *Rapp. multigr.* Orstom Martinique. 18 p.
- FELLER (C.), BALESDENT (J.), CHEVIGNARD (T.), LACOEUILHE (J.J.), 1989. – Préparation d'échantillons de sols riches en ponces volcaniques en vue de l'étude de leur stock organique. Application à des sols cultivés en ananas (Martinique). *Fruits*, 44 : 385-391.
- FELLER (C.), FRITSCH (E.), POSS (R.), VALENTIN (C.), 1991. – Effets 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.
- FIELDES (M.), PERROT (K.W.), 1966. – The nature of allophane in soils. 3 - Rapid field and laboratory test for allophane. *N.Z.J. Sciences*, 9 (3) : 623-629.
- GODEFROY (J.), 1974. – *Évolution de la matière organique du sol sous culture de bananier et de l'ananas. Relation avec la structure et la capacité d'échange cationique*. Thèse Doct. Ing., Univ. de Nancy I. 166 p. + annexes.
- GODEFROY (J.), 1982. – Aperçu des travaux effectués sur les sols cultivés en ananas par le laboratoire d'agro-pédologie de l'Irfa. *Fruits*, 37 (3) : 151-155.
- GODEFROY (J.), MARTIN (Ph.), 1969. – Évolution des éléments minéraux dans un essai de fumure minérale en bananeraie en basse Côte-d'Ivoire. *Fruits*, 24 (9-10) : 425-435.
- GODEFROY (J.), TISSEAU (M.A.), LOSOIS (P.), 1972. – Évolution des propriétés agrochimiques d'un sol ferrallitique de basse Côte-d'Ivoire sous cultures d'ananas. Comparaison avec une jachère. *Fruits*, 27 (4) : 255-267.
- LEPRUN (J.C.), 1988. – Matière organique, et conservation des sols. Exemples brésiliens. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, vol. XXIV, n° 4 : 333-334.
- MILLER (R.H.), NICHOLAIDES (J.J.), SANCHEZ (P.A.), BAND (D.E.), 1982. – Soil organic matter consideration in agricultural systems of the humid tropics. *Proc. of the Colloquium on Soil Organic Matter Studies*. Cena/USP - Promocet, Piracicaba, Brésil : 105-110.
- MOREAU (R.), 1983. – Évolution des sols sous différents modes de mise en culture en Côte-d'Ivoire forestière et préforestière. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, vol. XX, n° 4 : 311-325.
- PELLOUX (P.), DABIN (B.), FILLMAN (G.), GOMEZ (P.), 1971. – *Méthodes de détermination des cations échangeables et de la capacité d'échange des sols*. Orstom, Paris, I.D.T. n° 17, 17 p.
- PICHOT (J.), ALZAHAWÉ (F.), CHABLIER (P.F.), 1977. – Évolution d'un sol ferrallitique de Côte-d'Ivoire après mise en culture. *Proc. Symp. on Soil Organic Matter Studies*, Vol I, IAEA - FAO, Vienne : 83-96.
- ROOSE (E.), 1981. – *Dynamique actuelle des sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique occidentale*. Paris, Orstom, Travaux et Documents n° 130, 596 p.
- ROOSE (E.), CHEROUX (M.), 1966. – Les sols du bassin sédimentaire de Côte-d'Ivoire. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, vol. IV, n° 2 : 123-152.
- SANCHEZ (P.A.), MILLER (R.H.), 1986. – Organic matter and soil fertility management in acid soils of the tropics. Hambourg, *Proc. 13th Cong. A.I.S.S.*, vol. VI : 609-652.
- SEDOGO (M.P.), PICHOT (J.), POULAIN (J.P.), 1979. – Évolution de la fertilité d'un sol ferrugineux tropical sous l'influence de fumures minérales et organiques. Incidences des successions culturales. *Rapp. multigr.* Irat - Haute Volta, 28p.
- SIBAND (P.), 1974. – Évolution des caractères et de la fertilité d'un sol rouge de Casamance. *L'Agron. Trop.*, 29 (12) : 1228-1248.
- TYBURN (P.), 1985. – Effet de l'intensification en cultures maraîchères et prairiales sur les propriétés des vertisols et ferrisols de la Martinique. Rapport de Stage Istom-Le Havre. *Rapp. multigr.* Irat-Orstom Martinique.
- WADA (K.), INUOE (K.), 1967. – Retention of humic substances derived from rotted clover leaves in soils containing montmorillonite and allophane. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 13 : 9-16.
- SSC-Orstom, s.d – Méthodes d'analyses utilisées au laboratoire de physique des sols, SSC-Bondy. *Rapp. multigr.*, 30p.

Variations des caractéristiques de l'humus forestier d'un sol ferrallitique (Guyane) selon l'essence arborée considérée Résultats préliminaires

Caroline LEROY (1), François TOUTAIN (2) et Patrick LAVELLE (3)

* Engref, BP 316, 97379 Kourou cedex.

** CPB-CNRS, BP 5, 54501 Vandœuvre-lès-Nancy cedex.

*** Orstom, 72, route d'Aulnay, 93143 Bondy cedex.

RÉSUMÉ

Trois essences de la forêt guyanaise, l'Angélique (*Dicorynia guianensis* (DG), *Cesalpiniaceae*), le Gonfolo (*Ruizteriana albiflora* (RA), *Vochysiaceae*) et le Grignon franc (*Ocotea rubra* (OR), *Lauraceae*), représentent 70% de la production de bois. L'effet de chacune de ces essences sur les caractéristiques de l'humus et les propriétés d'un sol ferrallitique acide a été étudié. La morphologie et l'activité biologique des humus (litière-horizon A_1) sont fortement dépendantes de l'essence considérée. On peut ainsi opposer l'humus sous *Dicorynia guianensis* caractérisé par un mate racinaire épais, une forte activité des champignons de pourriture blanche et une faible activité lombricienne à l'humus sous *Ocotea rubra* où le mate racinaire est absent, l'activité des champignons de pourriture blanche est faible et l'activité lombricienne est forte. Ces variations sensibles dans l'horizon O ne semblent pas avoir d'effet détectable sur les propriétés physiques et chimiques des horizons A_1 sous-jacents.

MOTS CLÉS : Guyane française - Forêt tropicale - Humus - Biodynamique - *Dicorynia guianensis* - *Ocotea rubra* - *Ruizteriana albiflora* - Sol ferrallitique.

ABSTRACT

EFFECT OF DIFFERENT TREE SPECIES ON CHARACTERISTICS OF THE HUMUS LAYER IN A FERRALLITIC SOIL
OF FRENCH GUYANA. PRELIMINARY RESULTS

Seventy percent of wood production in French Guyana are represented by three species i.e. *Dicorynia guianensis* (DG, *Caesalpiniaceae*), *Ruizteriana albiflora* (RA, *Vochysiaceae*) and *Ocotea rubra* (OR, *Lauraceae*). These species produce leaf litter of contrasted chemical qualities (DG leaves have high contents of Al whereas OR). As a result, the morphology and thickness of humus layers, microbial and faunal communities are significantly different. The humus layer under DG is characterised by a thick mate roots, an important fungi activity and a low earthworms activity. Under OR, earthworm activities are important whereas white root fungi and roots mats, are not observed. RA seems to represent an intermediate situation. These differences in the function of the O layers do not seem to significantly affect physical and chemical properties of the A_1 layer.

KEY WORDS: Humic layer – Soil fauna – Tropical Rain Forest – French Guyana – *Dicorynia guianensis* – *Ocotea rubra* – *Ruizteriana albiflora* – Ferrallitic soil.

INTRODUCTION

Trois essences de la forêt guyanaise humide, commercialement intéressantes, l'Angélique (*Dicorynia guianensis* (DG), Césalpiniaceae), le Gonfalo (*Ruizteriana albiflora* (RA), Vochysiaceae) et le Grignon franc (*Ocotea rubra* (OR), Lauraceae), représentent 70 % de la production de bois de la Guyane française (ONF, 1990).

Le CTFT (Centre technique forestier tropical) a mis en place un dispositif pour étudier les conditions d'une exploitation sélective de ces essences. Les premiers résultats tendent à montrer que ces arbres ne se régénèrent qu'à l'intérieur de peuplements très diversifiés. L'élimination d'une partie des arbres d'essences non commercialisables ne

favorise pas pour autant la croissance des individus préservés (SCHMITT, 1990). En revanche, le maintien accidentel d'arbres sans valeur commerciale a permis d'avoir des résultats positifs sur la croissance. Il semble donc que la croissance d'un arbre ne puisse se concevoir hors d'une dynamique d'ensemble du peuplement. Par ailleurs, il est certain que les facteurs limitant la croissance des arbres ne sont pas uniquement la compétition pour la lumière ou l'espace (GAZEL, 1992 : comm. pers.). Parmi les processus à prendre en compte, la dynamique des nutriments dans le système litière-sol paraît de première importance (BERNHARD-REVERSAT, 1977 ; PROCTOR *et al.*, 1983). On connaît, pour des forêts de régions tempérées,

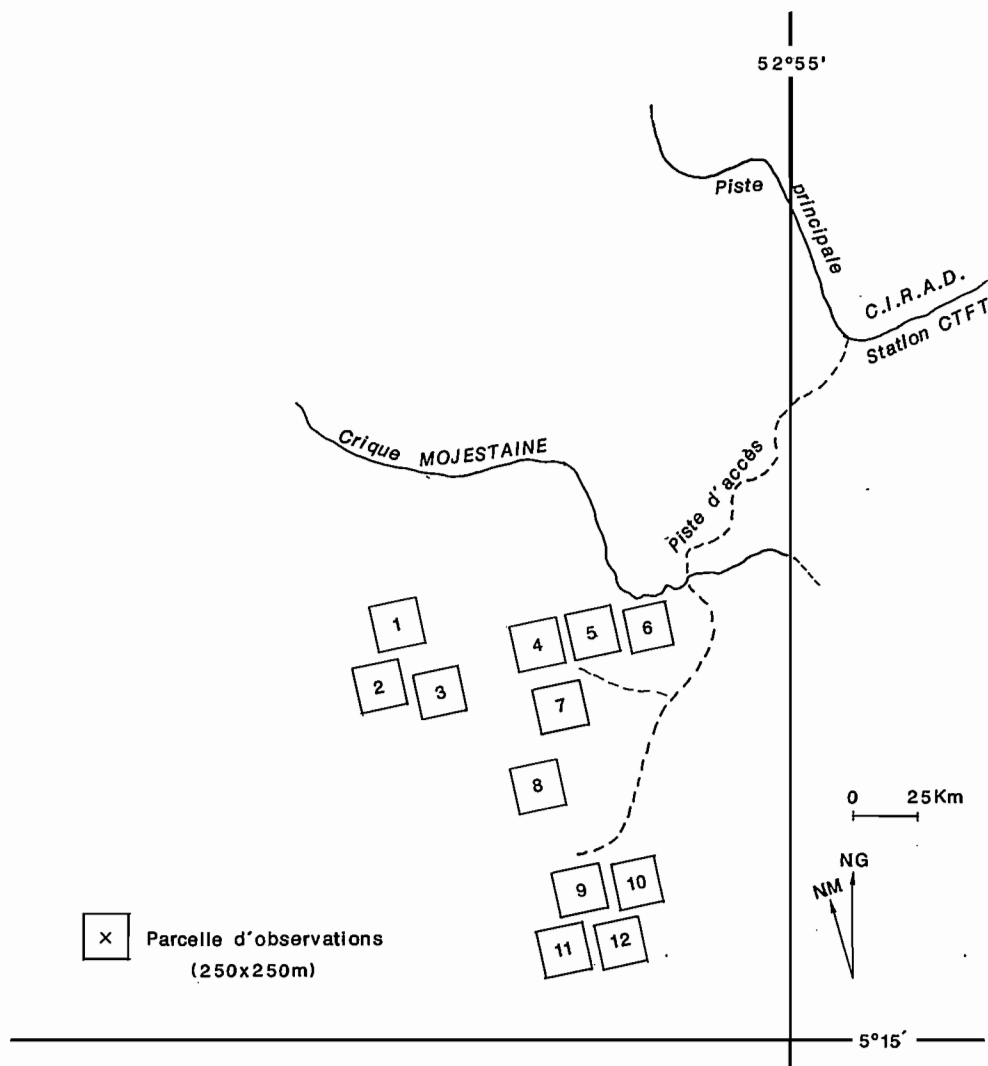


FIG. 1 — Plan de situation du dispositif « Forêt naturelle ». Concession Cirad de Sinnamary (d'après BERTRAND, 1987).
Location map of the « natural forest ». Cirad concession of Sinnamary (according to BERTRAND, 1987).

l'effet d'essences particulières sur la qualité et la biodynamique des humus (TOUTAIN, 1987 ; GARAY, 1988 ; BOETICHER et KALISZ, 1990).

Aussi, cette étude a pour but de comparer les humus au pied des trois essences commerciales citées afin de tester l'hypothèse d'un fonctionnement variable suivant la qualité des litières produites (SWIFT *et al.*, 1979).

Des études à cette échelle n'ont jamais été réalisées, à notre connaissance, en forêt tropicale. C'est pourtant peut-être à l'échelle des individus et de leurs relations de compétition ou de mutualisme que l'on trouvera l'explication de la distribution et de la dynamique de croissance des populations.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Situations

Les recherches ont été menées sur le site de Paracou, à 43 km au nord-ouest de la ville de Kourou, dans le cadre d'expériences de gestion à long terme de la forêt. Les essences forestières étudiées sont situées dans une parcelle où la forêt n'a subi aucune perturbation anthropique.

La parcelle étudiée ici (parcelle n°6) est considérée comme la plus représentative de la forêt naturelle par son cortège floristique et sa densité de

pieds à l'hectare (SCHMITT, 1990). Au sein de celle-ci, trois individus ont été sélectionnés sur la base d'une cartographie préliminaire des sols (échelle 1/1500) par BARTHES (*in* : LEROY, 1991), afin de choisir des sites le plus semblables possible sur le plan pédologique et topographique et ne pas introduire un facteur de variation supplémentaire (TOUTAIN, 1987).

Pour chacun des trois arbres, on a étudié, au droit de son houppier, les caractères du sol, de la litière et des organismes qui la colonisent.

Sols

Il s'agit d'un sol de type ferrallitique désaturé, appauvri en surface et à texture argilo-limoneuse dans l'horizon B, avec une présence plus ou moins abondante de nodules ferrugineux entre 15 et 60 cm de profondeur (BARTHES, 1991). Une description schématique des profils sous les trois arbres est présentée dans le tableau I. On constate, en première approximation, que les caractères (épaisseur, couleur, texture, structure, éléments grossiers) des trois sites sont peu différents, en particulier pour les horizons B et C bien que des phénomènes d'hydromorphie apparaissent plus prononcés dans l'horizon C du sol sous *O. rubra*. Les analyses (tabl. II) montrent un très net appauvrissement en éléments fins des horizons A₁. Les

TABLEAU I
Description schématique des profils des trois sites étudiés
Schematic description of the profiles in the three sites under study

Site	Hor.	Prof. (cm)	Couleur	Texture	Structure	Eléments grossiers	Taches d'hydromorphie	Racines	Activité faunique
D G	A ₁	0-15	b g	SA	GU	+	-	+++	F (termites/vers)
	B	15-60	j o	AL	Pf	+++	-	+	
	C	60-120	r	AL	P	+	-	-	
Q S	A ₁	0-20	b j	SA	GUm	+	-	+	M (vers/termites)
	B	20-50	j o	LA	Pf	+++	-	+	
	C	50-120	r	AL	Pf	++	+	-	
O R	A ₁	0-15	b g	AS	GUf	+	-	+++	TF (vers)
	B	15-50	b j	LA	Pf	+++	+	++	
	C	50-120	r	AL	P	++	++ (en bandes)	-	

Abréviations : Couleur : b = brun ; g = gris ; j = jaune ; o = orangé ; r = rougeâtre ; f = foncé.

Texture : L = limoneux ; A = argileux ; S = sableux

Structure : P = polyédrique ; GU = grumeleux ; m = moyen ; f = fin

Eléments grossiers, taches d'hydromorphie, racines : +++ = très abondant ; ++ = abondant ; + = faible ; - = très faible

Activité faunique : TF = très forte ; F = forte ; M = moyenne ; f = faible

TABLEAU II
Caractéristiques analytiques des profils pédologiques des trois sites
Analytical characteristics of the soil profiles in the three sites

	D G			Q S			O R		
	A ₁	B	C	A ₁	B	C	A ₁	B	C
Granulométrie									
0-2	21,00	42,60	56,90	18,00	22,80	36,30	24,00	27,00	35,90
2-20	9,10	6,40	6,50	8,00	6,00	8,70	10,40	7,40	7,90
20-50	5,40	4,90	3,40	4,10	5,40	5,50	2,20	5,00	6,90
50-200	38,60	29,20	20,80	39,40	37,70	29,10	41,80	29,90	29,00
200-2000	23,20	16,20	11,50	26,70	27,80	18,10	14,80	27,80	18,40
Total	97,30	99,30	99,10	96,20	99,70	97,70	93,20	97,10	98,10
pH									
H ₂ O	3,95	5,00	5,09	4,20	4,63	4,50	3,60	4,50	4,93
KCl	3,33	4,25	4,44	3,72	4,16	4,16	4,16	4,08	4,27
Mat. organique									
C %	5,96	1,41	0,68	7,63	0,99	0,61	3,58	1,73	1,04
N %	0,34	0,11	0,05	0,44	0,08	0,05	0,21	0,14	0,08
C/N	17,5	12,8	14,8	17,5	12,5	13,6	17,5	12,8	13,1
Elém. échang.(*)									
ECEC	2,71	1,37	3,85	2,85	1,30	2,43	2,47	2,26	4,63
Ca ⁺⁺	0,31	0,05	0,03	0,60	0,04	0,04	0,38	0,07	0,03
Mg ⁺⁺	1,16	0,20	0,10	0,76	0,11	0,11	0,75	0,20	0,23
K ⁺	0,29	0,07	0,05	0,20	0,05	0,06	0,17	0,08	0,08
Na ⁺	0,22	2,09	0,04	0,14	0,04	0,10	0,13	0,05	0,04
S (somme)	1,98	0,41	0,22	1,70	0,24	0,31	1,43	0,40	0,38
H ⁺	0,13	0,16	0,83	0,15	0,16	0,32	0,14	0,16	1,05
Al ⁺⁺⁺	0,60	0,80	2,80	1,00	0,90	1,80	0,90	1,70	3,20
Mn ⁺⁺	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Bases Totales(*)									
Ca ⁺⁺	1,05	1,06	0,40	2,15	0,38	0,38	0,98	0,39	0,40
Mg ⁺⁺	8,69	9,06	8,27	9,33	7,83	7,98	7,54	8,04	9,42
K ⁺	2,49	3,52	4,81	3,33	4,10	4,55	3,04	3,02	11,35
Na ⁺	3,79	3,57	3,29	4,28	3,46	3,46	3,55	3,18	3,96
TRB(**)	16,0	17,2	16,8	19,1	15,8	16,4	15,1	14,6	25,1
Bases non éch(*)									
Ca ⁺⁺	0,74	1,01	0,37	1,55	0,34	0,34	0,60	0,32	0,37
Mg ⁺⁺	7,53	8,86	8,17	8,57	7,72	7,87	6,79	7,84	9,19
K ⁺	22,20	3,45	4,76	3,13	4,05	4,49	2,87	2,94	11,27
Na ⁺	3,57	3,48	3,25	4,14	3,42	3,36	3,42	3,13	3,92
S	14,0	16,8	16,5	17,4	15,5	16,1	13,7	14,2	24,7

* cmol/kg sol

** TRB = "Total Reserve Bases" défini par Herbillon (1989)

pH varie d'environ 4 en surface (A₁) à 5 en profondeur (B et C). Les capacités d'échange cationique effectives (ECEC) sont faibles, de 1,3 à 4,6 cmol/kg avec des taux de saturation (S/ECEC %) très faibles (8 à 30 %) dans les horizons B et C. Les réserves en bases totales (TRB), définies selon HERBILLON (1989), sont faibles, variant de 15 à 20 cmol/kg, sauf pour l'horizon C sous *O. rubra* plus riche (15 cmol/kg). À l'exception des hori-

zons A₁, les sols des trois sites peuvent donc être considérés comme identiques, sur la base de ces analyses.

Prélèvement et préparation des échantillons

FEUILLES

Des feuilles récemment tombées sont prélevées dans la litière accumulée au pied de l'arbre. On a

distingué les feuilles brunes et les feuilles blanchies par l'activité des champignons de pourriture blanche.

LITIÈRES GLOBALES

Des échantillons de litière accumulée au pied des arbres sont prélevés, au hasard, à l'aide d'un cadre métallique carré de 10 cm de hauteur et de 25 cm de côté (4 répétitions/site). Les échantillons de feuilles et de litière sont séchés dans une étuve ventilée à 60 °C (10 heures au minimum) et une partie aliquote est finement broyée.

SOLS

Les profils de référence sont échantillonnés par horizon. Par ailleurs, l'horizon A₁ est prélevé sur une épaisseur de 10 cm, en même temps que la litière, sur des surfaces correspondant au cadre métallique décrit ci-dessus (4 répétitions/site) ; des prélèvements de sols pour lames minces (boîtes de Kubiena, 9 x 6 x 4 cm) ont été effectués dans les mêmes horizons.

Les échantillons de sol sont séchés à l'air, tamisés à 2 mm et conservés au sec. Une partie aliquote est broyée pour les analyses élémentaires (C, N, Analyses totales).

Observations microscopiques

Des lames minces pour l'étude micromorphologique ont été préparées suivant la technique décrite par DOIRISSE (1989).

Les échantillons destinés à une observation en microscopie électronique à balayage (MEB, STEREOSCAN 240 CAMBRIDGE) sont d'abord déshydratés en présence d'un gel de silice, puis fixés par des vapeurs osmiques. Ceci permet d'éviter la destruction des agrégats lors de la préparation (TOUTAIN *et al.*, 1982). Les échantillons sont ensuite collés sur les porte-objets et métallisés (or-palladium) selon la méthode de REISINGER *et al.* (1978).

Pour la microscopie électronique à transmission (MET, ZEISS EM 952 réglé sur 60 kV), les échantillons organo-minéraux sont préparés selon la méthode de VILLEMIN et TOUTAIN (1987). L'observation est faite sur des coupes ultrafines (800 Å), colorées à l'acétate d'uranyle et au citrate de plomb. Les échantillons végétaux sont traités de manière classique (TOUTAIN *et al.*, 1982).

(1) Selon la méthode TSBF (1989).

Déterminations analytiques

Les granulométries, pH, complexe d'échange et éléments totaux sont déterminés selon les méthodes décrites par ROUILLER (1981) et JEANROY (1974).

Le carbone (C) et l'azote (N) sont déterminés par voie sèche à l'aide d'un appareil CHN Carlo Erba 1106. La porosité est déterminée à l'aide d'un porosimètre à mercure. Elle est calculée selon la loi de Jurin (pour le mercure). Le porosimètre utilisé (Carlo Erba 2000) mesure des pores dont le rayon équivalent est compris entre 3,75 et 50 000 nm. Notons que les échantillons les plus gros (de la taille du centimètre) ne peuvent être analysés sans avoir été déshydratés (séchage à l'air puis à l'étuve à 105 °C) et dégazés au préalable. Il s'ensuit bien sûr quelques modifications des organisations initiales (TESSIER, 1984) mais celles-ci peuvent être estimées (GRIMALDI et BOULET, 1990).

L'extraction des pigments bruns par des solvants organiques menée dans ce travail est inspirée des travaux de FRANÇOIS *et al.* (1988) et de BARAER et TOUTAIN (1987). Ces auteurs ont montré que, dans une séquence extractive mettant en œuvre successivement des extractions au méthanol, au chloroforme, à l'acétone puis au diméthylformamide (DMFA), les pigments bruns étaient extraits par les deux derniers solvants (acétone+DMFA). Cette technique a été appliquée aux feuilles brunes ou blanchies des trois espèces végétales.

RÉSULTATS

Morphologie des humus à différentes échelles

SUR LE TERRAIN

L'appréciation de l'activité biologique sur le terrain n'est que qualitative (observation à une seule date). Aussi les valeurs de biomasse de vers de terre obtenues (1) doivent être considérées avec prudence.

Pour les trois sites, on note les caractéristiques communes suivantes :

- un matériel foliaire très varié, provenant à la fois des grands arbres environnants et du sous-bois, avec des feuilles brunes plus ou moins blanchies par les champignons de pourriture blanche. Les feuilles vertes sont rares ;
- une nette discontinuité entre la litière et l'horizon organo-minéral A₁ ;

– une activité plus ou moins forte de vers de terre associée à des activités termitiques.

Il s'agit donc d'un humus de type mull rappelant la nature des activités biologiques (vers de terre, champignons de pourriture blanche) des modèles forestiers décrits par TOUTAIN (1981) en région tempérée. Selon la classification de DELECOUR (1980), compte tenu du pH < 5 des horizons A₁, les trois humus sont de type mull oligotrophe (ou acide).

Des différences notables apparaissent toutefois entre les sites. Elles peuvent se résumer ainsi (tabl. III) :

Sous *Dicorynia guianensis* (DG)

- forte activité des champignons de pourriture blanche (70 à 80 % de feuilles blanchies) ;
- présence d'un mate racinaire épais (3 cm) constitué de racines fines et grossières ;
- activité moyenne de vers de terre endogés (*Pontoscolex corethrurus*) et de termites.

Sous *Ruizteriana albiflora* (RA)

- activité des champignons de pourriture blanche moins forte que sous *D. guianensis* (environ 50 % de feuilles blanchies) ;
- absence de mate racinaire ;
- activités moyennes de termites et de vers de terre épigés et endogés.

Sous *Ocotea rubra* (OR)

- faible activité des champignons de pourriture blanche (30 à 40 % de feuilles blanchies) ;
- nombreuses racines fines en surface mais sans mate racinaire clairement individualisé ;
- activité très intense de vers de terre essentiellement endogés mais aussi anéciques.

SUR LAMES MINCES EN MICROSCOPIE OPTIQUE

Les observations sont réalisées sur des lames de 25 µm d'épaisseur et sur des blocs imprégnés de résine ayant servi à la confection des lames. Par rapport aux observations de terrain, les données supplémentaires sont les suivantes :

Sous *Dycorinia guianensis* (DG)

- 0-1 cm : accumulation de feuilles brunes et blanchies diverses et de feuilles de *D. guianensis* blanchies. Entre les feuilles : déjections d'Oribates (50 µm), de Diplopodes (1 à 3 mm) et d'Enchytraeidae (quelques mm). Rares déjections de vers de terre (quelques mm à quelques cm) ;
- 1-4 cm : concentration de racines brunes ramifiées, courtes et turgescentes libres ou collées sur des restes foliaires. Quelques déjections de vers de terre (quelques mm à quelques cm) reprises par des animaux plus petits (termites) ;
- 4-7 cm : juxtaposition de déjections de vers de terre (quelques mm à quelques cm) et d'agrégats de plus petites tailles. Les racines sont essentiellement localisées dans la porosité interagrégat.

Sous *Ruizteriana albiflora* (RA)

- 0-1 cm : superposition de 3 à 4 épaisseurs de feuilles plutôt brunes (dont celles de *R. albiflora*) reposant sur des déjections de vers de terre (quelques mm à quelques cm) traversées par des racines ;
- 1-7 cm : matériau organo-minéral constitué de déjections de vers de terre (quelques mm à quelques cm) et de divers animaux rappelant l'horizon 4-7 cm de *D. guianensis*.

Sous *Ocotea rubra*

- 0-1 cm : quelques feuilles brunes et blanchies reposant sur des turricules de vers de terre (quelques mm à quelques cm) de couleurs variées ;

TABLEAU III
Résumé des observations de terrain sur l'humus des trois sites
Summarized field observations about the humus layer in the three sites

Observations Caractéristiques (terrain)	Sites		
	DG(*)	RA(*)	OR(*)
Mate racinaire	+++	-	+
Pourriture blanche	+++	++	+
Vers de terre	+	+	+++
Termites	++	++	++

(*) Activité ou présence faible (-), moyenne (+), forte (++), très forte (+++).

• 1-7 cm : l'essentiel du matériau est constitué de déjections de vers de terre (quelques mm à quelques cm) dont certaines sont reprises par des animaux plus petits. Les racines sont situées dans les porosités intra- et inter-agrégats.

SUR COUPES ULTRAFINES EN MICROSCOPIE ÉLECTRONIQUE (MEB, MET)

Matériel foliaire et racinaire (*D. guianensis*)

Les feuilles et les racines sont recouvertes par une grande quantité de filaments mycéliens et d'actinomycètes. Les tissus racinaires sont assez frais, peu attaqués par les champignons alors que les tissus foliaires parenchymateux sont fortement biodégradés. Les contenus cellulaires des racines et feuilles sont riches en produits bruns. On met en évidence la présence de nombreuses thèques de thécamoébiens.

Agrégats organo-minéraux des horizons A₁ des trois sites

L'observation au MEB porte sur des agrégats de 1 à 5 mm. Ils sont constitués de grains minéraux arrondis, plus ou moins altérés (100 µm), inclus dans une matrice organo-minérale dans laquelle on reconnaît aussi des thèques de thécamoébiens, des filaments mycéliens et des débris foliaires ou racinaires. Ces agrégats correspondent à des déjections de vers de terre. En MET, on met en évidence, comme dans de nombreuses autres observations de milieux forestiers ou cultivés tropicaux (ANGUE

ABANE, 1988, au Cameroun ; FERRY, 1992, en Inde du Sud ; FELLER *et al.*, 1991, aux Antilles), la présence :

- 1 – d'« agrégats bactériens » (minéraux phylliteux collés aux colonies bactériennes par l'intermédiaire de matériaux à caractère polysaccharidique) ;
- 2 – de débris figurés organiques souvent non identifiables.

Composition chimique des feuilles et des litières

FEUILLES

Teneurs en C, N, rapports C/N

Quels que soient le site ou l'état de la feuille (brune ou blanchie), les teneurs en C (46 à 49 %), en N (1,5 à 1,7 %) et les rapports C/N (28 à 31) sont relativement constants (tabl. IV).

Composition minérale

Les teneurs en cendres (oxydes totaux) sont d'environ 10% pour tous les échantillons. Les sommes CaO + MgO sont à peu près identiques (3,4 à 3,6 %) pour *D. guianensis* et *O. rubra* mais plus élevées pour *R. albiflora* (5,3 à 5,6 %). Deux autres caractéristiques méritent d'être signalées : la teneur élevée en silice (4,9 à 5,2 %) des feuilles de *O. rubra* et en aluminium des feuilles de *D. guianensis* (3,4 à 4,3 % (1)). Il y a peu d'effet de l'état (brune ou blanchie) de la feuille sur la composition minérale (tabl. IV).

TABLEAU IV
Analyses totales des feuilles et des litières globales
Total analyses of leaves and global litters

Matériel	Symboles (*)	C %	N %	C/N	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	Total oxydes %	CaO + MgO
Feuilles	DG brunes	49,2	1,6	30,8	2,28	3,42	0,2	0,03	0,82	2,89	0,1	0,3	0,0	10,34	3,71
	DG blanchies	48,8	1,7	28,7	1,21	4,31	0,1	0,03	0,72	3,18	0,1	0,3	0,03	9,98	3,90
	QS brunes	48,6	1,6	28,8	2,78	0,71	0,1	0,10	2,06	3,54	0,2	0,5	0,02	10,01	5,60
	QS blanchies				3,26	0,75	0,1	0,10	1,74	3,52	0,2	0,3	0,02	9,99	5,26
	OR brunes	46,2	1,5	30,8	5,22	0,41	0,2	0,04	1,19	2,24	0,2	0,5	0,03	10,03	3,43
	OR blanchies	46,7	1,6	29,2	4,87	0,50	0,2	0,04	1,22	2,60	0,2	0,4	0,03	10,06	3,82
Litières	DG (a)*	49,4	1,35	36,7	2,37	0,47	0,28	0,06	0,95	2,99	0,12	0,26	0,19	7,69	3,94
	DG (b)*	46,7	1,23	38,7	3,29	0,62	0,39	0,03	0,70	1,89	0,14	0,28	0,18	7,52	2,59
	QS (a)	46,8	1,31	35,8	3,83	1,38	0,43	0,01	0,31	1,04	0,06	0,09	0,18	7,33	1,35
	QS (b)	48,2	1,45	33,2	3,48	0,21	0,20	0,02	0,20	0,93	0,03	0,04	0,04	5,15	1,13
	OR (a)	48,2	1,28	37,5	5,45	1,17	0,48	0,02	0,30	0,53	0,05	0,10	0,17	8,27	0,83
	OR (b)	49,2	1,21	40,7	4,87	0,47	0,32	0,04	0,30	1,67	0,04	0,07	0,04	7,82	1,97

* (a) et (b) correspondent à deux prélèvements différents.

(1) Ces résultats n'ayant fait l'objet d'aucune répétition sont à prendre avec précaution.

Composition organique

D'une manière générale (tabl. V) :

1 – le méthanol et le chloroforme extraient de 15 à 35 % du carbone, 2 à 8 % de l'azote, les produits extraits ayant des rapports C/N beaucoup plus élevés (108 à 206) que ceux des feuilles initiales, voisins de 30 ;

2 – l'acétone et le DMFA extraient près de 50 % du C et 68 à 97 % de l'azote, les produits extraits ayant des C/N bien plus faibles (16 à 19) que ceux des feuilles initiales ;

3 – en ce qui concerne les espèces végétales, s'il n'existe qu'une faible différence d'extraction de C et N pour le méthanol et le chloroforme, les différences entre les extractions de C et surtout de N obtenues avec le DMFA sont nettement significatives (24 % et 49 % de C et N extraits dans les feuilles brunes de *D. guianensis*, contre 32 % et 74 % de C et N dans les feuilles brunes de *R. albiflora*, 34 % et 73 % de C et N dans les feuilles brunes de *O. rubra*). Ces résultats mettent en évidence des teneurs en tanins condensés extraits par le DMFA (WURSCH *et al.*, 1980) plus élevées dans les feuilles de *R. albiflora* et de *O. rubra* que dans celles de *D. guianensis* ;

4 – en ce qui concerne les extraits (acétone + DMFA) sur le matériel foliaire blanchi, on constate que les feuilles blanchies contiennent encore des tanins condensés que l'action des champignons de pourriture blanche était supposée éliminer. Ceci s'explique probablement par le fait que les feuilles dites blanchies ne l'étaient que par taches et présentaient encore des parties brunes.

Quel que soit le matériel considéré, la quantité de carbone non extrait est importante (21 à 37 %), contrairement à l'azote (0 à 30 %) dont la nature varie en fonction des espèces. Les quantités d'azote non extractible sont très variables de 0 à 5 % pour les feuilles de *R. albiflora* et de *O. rubra* et de 18 à 30 % pour les autres types de feuilles.

LITIÈRES GLOBALES

Teneurs en C, N et rapports C/N

Les litières ont des teneurs en C identiques à celles des feuilles fraîchement tombées (tabl. IV) mais celles en N sont plus faibles, d'où des rapports C/N plus élevés (36 à 38 %) que ceux des feuilles (C/N de 29 à 31). Ces valeurs sont déjà proches de celles mesurées pour les débris végétaux de l'horizon A₁ (C/N de 28 à 35, résultats non reportés ici).

TABLEAU V

Teneurs relatives (en % de C et N initiaux) et rapports C/N des différentes fractions extraites ou non par les solvants organiques sur le matériel foliaire

Relative contents (in % of initial C and N) and C/N ratios of the different leaf fractions extracted or not by the organic solvents

Extraction	Matériel	C % Fraction	N % Fraction	C/N Initial Fraction	
Méthanol + Chloroforme	DG br.	20,5	2,0	30,3	319,0
	DG bl.	14,7	2,1	30,4	198,0
	QS br.	17,9	2,5	28,4	211,0
	OR br.	28,6	7,9	29,6	111,0
	OR bl.	34,3	8,2	29,3	124,0
Acétone + DMFA	DG br.	42,8	67,6	30,3	19,1
	DG bl.	48,4	79,7	30,4	17,2
	QS br.	55,2	97,2	28,4	16,7
	OR br.	50,0	87,4	29,6	17,4
	OR bl.	42,1	68,0	29,3	18,0
Non extrait	DG br.	36,7	30,3	30,3	36,5
	DG bl.	36,9	18,2	20,4	57,5
	QS br.	26,6	0,3	28,4	2452,0
	OR br.	21,4	4,7	29,6	139,0
	OR bl.	23,6	23,8	29,3	28,9

Composition minérale

Les teneurs en cendres (oxydes totaux) sont d'environ 7 à 8 %, donc légèrement plus faibles que celles des feuilles spécifiques. Ceci est probablement dû au mélange avec d'autres matériaux végétaux présents dans les litières, plus pauvres en cendres, en particulier les rameaux qui représentent de 10 à 50 % du poids total (LEROY, 1991). La somme $\text{CaO} + \text{MgO}$ varie de 0,8 à 4 % avec les valeurs les plus élevées pour *D. guianensis*. Cette litière est aussi plus riche en potassium. Enfin, si l'on retrouve, comme pour les feuilles, des teneurs plus élevées en SiO_2 sous *O. rubra*, on ne retrouve plus, contrairement aux feuilles, que de faibles teneurs en Al_2O_3 sous *D. guianensis*.

Caractères des horizons A_1

MATIÈRE ORGANIQUE : TENEURS EN C, N ET RAPPORTS C/N

Les résultats (C, N) rapportés au tableau II sembleraient indiquer un effet du site pour l'horizon A_1 , avec des variations de 3,6 à 7,6 % de la teneur en C par exemple. Ces prélèvements sont ceux effectués sur un profil, au début de cette étude.

Des prélèvements de la totalité de l'horizon A_1 (4 répétitions/site) donnent les résultats suivants :

- sous *D. guianensis* : $\text{C}(\%) = 4,0 \pm 0,7$;
- sous *R. albiflora* : $\text{C}(\%) = 3,4 \pm 0,7$;
- sous *O. rubra* : $\text{C}(\%) = 3,9 \pm 0,7$.

Les teneurs en carbone de l'horizon A_1 ne sont donc pas significativement différentes entre les sites. Les rapports C/N moyens sont de 17,5 pour les trois sites.

CARACTÉRISTIQUES CHIMIQUES ET PHYSICO-CHIMIQUES

La comparaison des valeurs de pH, de la CEC et des réserves en bases ne montre pas de différence significative entre les horizons A_1 (tabl. II).

LA POROSITÉ

La porosité des horizons A_1 est caractérisée, pour les trois sites, par une répartition bimodale des pores dont les rayons équivalents ont pour valeurs respectives 0,05 et 10 μm (fig. 2). Les courbes cumulées des sites *D. guianensis* et *O. rubra* sont très proches, celle de *R. albiflora* est sensiblement différente, correspondant à des valeurs plus faibles pour les macropores, entre 10 et 100 μm , et les micropores, entre 0,1 et 1 μm .

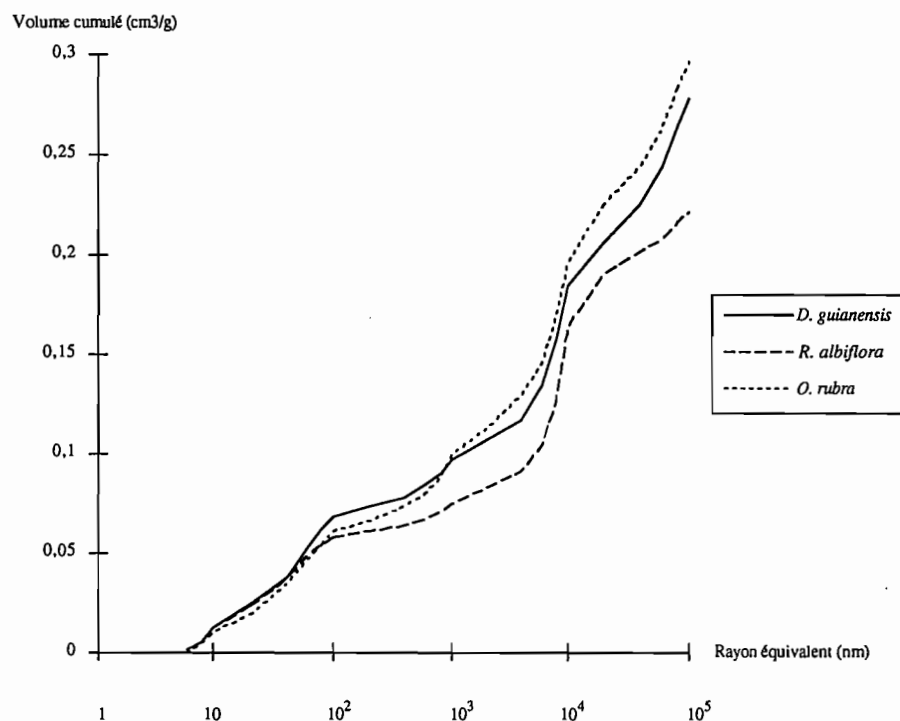


FIG. 2 – Volume poral cumulé des horizons A_1 des trois sites.
Cumulative pore volume of A_1 horizons in the three sites.

DISCUSSION ET CONCLUSIONS

Les observations à différentes échelles des humus (litières-horizon A_1) des trois sites montrent que chaque essence forestière semble induire, par ses retombées, une activité biologique qui lui est spécifique, même si les organismes de la décomposition (champignons de pourriture blanche, termites, vers de terre, etc.) sont globalement identiques. C'est en effet l'intensité de leur action relative qui varie. On peut ainsi opposer l'humus sous *D. guianensis*, caractérisé par la présence d'un mate racinaire épais, d'une forte activité de champignons de pourriture blanche mais avec une activité lombricienne réduite, à l'humus sous *O. rubra*, où le mate racinaire est peu épais, l'activité des champignons de pourriture blanche faible mais l'activité lombricienne très élevée. Au stade actuel de cette recherche, il est difficile d'expliquer ces différences entre les humus des trois essences considérées par des différences qualitatives des apports végétaux au sol. Si l'on constate bien, en effet, quelques différences en terme de minéralomasse (feuilles de *D. guianensis* riches en Al, par exemple) ou de nature des constituants organiques (par exemple 49 % du N extrait par le DMFA pour les feuilles de *D. guianensis* contre 73 % pour les feuilles de *O. rubra*) entre les diverses feuilles étudiées, de nombreuses autres données sur feuilles spécifiques et litières globales (C/N, taux et composition des cendres, quantités de C et N extraites par des solvants organiques) ne font pas apparaître de différences évidentes. Aussi des études complémentaires sont nécessaires pour estimer l'impact réel sur le système sol-plante des différences observées pour les litières. Même le blanchiment des feuilles, qui n'est jamais complet, ne peut être caractérisé analytiquement par la détermination des teneurs en tanins condensés (extraits acétone + DMFA).

Cette différence d'activité biologique observée au sein des litières se reflète-t-elle dans les caractéristiques analytiques des horizons A_1 ?

L'approche faite actuellement est encore largement insuffisante puisqu'elle n'aborde pas, en particulier, des aspects tels que la qualité de la matière organique du sol ou des mesures d'acti-

tés enzymatiques ou microbiennes globales. Mais en terme de propriétés chimiques et physico-chimiques, il ne semble pas ressortir d'effet des trois essences arborées sur les teneurs en matière organique (C, N), sur le pH et les propriétés d'échange ou sur les réserves en bases. De même, on aurait pu s'attendre, compte tenu des différences d'activité de la faune (effet vers de terre), entre les sites de *D. guianensis* et de *O. rubra*, à des différences des spectres poraux des horizons A_1 de ces deux sites. Or ceux-ci sont pratiquement identiques. Plusieurs hypothèses peuvent expliquer l'absence apparente d'effet de site sur les propriétés des horizons A_1 :

1 – l'effet des feuilles de chaque espèce considérée est dilué car elles ne représentent qu'une fraction des retombées. Ainsi, pour chacun des sites, les feuilles ne représentent que 30 % des feuilles composant la litière, et les rameaux peuvent représenter de 10 à 50 % (en poids) des retombées végétales. Par ailleurs, dans ce travail, l'origine, la quantité et la qualité des racines présentes dans l'horizon A_1 n'ont pas été étudiées ;

2 – de nombreuses caractéristiques des feuilles et litières sont identiques pour les trois essences, notamment le rapport C/N et la somme des tanins condensés. Ceci conduit donc à la formation d'une matière organique probablement qualitativement peu différente dans les horizons A_1 , les stocks observés étant par ailleurs identiques ;

3 – enfin, il est bien connu que de nombreuses propriétés des sols ferrallitiques (PERRAUD, 1971 ; BOISSEZON, 1973 ; BOYER, 1982) sont fortement corrélées aux teneurs en matière organique et en argile. Dans les cas qui nous intéressent, ces teneurs sont à peu près identiques pour les trois sites, et les variations locales observées pour celles-ci sont probablement insuffisantes pour modifier les quelques propriétés étudiées.

La suite de ce travail doit consister à préciser le fonctionnement des litières et l'importance des variations stationnelles qui en résultent en termes de relations sol-plante et, en particulier, de bilans minéraux.

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

BIBLIOGRAPHIE

- ANGUE ABANE (M.), 1988. – *Biodynamique des humus et cycles biogéochimiques des éléments dans des sites forestiers du centre-sud Cameroun (Région d'Akongo)*. Thèse de Docteur ès-Sciences, Université de Nancy-I, 189 p.
- BARAER (M.), TOUTAIN (F.), 1987. – Importance des pigments bruns dans les racines superficielles du Hêtre (*Fagus sylvatica* L.) et biodégradation dans le sol. *Rev. Ecol. Biol. Sol*, 24 : 431-441.
- BARTHES (B.), 1991. – Influence des caractères pédologiques sur la répartition spatiale de deux espèces du genre *Eperua* (Caesalpinaceae) en forêt guyanaise. Proposition d'article à *La lettre et la vie*, 14 p.
- BERNHARD-REVERSAT (F.), 1977. – Recherches sur les variations stationnelles des cycles biogéochimiques en forêt ombrophile de Côte-d'Ivoire. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, vol. XV, n° 2 : 175-189.
- BERTRAND (C.), 1987. – *Contribution à l'étude de l'impact des traitements sylvicoles sur la régénération naturelle en Guyane. Mise au point d'une méthodologie d'inventaire et premières observations avant l'exploitation forestière*. Mém. Esat, Cnearc Montpellier, 69 p.
- BOETTCHER (S.E.), KALISZ (P.J.), 1990. – Single-tree influence on soil properties in the mountains of eastern Kentucky. *Ecology*, 71 : 1365-1372.
- BOYER (J.), 1982. – *Les sols ferrallitiques*. T. X. *Facteurs de fertilité et utilisation des sols*. I.D.T. 52, Orstom, Paris, 384 p.
- BOISSEZON (P. de), 1973. – « Les matières organiques des sols ferrallitiques » in *Les sols ferrallitiques*, T. IV, Paris, Orstom, I.D.T. 21 : 9-66.
- DELECOUR (F.), 1980. – Essai de classification pratique des humus. *Pédologie*, 30 : 225-241.
- DOIRISSE (M.), 1989. – Note technique concernant le prélèvement, l'imprégnation et la confection de lames minces de sols. *Note technique CNRS/CPB*, 7 p.
- FELLER (C.), FRANÇOIS (C.), VILLEMIN (G.), PORTAL (J.M.), TOUTAIN (F.), MOREL (J.L.), 1991. – Nature des matières organiques associées aux fractions granulométriques d'un sol ferrallitique. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 312 série II : 1491-1497.
- FERRY (B.), 1992. – *Étude des humus forestiers des Ghâts occidentaux (Inde du Sud). Facteurs climatiques, édaphiques et biologiques intervenant dans le stockage de la matière organique du sol*. Thèse de Docteur ès-Sciences, Université de Nancy-I, 182 p.
- FRANÇOIS (C.), RADIDISON (Z.), VILLEMIN (G.), TOUTAIN (F.), ANDREUX (F.), 1988. – « The accumulation and fate of brown pigments in leaves from a litter of *Fagus sylvatica* L. : a morphological and chemical study. » In G. GIOVANOZZI-SIRMANNI ET P. NANPIERI (eds), 1988 : 317-327.
- GARAY (I.), 1988. – *Relations entre l'hétérogénéité des litières et l'organisation des peuplements d'arthropodes édaphiques*. Thèse de Docteur ès-Sciences, Université de Paris-VI, 192 p.
- GIOVANOZZI-SIRMANNI (G.), NANPIERI (P.) (eds.), 1988. – *Current perspectives in Environmental Biochemistry*, 7th I.S.E.B., 1985, CNR – IPRQA Rome publ.
- GRIMALDI (M.), BOULET (R.), 1990. – Relation entre l'espace poral et le fonctionnement hydrodynamique d'une couverture pédologique sur socle de Guyane française. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, vol. XXV, n° 3 : 263-275.
- HERBILLON (A.), 1989. – « Chemical estimation of weatherable minerals present in the diagnostic horizons of low activity clays soils », in *Proc. 8th Int. Soil Classification Workshop*, Rio de Janeiro : 39-48.
- JEANROY (E.), 1974. – Analyses totales, par spectrométrie d'absorption des roches, sels, minerais, ciments, après fusion au métaborate de strontium. *Analisis*, 2 : 707-712.
- LEROY (C.), 1991. – *Études préliminaires de la biodynamique des humus en forêt guyanaise*. DEA, Université de Nancy-I, 65 p.
- ONF, 1990. – *Un patrimoine forestier*. Office National des Forêts, Guyane, 8 p.
- PERRAUD (A.), 1971. – *La matière organique des sols forestiers de la Côte-d'Ivoire. Relation sol-végétation-climat*. Thèse de Docteur ès-Sciences, Université de Nancy-I, 87 p.
- PROCTOR (J.), ANDERSON (J.-M.), FOGDEN (S.C.L.), VALLACK (H.W.), 1983. – Ecological studies in four contrasting lowland rain forests in Gunung Mulu National Park, Sarawak. II. Litterfall, litter standing crop and preliminary observations on herbivory. *Journal of Ecology*, 17 : 261-283.
- REISINGER (O.), TOUTAIN (F.), MANGENOT (F.), ARNOULT (M.-F.), 1978. – Etude ultrastructurale des processus de biodégradation. I. Pourriture blanche des feuilles de hêtres (*Fagus sylvatica* L.). *Can. J. Microbiol.*, 24 : 725-733.
- ROUILLER (J.), 1981. – Analyses de sols. Techniques de laboratoire. *Note technique n°32, CNRS/CPB*, 38 p.
- SCHMITT (L.), 1990. – Validité d'interventions sylvicoles systématiques en forêt dense humide guyanaise. Approche par l'étude du Gonfalo (*Qualea rosea*). *Note interne CTFT*.
- SWIFT (M.J.), HEAL (O.W.), ANDERSON (J.M.), 1979. – *Decomposition in terrestrial ecosystems*. Blackwell, Oxford, 372 p.
- TESSIER (D.), 1984. – *Étude expérimentale de l'organisation des matériaux argileux. Hydratation, gonflement et structuration au cours de la dessiccation et de la réhumectation*. Thèse d'État, Université de Paris – VII, 361 p.
- TOUTAIN (F.), 1981. – Les humus forestiers. Structure et modes de fonctionnement. *R.F.F.*, 33 : 449-477.
- TOUTAIN (F.), VILLEMIN (G.), ALBRECHT (A.), REISINGER (O.), 1982. – Étude ultrastructurale des processus de biodégra-

- dation. II. Enchytraeides-Litières de feuillus. *Pedobiologia*, 23 : 145-156.
- TOUTAIN (F.), 1987. – Activité biologique des sols, modalités et lithodépendance. *Biol. Fertil. Soils*, 3 : 31-38.
- TSBF, 1989. – *Tropical Soil Biology and Fertility : Handbook of Methods*. J.M. Anderson et J.S.I. Ingram Eds. CAB International, Wallingford, 171 p.
- VILLEMIN (G.), TOUTAIN (F.), 1987. – Méthode de fixation d'échantillons organo-minéraux de sols pour la microscopie électronique à transmission. *Soil micromorphology* : 43-48.
- WURSCH (P.), ROSSET (J.), SMILLEY (M.), 1980. – Tanins condensés de la gousse (verte et mûre) de *Cerotonia siliqua* L. Poster Ass. Groupe Polyphénols Neuchâtel.

Le remodelage des terres à la Martinique

3. Effet sur le peuplement de nématodes parasites de la canne à sucre en relation avec la croissance végétale

Patrice CADET (1) et Alain ALBRECHT (2)

(1) Laboratoire de nématologie, Orstom, BP 1386, Dakar Hann, Sénégal.

(2) Laboratoire de matière organique des sols tropicaux, Orstom, BP 8006, 97259 Fort-de-France cedex, Martinique.

RÉSUMÉ

*Le remodelage des parcelles de canne à sucre situées sur ferrisols à l'est de la Martinique a provoqué des affleurements d'horizons B ou C de faibles superficies. Ces zones hébergent des peuplements nématologiques dont l'équilibre spécifique est différent de celui observé dans l'horizon de surface en place, avec prédominance d'*Hemicriconemoides cocophilus*. La stabilité spatiale et surtout temporelle du phénomène, malgré la croissance de la plante et les variations climatiques, suggère que cette hétérogénéité résulte plus de l'influence de facteurs abiotiques que d'un processus de compétition entre espèces. Ces résultats ouvrent des perspectives nouvelles de lutte contre les nématodes, comme la lutte mésologique, bien adaptée aux situations tropicales où les plantes sont souvent parasitées simultanément par plusieurs espèces.*

MOTS CLÉS : Antilles – Remodelage – Ferrisol – Canne à sucre – Peuplements nématologiques – Rendement.

ABSTRACT

HILLOCK-LEVELLING FIELD IN MARTINIQUE. 3. INFLUENCE ON THE SUGARCANE PLANT PARASITIC NEMATODE COMMUNITY IN RELATION WITH PLANT GROWTH

*Hillock-levelling sugarcane fields located on ferrisol, East of Martinique, results in small area outcrops of B or C horizons. The species balance of the nematode communities observed in these areas is different of that existing in the non disturbed top soil, with a predominance of *Hemicriconemoides cocophilus*. The stability of the phenomenon in space and especially in time, despite the plant growth and the climatic variations, suggests that this heterogeneity results rather from the influence of abiotic factors than from interspecific competition. These results open future prospects in nematode control, such as mesological control, a method well adapted to tropical situations, where plants are often simultaneously attacked by several nematode species.*

KEY WORDS : French West Indies – Hillock levelling – Ferrisol – Sugarcane – Nematode community – Yield.

INTRODUCTION

La vie des nématodes phytoparasites se déroule dans le sol et au contact d'une plante. Si la présence de l'hôte végétal est une condition nécessaire à la multiplication des espèces qui lui sont inféodées, elle n'est pas une condition suffisante ; il faut aussi

que les facteurs édaphiques permettent le déroulement de la phase tellurique du cycle biologique de ces parasites. De nombreux auteurs ont d'ailleurs montré que la répartition ou l'abondance de certaines espèces de nématodes était en rapport avec le type de sol (HU *et al.*, 1968 ; REYES et BEGUICO,

1978). Cependant, la plupart de ces travaux s'appuient sur des observations effectuées pendant des périodes très longues (CADET et DEBOUZIE, 1989) ou à une échelle géographique très grande (SEINHORST, 1956). Ces résultats intègrent donc d'autres sources de variation, par exemple d'origine culturale, biologique ou simplement climatique.

À la Martinique, suite à des travaux de « remodelage » des terres (CHEVIGNARD *et al.*, 1987), il existe des variations pédologiques latérales sur des distances très courtes (quelques mètres), à l'échelle de la parcelle de canne à sucre, par conséquent dans un écosystème homogène. L'observation simultanée du développement de la plante et des populations de nématodes devrait nous permettre :

- de séparer les fluctuations induites par l'évolution du végétal ou du climat de celles induites par le sol ;
- de déterminer si l'effet pathogène du peuplement nématologique varie avec sa composition spécifique.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Sols

La zone étudiée (parcelles Abricot et Duquesne) est située sur la plantation du Galion, au nord-est de la Martinique, sur ferrisol (COLMET-DAAGE et LAGACHE, 1965). Les parcelles y sont généralement en pente, à flanc de colline. Elles ont été remodelées dans les années 1970 afin de favoriser la mécanisation des pratiques agricoles. Le profil en long de la parcelle a été rendu mécaniquement rectiligne, faisant affleurer des horizons B ou C situés initialement en profondeur (CHEVIGNARD *et al.*, 1987). La surface de la parcelle de canne à sucre présente donc plusieurs aspects que l'on peut caractériser par la teneur en carbone (BARRET *et al.*, 1991) :

- des zones non remodelées où l'horizon A est en place : $C^{\circ}/\infty > 20$ (zone A ou témoin) ;
- des zones de surface très limitées où la dénivellation était de faible hauteur et dont l'arasement a mis à jour l'horizon B : $14 < C^{\circ}/\infty < 20$ (zone B) ;
- des zones également très limitées où la dénivellation était assez haute pour permettre à l'horizon C d'apparaître en surface après arasement : $C^{\circ}/\infty < 14$ (zone C) ;
- des zones où les matériaux nivelés ont été mélangés et étalés sur l'horizon A, dont la teneur en carbone est très variable.

Pour réaliser l'étude des structures spatiales des peuplements, 70 échantillons ont été prélevés dans plusieurs emplacements typiques, situés sur diverses parcelles de canne à sucre sur ferrisol (Abricot et Duquesne). En revanche, l'étude des fluctuations temporelles a été conduite sur trois zones de quelques dizaines de m², pédologiquement homogènes, d'une même parcelle. Une caractérisation analytique des trois situations a été faite sur une vingtaine de prélèvements dans les 15 premiers centimètres du sol (tabl. I), dans lesquels se trouvent au moins 50 % du système racinaire de la canne et par conséquent la majorité des nématodes (VAN DILLEWIJN, 1960 ; HARRIS, 1975) :

- Zone témoin (horizon A en place) : $C^{\circ}/\infty = 25,3$.
- Zone faiblement remodelée (affleurement de l'horizon B) : $C^{\circ}/\infty = 17,2$.
- Zone fortement remodelée (affleurement de l'horizon C) : $C^{\circ}/\infty = 11,2$.

Pour calculer la valeur de la CEC minérale du sol, une valeur de 200 cmol.kg⁻¹ de matière organique a été attribuée à la CEC de la matière organique de ces ferrisols.

Mesures végétatives et agronomiques

La parcelle de canne à sucre, variété B 5992, est en cinquième repousse. Afin de suivre l'évolution du tallage, les tiges ont été dénombrées un, deux, trois, sept et dix mois après la coupe sur deux portions de rangs de 10 m de long, entièrement situées sur l'affleurement considéré. À la récolte, les cannes usinables y sont coupées afin d'extrapoler le nombre de cannes usinables par hectare.

Pour chaque situation, 51 cannes usinables ont été prélevées au hasard pour évaluer la longueur, le diamètre (moyenne entre le diamètre en haut et le diamètre de la base) et le poids. Enfin, parmi ces 51 cannes, 5 ont été utilisées pour évaluer la richesse en sucre. Le rendement a été calculé en combinant le poids et le nombre de tiges usinables par unité de surface.

Diamètres, longueurs et poids des cannes ont été comparés au moyen d'une analyse de variance ; le tallage et le rendement par le test du Khi² et la richesse en sucre par le test de la médiane.

Une étude de profils racinaires a permis de montrer que l'enracinement des cannes était pratiquement semblable dans les trois situations pédologiques, légèrement plus développé dans la zone où affleure l'horizon C (BARRET *et al.*, 1991).

TABLEAU I

Caractérisations analytiques des trois zones A, B et C

(CEC : capacité d'échange cationique ; mo : matière organique ; mi : minérale)

Analytic characterization of the three areas A, B and C. (CEC: Cation exchange capacity; mo: organic matter; mi: mineral)

	Zone A	Zone B	Zone C
Profondeur (cm)	15	15	15
Granulométrie (%)			
0-2 μm	52,6	72,3	55,5
2-20 μm	16,9	14,4	34,5
20-50 μm	7,5	3,8	8,0
50-200 μm	11,8	4,3	1,0
200-2000 μm	7,7	2,9	0,9
Matière organique			
C (%)	25,29 ($\pm 1,63$)	17,19 ($\pm 1,37$)	11,15 ($\pm 1,07$)
N (%)	2,08 ($\pm 0,11$)	1,36 ($\pm 0,14$)	0,82 ($\pm 0,08$)
C/N	12,13 ($\pm 0,34$)	12,81 ($\pm 0,85$)	13,69 ($\pm 1,19$)
Phosphore (P_2O_5 %)			
total	1,51	0,83	0,32
assimilable	0,41	0,25	0,08
pH (H_2O)	4,7	4,9	6,0
pH (KCl)	4,2	4,4	5,7
Propriétés d'échange (cmol.kg^{-1} sol)			
CEC (pH7)	14,00	12,50	10,60
CEC mo	6,36	4,00	1,62
CEC mi = CEC(pH7) - CEC mo	7,64	8,50	8,98
Ca	4,22	4,34	3,41
Mg	2,78	1,64	3,91
K	0,72	0,36	0,08
Na	0,16	0,22	0,23
100 S/CEC(pH7)	56,3	52,5	72,0

Echantillonnage et analyses nématologiques

Un, deux, trois, sept et dix mois après la récolte, 10 échantillons de sol et de racine de tige ont été prélevés dans chacune des trois zones, le long des rangs de cannes, entre 10 et 20 cm de profondeur. Les nématodes sont extraits du sol et des racines par les méthodes de SEINHORST (1950, 1962) ; leur nombre est ramené au dm^3 de sol et au gramme de racine sèche.

RÉSULTATS

Caractéristiques pédologiques des trois situations

Dans les trois situations étudiées, la texture du sol est argileuse (argile > 50 %). La capacité d'échange cationique (CEC) diminue de la zone A à la zone C, mais les variations sont essentiellement dues à la CEC de la matière organique (CEC mo). La CEC d'origine minérale (CEC sol-CEC mo) est relativement constante, reflétant la dominance d'une argile de même type (1/1). Ce sont

donc les caractéristiques chimiques qui différencient les zones étudiées :

- la matière organique (C et N) : $A > B \gg C$;
- le phosphore total et assimilable : $A > B \gg C$;
- le pH eau : $A = B \ll C$.

La répartition des bases échangeables est analogue dans les trois zones sauf pour le potassium, où l'on trouve la hiérarchie : $A > B > C$.

Les populations de nématodes

Le peuplement est composé en grande majorité de nématodes ectoparasites appartenant à 5 espèces : *Helicotylenchus erythrinae*, *Hemicriconemoides cocophilus*, *Criconemella onoensis*, *Xiphinema setariae* et *Paratrichodorus anthurii*. Quel que soit le moment du cycle, 90 % des endoparasites sont des *Pratylenchus zaei*. D'autres espèces comme *Paratylenchus elachistus*, *Rotylenchulus reniformis* ou *Hoplolaimus seinhorsti*, qui apparaissent sporadiquement et en faible nombre dans les racines, n'ont pas été pris en compte dans cette étude.

STRUCTURES SPATIALES DES PEUPELEMENTS NÉMATOLOGIQUES

Du point de vue quantitatif, les prélèvements effectués dans les zones remodelées de diverses parcelles cannières sur ferrisol montrent que le peuplement tellurique ectoparasite est d'autant plus important que l'horizon qui affleure était plus profond (fig. 1).

Du point de vue qualitatif, les populations qui composent les trois peuplements correspondant aux trois zones sont d'importances variables, à l'exception d'*Helicotylenchus* qui est le plus abondant et de *Criconemella* qui est très faiblement représenté. La population d'*Hemicriconemoides* est nettement plus importante dans la zone C — elle occupe presque 50 % du peuplement — que dans la zone A ou B ; et inversement pour *Paratrichodorus* (fig. 2). *Xiphinema* est plus abondant sur les zones A et B. Cependant les populations de *Paratrichodorus* et de *Xiphinema* sont particulièrement faibles comparativement à celle d'*Hemicriconemoides*. Les différences proviennent surtout de pullulations temporaires.

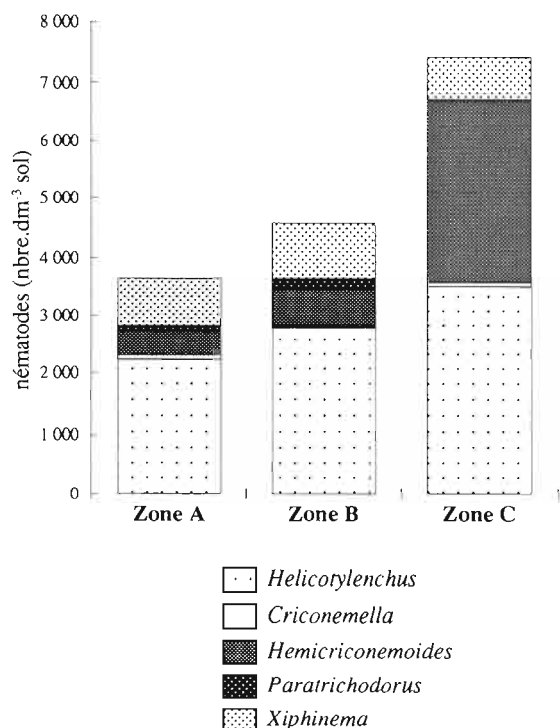


FIG. 1 — Structure spécifique spatiale du peuplement ectoparasite de la canne à sucre dans les trois zones A, B, C, caractérisées par leurs teneurs en matière organique. *Spatial structure of the sugarcane ectoparasitic community in the three areas A, B, C, characterized by their organic matter contents.*

FLUCTUATION TEMPORELLE DU PEUPELEMENT NÉMATOLOGIQUE

— Peuplement ectoparasite

L'étude réalisée sur trois zones A (témoin), B et C confirme les résultats obtenus précédemment, à savoir que l'abondance du peuplement ectoparasite augmente quand la teneur en matière organique diminue ($A > B > C$). Cette tendance est stable au cours du cycle végétatif de la canne (fig. 3).

Au cours du développement de la plante, la population d'*Helicotylenchus* reste pratiquement constante dans la zone A (fig. 4), alors qu'elle fluctue considérablement dans les deux autres situations. Elle a tendance à augmenter lorsque la pluviosité est faible et réciproquement. Pour *Helicotylenchus* et pour *Criconemella*, il n'y a pas de différence significative entre les populations des trois situations ($K\chi^2 = 2,8$ et $5,2$; $ddl = 2$; test de rang de Friedman).

Quel que soit le moment du cycle, la densité tellurique d'*Hemicriconemoides* est faible dans les zones A et B (fig. 4). Pour l'ensemble des dates

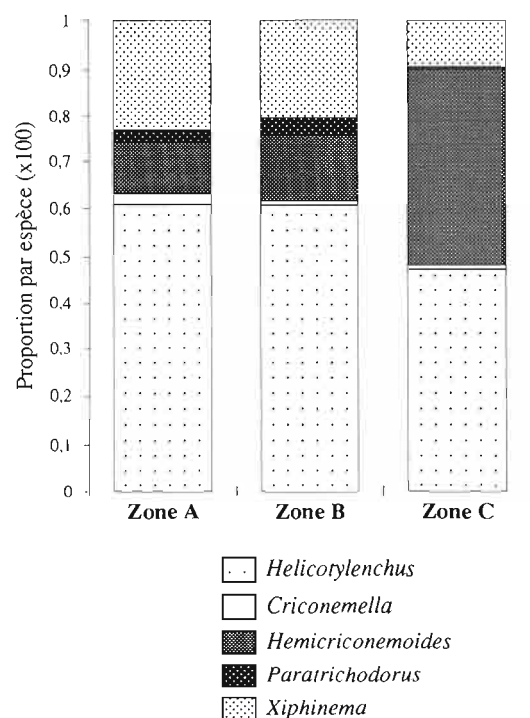


FIG. 2 — Proportion (en pourcent.) occupée par chacune des espèces dans le peuplement nématologique existant dans les trois zones A, B, C. *Proportion of each species in the nematode community found in the three areas A, B, C.*

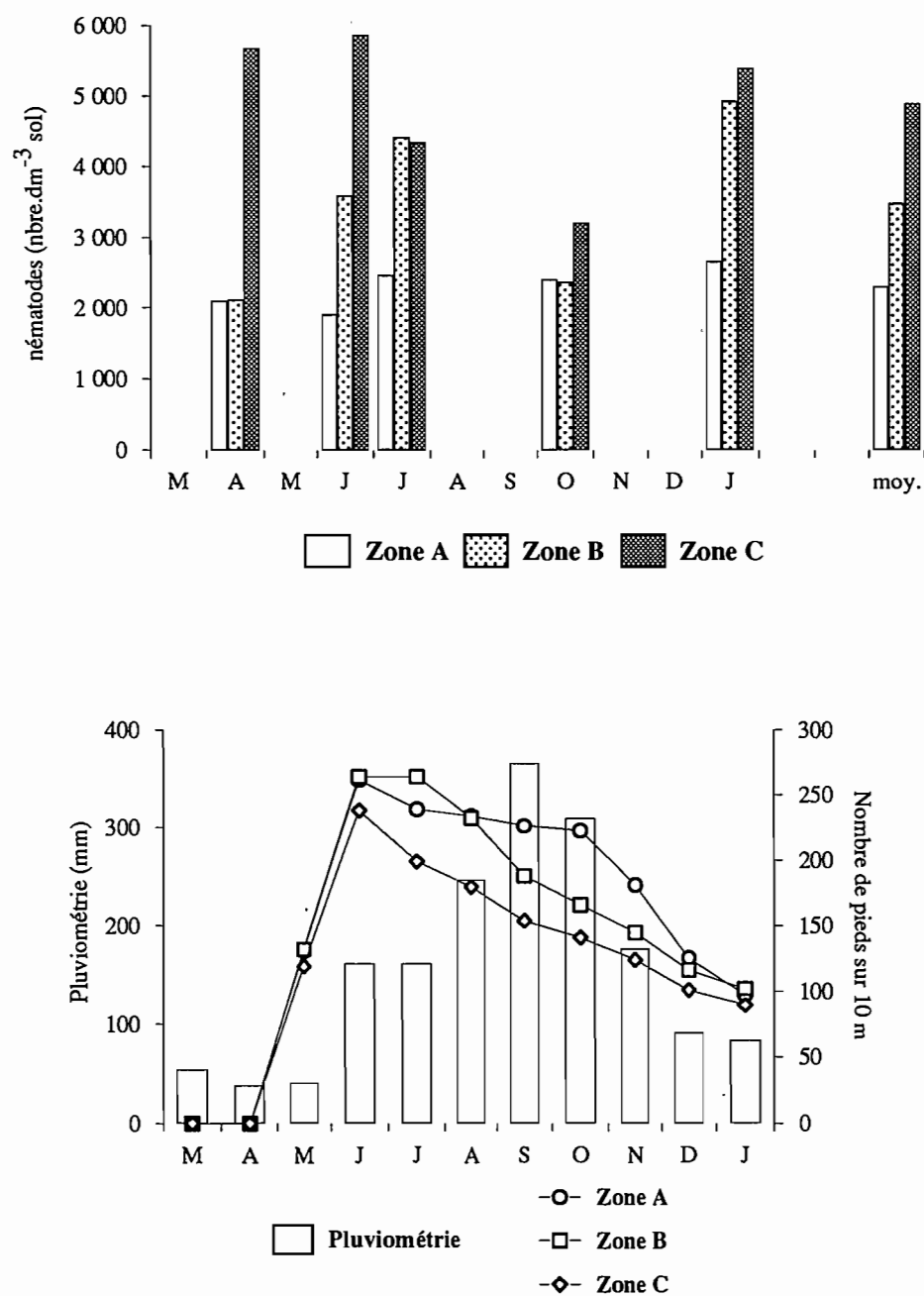


FIG. 3 – Évolution temporelle (nématodes/ dm³ de sol), en relation avec le tallage et la pluviométrie, des populations totales d'ectoparasites sur trois zones A, B et C, avec indication de la situation moyenne. (Abcisse : mois après la coupe, depuis mars jusqu'à janvier ; moy : situation moyenne pour les cinq dates).

Temporale evolution (nematodes / dm³ of soil), in relation with tillering and rainfall, of the total ectoparasitic populations on three soil areas representative of the three horizons A, B et C, with the average situation. Abciss: months after harvest, from March to January ; moy: average situation for the five sampling dates.

d'observation, elle se maintient à un niveau statistiquement plus élevé après remodelage sur C ($Khi^2 = 8,4$; ddl = 2 ; test de rang de Friedmann), malgré une diminution sensible à la fin de la saison « sèche », au début de la phase d'élongation et d'enracinement des nouvelles tiges. À l'inverse, la population de *Xiphinema* augmente durant cette période, notamment sur les zones remodelées sur B, puis diminue pendant la saison pluvieuse. Il y a significativement moins de *Xiphinema* sur la zone C que sur les deux autres situations ($Khi^2 = 6,3$; ddl = 2 ; test de rang de Friedmann). *Paratrichodorus* constitue une population significativement plus importante dans la zone B ($Khi^2 = 6,3$; ddl = 2 ; test de rang de Friedmann) que dans les zones A et C. Il ne se multiplie qu'en fin de cycle, après la phase de tallage, sur les racines des nouvelles tiges, indépendamment de la pluviosité.

– *Peuplement endoparasite* : *Pratylenchus zeae*

La densité d'infestation endoracinaire en *Pratylenchus zeae* augmente très vite après la période de tallage lorsque les nouvelles tiges commencent à pousser en longueur et à s'enraciner (fig. 4). Même si ce processus est plus rapide sur les zones remodelées sur C, il n'y a pas de différence significative entre les trois situations étudiées.

Résultats agronomiques

La richesse en sucre, les longueurs et le nombre de cannes usinables ne sont pas statistiquement différents entre les trois zones (tabl.II). En revanche, les diamètres moyens des cannes sur les zones B et C sont respectivement inférieurs de 7 et

13 % à celui des cannes de la zone témoin. De la même manière, les poids moyens des cannes sont inférieurs de 22 et 27 %. Le rendement théorique qui combine le poids et le nombre de cannes usinables obtenu dans les zones C est inférieur de 20 à 30 % à celui des zones où le sol n'a pas été décapé.

DISCUSSION

Relation entre nématodes et type de sol

Le remodelage des parcelles de canne à sucre n'affecte généralement qu'une faible proportion de la surface, de l'ordre de 5 à 20 %. Les zones décapées apparaissent comme des taches de couleur claire qui n'excèdent pas quelques mètres de largeur (BARRET *et al.*, 1991). Dans le sens de la pente, le passage de l'horizon A à la zone remodelée sur C est extrêmement brutal, le changement intervient sur moins de un mètre. Pourtant, dès que le taux de matière organique est faible (zone C, C % < 1,4), le nombre d'*Hemicriconemoides* est très élevé, en général supérieur à 2 000 individus par dm³ de sol. Inversement, lorsque le taux de matière organique est élevé (zone A, C % > 2,0), il y a toujours moins de 1 000 *Hemicriconemoides* par dm³ de sol. Les deux autres genres, *Paratrichodorus* et *Xiphinema*, dont les populations sont faibles et qui pullulent temporairement, ne constituent pas des indicateurs aussi fiables des variations des propriétés pédologiques.

Il ne s'agit pas d'un équilibre fugace. L'analyse temporelle révèle que la prédominance d'*Hemicriconemoides* perdure, malgré le développement de

TABLEAU II

Comparaison des mesures végétatives et agronomiques des cannes à sucre récoltées sur les trois zones A, B et C (Les chiffres qui portent la même lettre ne sont pas statistiquement différents ; $p < 0,05$; tc/ha : tonnes de canne par hectare ; A-B (%) et A-C (%) : pourcentage par rapport à la zone A)

Comparison of the sugarcane vegetative and agronomical observations harvested on the three areas A, B and C (The number followed by the same letter are not significantly different; $p < 0,05$; tc/ha: tonnes of cane per hectare; A-B (%) and A-C (%): percentage related to area A)

Caractéristiques	A	B	A-B (%)	C	A-C (%)
Diamètre (cm)	2,69 a	2,50 b	7	2,35 c	12,6 S
Longueur (m)	2,23	2,24		2,30	NS
Poids de canne (kg)	1,61 a	1,26 b	21,7	1,17 b	27,3 S
Tiges/ha ($\times 10^3$)	65,0	68,0		59,7	NS
Richesse en sucre	10,26	12,07		11,14	NS
Rendement (t.ha ⁻¹)	104,6 a	85,7 ab	18,1	69,8 b	33,3 S

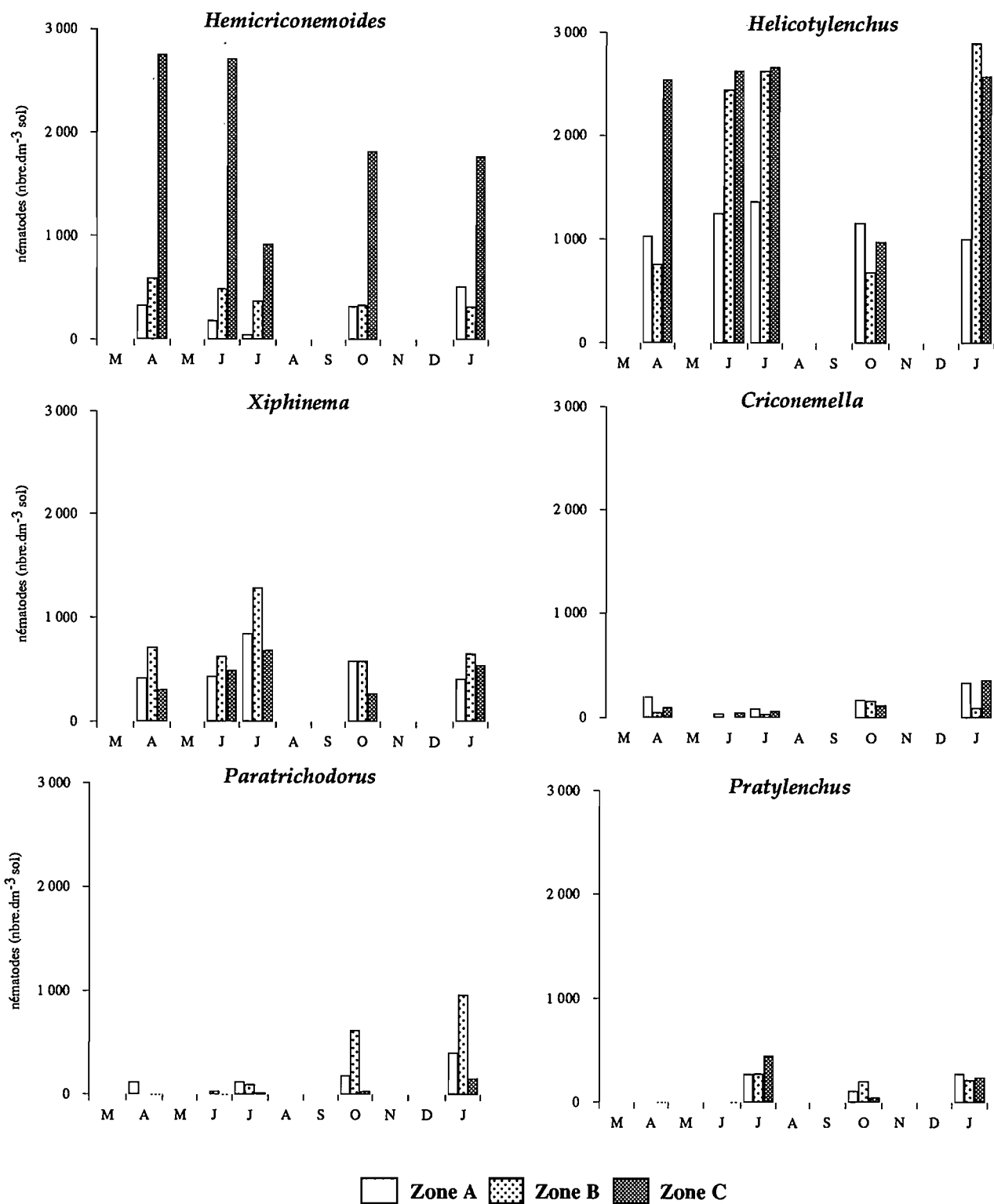


FIG. 4 – Évolution temporelle des populations des principaux nématodes ectoparasites (nématodes/ dm³ de sol) et de l'endoparasite *Pratylenchus zae* (nématodes / g de racine), au cours du développement de la plante sur les trois situations pédologiques représentatives des trois horizons A, B et C.
 Temporal evolution of the main ectoparasite nematode populations (nematodes / dm³ of soil) and of the endoparasite *Pratylenchus zae* (nematodes / g of roots) during the plant growth, on three soil areas representative of the three horizons A, B et C.

la plante qui modifie les relations entre les parasites et leur source d'énergie, ou malgré les variations d'humidité du sol. Au sein du peuplement nématologique composé de 4 à 6 espèces, *Hemicriconemoides cocophilus* est la seule qui soit influencée de façon constante, dans de telles proportions, par les propriétés du sol.

Relation entre facteurs biologiques ou mésologiques et peuplements nématologiques

Plusieurs facteurs sont susceptibles d'influencer l'abondance relative des différentes espèces de nématodes au sein d'un peuplement. En premier lieu figure la compétition entre nématodes. Cependant, elle n'est pas considérée comme très importante pour les espèces ectoparasites (EISENBACH et GRIFFIN, 1987). Dans le cas présent, il s'agit d'ailleurs d'une synergie puisque le peuplement de nématodes augmente en nombre sur la zone remodelée sur C par rapport aux autres situations. Pourtant, l'enracinement des cannes à sucre est pratiquement le même, notamment entre les zones B et C. D'autre part, comme nous l'avons indiqué précédemment, le développement racinaire de la plante, qui fait diminuer la compétition interspécifique, n'entraîne pas de modification dans la structure du peuplement. Enfin, il n'y a pas d'interférence liée au milieu car le système étudié peut être considéré comme très homogène. Les zones d'observation sont géographiquement proches et la monoculture de la canne à sucre y est pratiquée depuis suffisamment longtemps pour que la biocénose soit en équilibre. Ces résultats nous conduisent à écarter le facteur compétition pour expliquer la situation observée.

D'autres facteurs biotiques peuvent influencer l'équilibre entre les espèces de nématodes. Par exemple les interactions avec les bactéries ou les champignons (KAHN, 1963 ; HOLTZMANN et SANTO, 1971). Mais dans ce cas, ils seraient eux-mêmes influencés par un facteur dont l'hétérogénéité spatiale dans le champ correspondrait à celle des caractéristiques pédologiques. L'intervention directe d'un micro-organisme sur une seule espèce de nématodes au sein d'un peuplement apparaît peu vraisemblable. Les micro-organismes, qui se multiplient plus vite que les nématodes, sont fortement influencés par les variations climatiques, alors que le processus décrit est constant dans le temps.

Les seuls paramètres observés, qui changent parallèlement au remodelage du sol et qui sont stables au sein de chaque zone, sont des paramètres

pédologiques. Il est donc probable que le (ou les) facteur(s) de régulation qui agissent sur les peuplements de nématodes soient en relation avec les propriétés édaphiques.

La texture du sol est susceptible d'influencer la répartition des espèces de nématodes (O'BANNON *et al.*, 1976), mais dans cette étude, il s'agit de trois horizons d'un même ferrisol à texture et à minéralogie comparables. De ce fait, certaines propriétés chimiques ou physico-chimiques pourraient être à l'origine de la distribution observée au sein des peuplements de nématodes ectoparasites, dont l'existence se déroule exclusivement dans le sol. Leur action peut être indirecte, en favorisant le développement de certains micro-organismes prédateurs ou compétiteurs, tel que cela a été évoqué précédemment, ou bien directe, parce que les nématodes sont eux-mêmes des micro-organismes sensibles aux constituants chimiques du sol (STURHAN, 1986 ; BONGERS, 1990). Dans les zones remodelées sur C, les caractéristiques chimiques sont parfois très nettement différentes de celles mesurées dans les deux autres situations. C'est le cas du potassium, du phosphore et de la matière organique (corrélés entre eux), du pH ou encore des oligo-éléments (CHEVIGNARD *et al.*, 1987). *Hemicriconemoides cocophilus* pourrait être très sensible aux variations d'une ou plusieurs de ces propriétés du sol, comme cela a été démontré pour *Meloidogyne incognita* (CASTRO *et al.*, 1990). D'ailleurs, le nombre d'*Hemicriconemoides* varie en sens inverse des teneurs en matière organique. En outre, les différences observées au niveau du phosphore pourraient traduire une hétérogénéité de la répartition des mycorrhizes sur les racines. Ces champignons, qui favorisent l'assimilation racinaire, agissent également sur la multiplication de certains nématodes phytoparasites (SMITH *et al.*, 1986) et par conséquent sur leur abondance.

Relation entre nématodes et développement de la plante

Le peuplement global d'ectoparasites est plus important dans les zones remodelées en B ou C que dans les zones témoins, en particulier en raison de la prolifération de *Hemicriconemoides cocophilus* (fig.1). Les faibles rendements qui y sont obtenus pourraient s'expliquer par l'action pathogène de ces nématodes.

L'analyse des composantes du rendement ne nous permet pas de confirmer cette hypothèse. Contrairement à ce qui est constaté ici, le diamètre

des cannes n'est généralement pas affecté par les attaques de nématodes (SPAULL et CADET, 1990). En revanche, aucune réduction de la longueur des tiges n'apparaît dans notre étude, alors que ce processus a été souvent observé en présence de populations de *Xiphinema* et de *Paratrichodorus* équivalentes à celles qui apparaissent, dans la zone B, à certaines dates (SPAULL et CADET, 1991). Bien que le rendement diminue de manière inversement proportionnelle à la taille du peuplement de nématodes phytoparasites, il semble hasardeux d'en conclure la responsabilité exclusive de ces parasites.

CONCLUSION

Même si, dans le contexte pédo-climatique de la côte est de la Martinique, la présence des nématodes ne semble pas avoir une incidence économique importante sur la production de la canne à sucre, les hétérogénéités de sol constituent un bon

modèle pour étudier les facteurs qui influencent leur distribution. À l'instar des observations faites en Europe, ces résultats suggèrent que des propriétés pédologiques influencent la structure spatiale des peuplements nématologiques tropicaux. Autrement dit, en agissant sur la teneur de ces éléments, il devrait être possible de prévenir l'établissement de peuplements très pathogènes. Cette technique de lutte de type mésologique compléterait positivement les méthodes classiques de lutte variétale ou biologique qui sont généralement mises en échec sous les tropiques par la présence de peuplements nématologiques très diversifiés.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient P. BARRET, C. FELLER, S. MARIE-LUCE et P. TOPART, pour leur aide, ainsi que le Centre technique de la canne et du sucre (Lamentin) qui a effectué les analyses de richesse en sucre.

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

BIBLIOGRAPHIE

- BARRET (P.), CADET (P.), FELLER (C.), ALBRECHT (A.), 1991. – Le remodelage des terres à la Martinique. 2. Variabilité intra-parcellaire du remodelage en relation avec la productivité végétale. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, vol. XXVI, n° 2 : 105-113.
- BONGERS (T.), 1990. – The maturity index : an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. *Oecologia*, 83 : 14-19.
- CADET (P.), DEBOUZIE (D.), 1989. – Évolution spatio-temporelle d'un peuplement de nématodes parasites de la canne à sucre. *Revue de Nématologie*, 13 : 79-88.
- CASTRO (C.E.), BELSER (N.O.), MCKINNEY (H.E.), THOMASON (I.J.), 1990. – Strong repellency of the root knot nematode, *Meloidogyne incognita* by specific inorganic ions. *Journal of Chemical Ecology*, 16 : 1199-1205.
- COLMET-DAAGE (F.), LAGACHE (P.), 1965. – Caractéristiques de quelques groupes de sols dérivés de roches volcaniques aux Antilles Françaises. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, vol. III, n° 2 : 91-122.
- CHEVIGNARD (T.), FELLER (C.), ANDREUX (F.), QUANTIN (P.), 1987. – Le « remodelage » des terres en Martinique. Modifications des propriétés de « ferrisols » et d'andosols cultivés en canne à sucre. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, vol. XXIII, n° 4 : 223-236.
- EISENBACK (J.D.), GRIFFIN (G.D.), 1987. – «Interactions with other nematodes» in VEECH (J.A.) and DICKSON (G.W.) (eds), 1987 : 313-320.
- HARRIS (R.H.G.), 1975. – Studies on nematode populations in sugarcane soil profiles. *Proceedings of the South African Sugar Technologists' Association*, 49 : 164-170.
- HOLTZMANN (O.V.), SANTO (G.S.), 1971. – Effect of temperature on the interrelationship of *Pratylenchus zaei* and *Phytophthora graminicola* on sugarcane. *Phytopathology*, 61 : 1321.
- HU (C.H.), TSAI (T.K.), CHU (H.T.), 1968. – The nematode investigation in sugarcane fields in Taiwan and effects of soil fumigation. *Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists*, 13 : 1262-1269.
- KAHN (S.A.), 1963. – Occurrence and pathogenicity of *Pratylenchus zaei* on sugarcane in Louisiana. *Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists*, 11 : 711-717.
- LUC (M.), SIKORA (R.A.), BRIDGE (J.) (eds), 1990. – *Plant parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture*, Wallingford, Cab International Institute of Parasitology, 629 p.
- O'BANNON (J.H.), RADEWALD (J.D.), TOMERLIN (A.T.), INSERRA (R.N.), 1976. – Comparative influence of *Radopholus similis* and *Pratylenchus coffeae* on citrus. *Journal of Nematology*, 8 : 58-63.

- REYES (T.T.), BEGUICO (E.D.), 1978. – Nematodes in sugarcane. *NSDB Technology journal*, 3 : 25-35.
- SEINHORST (J.W.), 1950. – De beteekenis van de toestand van de grond voor het optreden van aan stasting door het stengelaaltje (*Ditylenchus dipsaci* (Kahn) Filipjev). *Tijdschr. Pl. Ziekt.*, 56 : 291-349.
- SEINHORST (J.W.), 1956. – Population studies on stem eelworms (*Ditylenchus dipsaci*). *Nematologica*, 1 : 159-164.
- SEINHORST (J.W.), 1962. – Modifications of the elutriation method for extracting nematodes from soil. *Nematologica*, 8 : 117-128.
- SMITH (G.S.), HUSSEY (R.S.), RONCATORI (R.W.), 1986. – Penetration and postinfection development of *Meloidogyne incognita* on Cotton as affected by *Glomus intraradices* and phosphorus. *Journal of Nematology*, 18 : 429-435.
- SPAULL (V.W.), CADET (P.), 1990. – « Nematodes of sugarcane » in LUC, (M.), SIKORA (R.A.) and BRIDGE (J.) (eds), 1990.
- SPAULL (V.W.), CADET (P.), 1991. – Studies on the relationship between nematodes and sugarcane in South and West Africa : ratoon cane. *Revue de Nématologie*, 14 : 183-186.
- STURHAN (D.), 1986. – Influence of heavy metals and other elements on soil nematodes. *Revue de Nématologie*, 9 : 285-314.
- VAN DILLEWIJN (C.), 1960. – *La botanique de la canne à sucre*. Wageningen, Hollande, VEENMAN (H.), ZONEN, (N.V.) (eds), 377 p.
- VEECH (J.A.), DICKSON (D.W.) (eds), 1987. – *Vistas on nematology*, Society of Nematologists.

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 - 1062A 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 provenientes 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 Dörhmann 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) :

$$\text{biomasse} = \text{E.C.} / 0,38.$$

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
		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 ± 0,2	15,9	17,1	7,6 ± 0,1	24,7	8,8 ± 0,3	1,11	14,5
MU	Maïs (90 N) avec <i>Panicum</i>	122,9 ± 7,0	12,4	1,8 ± 0,2	14,2	11,6	11,1 ± 2,1	22,7	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 ± 0,1	7,1	2,8	10,3 ± 0,3	13,1	6,0 ± 0,4	1,09	15,7
PD	Prairie à <i>Digitaria</i> après Maïs	121,2 ± 5,3	11,5	2,0 ± 0,2	13,5	10,5	8,1 ± 0,6	18,6	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.

Séparément 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 Dehéraïn 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.

Premiers résultats sur la dynamique des biomasses racinaires et microbiennes dans un latosol d'Amazonie centrale (Brésil) sous forêt et sous pâturage

Flavio LUIZÃO (1), Regina LUIZÃO (1) et Armand CHAUVEL (2)

(1) Inpa- Ecologia, C.P.478, Manaus, AM, CEP 69011, Brésil.

(2) Orstom/Inpa- Laboratoire d'écologie des sols tropicaux, centre Orstom - 72, route d'Aulnay - 93143 Bondy cedex France.

RÉSUMÉ

La dynamique des racines et celle de la biomasse microbienne sont étudiées dans les horizons supérieurs d'un « latosol » sous forêt primaire et sous un pâturage voisin au cours d'une année climatique, en Amazonie centrale (Brésil).

Les mesures portent sur quatre séries de prélèvements faits entre 0 et 5 cm et 5 et 20 cm, à différentes saisons. Les racines sont séparées du sol ; ont été utilisées conjointement les méthodes de tamisage, de tri manuel, de flottation et de tri sous la loupe binoculaire. La biomasse microbienne est globalement évaluée par la méthode de fumigation-incubation.

L'étude montre que la masse des racines ainsi que la biomasse microbienne présentent des variations accrues au cours de l'année : les valeurs maximales correspondent à la saison des pluies, et les valeurs minimales à la saison sèche.

Dans le système forestier, le taux de renouvellement des racines est du même ordre de grandeur que celui de la litière ; il est plus élevé sous pâturage. Les quantités de racines renouvelables annuellement sont équivalentes à la production annuelle de litière.

Les résultats font apparaître le rôle important des racines comme source de matière organique dans le « latosol ». Ils conduisent à tenir le plus grand compte de l'activité biologique des horizons très superficiels, dans l'étude du fonctionnement et de la mise en valeur de ces écosystèmes.

MOTS CLÉS : Forêt amazonienne – Pâturage – Dynamique de racines – Biomasse microbienne – Sols ferrallitiques.

ABSTRACT

PRELIMINARY RESULTS ON ROOTS AND SOIL MICROBIAL BIOMASS DYNAMICS IN OXISOL IN CENTRAL AMAZON

*The dynamics of roots and soil microbial biomass in the upper soil layers under natural forest and an adjacent young pasture were studied along one climatic year in Central Amazon. Four collections were made sampling the 0-5 cm and the 5-20 cm soil layers. The roots were separated from soil by a conjunction of methods: direct manual separation, sieving, floatation in water and microscopic counting. Soil microbial biomass-C was measured by the fumigation-incubation method (JENKINSON and POWLSON, 1976). The variation along the year followed an accentuated seasonal pattern, with higher values in the rainy season and lower ones in the dry period for both, root mass and soil microbial biomass. The relation between root mass and soil microbial biomass and between both and the seasons was clearer in the 0-5 cm soil layer, where most of the main biological activities are happening in forest and pasture soils. The addition of fertilizers in the pasture confirmed the speed of reaction of the soil microbial biomass to changes in the soil, even under unfavourable conditions, something that was not observed with roots. In the young pasture, planted with *Brachiaria humidicola*, the total amount of roots found was always lower than in the natural forest. However, the relative abundance of finer roots was more important and its amount in the 0-5 cm soil layer was equal or even higher than in the forest soil. Estimates of the renewal rate for roots finer than 1 mm in diameter, based on the differences bet-*

ween the observed highest and lowest values, indicated a root renewal sensibly faster in pasture than in the natural forest. In the forest, the estimated renewal rate for roots is placed in the same level as for the rate of the forest litter decomposition in the region. The estimated yearly amount of renewable roots in the upper 20 cm of soil profile is comparable with the annual forest litter input. It is concluded that the contribution of roots in the upper soil layers as source of organic matter and nutrients to the system is of the same importance of that represented by forest litter. The fine roots, of fast renewal and intimately related with soil microbial biomass, are especially important in the soil processes. The dynamics of a thinny and superficial soil layer is a key component of the ecosystem functioning and should always be taken in account for planning sustainable use of Amazonian soils.

KEY WORDS: Amazonian forest – Pasture – Dynamics of roots – Microbial biomass – Oxisol.

RESUMO

RESULTADOS PRELIMINARES SOBRE A DINÂMICA DAS BIOMASSAS MICRÓBIANA E DAS RAÍZES EM LATOSSOLO AMARELO NA AMAZÔNIA CENTRAL

A dinâmica das raízes e da biomassa microbiana nas camadas superficiais do solo de floresta natural densa e de uma pastagem jovem adjacente foi estudada, efetuando-se quatro coletas ao longo de um ano climático. Amostras de solo, de 0-à 5 cm e de 5 à 20 cm de profundidade, foram coletadas e as raízes foram separadas pelo uso conjunto dos métodos de captação manual, peneiração e flotação, além de triagem sob lupa microscópica. A biomassa microbiana foi determinada pelo método da fumigação-incubação de JENKINSON e POWLSON (1976). Verificou-se que as variações da massa de raízes, principalmente das raízes finas, e da biomassa microbiana seguem um padrão sazonal acentuado, com valores maiores na estação chuvosa e menores na seca. A adição de fertilizante na pastagem comprovou a rapidez da reação da biomassa microbiana à mudanças no solo, mesmo sob condições não favoráveis, o que não foi observado para as raízes. A relação do crescimento de raízes com a biomassa micróbiana e destas com a estação do ano foram mais claras na camada mais superficial do solo (0-5 cm), onde se concentram as principais atividades biológicas do solo, tanto da floresta natural como da pastagem. Na pastagem de *Brachiaria humidicola*, a quantidade total de raízes encontrada foi sempre menor que na floresta natural, porém a abundância relativa das raízes mais finas foi mais importante, a tal ponto que sua quantidade na cama de 0-5 cm foi igual ou mesmo maior que a da floresta. Estimativas da taxa de renovação das raízes finas de diâmetro inferior a 1 mm, baseadas na diferença entre os valores máximo e mínimo observados, indicaram uma renovação mais rápida das raízes da pastagem do que na floresta natural. Na floresta, a taxa de renovação das raízes foi da mesma ordem de grandeza das taxas medidas na região para a liteira fina. A quantidade estimada de raízes renováveis anualmente na camada 0-20 cm do solo é comparável à quantidade de liteira produzida por ano na floresta. Conclui-se que nos sistemas estudados a contribuição das raízes das camadas superficiais do solo, principalmente das raízes finas de renovação muito rápida e intimamente relacionadas à atividade microbiana do solo, é tão importante quanto a liteira como fonte de matéria orgânica e de nutriente minerais e que, nestes sistemas, a dinâmica de uma fina camada superficial do solo é a chave para o funcionamento do ecossistema, devendo sempre ser levada em conta ao planejar o manejo racional do solo na Amazônia.

PALAVRAS CHAVE : Floresta amazônica – Pastagens – Dinâmica de raízes – Biomassa microbiana – Latossolo.

INTRODUCTION

« Uma floresta sobre solos pobres », tel est le titre d'un article de SCHUBART *et al.* (1984) paru dans une édition spéciale de « Ciência Hoje » intitulée « Amazônia 1984 ». Les auteurs y relèvent un contraste entre l'exubérance de la végétation et la pauvreté chimique du sol caractéristique de nom-

breux milieux forestiers humides (TOUTAIN, 1984). Dans un tel système, une grande partie du stock de nutriments est contenue dans la biomasse. L'efficacité du fonctionnement dépend alors de la mobilisation biologique des éléments par l'activité : (1) de la faune du sol, (2) des micro-organismes et (3) des racines, activité particulièrement intense dans les

horizons superficiels et elle-même étroitement liée aux variations des conditions hydriques du sol (LAVELLE *et al.*, 1991 a et b). Nous nous proposons d'étudier ici les variations saisonnières du développement des racines et de la biomasse microbienne, au cours d'une année climatique normale, sous forêt primaire et, par comparaison, sous un pâturage installé après déforestation.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Localisation de l'étude

La station étudiée est située dans la « Fazenda Experimental FUCADA », en bordure de la route BR 174, Manaus-Boa Vista, à 39 km au nord de Manaus (2° 33' S- 60° 02' W). Cette station est installée sur les bas plateaux qui dominent les paysages de cette région.

Conditions climatiques, bilan de l'eau et des nutriments qu'elle contient

Le climat de la station étudiée est constamment chaud (températures moyennes comprises entre 25 et 27 °C), et caractérisé par une saison humide de novembre à mai et une saison sèche comprise entre juin et octobre. Le déficit hydrique maximal se situe le plus souvent en octobre. Selon NIMER (1989), l'Amazonie, qui reçoit les plus fortes précipitations du Brésil, est aussi caractérisée par les amplitudes pluviométriques annuelles (différences entre les pluviométries mensuelles maximales et minimales) les plus élevées, de l'ordre de 300 à 400 mm en Amazonie centrale. La pluviosité annuelle de la période d'étude (1987) a été de 2 141 mm. La distribution mensuelle des précipitations durant cette période est représentée sur la figure 1 (données fournies par la FUCADA).

En ce qui concerne le bilan hydrique, l'évapotranspiration, à partir du sol sous forêt en saison sèche, est de l'ordre de 110 mm par mois. De juin à novembre les précipitations sont du même ordre de grandeur que l'évapotranspiration, le mois d'octobre 1987 étant lui-même nettement déficitaire (- 50 mm). Il en résulte des variations importantes de la disponibilité en eau dans les sols. Les très fortes dessiccations restent cependant exceptionnelles (CABRAL, 1991). La quantité d'eau drainée vers la nappe, et exportée pendant l'année climatique, est voisine de 50 % de la pluviosité. Elle serait nettement plus élevée sous végétation cultivée (supérieure à 60 % selon CABRAL, 1991).

La végétation

La forêt observée sur le site de l'étude est du type dense humide sempervirente. Elle est connue au Brésil sous le nom de « floresta de terra firme », et est caractéristique d'une grande partie du bassin amazonien. Le nombre d'arbres, palmiers et lianes d'un diamètre supérieur à 5 cm serait de 1666 / ha et l'aire basale de 48 m² / ha (GUILLAUMET et KAHN, 1982). La valeur moyenne du poids de racines, de 5 500 g / m², sur 1,4 m de profondeur (CHAUVEL *et al.*, 1987), est très voisine de celle obtenue par HUMBEL (1978) en Guyane et par HUTTEL (1974) en Côte-d'Ivoire. Près de 75 % de la surface calculée de ces racines se situe dans les 20 cm superficiels.

Le pâturage, planté en *Brachiaria humidicola* Rendle, était installé depuis 18 mois au moment de la présente étude, après déforestation manuelle, andainage des troncs avec un tracteur, brûlis, et semis de la graminée. Il a reçu jusqu'à la fin de la période considérée les fertilisations en NPK par hectare suivantes :

- février 1987, 25 kg d'urée, 100 kg de superphosphate triple et 25 kg de chlorure de potassium ;
- juin 1987, 15 kg d'urée, 50 kg de superphosphate triple et 50 kg de phosphate bicalcique .

Apport de nutriments par les eaux et les débris végétaux

L'importance des apports par les pluies a été signalée par SCHUBART *et al.* (1984). Plus récemment, BRINKMANN (1989) a quantifié ces apports (tabl. I). Des études récentes (TALBOT *et al.*, 1990) montrent qu'ils se font sous forme d'aérosols transportés sur de longues distances dans la troposphère. Les eaux d'écoulement le long des troncs et les pluviollessivats sont enrichis en éléments nutritifs par lavage de la végétation. Les travaux de STARK et JORDAN (1978) montrent que, sous forêt primaire amazonienne, le mat racinaire superficiel absorbe la quasi-totalité de ces nutriments et empêche ainsi leur entraînement en profondeur. Ceci s'accorde avec les résultats des études lysimétriques réalisées à proximité du site de l'étude (GRIMALDI et CHAUVEL, 1991), qui montrent en outre que les concentrations les plus fortes interviennent, pour divers éléments, en début de période pluvieuse.

À ces apports par les eaux s'ajoutent, sous forêt primaire, les éléments minéraux contenus dans les débris végétaux constituant la litière fine. Ces apports sont de 2 à 3 fois supérieurs à ceux des

TABLEAU I

Apport au sol d'éléments minéraux (kg.ha⁻¹ par an) dans l'écosystème forestier naturel amazonien (Région Nord de Manaus)
Mineral elements input to soil surface (kg.ha⁻¹ yearly) in the natural forest ecosystem in Amazon (North of Manaus area)

	N	P	K	Ca	Mg	Fe
Précipitations ^{1,2}	5,0	0,40	4,80	0,26	0,18	0,61
Eau d'écoulements le long des troncs ^{1,2}	15,0	0,63	0,25	5,80	2,05	0,26
Pluviolessivats ^{1,2}	25,0	0,92	17,8	10,50	6,80	0,52
Chute de litière fine ³	151,0	3,10	15,0	37,00	14,20	4,53

1 Brinkmann, 1989

2 Leopoldo et al., 1987

3 Luizao, 1989a

eaux, sauf dans le cas du potassium, où ils sont légèrement inférieurs (tabl. I). Ces apports annuels de débris végétaux représentent un poids de 8,2 t/ha/an, dont 3,9 t de carbone.

Les résultats concernant la production et la composition chimique des débris végétaux formés sous pâturage de *Brachiaria humidicola* ne sont pas encore connus.

Le sol

Le sol de plateau caractéristique du site étudié est, dans la classification brésilienne, un « Latossolo Amarelo alio, textura muito argilosa » (RADAMBRASIL, 1978). Il est classé sol ferrallitique fortement désaturé en B dans la classification française (CPCS, 1967) et « aplic acorthox » selon la « Soil Taxonomy » (USDA, Soil Survey Staff 1975). Ce sol est essentiellement constitué par de la kaolinite (80 %), du quartz (5 à 15 %) et des hydroxydes de fer et d'aluminium. Du fait de cette composition minéralogique, les variations de la capacité d'échange cationique constatées entre profils, et du haut en bas de chaque profil, sont essentiellement dépendantes des teneurs en matière organique.

Dans son état initial, sous forêt primaire, ce sol est caractérisé par :

(a) une litière d'épaisseur variable (quelques centimètres), plus développée en saison sèche et décomposée en période humide, exploitée par des champignons, des invertébrés et des racines d'arbres ;

(b) un ensemble d'horizons humifères A1 et A3, entre 0 et 20 cm de profondeur, brun (10 YR 5 à 7/3 À 6), très argileux, dans lequel sont concentrées les plus grandes parties de la mésofaune, des racines, de la biomasse microbienne et des nutriments (CHAUVEL *et al.*, 1987) ; dans la couche 0-10 cm,

les teneurs en carbone organique sont de l'ordre de 2,5 à 3 % ;

(c) un ensemble d'horizons B ferrallitiques, d'environ 0,2 à 7 m de profondeur, jaunes (10 YR 6 à 7/5 À 7), très argileux, pratiquement dépourvus de nutriments, contenant peu de racines ;

(d) des horizons d'accumulation d'hématite ou de gibbsite sous forme de nodules dans un matériau meuble kaolinitique, localisés entre 7 et 16 m de profondeur (LUCAS, 1989). L'absence quasi complète de minéraux primaires dans ce sol, jusqu'au niveau d'une nappe, située à plus de 30 m et ne contenant pratiquement que de la silice en solution (GRIMALDI et CHAUVEL, 1991), s'oppose à tout enrichissement en nutriments à partir de la profondeur. On constate donc que tous les apports de nutriments se font essentiellement par la surface.

La texture très argileuse (kaolinite) de ces sols et la distribution dimensionnelle des pores qui en résulte (CHAUVEL *et al.*, 1991) expliquent leur faible capacité de rétention pour l'eau utilisable par les plantes (la différence entre les humidités à pF 4 et pF 2 est de l'ordre de 6 % du poids de terre).

La déforestation et l'installation de pâturages provoquent une dégradation de la structure des horizons de surface. Il en résulte d'une part une diminution de la porosité et de la capacité de rétention pour l'eau (CHAUVEL *et al.*, 1991) et, d'autre part, une modification de la quantité et de la distribution du carbone organique (CERRI *et al.*, 1991), avec une diminution des quantités de fragments de racines et d'humus extractible.

Les variations saisonnières de l'humidité du sol dépendent fortement de la pluviosité et du couvert végétal (fig. 1). En 1987 (année climatique normale), sous forêt, durant les moments de fortes précipitations, de janvier à fin mai, le sol est resté très humide, mais rarement saturé en eau ; puis il a

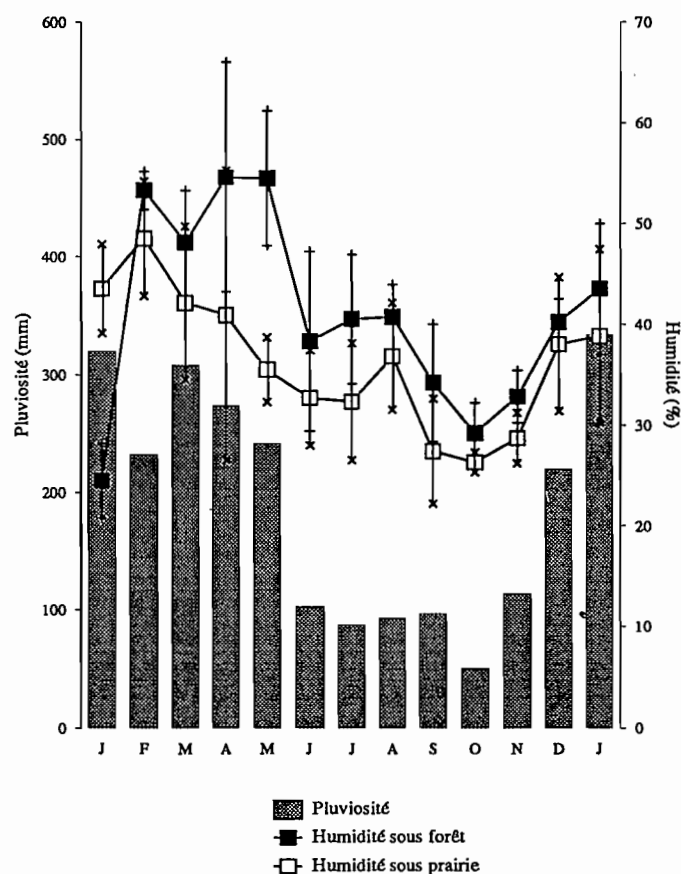


FIG. 1 – Distribution mensuelle des pluies et des variations de l'humidité pondérale du sol de 0 à 5 cm, sous forêt et sous pâturage de janvier 1987 à janvier 1988.
Monthly rainfall distribution and variations in soil humidity (depth 0-5 cm) in forest and pasture from January 1987 to January 1988.

subi des alternances d'humectation et de faible dessiccation de juin à septembre, avant d'être soumis à une sécheresse plus marquée en octobre ; le sol s'est ensuite progressivement réhumidifié à partir du mois de novembre (CABRAL, 1991).

Sous pâturage, en période de fortes pluies, de janvier à mai, la partie superficielle du sol est parfois saturée d'eau pendant plusieurs jours ; la phase de dessiccation y est aussi plus accentuée et prolongée.

Méthodologie

L'étude concerne la couche superficielle de 20 cm de profondeur.

Les racines ont été séparées à quatre époques de l'année climatique 1987, sous forêt et sous pâturage, à partir de 6 blocs de 20 cm de côté, compris entre 0 et 5 cm et 5 et 20 cm de profondeur. Ces blocs sont situés dans 2 parcelles de 10 ares cha-

cune choisies au sein de la forêt et du pâturage. Les résultats donnés pour chaque date et chaque profondeur correspondent aux moyennes et aux écarts-types obtenus sur les 6 prélèvements dans chaque situation. Les résultats obtenus ont été interprétés statistiquement en utilisant le test t de Student appliqué aux petits échantillons.

La séparation des racines à partir de chaque bloc prélevé a d'abord été faite par tamisage (maille de 2 mm) et lavage. Les racines recueillies sur le tamis ont été ensuite triées, selon leur diamètre, en trois classes : inférieur à 1 mm, compris entre 1 et 5 mm, et supérieur à 5 mm.

Pour chacun des six échantillons, trois sous-échantillons de sol, de 100 cm³ chacun, ont été soumis à des séparations successives par flottation dans l'eau jusqu'à épuisement. Le matériel surnageant a été alors séché à l'étuve jusqu'à poids constant.

L'observation à la loupe binoculaire et la pesée ont alors montré que la plus grande partie du matériel ainsi séparé par flottation était constituée par des fragments de très fines racines (diamètre < 0,5 mm), leur proportion par rapport au poids total de matériel surnageant étant estimée à 65 % dans le cas du sol sous forêt et à 82 % dans le sol sous pâturage où les radicelles sont à la fois plus nombreuses et plus fragiles. On a donc calculé les teneurs correspondantes pour chaque système étudié et les résultats ont été incorporés au poids des racines de diamètre inférieur à 1 mm, déterminé lors de la première phase du travail (1).

La biomasse microbienne a été mesurée chaque mois, selon la méthode de JENKINSON et POWLSON (1976) « modifiée », qui consiste à tuer les micro-organismes par des vapeurs de chloroforme, puis à incuber l'échantillon traité. Par rapport au sol témoin, l'échantillon soumis à fumigation montre une phase de minéralisation très rapide. La quantité de gaz carbonique produite après incubation est proportionnelle à la biomasse microbienne qui peut être ainsi globalement évaluée. Pour la présente étude ne sont présentés que les résultats obtenus au moment des prélèvements de racines.

RÉSULTATS

Les résultats obtenus sont représentés sur la figure 2 et le tableau II.

La biomasse des racines

(a) Sous forêt, la masse totale des racines contenue dans le sol entre 0 et 20 cm de profondeur est comprise entre 3 500 et 5 300 g par m². Les racines grossières, de diamètre supérieur à 5 mm, présentent une variabilité spatiale très élevée telle que les différences observées au cours de l'année ne sont pas significatives. Les racines les plus fines ($d < 1$ mm) constituent de 26 à 34 % de la masse racinaire totale dans la couche 0-20 cm. Dans la couche la plus superficielle (0-5 cm), elles sont encore plus abondantes et représentent de 36 à 46 % du total. Dans cette couche la plus superficielle, la quantité de racines fines varie fortement et de manière statistiquement significative au cours de l'année climatique : le maximum est observé en avril en pleine saison des pluies, tandis que le minimum se situe en octobre, mois le plus sec de la période étu-

diée. Dans la couche 5-20 cm, les variations saisonnières de la masse des racines fines, qui ne représentent plus que 15 à 26 % du total, restent relativement faibles et peu significatives.

(b) Sous pâturage, dans la couche 0-20 cm, la masse totale des racines est comprise entre 1 500 et 3 200 g.m². La biomasse racinaire totale contenue dans les 5 cm superficiels varie encore plus fortement que sous forêt. On note que :

- la quantité totale de racines est nettement plus réduite que sous forêt ;
- l'abondance relative des racines les plus fines est plus importante (63 à 77 % du total), de sorte que leur quantité dans la couche de 0 à 5 cm est égale ou supérieure à celle observée sous forêt ;
- les racines fines présentent des variations saisonnières accentuées et comparables à celles observées sous forêt ; cependant l'hétérogénéité spatiale est trop élevée pour que les résultats soient significatifs.

Dans la couche de 5 à 20 cm, la décroissance de la quantité totale de racines, comparée à celle sous forêt, est encore plus forte ; les racines de diamètre inférieur à 1 mm représentent 32 à 57 % du total, leur variations saisonnières sont faibles ; les grosses racines héritées de la végétation forestière disparaissent progressivement.

La biomasse microbienne

(a) Sous forêt, les variations saisonnières de la biomasse microbienne de la couche superficielle 0-5 cm oscillent entre 1 000 et 1 700 $\mu\text{g C.g}^{-1}$ de sol, ce qui représente de 1,9 à 3,3 % du carbone organique de la couche. Ces variations accompagnent les variations saisonnières de la biomasse racinaire. Dans la couche de 5 à 20 cm, la biomasse microbienne est relativement moins abondante et moins variable, tout comme la biomasse racinaire.

(b) Sous pâturage, dans la couche 0-5 cm, la basse valeur initiale de la biomasse microbienne (750 $\mu\text{g C.g}^{-1}$, soit 1,8 % du C organique) au début de l'expérience précède une forte augmentation en saison des pluies, qui se manifeste également dans la couche comprise entre 5 et 20 cm. Cependant, entre 0 et 5 cm de profondeur, cette augmentation de la biomasse se poursuit dans le temps pour atteindre sa valeur maximale de 1 500 $\mu\text{g C.g}^{-1}$ (soit 3,6 % du C organique) lors du dernier prélèvement, tandis que dans la couche de 5 à 20 cm, la

(1) Au total, la séparation des racines à partir d'un bloc de terre demande près d'une journée d'un travail minutieux. Le présent travail a donc nécessité près de 4 mois de manipulations.

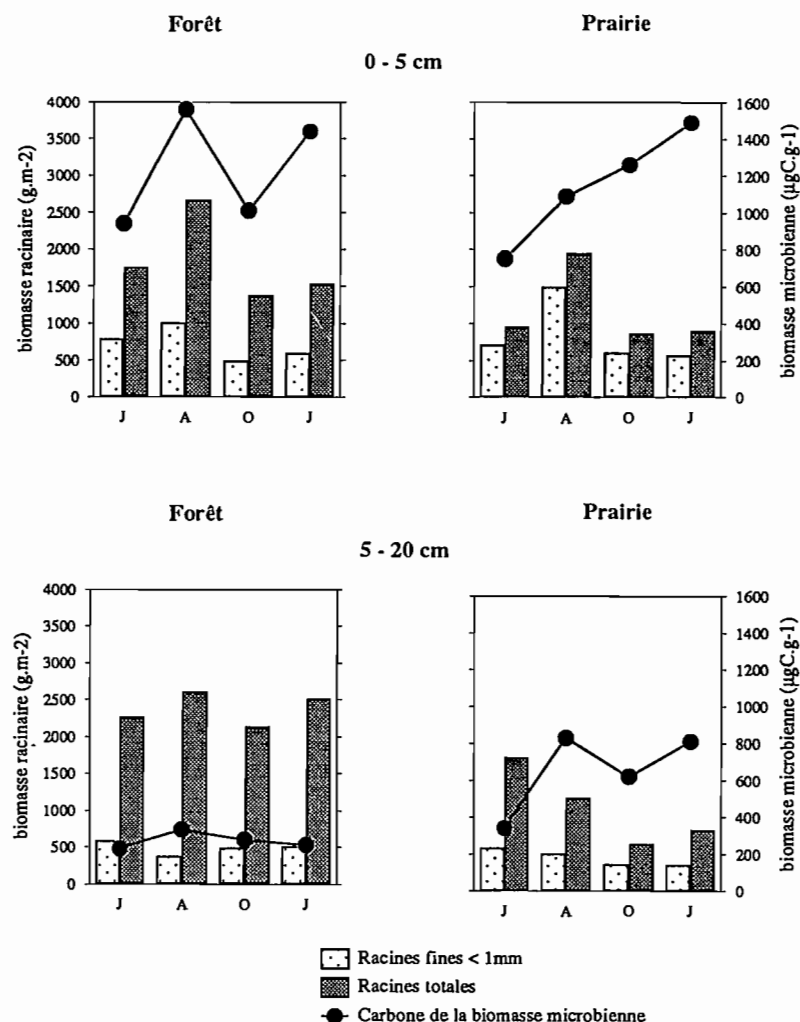


FIG. 2 – Poids sec des racines fines et total des racines à quatre époques de l'année, et carbone de la biomasse microbienne sous forêt naturelle et sous pâturage récent.
Dry weights of the fine roots and total roots and carbone of the microbial biomass in forest and recent pasture soil at four different times of the year.

biomasse microbienne évolue peu durant la période sèche. Il n'apparaît pas ici de variation nette de la biomasse microbienne en fonction de celle de la biomasse racinaire.

DISCUSSION

Estimations globales, importance relative des racines très fines

Les résultats du tableau II montrent que, sous forêt, les quantités totales de racines extraites de la couche comprise entre 0 et 20 cm varient au cours de l'année climatique entre 3,5 (au maximum de sécheresse) et 5,3 kg/m² (en pleine saison des

pluies). KLINGE *et al.* (1975) évaluent la biomasse aérienne totale à 40 kg/m² ; les racines contenues dans la couche de 0-20 cm représenteraient donc de 9 à 13 % du poids de cette biomasse aérienne.

Il est aisé de comparer ces valeurs à celles obtenues pour une couche de même profondeur, en d'autres endroits, par d'autres équipes. La valeur minimale (de saison sèche) que nous avons mesurée est légèrement supérieure à celles obtenues par CHAUVEL *et al.* (1987) dans un site très voisin (3,4 kg/m² sur 2 surfaces de 1 m² contiguës). Elle est également voisine de la valeur maximale obtenue par HUMBEL (1978) en Guyane française (3,7 kg/m²) utilisant la même méthode.

TABLEAU II

a. Variations du poids sec de racines (g.m^{-2}) dans la couche supérieure du sol, sous forêt et sous pâturage. Les valeurs en italique sont les écarts-type ($n=6$). Les valeurs soulignées sont celles qui sont citées dans le texte

b. Pourcentage par rapport au total des racines de la couche considérée

a. Variations of dry weight of roots (g.m^{-2}) in the upper layers of the forest and pasture soils.

Values in italica are standard deviation ($n=6$). The underlined values are those cited in the text

b. Percentage in relation to the total of the layer

Classe de diamètre	Profond. (cm)	Forêt			Pâturage				
		Janvier	Avril	Octobre	Janvier	Janvier	Avril	Octobre	Janvier
Racines grosses $d > 5\text{mm}$	0-5	855,0a <i>1 553,0</i>	1 594,0ab <i>749,0</i>	695,0ac <i>656,0</i>	744,0ac <i>430,0</i>	220,0a <i>307,0</i>	421,0a <i>317,0</i>	220,0a <i>168,0</i>	234,0a <i>218,0</i>
	5-20	1 468,0a <i>1 323,0</i>	2 170,0a <i>1 545,0</i>	1 437,0a <i>1 430,0</i>	1 792,0a <i>1 325,0</i>	1 122,0a <i>1 495,0</i>	724,0ab <i>298,0</i>	208,0ac <i>107,0</i>	398,0ac <i>391,0</i>
	0-20	2 323,0 <i>2 323,0</i>	3 764,0 <i>3 764,0</i>	2 132,0 <i>2 132,0</i>	2 536,0 <i>2 536,0</i>	1 342,0 <i>1 342,0</i>	1 145,0 <i>1 145,0</i>	428,0 <i>428,0</i>	632,0 <i>632,0</i>
Racines moyennes $d \text{ 1-5mm}$	0-5	112,0a <i>30,0</i>	68,8b <i>16,0</i>	188,0c <i>111,0</i>	199,0ac <i>138,0</i>	16,5a <i>8,8</i>	27,6b <i>8,6</i>	47,0bc <i>42,0</i>	96,1abc <i>81,0</i>
	5-20	214,0a <i>210,0</i>	60,8ab <i>20,0</i>	207,0c <i>82,0</i>	216,0ac <i>43,0</i>	96,8a <i>74,0</i>	31,6ab <i>14,0</i>	65,0c <i>18,0</i>	72,3ac <i>36,0</i>
	0-20	326,0 <i>326,0</i>	129,6 <i>129,6</i>	395,0 <i>395,0</i>	415,0 <i>415,0</i>	113,3 <i>113,3</i>	59,2 <i>59,2</i>	112,0 <i>112,0</i>	168,3 <i>168,3</i>
Racines fines $d < 1\text{mm}$	0-5	791,0a <i>165,0</i>	<u>1 008,0ab</u> <i>380,0</i>	<u>499,0c</u> <i>192,0</i>	599,0c <i>212,0</i>	720,0a <i>352,0</i>	1 503,0ab <i>794,0</i>	609,0ac <i>304,0</i>	574,0ac <i>279,0</i>
	5-20	592,0a <i>105,0</i>	381,0b <i>113,0</i>	497,0ab <i>235,0</i>	509,0ab <i>123,0</i>	588,0a <i>610,0</i>	504,0a <i>181,0</i>	367,0a <i>108,0</i>	354,0a <i>107,0</i>
	0-20	1 383,0 <i>1 383,0</i>	1 389,0 <i>1 389,0</i>	996,0 <i>996,0</i>	1 108,0 <i>1 108,0</i>	1 308,0 <i>1 308,0</i>	2 007,0 <i>2 007,0</i>	976,0 <i>976,0</i>	928,0 <i>928,0</i>
Total	0-5	1 758,0 <i>1 758,0</i>	2 671,0 <i>2 671,0</i>	1 382,0 <i>1 382,0</i>	1 542,0 <i>1 542,0</i>	957,0 <i>957,0</i>	1 952,0 <i>1 952,0</i>	876,0 <i>876,0</i>	904,0 <i>904,0</i>
	5-20	2 274,0 <i>2 274,0</i>	2 612,0 <i>2 612,0</i>	2 141,0 <i>2 141,0</i>	2 517,0 <i>2 517,0</i>	1 807,0 <i>1 807,0</i>	1 260,0 <i>1 260,0</i>	640,0 <i>640,0</i>	824,0 <i>824,0</i>
	0-20	4 032,0 <i>4 032,0</i>	<u>5 276,0</u> <i>5 276,0</i>	<u>3 523,0</u> <i>3 523,0</i>	4 059,0 <i>4 059,0</i>	2 764,0 <i>2 764,0</i>	<u>3 212,0</u> <i>3 212,0</i>	<u>1 516,0</u> <i>1 516,0</i>	1 728,0 <i>1 728,0</i>

Les valeurs suivies par des lettres différentes sont significativement différentes ($p < 0,005$) selon le test *t* de Student de comparaison des moyennes appliqué aux petits échantillons (A l'intérieur de chaque système étudié).

Classe de diamètre	Profond. (cm)	Forêt			Pâturage				
		Janvier	Avril	Octobre	Janvier	Janvier	Avril	Octobre	Janvier
$d > 5\text{mm}$	0-5	48	60	50	48	23	22	25	26
	5-20	65	83	67	71	62	57	33	48
	0-20	58	71	61	62	49	36	28	36
$d \text{ 1-5mm}$	0-5	6	3	14	13	2	1	5	11
	5-20	9	2	10	9	5	3	10	9
	0-20	8	3	11	10	4	2	8	10
$d < 1\text{mm}$	0-5	<u>46</u>	37	<u>36</u>	39	75	<u>77</u>	70	<u>63</u>
	5-20	<u>26</u>	<u>15</u>	23	20	<u>32</u>	40	<u>57</u>	43
	0-20	<u>34</u>	<u>26</u>	28	28	47	62	64	54

Bien qu'aucun de ces auteurs n'indique la saison durant laquelle ont été faits les prélèvements, on peut déduire de l'exposé de leurs objectifs (étude de la faune du sol et de la dynamique de l'eau), que les prélèvements ont été faits en saison humide. Le décalage des résultats peut s'expliquer en partie par la méthode de séparation par flottation qui, appliquée à des sols très argileux, a permis de séparer les racines les plus fines (de diamètre inférieur à 0,5 mm). Il peut aussi être attribué pour une part à la variabilité spatiale de la biomasse racinaire sous forêt. Ces racines fines sont physiologiquement les

plus actives et les plus aptes à porter des mycorhizes ectotrophes (ST JOHN, 1980). Leur quantité est deux fois plus importante, sous forêt, et dix fois plus importante, sous pâturage, que celle des racines de diamètre proche de 1 mm séparées manuellement. La séparation par flottation des racines les plus fines apparaît donc nécessaire pour l'étude quantitative des biomasses racinaires.

Dynamique annuelle de la biomasse racinaire

Le développement intense des racines fines dans la partie la plus superficielle du sol serait, en zone

tempérée, selon DREW (1990), plus accentué sous pâturage que sous forêt. La longueur de fines racines pourrait ainsi atteindre 36 à 340 cm/cm³ de sol dans les horizons de surface sous pâturage permanent, tandis que dans les systèmes sous forêt, cette longueur atteindrait seulement 0,5 à 1 cm/cm³ de sol. Cette différence serait compensée par un « turnover » beaucoup plus rapide des racines sous forêt. Ces résultats divergent de ceux de DAHLMAN et KUCERA (1965), qui établissent leurs évaluations en se basant sur les différences entre les poids des racines au début et en fin de période de croissance racinaire maximale. Ces auteurs montrent ainsi que, sur une profondeur de 0 à 25 cm, la biomasse des racines de graminées est caractérisée par un court temps de vie et donc un taux de renouvellement élevé ; en dessous de 25 cm, le « turnover » paraît beaucoup plus lent.

Dans le présent travail (tabl. III), les taux de renouvellement des racines fines (%) et les quantités de racines renouvelées annuellement (t/ha/an) sont estimés en se basant sur les différences obtenues entre les valeurs maximales (pleine saison des pluies, avril) et minimales (mois le plus sec, octobre). On peut considérer que ces quantités de racines renouvelées annuellement sont ici sous-évaluées, sachant qu'une partie de la production de nouvelles racines est compensée par la disparition de racines plus anciennes. Dans l'écosystème forestier, le taux de renouvellement des racines fines de la couche 0-5 cm est égal à 102 %. Ceci correspond à un apport de 5,1 t/ha/an, du même ordre de grandeur que la production de litière (8,2 t/ha/an).

Sous pâturage, en dépit d'une forte variabilité spatiale, il semble que le taux de renouvellement soit encore plus élevé (147 %), la quantité de

racines renouvelables annuellement atteint alors 8,9 t/ha/an.

Dynamique de la biomasse microbienne

Sous forêt, les variations de la biomasse microbienne dans la couche la plus superficielle sont visiblement synchrones, non pas seulement avec les variations climatiques, mais surtout avec la biomasse racinaire (fig. 2). Ceci indique que, dans les conditions naturelles, ces deux variables biologiques sont interdépendantes et saisonnières. Ceci a été établi au cours d'une autre expérimentation, réalisée dans le but d'évaluer l'effet à court terme de la quantité de racine et de l'humidité du sol sur la biomasse microbienne. On a obtenu des coefficients de corrélation hautement significatifs ($p < 0,001$) entre les deux variables biologiques d'une part et l'humidité pondérale du sol d'autre part (LUIZÃO, 1989b).

Cette corrélation pourrait s'expliquer par le fait que les micro-organismes associés aux racines consomment l'énergie représentée par les composés organiques qui sont libérés continuellement par les racines sous forme d'exsudats et de dépôts (WARENBURG et ROUMET, 1987). Pour ce qui est de la nutrition azotée, SALLIH *et al.* (1987) ont montré, par une expérimentation utilisant ¹⁴C et ¹⁵N, que la mobilisation de N organique par l'effet de rénovation du système racinaire assurait à la biomasse microbienne environ 75 % de l'azote qui lui est nécessaire.

Sous pâturage, la faible valeur initiale de la biomasse microbienne est sans doute attribuable à l'effet destructeur de la déforestation préalable au semis de graminées (CERRI *et al.*, 1985). Dans la couche superficielle (0-5 cm), les variations de la biomasse microbienne au cours des mesures ne

TABLEAU III

Estimation du « taux de renouvellement » (tr) et de la quantité de racines fines renouvelable annuellement (q) dans la couche 0-5 cm du sol sous forêt et sous pâturage

Estimated values for renewal rates (tr) and potentially renewable amounts of fine roots (q) in the 0-5 cm soil layer in forest and pasture

Caractéristiques	Forêt	Pâturage
tr *	102	147
q *	5,1	8,9
$tr = (Q_{max} - Q_{min}) / Q_{min} \times 100$ $q (t/ha/an) = Q_{max} - Q_{min}$		
Q _{max} = quantité maximale de racines, saison humide		
Q _{min} = quantité minimale de racines, saison sèche		

suivent pas celles de la biomasse des racines, bien que celles-ci présentent un caractère saisonnier accentué. La biomasse microbienne continue à croître pendant la saison sèche tandis que la biomasse racinaire diminue nettement. Ceci est sans doute attribuable aux deux apports d'engrais NPK faits au cours de l'expérimentation. À la différence de la biomasse microbienne, les racines ne semblent réagir à la fertilisation que durant la saison des pluies au moment où les transferts par l'eau et l'absorption des nutriments sont facilités. La biomasse microbienne serait ainsi plus réactive en condition d'humidité réduite.

Il apparaît ainsi que, sous forêt, une relation générale semble se dégager entre l'évolution des biomasses microbienne et racinaire, ce qui n'est pas observé sous pâturage, sans doute en raison des apports de fertilisants et des modifications du pédoclimat liés à la mise en culture.

Dynamique du système « sol-plante »

Les relations mises en évidence entre deux composantes du système (racines et biomasse microbienne) ne doit pas faire oublier que celles-ci ne constituent que deux éléments importants d'un ensemble, dont le fonctionnement très complexe dépend de nombreuses interactions entre :

- 1) – les phases liquide, solide et gazeuse ;
- 2) – les matières minérales et organiques ;
- 3) – la biomasse et la minéralomasse.

Quelques observations, faites au début 1991 sur la mésofaune dans cette même station de la FUCADA (LAVELLE, comm. pers.), montrent clairement l'importance des vers de terre dans le fonctionnement du système sous forêt et sous pâturage. De même les études lysimétriques (CERRI *et al.*, 1991 ; GRIMALDI et CHAUVEL, 1991) montrent que les solutions exercent une action déterminante sur la régulation des systèmes considérés. Seule une approche multidisciplinaire associant toutes les compétences requises peut conduire à la compréhension du fonctionnement du système et de ses altérations pos-

sibles. Ce travail est actuellement abordé dans le cadre du Laboratoire de pédobiologie de l'Inpa.

CONCLUSIONS

Les résultats obtenus dans cette étude attirent une fois de plus l'attention sur le rôle déterminant exercé par les horizons très superficiels du sol (0-5 cm) dans le fonctionnement des écosystèmes forestiers (TOUTAIN, 1984). La quantité de racines très fines est très élevée, nettement supérieure aux résultats publiés dans la littérature. L'importance de la dynamique saisonnière est mise en évidence par le taux de renouvellement élevé de ces racines. Il apparaît que leurs apports en carbone organique sous forme figurée (exsudats non déterminés) et en éléments minéraux sont pratiquement comparables à ceux de la litière.

Comme l'avaient montré STARK et JORDAN (1978), ce sont ces horizons à forte concentration de racines et de mycorhizes qui assurent la fixation et le recyclage de 99,9 % des éléments minéraux marqués (^{45}Ca et ^{32}P) apportés en solution à la surface du sol. C'est d'ailleurs uniquement dans cette même couche de sol que les études lysimétriques ont mis en évidence la présence de quantités notables d'éléments minéraux en solution. Toute gestion, mise en valeur et réhabilitation de ces milieux doit d'abord prendre en compte la nature et la dynamique de cet horizon superficiel, et sa relation avec les horizons plus profonds.

Si l'efficacité du recyclage des nutriments dépend aussi fortement de la concentration de l'activité biologique à proximité immédiate de la surface, le bilan hydrique de la forêt semble être, durant les périodes sèches (quatre mois ou plus), essentiellement dépendant des racines profondes qui se développent jusqu'à 6 m de profondeur et plus, à la base de l'horizon meuble argileux. Une étude de la dynamique des racines dans ces horizons profonds est en cours.

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

BIBLIOGRAPHIE

- BRINKMANN (W.L.F.), 1989. – System propulsion of an Amazonian lowland forest: an outline. *Geojournal*, 19 (4) : 369-380
- CABRAL (O.M.R.), 1991. – Armazenagem da água num solo com floresta de terra firme e com seringal implantado. *Dissertação de Mestrado*, INPE, São José dos Campos, 104 p.
- CERRI (C.C.), VOLKOFF (B.), ANDREUX (F.), 1991. – Nature and behaviour of organic matter in soils under natural forest, and after deforestation, burning and cultivation, near Manaus. *Forest Ecology and Management*, 38 : 247-257.
- CHAUVEL (A.), GRIMALDI (M.), TESSIER (D.), 1991. – Changes in pore-space distribution following deforestation and revegetation: an example from the Central Amazon Basin, Brazil. *Forest Ecology and Management*, 38 : 259-271.
- CHAUVEL (A.), GUILLAUMET (J.L.), SCHUBART (H.O.R.), 1987. – Importance and distribution des racines des êtres vivants dans un « latosol » argileux sous forêt amazonienne. *Rev. Écol. Biol. Sol.*, 24 (1) : 19-48.
- CPCS, 1967. – Commission de Pédologie et Classification des Sols – Classification des sols. Laboratoire de Géologie-Pédologie. Ensa Grignon, France, 87 p.
- DAHLMAN (R.C.), KUCERA (C.L.), 1965. – Root productivity and turnover in native prairie. *Ecology*, 46 : 84-89.
- DREW (M.C.), 1990. – « Root function, development, growth and mineral nutrition » in J.M. LYNCH (ed.), 1990.
- GOLLEY (F.B.), MEDINA (E.) (eds.), 1975. – *Tropical Ecological systems. Trends in terrestrial and aquatic research*, Berlin, Springer Verlag.
- GRIMALDI (C.), CHAUVEL (A.), 1991. – Présentation de quelques données sur les solutions des sols sous forêt, dans la région de Manaus (Amazonie Brésilienne). *Quatrième Réunion du Groupe de Réflexion sur l'Étude de la Solution du Sol en Relation avec l'Alimentation des Plantes* (Gressap). Montpellier, Cnearc, 13 sept. 91 : 7-8.
- GUILLAUMET (J.L.), KAHN (F.), 1982. – Structure et dynamique de la forêt. *Acta Amazonica*, 12 : 61-78.
- HUMBEL (F.X.), 1978. – Caractérisation par des mesures physiques, hydriques et d'enracinement des sols de Guyane française à dynamique de l'eau superficielle. *Bull. Ass. Fr. Étud. Sol. Sc. Sol.*, 2 : 83-94.
- HUTTEL (C.), 1974. – Root distribution and biomass in three Ivory Coast rain-forest plots-coll. *Ecol. Trop.*, Caracas, Golley and Medina (eds.) : 123-130.
- JENKINSON (D.S.), POWLSON (D.S.), 1976. – The effects of biocidal treatments on metabolism in soil V – A method for measuring soil biomass. *Soil Biol. Biochem.*, 8 : 209-213.
- KLINGE (H.), RODRIGUES (W.A.), BRUNIG (E.), FITTKAU (E.J.), 1975. – « Biomass and structure in Central Amazonian rain forest » in F.B. GOLLEY and E. MEDINA (eds.), 1975 : 115-122.
- LAVELLE (P.), BLANCHART (E.), MARTIN (A.), BAROIS (I.), TOUTAIN (F.), 1991a. – A hierarchical model for decomposition in terrestrial ecosystems : application to soils in the humid tropics. *Biotropica*, à paraître.
- LAVELLE (P.), SPAIN (A.), BLANCHART (F.) MARTIN (A.), SCHAEFER (R.), 1991 b. – The impact of soil fauna on the properties of soils in the humid tropics. *Soil Sci. Soc. America J.*, à paraître.
- LEOPOLDO (P.R.), FRANKEN (W.), SALATI (E.), RIBEIRO (M.N.), 1987. – Towards a water balance in the Central Amazonian region. *Experientia*, 43 : 222-233.
- LUCAS (Y.), 1989. – Systèmes Pédologiques en Amazonie Brésilienne. Équilibres, Déséquilibres et Transformations. *Thèse Univ. Poitiers*, 153 p.
- LUIZÃO (F.J.), 1989a. – Litter production and mineral element input to the forest floor in a Central Amazonia forest. *GeoJournal*, 19 (4) : 407-417.
- LUIZÃO (R.C.C.), 1989b. – Variações temporais da biomassa microbiana e aspectos da ciclagem de nitrogênio em solos de floresta natural e de sistemas manejados na Amazônia Central. *Dissertação de Mestrado*. Inpa/FUA, Manaus, 67 p.
- LYNCH (J.M.) (ed.), 1990. – *The Rhizosphere*. Chichester, U.K., John Wiley and Sons.
- NIMER (E.), 1989. – Climatologia do Brasil. IBGE, 421 p.
- RADAMBRASIL, 1978. – *Levantamento de Recursos Naturais*. Vol. 18, folha SA. 20 Manaus. Rio de Janeiro, Ministério das Minas e Energias.
- SALLIH (Z.), BOTTNER (P.), BILLES, SOTO (P.), 1987. – Interaction racines-micro-organismes : carbone et azote de la biomasse microbienne développée en présence de racines. *Rev. Écol. Biol. Sol.*, 24 (3) : 459-471.
- SCHUBART (H.O.R.), FRANKEN (W.E.), LUIZÃO (F.J.), 1984. – Uma floresta sobre solos pobres. *Ciência Hoje*, 2 (10) : 26-32.
- STARK (N.M.), JORDAN (C.F.), 1978. – Nutrient retention by the root mat of an Amazonian rain forest. *Ecology*, 59 (3) : 434-437.
- ST JOHN, 1980. – Tamanho da raiz, pelos radiculares e infecção por microrizas : um reexame da hipótese de Baylis com árvores tropicais. *Acta Amazonica*, 10 : 141-145.
- TALBOT (R.W.), ANDREAE (M.O.), BERRESHEIN (H.), ARTAXO (P.), GARSTANG (M.), HARRIS (R.C.), BEECHER (K.M.), LI (S.M.), 1990. – Aerosol chemistry during the wet season in Central Amazonia. The influence of long transport. Washington, *J. Geoph. Res.*, 95 : 1955-1970.
- TOUTAIN (F.), 1984. – Les phénomènes de biodégradation et d'humification dans les écosystèmes forestiers tropicaux. Rôle et conséquences de la diversité spécifique. *Biology International*, 6 : 19-29.
- WARENBURG (F.R.), ROUMET (C.), 1987. – Interactions plantes-micro-organismes et statut énergétique dans la rhizosphère. Rôle de la microflore. *Rev. Écol. Biol. Sol.*, 24 (3) : 473-483.

Effet du mode de dispersion du sol sur la localisation de sa biomasse microbienne Cas d'un vertisol

Jean-Luc CHOTTE (1), Lucille JOCTEUR MONROZIER (2), Geneviève VILLEMIN (3) et François TOUTAIN (3)

1) Centre Orstom, BP 8006, 97259 Fort-de-France cedex, Martinique.

(2) URA CNRS 1450 « Écologie Microbienne des Sols », Université de Lyon-I, 69622 Villeurbanne cedex.

(3) UPR 6831 du CNRS associée à l'Université de Nancy-I, BP 5 54501 Vandœuvre-lès-Nancy cedex.

RÉSUMÉ

Dans le cadre d'un programme de recherche portant sur la dynamique de la matière organique dans les systèmes prairiaux tropicaux, une étude comparative est conduite afin de tester l'efficacité de deux méthodes de fractionnement physique du sol à énergie de dispersion distincte (méthode A < méthode B), dans l'étude et la caractérisation (C, N, biomasse microbienne, ^{15}N immobilisé, morphologie) des habitats microbiens d'un sol à argile 2:1.

Par la méthode A, près de 30 % de la masse totale des micro-organismes et 20 % de la totalité de l'azote ^{15}N immobilisé dans le sol sont localisés dans la fraction macroagrégée 250-2 000 μm . Ces agrégats sont constitués d'une matrice argileuse enrobant des débris organiques figurés et des particules sableuses. La majeure partie de l'azote ^{15}N apporté (40 % de la quantité totale immobilisée) est immobilisée dans la fraction microagrégée 2-20 μm . Celle-ci contient 20 % de la masse totale des micro-organismes du sol et 10 % de la quantité totale d'azote ^{15}N immobilisé.

La méthode B provoque l'éclatement des agrégats 250-2 000 μm , la disparition des micro-organismes et la diminution des quantités d'azote ^{15}N immobilisé dans les fractions 250-2 000 μm et 2-20 μm . Cependant, les produits entraînés de ces fractions ne s'accumulent pas directement dans la fraction 0-2 μm . La nature des transferts et l'origine des composés organiques accumulés dans la fraction 0-2 μm , sous l'effet de la méthode B, sont envisagées à partir de deux hypothèses concernant l'homogénéité du marquage isotopique des produits organiques.

Cette étude conduite sur un sol à argile 2:1 montre que seule la méthode possédant l'énergie de dispersion la plus faible (méthode A), permet la prise en considération des habitats microbiens inclus dans les structures 250-2 000 μm et ceux de la fraction 2-20 μm .

MOTS CLÉS : Fractionnement physique – Immobilisation – Habitat microbien – MET – ^{15}N – Vertisol.

ABSTRACT

EFFECT OF THE SOIL DISPERSION ON THE LOCATION OF THE MICROBIAL BIOMASS. EXAMPLE OF A VERTISOL

As a part of a research program about soil organic matter turnover, the microorganism habitats of a vertisol were studied. Aiming to set up a method to achieve microbial habitat fractionation, on the characteristics (C, N, microbial biomass, ^{15}N immobilized, micromorphology) of the resulting fractions, we compared the effect of the soil disruption energy (method A < method B).

By method A, the size fraction 250-2 000 μm contained about 30% of the total soil biomass and 20% of ^{15}N immobilized in the soil. This macroaggregated fraction was composed of organic residues and sand coated with a clay matrix colonized by numerous microorganisms. Most of the ^{15}N was immobilized in the fraction 2-20 μm (40% of the ^{15}N immobilized in the unfractionated soil), about 20% of the total soil biomass was located in this fraction. Microorganisms associated to clays dispersed by method A amounted to 40% of the

total biomass when ^{15}N immobilized in this fraction represented only 10% of the ^{15}N immobilized in the unfractionated soil.

Method B disrupted the macroaggregates 250-2 000 μm . Microorganisms and ^{15}N previously immobilized in 250-2 000 μm and 2-20 μm fractions were transferred to finest fractions. Increased disruptive energy induced the increase of the quantity of microorganisms and ^{15}N immobilized in the dispersed clay fraction. The origin of the components accumulated in this fraction was discussed.

As a conclusion, characterization of the microbial habitats of heavy smectitic clayey soil should save the fragile macroaggregated fraction 250-2 000 μm which was obtained by the low energy of dispersion used in method A.

KEY WORDS : Microbial habitats – ^{15}N immobilization – Physical fractionation – TEM – Vertisol.

INTRODUCTION

Le sol représente pour les organismes qui y vivent un milieu très complexe car très hétérogène. Il est constitué d'une phase solide dominante, formée de particules de tailles et de natures variables, d'une phase aqueuse et d'une phase gazeuse. La taille, la forme et l'arrangement de ces particules (simples ou complexes) et des vides associés définissent la structure du sol (BREWER, 1964). Ces particules existent isolées (particules simples) ou sous forme d'agrégats (particules complexes) et sont entourées d'une phase aqueuse qui est, à l'exception des milieux saturés, discontinue. Les micro-organismes qui survivent principalement grâce à ce film aqueux et aux substances dissoutes ou particulières ne se répartissent donc pas au hasard dans le sol.

Pour ELLIOTT et COLEMAN (1988), la distribution des organismes est essentiellement régie par la structure du sol. Ils proposent en effet un modèle dans lequel les organismes vivants sont répartis selon leur taille dans des pores de différents diamètres. HATTORI (1988) montre que les protozoaires (>97 %) et les champignons (90 %) sont préférentiellement localisés à la surface des agrégats, alors que les bactéries (90 %) sont situées à l'intérieur. GUPTA et GERMIDA (1988) indiquent que la biomasse fongique, l'activité respiratoire et les quantités d'enzymes contenus dans les microagrégats (<250 μm) sont inférieures à celles des macrostructures (>250 μm). SEIFERT (1964) indique que la nitrification est plus rapide dans des agrégats de petites tailles. ELLIOTT (1986) obtient des taux de minéralisation (C et N) plus élevés pour des agrégats de taille >300 μm que pour des agrégats compris entre 53 μm et 300 μm . ADU et OADES (1978) montrent qu'un substrat carboné apporté à un sol sablo-limoneux (argile = 18 %) est dégradé en premier par l'activité fongique, secondée ensuite par l'activité bactérienne, alors que dans le cas d'un sol argileux

(argile = 60 %) ce substrat est simultanément décomposé sous l'action des champignons et des bactéries. Ce résultat peut s'expliquer par la porosité distincte de ces deux sols, mais aussi par leur abondance différente en champignons et en bactéries. Il existe en effet une corrélation négative entre la teneur en argile et la biomasse fongique, alors que cette corrélation est positive avec la biomasse bactérienne (KACZMAREK et PEDZIWLK, 1988). Ces travaux montrent que le sol apparaît donc comme une mosaïque de sites hétérogènes abritant des populations différentes de micro-organismes et dont le métabolisme reflète les conditions physico-chimiques qui règnent au sein de leur habitat respectif. Ces habitats microbiens, constitués par l'association d'organismes vivants à différents stades de croissance et de particules à divers degrés d'altération, sont le lieu de « résidence » et d'activité des micro-organismes du sol. L'étude du fonctionnement microbiologique du sol et la caractérisation de ces habitats doivent donc combiner :

- des techniques de mesures de l'ensemble de la masse des organismes (bactéries, champignons, nématodes...);
- des techniques de détection des produits de leur activité (CO_2 dégagé, N immobilisé, polysaccharides excrétés...);
- des techniques de caractérisation des différents habitats microbiens, en particulier des techniques micromorphologiques.

Ces techniques doivent fournir, de plus, des résultats dont les interprétations peuvent être étendues à toutes les échelles, spatiales et temporelles, d'organisation du sol.

Les travaux les plus nombreux ont porté sur la caractérisation de la structure du sol et une étude critique de l'ensemble des méthodes utilisées dépasserait le cadre de cet article. Les principales méthodes reposent soit sur des mesures de porosité (DANIELSON et SUTHERLAND, 1986; GREVERS et

JONG, 1990 ; WU *et al.*, 1990), soit sur la quantification de différentes classes d'agrégats stables à l'eau ou dans divers liquides (HENIN *et al.*, 1969 ; BRUCKERT, 1979 ; KEMPER ET ROSENAU, 1986 ; ALBRECHT *et al.*, 1992). En ce qui concerne ces méthodes, les modalités de préparation des échantillons (séchage, mode d'humectation...) modifient profondément les caractéristiques des fractions isolées (ELLIOTT, 1986 ; OADES ET WATERS, 1991).

Les études concernant la distribution des micro-organismes dans le sol ont utilisé en grande majorité les méthodes citées plus haut. Les sites microbiologiques du sol ont été caractérisés soit à partir d'observations de lames minces de sols (KILBERTUS, 1980 ; FOSTER, 1986 ; TIPPKOTTER, 1990 ; POSTMA ET ALTEMULLER, 1990), soit à partir de techniques de fractionnement par centrifugation (HOPKINS *et al.*, 1991) ou par tamisage (AHMED ET OADES, 1984 ; KANAZAWA ET FILIP, 1986 ; GUPTA ET GERMIDA, 1988 ; JOCTEUR MONROZIER *et al.*, 1991).

L'étude présentée ici concerne la localisation des micro-organismes et leur activité. Pour ce faire nous avons mis en œuvre la chronoséquence analytique suivante :

1 – incubation pendant trois jours d'un échantillon de sol en présence de glucose et d'urée (^{15}N) afin de favoriser l'immobilisation microbienne ;

2 – séparation d'agrégats (<250 μm) et de macroagrégats (250-2 000 μm) de stabilités différentes, obtenus par une méthode « douce » (méthode A) ou « agressive » (méthode B) ;

3 – observations optiques et ultramicroscopiques (MET) des agrégats des différentes classes granulométriques obtenues, avec un accent particulier concernant la localisation des bactéries ;

4 – caractérisations chimiques (C, N) et isotopique (^{15}N) des différentes fractions granulométriques obtenues ;

5 – quantification par une méthode biocidale de la biomasse microbienne associée à chaque classe granulométrique et relations avec les quantités de ^{15}N immobilisé.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Le sol

Le sol étudié est un vertisol (0-2 μm % = 47) (tabl. I) du sud-est de la Martinique (Sainte-Anne). La végétation est une prairie à pangola (*Digitaria decumbens*) depuis 10 ans. L'horizon 0-10 cm est prélevé à la bêche.

Incubation

Le sol est tamisé manuellement à 2 mm, après séchage à l'air, afin d'éliminer les débris végétaux grossiers. L'équivalent de 80 g de sol sec à 105 °C est placé dans 6 pots en PVC. L'incubation se fait en présence d'une solution contenant de l'urée (160 mg N urée. kg^{-1} sol) enrichie en ^{15}N (E % = 47) et du glucose (2,5 mg C. g^{-1} sol) et se déroule à 28 °C $\pm$ 1 °C durant trois jours. Le volume de la solution fertilisante est calculé afin d'ajuster l'humidité du sol à 100 % de la capacité au champ. Nous avons choisi d'apporter l'azote 15 sous forme d'urée en solution, car son hydrolyse très rapide (quelques heures) (NKRUMAH *et al.*, 1989) entraîne la libération immédiate d'ammonium qui représente la forme azotée préférentiellement utilisée par les micro-organismes (DOMMERGUES ET MANGENOT, 1970). Un apport conjoint de glucose, substrat carboné très facilement assimilable par les micro-organismes, est effectué permettant ainsi l'immobilisation rapide de l'azote de l'urée (LADD ET AMATO, 1977 ; NICOLARDOT, 1988). Une étude préalable a effectivement montré que, pour ce sol, l'immobilisation de l'azote de l'urée est maximale trois jours après son apport (résultats non publiés).

Fractionnement physique

Deux méthodes de fractionnement physique sont appliquées en fin d'incubation sur un échantillon moyen de sol obtenu par le mélange de trois pots. Les méthodes utilisées comportent une phase initiale de dispersion de l'échantillon et une phase de fractionnement granulométrique en milieu aqueux (fig. 1). Cette dernière étape, commune aux deux

TABLEAU I
Quelques caractéristiques analytiques de l'horizon 0-10 cm
Some analytical characteristics of the soil (0-10 cm layer)

Matière Organique		pH	Propriétés d'échange (mmol (+) / kg)									Analyse mécanique (en g / 100 g de sol total après destruction de la matière organique)				
C	N															
mg/g sol	C/N	H ₂ O	KCl	C.E.C.	Ca	Mg	K	Na	S	100 S/CEC		250-2000 μm	50-250 μm	20-50 μm	2-20 μm	0-2 μm
33,00	2,80	11,8	5,5	4,8	400	208	110	5	37	360	91	4	25	7	17	47

méthodes, permet d'obtenir les fractions 250-2 000 μm et 50-250 μm par tamisage dans l'eau, la fraction 20-50 μm par sédimentation et les fractions 2-20 μm et 0-2 μm par centrifugation en continu (rotor JCFZ sur centrifugeuse Beckman J21B). La fraction 0-2 μm est floculée par du CaCl_2 0,5 M et le surnageant (fraction soluble) n'est pas dosé. En revanche, l'étape de dispersion diffère selon la méthode :

– méthode A (faible énergie) : agitation (50 trs.mn⁻¹) durant 2 heures d'une suspension de sol (80 g sol dans 250 ml d'H₂O) après 16 heures de contact ;

– méthode B (forte énergie) : agitation (50 trs.mn⁻¹) en présence de 5 billes d'agate (diamètre = 1cm) durant 16 heures d'une suspension de sol (80 g sol dans 250 ml d'H₂O) (BRUCKERT, 1979). L'énergie développée dans ce cas est environ 2 fois celle nécessaire pour séparer deux micelles d'argile en milieu saturé par l'eau (JOCTEUR MONROZIER *et al.*, 1991).

Les résultats de la répartition pondérale des fractions granulométriques obtenus par les méthodes A et B sont comparés à ceux obtenus lors de l'analyse mécanique après destruction de la matière organique et dispersion totale des particules minérales élémentaires.

Observation

Les fractions grossières (>50 μm) sont observées à l'état humide à la loupe binoculaire (Wild M420). Pour les observations en microscopie électronique à transmission (MET), les échantillons humides sont fixés à l'aide d'une solution d'acide osmique à 1 % (VILLEMIN et TOUTAIN, 1987). L'échantillon est enrobé d'agar à 2 % après élimination de la solution fixatrice en excès par rinçages successifs, découpé en petits cubes, déshydraté par échange eau-acétone et ensuite imprégné de résine (de type epon). Les coupes ultramincines sont contrastées à l'acétate d'uranyle puis au citrate de plomb. Les polysaccharides neutres sont mis en

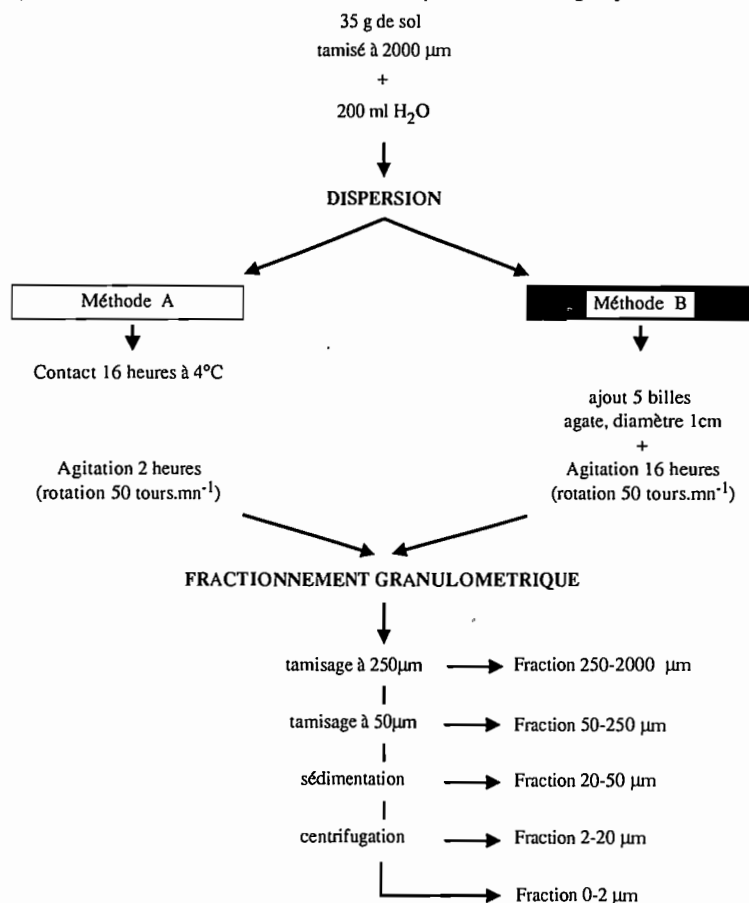


FIG. 1 – Schéma du protocole des fractionnements granulométriques.
Flow chart for size fractionation methods.

évidence par la réaction de Thiery (THIERY, 1967). Les observations sont faites au MET modèle Zeiss EM 952 réglé à 60 kv.

Analyses du sol total et des fractions granulométriques

Les fractions granulométriques étant lavées au KCl 1M afin d'éliminer l'azote minéral, et l'azote ammoniacal rétrogradé étant négligeable (résultats non publiés), l'azote total dosé dans ces fractions est sous forme organique.

- C et N total: une aliquote du sol total et des fractions granulométriques est séchée à l'étuve à 80 °C, homogénéisée, finement broyée à 200 µm puis analysée après combustion dans un analyseur CNS Na 1500 (Carlo Erba).

- analyses isotopiques ^{15}N : la détermination de l'abondance isotopique est faite, comme pour l'analyse élémentaire, sur un échantillon finement broyé contenant au moins 40 µg d'azote. La prise d'essai est introduite dans un analyseur C, N (Carlo Erba Na 1500) couplé à un spectromètre de masse isotopique (Finnigan, VG). Le gaz de référence N_2 à 99,998 % est calibré par rapport à l'azote de l'air (abondance isotopique = 0,3663 %). Toutes les déterminations sont effectuées par le Service Central d'Analyses (S.C.A.) du CNRS (Solaize, France).

Mesure de la biomasse microbienne

La biomasse microbienne du sol total et des fractions est obtenue par la méthode de fumigation-extraction (AMATO et LADD, 1988). Dans cette méthode, les échantillons (sol total ou fractions de 0,1 g à 5,0 g selon leur richesse en azote total) amenés à l'humidité équivalente (environ 30 % du poids

sec) sont placés dans un dessiccateur à vide saturé en vapeur de chloroforme (100 à 150 ml de CHCl_3 débarrassé des traces d'alcool par passages successifs du solvant sur une colonne d'alumine activée 4 heures à 130 °C). L'humidité des échantillons est maintenue constante durant les 10 jours de l'incubation par la présence de papier filtre imbibé d'eau. Le dessiccateur, une fois purgé de son air ambiant, est fermé hermétiquement puis placé en chambre chaude à 28 ± 1 °C. Les micro-organismes sont tués par les vapeurs de chloroforme et les produits de leur lyse sont extraits en fin d'incubation par une solution de KCl 2M. Les fonctions α -aminées et l'ammonium libérés lors de la protéolyse des micro-organismes tués sont dosés par colorimétrie à la ninhydrine (MOORE et STEIN, 1954). La biomasse est exprimée en C-biomasse égale à : $21 \times [(\text{N } \alpha\text{-aminé dosé après 10 jours d'incubation sous atmosphère saturée en chloroforme}) - (\text{N } \alpha\text{-aminé dosé avant la fumigation})]$.

Le calcul de la masse des micro-organismes ne se fait pas en référence à un échantillon témoin comme dans la majeure partie des méthodes biocidales (JENKINSON et POWLSON, 1976 ; CHAUSSOD et NICOLARDOT, 1982). Cette méthode a donc l'avantage d'éviter les problèmes liés au choix de l'échantillon de référence.

RÉSULTATS

Répartition pondérale des fractions granulométriques

Les bilans pondéraux des fractionnements granulométriques (méthode A et méthode B) sont de 100 %.

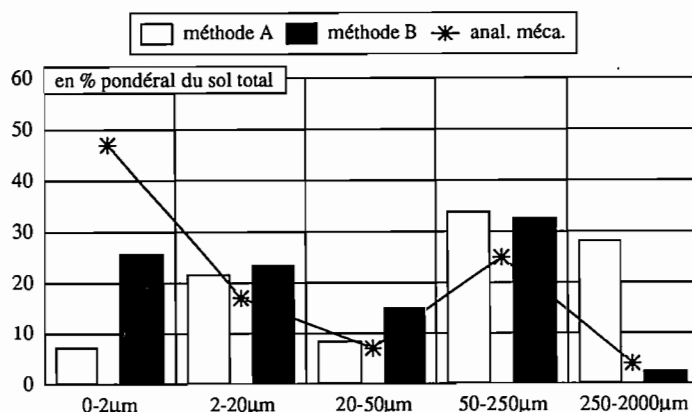


FIG. 2 – Répartition pondérale des fractions granulométriques isolées par les méthodes A et B, en comparaison avec l'analyse mécanique (résultats exprimés en % du poids du sol total).

Distribution of the soil fractions separated by A or B methods, compared with particle size distribution obtained by mechanical analysis (results expressed as % of soil total weight).

La répartition pondérale des fractions granulométriques est fortement modifiée par la méthode de dispersion utilisée (fig. 2). Avec l'accroissement de l'énergie appliquée (méthode B) on note une forte diminution du poids de la fraction 250-2 000 μm , une forte augmentation de la fraction 0-2 μm et une augmentation relativement faible des fractions de taille comprise entre 2 et 250 μm . Avec la méthode A, la fraction 250-2 000 μm est environ 6 fois plus importante que les particules sableuses 250-2 000 μm obtenues par l'analyse mécanique (respectivement 27 % et 4 % du poids du sol total). Avec la méthode B, on retrouve pour cette même fraction des poids identiques à ceux obtenus par l'analyse mécanique. Il y a donc eu une destruction presque complète des agrégats de taille 250-2 000 μm .

L'accroissement de l'énergie de dispersion provoque l'augmentation de la quantité d'argiles dispersées sans toutefois conduire à la dispersion totale des particules argileuses du sol. En effet, les fractions 0-2 μm isolées par les méthodes A et B ne représentent respectivement que 15 % et 55 % des argiles granulométriques du sol obtenues par l'analyse mécanique. Une fraction importante des argiles (45 % pour la méthode B) reste donc agrégée dans les fractions de taille comprise entre 2 et 200 μm , en dépit de l'accroissement de l'énergie de dispersion du sol.

Planche 1 : méthode A.

Method A

Photo a : fraction > 250 μm observée à la loupe binoculaire. Cette fraction est formée de sables grossiers libres (S) et de macroagrégats (MA). On distingue nettement dans ces macroagrégats la présence de grands restes de tissus végétaux (RT).

Fraction > 250 μm observed through the binocular magnifier.

This fraction is composed of free coarse sands (S) and of macroaggregates (MA). In these macroaggregates, one can clearly distinguish considerable residues of plant tissues.

Photo b : détails d'un macroagrégat > 250 μm observé au MET (coloration acétate d'uranyle et citrate de plomb). Les grands restes tissulaires (RT) sont emprisonnés dans un plasma argileux (A). Les bactéries (B) colonisent le plasma argileux et les restes tissulaires (RT).

Macroaggregate > 250 μm observed through TEM (uranyl acetate and lead citrate coloration). The considerable tissue residues are trapped in a clayey plasma (A). The clayey plasma and organic residues are colonized by bacteria (B).

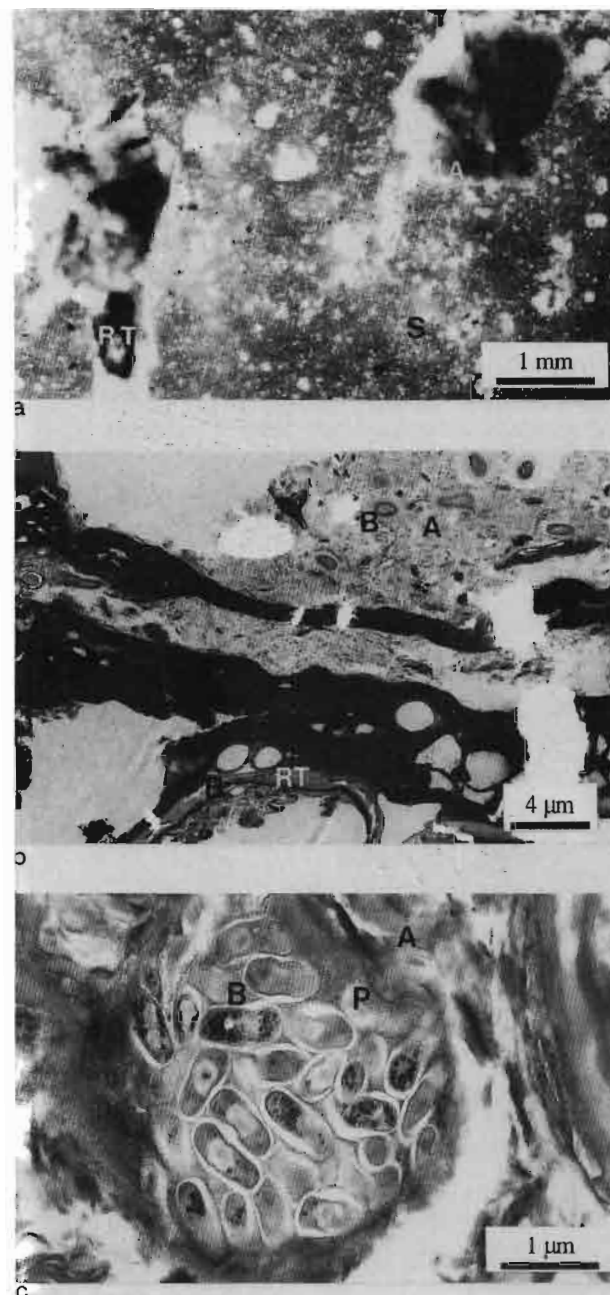
Photo c : détails d'une colonie bactérienne (B) observée au MET (réaction de Thiery). Les argiles (A) sont étroitement associées aux polysaccharides bactériens (P).

Details of a bacterial colony (B) observed through TEM (Thiery's reaction). Clays (A) are closely associated to bacterial polysaccharides (P).

Caractéristiques morphologiques des fractions granulométriques

Nous avons essentiellement observé les fractions 250-2 000 μm et 0-2 μm obtenues par les deux méthodes A et B.

La fraction 250-2 000 μm isolée par la méthode A est principalement formée de particules complexes et de quelques sables libres (planche 1, photo a). Ces particules sont constituées de débris organiques figurés plus ou moins humifiés et dont



la taille varie de 500 μm à 2 000 μm (racines, résidus de parties aériennes...), et de sables agglomérés au sein d'une matrice limono-argileuse (observations MET). De plus, on distingue très nettement des colonies bactériennes localisées sur, et dans, les résidus organiques, et à la surface des argiles (planche 1, photo b). Dans ce dernier cas, il y a formation de microagrégats argilo-bactériens, les polysaccharides sécrétés par ces micro-organismes, et révélés par la réaction de Thiery (THIERY, 1967), formant une enveloppe organique sur laquelle s'adsorbent les particules argileuses (planche 1, photo c). Cette association smectites polysaccharides bactériens, rencontrée dans ces particules complexes et isolée par la méthode A, pourrait assurer leur cohésion. Ces macroagrégats (> 250 μm), dans lesquels on trouve à la fois la source de carbone (résidus organiques), l'agent de transformation de la matière organique (micro-organismes) et un des compartiments de stockage de la matière organique (argiles), représentent un des habitats essentiels pour les micro-organismes du sol.

La fraction 250-2 000 μm isolée par la méthode B est caractérisée par l'absence de particules complexes. Elle est formée de débris végétaux et de sables libres (planche 2, photo a). Au microscope électronique à transmission, les résidus organiques figurés apparaissent exempts de particules minérales argileuses (planche 2, photo b).

La fraction 0-2 μm , observée au microscope électronique à transmission, est formée, quelle que

soit la méthode de fractionnement granulométrique utilisée (A ou B), de particules argileuses, soit dispersées, soit adsorbées sur des amas organiques de nature polysaccharidique (planche 2, photo c). Des observations identiques ont été faites par FELLER *et al.* (1991) pour un sol ferrallitique argileux cultivé en canne à sucre. Il ne semble pas y avoir d'effet significatif de la méthode de fractionnement sur les caractères ultra-structuraux de cette fraction 0-2 μm .

Planche 2 : méthode B
Method B

Photo a : fraction > 250 μm observée à la loupe binoculaire. Cette fraction est formée de sables grossiers (S) et des restes tissulaires (RT) totalement dispersés.

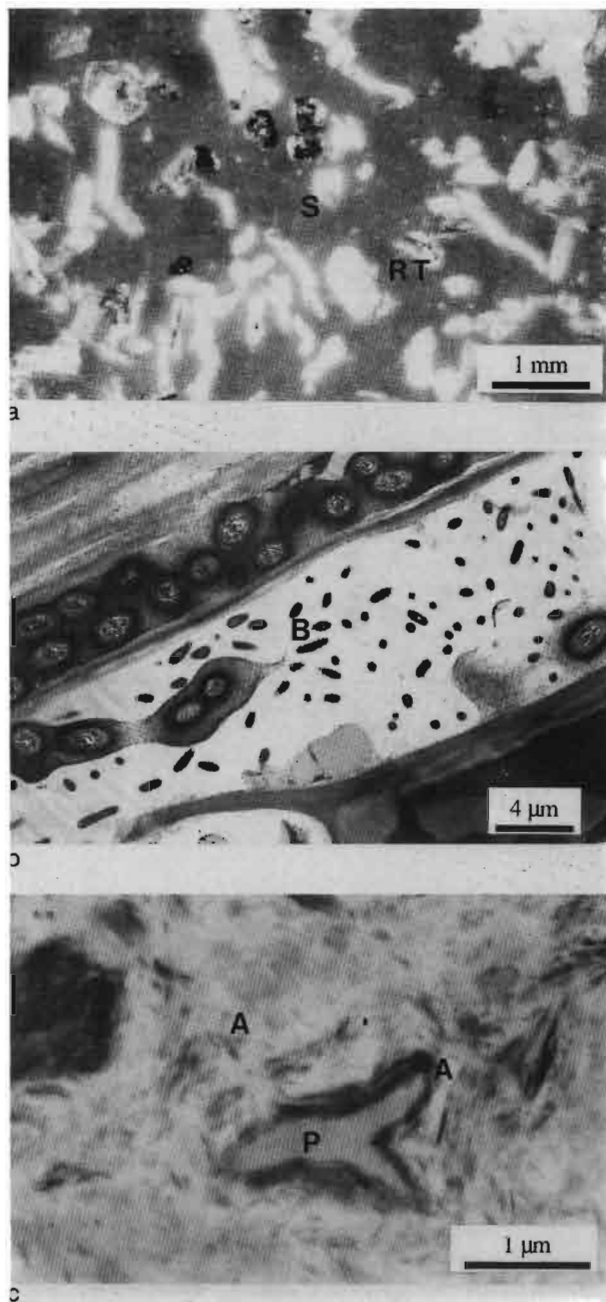
Fraction > 250 μm observed through the binocular magnifier. This fraction is composed of coarse sands (S) and dispersed organic residues.

Photo b : détails d'un reste tissulaire (RT) observé au MET (coloration acétate d'uranyle et citrate de plomb). Les tissus végétaux, exempts de plasma argileux, sont colonisés par de très nombreuses bactéries (B).

Details of organic residue observed through TEM (uranyl acetate and lead citrate coloration). Plant tissues without any clayey plasma are colonized by very numerous bacteria (B).

Photo c : fraction 0-2 μm observée au MET (réaction de Thiery). Cette fraction est constituée d'argiles dispersées (A) ou agrégées autour d'amas polysaccharidiques (P).

Fraction 0-2 μm observed through TEM (Thiery's reaction). This fraction is composed of dispersed (A) or clays aggregated by polysaccharides.



Répartitions du carbone et de l'azote organiques dans les fractions granulométriques (tabl. II)

Les sommes des quantités de carbone (C) et d'azote (N) contenues dans chacune des fractions granulométriques (mg C .g⁻¹ sol) isolées par la méthode A ou par la méthode B sont respectivement égales, pour le carbone, à 94 % et 100 % du carbone du sol total, pour l'azote, à 100 % et à 97 % de l'azote du sol total.

La répartition de l'azote (fig. 3b) dans les différentes fractions granulométriques isolées par une méthode donnée est analogue à celle du carbone organique (fig. 3a). Pour la méthode A, les répartitions du carbone et de l'azote sont les suivantes :

Carbone : fraction 250-2 000 µm > fraction 50-250 µm > fraction 2-20 µm > fraction 0-2 µm > fraction 20-50 µm.

Azote : fraction 250-2 000 µm > fraction 2-20 µm ≥ fraction 50-250 µm > fraction 0-2 µm > fraction 20-50 µm.

Pour la méthode B, on obtient le classement suivant :

Carbone : fraction 50-250 µm > fraction 2-20 µm > fraction 0-2 µm > fraction 250-2 000 µm > fraction 20-50 µm.

Azote : fraction 50-250 µm ≈ fraction 2-20 µm ≈ fraction 0-2 µm > fraction 20-50 µm > fraction 250-2 000 µm.

TABLEAU II
Caractéristiques (C, N, C/N et ¹⁵N) des fractions granulométriques isolées par les méthodes A et B
C, N, C/N ratio and ¹⁵N organic contents of the particle size fractions separated by A or B methods

	Carbone				Azote				¹⁵ N						C/N	
	mg/g fraction		mg/g sol		mg/g fraction		mg/g sol		E%		µg/g fraction		µg/g sol			
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
F 250-2000 µm	44,10	169,90	12,48	4,42	3,20	6,00	0,906	0,156	1,42	0,80	45,44	48,00	12,90	1,20	14	28
F 50-250 µm	23,40	30,50	7,93	9,97	2,00	2,30	0,678	0,752	1,59	1,16	31,80	26,68	10,80	8,70	12	13
F 20-50 µm	19,80	16,20	1,68	2,45	1,80	1,70	0,153	0,257	1,49	1,25	26,82	21,25	2,30	3,20	11	10
F 2-20 µm	30,20	36,80	6,58	8,68	3,40	3,10	0,741	0,732	3,18	1,83	108,12	56,73	23,60	13,40	9	12
F 0-2 µm	35,80	30,00	2,61	7,77	3,70	3,00	0,270	0,777	1,96	3,16	72,52	94,80	5,30	24,50	10	10

Légende

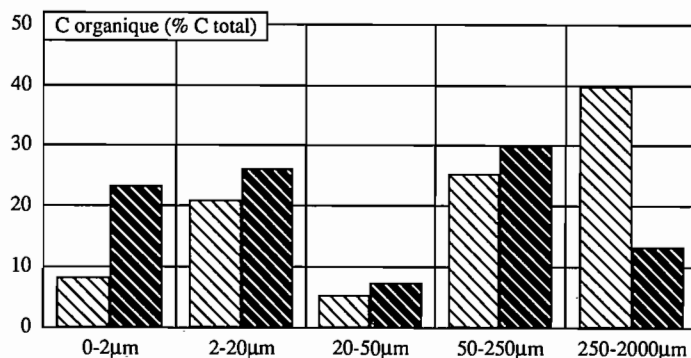
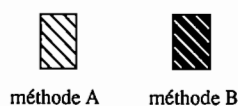


FIG. 3.a – Répartition du carbone organique (% du C organique du sol total) dans les différentes fractions granulométriques isolées par les méthodes A et B.

Carbon content (% of soil total organic carbon) of the different size fractions separated by A or B methods.

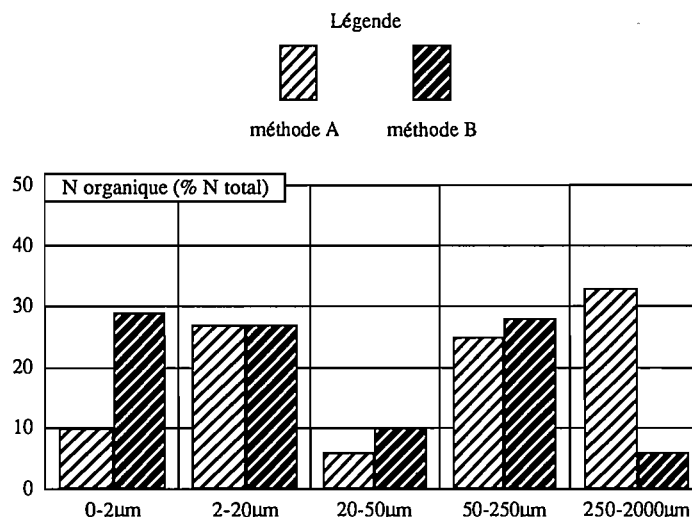


FIG. 3.b – Répartition de l'azote organique (% N organique du sol total) dans les différentes fractions granulométriques isolées par les méthodes A et B.
Organic nitrogen content (% of soil total organic nitrogen) of the different size fractions separated by A or B methods.

La comparaison des méthodes A et B (fig. 3a et 3b) montre que l'augmentation de l'énergie de dispersion provoque un transfert de carbone et d'azote essentiellement des fractions 250-2 000 µm vers les fractions 0-2 µm : la fraction 250-2 000 µm perd environ 60 % de son carbone organique, et 80 % de son azote organique. Les quantités de carbone et d'azote organiques de la fraction 0-2 µm sont respectivement multipliées par 2,5 et 3 sous l'effet de l'accroissement de l'énergie de dispersion.

Rapports C/N des fractions

À l'exception de la fraction 250-2 000 µm, les valeurs des rapports C/N des fractions obtenues par les méthodes A et B diffèrent peu (tabl. II). Par contre, la valeur élevée (C/N = 28) pour la fraction 250-2 000 µm isolée par la méthode B indique que cette fraction est constituée de débris végétaux, alors que la valeur plus basse (C/N = 14), pour la même fraction obtenue par la méthode A, indique que cette fraction est constituée d'un mélange de composés organiques à C/N faible (<11) et à C/N élevé (C/N ≥28). Cette constatation est en accord avec les caractéristiques macro- et ultramicromorphologiques des fractions (cf. 3b) et la valeur calculée du rapport C/N (C/N calculé = 11) des produits organiques dispersés de la fraction 250-2 000 µm par l'accroissement de l'énergie (tabl. IV).

Répartition de l'azote 15 immobilisé dans les fractions granulométriques

Après les trois jours d'incubation, 18 % de l'azote 15 apporté par l'urée sont sous forme d'azote minéral et 68 % sont immobilisés dans le sol. Les pertes estimées sont donc de 4 %.

Les bilans ¹⁵N du fractionnement granulométrique sont respectivement égaux à 88 % et à 85 % de ¹⁵N organique du sol total non fractionné. L'origine des pertes (12 % et 15 %) n'a pu être déterminée : pertes par dénitrification lors du fractionnement et/ou addition des erreurs relatives des dosages chimiques et isotopiques de l'azote sur les différentes fractions. L'interprétation des résultats tiendra compte de ce déficit en azote 15, et les résultats isotopiques ¹⁵N seront exprimés en % de la somme des fractions.

La méthode de dispersion a un effet significatif sur la répartition de l'azote 15 récemment immobilisé dans les différentes fractions granulométriques (fig. 4). Par la méthode A, la majeure partie de l'azote marqué, apporté sous forme d'urée, est immobilisée dans les fractions 250-2 000 µm (24 %), 50-250 µm (20 %) et 2-20 µm (43 %). Il faut noter que les agrégats > 50 µm, isolés par la méthode A, contiennent près de la moitié de l'azote immobilisé dans le sol (24 % + 20 % = 44 %). La fraction 2-20 µm obtenue par cette méthode est la plus enrichie en azote 15 (E % = 3,20) (tabl. II).

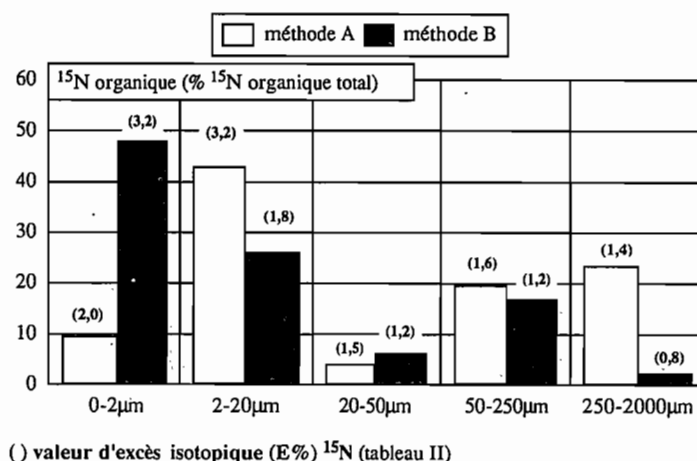


FIG. 4 – Immobilisation de ¹⁵N-urée dans les différentes fractions granulométriques isolées par les méthodes A et B (résultats exprimés en % de ¹⁵N organique total).

¹⁵N urea immobilized in the different size fractions separated by A or B methods (results expressed as % of total organic ¹⁵N).

Par la méthode B, l'azote immobilisé est retrouvé préférentiellement dans les fractions 50-250 µm, 2-20 µm et surtout dans la fraction 0-2 µm (respectivement 17 %, 26 % et 48 %) (fig. 4). La fraction 0-2 µm est la fraction la plus enrichie en azote 15 (E % = 3,18) (tabl. II).

L'accroissement de l'énergie de dispersion provoque une redistribution des quantités d'azote 15 immobilisées dans les fractions 250-2 000 µm, 2-20 µm et 0-2 µm. Les modifications constatées concernent à la fois les quantités d'azote 15 immobilisées dans ces fractions et leur enrichissement isotopique (E %).

Sous l'effet de l'accroissement de l'énergie de dispersion, la fraction 250-2 000 µm perd 90 % de l'azote 15 organique et son excès isotopique diminue fortement (respectivement 1,42 % et 0,80 %). Les débris organiques libérés après la destruction des agrégats par la méthode B sont donc moins enrichis en azote 15 que les agrégats isolés par la méthode A. La fraction 2-20 µm perd environ la moitié des quantités d'azote 15 immobilisé et l'excès isotopique baisse fortement aussi (3,18 % et 1,83 %). Dans le même temps, la quantité d'azote 15 immobilisé dans la fraction 0-2 µm est multipliée par 5 et son excès isotopique augmente (respectivement égal à 1,96 % et 3,16 %) (tabl. II).

Ces résultats indiquent que l'augmentation de l'énergie de dispersion provoque des transferts entre les fractions 250-2 000 µm et 2-20 µm d'une part et 0-2 µm d'autre part. Pour les deux méthodes A et B, plus de 50 % de l'azote 15 immobilisé sont associés aux fractions < 50 µm.

Répartition des micro-organismes dans les fractions granulométriques

La masse totale des micro-organismes du sol non fractionné est égale à 1 400 µg C. g⁻¹ sol, soit 4 % du carbone organique du sol. Les bilans en C-biomasse du fractionnement granulométrique sont respectivement égaux à 107 % et à 90 % pour les méthodes A et B. Ces bilans indiquent que la masse des micro-organismes de la fraction soluble, qui n'a pas été dosée, peut être considérée comme nulle. Les résultats présentés ci-dessous seront exprimés en % de la quantité totale obtenue par la somme de chacune des fractions et non par rapport au sol non fractionné.

La distribution des micro-organismes dans les différentes fractions granulométriques est très fortement influencée par l'énergie de dispersion (fig. 5). Avec la méthode A, les micro-organismes sont répartis essentiellement dans les fractions 250-2 000 µm, 2-20 µm et 0-2 µm (respectivement 27 %, 21 % et 38 % de la biomasse microbienne totale). Les micro-organismes présents dans les agrégats > 50 µm, isolés par la méthode A, représentent 38 % des micro-organismes totaux (27 % et 11 % respectivement dans la fraction 250-2 000 µm et 50-250 µm). Avec la méthode B, environ 60 % des micro-organismes sont isolés dans la fraction 0-2 µm et seulement 24 % dans les fractions > 50 µm (2 et 22 % dans les fractions 250-2 000 µm et 50-250 µm respectivement).

L'accroissement de l'énergie de dispersion provoque la diminution de la masse microbienne

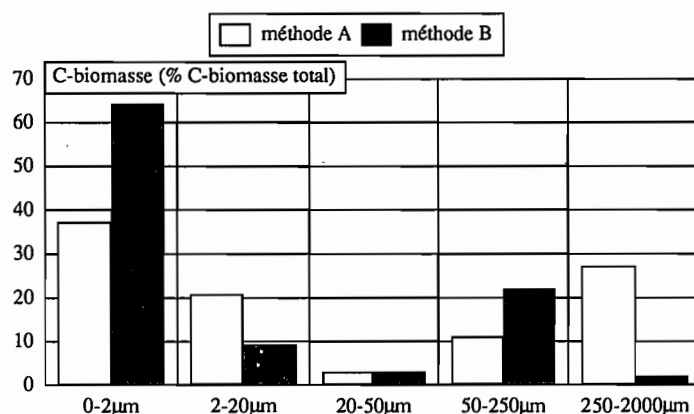


FIG. 5 – Distribution de la biomasse microbienne (C-biomasse) dans les fractions granulométriques isolées par les méthodes A et B (résultats exprimés en % du C-biomasse du sol total).
Biomass-C located within the different size fractions separated by A or B methods (results expressed as % of total C-biomass).

(μg C-biomasse. g^{-1} sol) associée aux fractions 250-2 000 μm et 2-20 μm et l'augmentation de celle associée aux fractions 50-250 μm et 0-2 μm (tabl. III).

À l'exception de la fraction 50-250 μm , les fractions isolées par la méthode A sont toutes plus riches en micro-organismes (μg C-biomasse. g^{-1} fraction) que les fractions obtenues par la méthode B. De la même façon, le carbone microbien représente une proportion plus importante du carbone organique (C-biomasse en % C organique fraction) pour les fractions isolées par la méthode A que pour celles obtenues par la méthode B (tabl. III). Cependant, il faut souligner que, quelle que soit la

méthode appliquée, la contribution du carbone microbien au carbone organique (C-biomasse en % C organique fraction) est particulièrement importante dans la fraction 0-2 μm : 10,4 % (méthode B) et 21,3 % (méthode A) à comparer à 4,8 %, valeur maximale pour les fractions > 2 μm .

DISCUSSION ET CONCLUSIONS

Afin d'étudier la localisation des micro-organismes et la répartition de l'azote immobilisé par ces micro-organismes dans un sol argileux, nous avons conduit une incubation en conditions contrôlées. L'immobilisation de l'azote, stimulée par l'apport

TABLEAU III
 Concentration du C-biomasse dans les différentes fractions granulométriques isolées par les méthodes A et B
Concentration of microbial biomass C within the different particle size fractions separated by A or B methods

	C - biomasse					
	$\mu\text{g/g}$ fraction		$\mu\text{g/g}$ sol		% C organique de la fraction	
	méthode A	méthode B	méthode A	méthode B	méthode A	méthode B
F 250-2000 μm	1444	750	409	19	3,30	0,40
F 50-250 μm	490	851	166	280	2,10	2,80
F 20-50 μm	575	215	49	32	2,90	1,30
F 2-20 μm	1446	500	315	118	4,80	1,40
F 0-2 μm	7625	3133	560	812	21,30	10,40

d'un substrat carboné facilement assimilable, est suivie grâce à l'utilisation de l'urée ^{15}N . Les résultats obtenus, ainsi que les conclusions tirées de cette étude, sont entièrement liés aux modes opératoires. En effet, l'activité « immobilisatrice » des micro-organismes est mesurée suite à l'apport d'urée et de glucose en solution. Un apport sous forme de débris organiques figurés aurait probablement privilégié l'activité fongique et favorisé l'immobilisation de l'azote dans les fractions riches en débris organiques. De plus, l'humidité du sol est constante tout au long de la période d'incubation, ce qui favorise le développement des micro-organismes dans l'ensemble de l'échantillon. Des cycles humectation-dessiccation auraient peut-être favorisé l'activité des micro-organismes situés dans les pores les plus fins. Ces quelques points étant signalés nous centrerons notre discussion sur l'effet du mode de dispersion sur les différents habitats microbiens.

En effet, la comparaison des deux méthodes utilisées souligne la sensibilité différente des fractions granulométriques à l'augmentation de l'énergie de dispersion (méthode B > méthode A). Les principales modifications discutées concernent principalement les fractions 250-2 000 μm , 2-20 μm et 0-2 μm .

Les macroagrégats de taille 250-2 000 μm isolés par fractionnement granulométrique après une agitation ménagée de l'échantillon dans l'eau (méthode A) sont pondéralement très importants (près d'un tiers du poids du sol total). Ces macrostructures (planche 1), constituées de débris organiques figurés enrobés dans une matrice organominérale, abritent environ un tiers de la masse totale des micro-organismes du sol, colonisant à la fois la matrice minérale et les fragments organiques, et un quart de l'azote ^{15}N immobilisé dans le sol. Ces agrégats constituent donc un des sites de résidence et d'activité des micro-organismes du sol (KANAZAWA et FILIP, 1986 ; GUPTA et GERMIDA, 1988).

L'agitation plus énergique de l'échantillon de sol en présence de billes d'agate (méthode B) conduit à la destruction de ces agrégats. La matrice minérale et les micro-organismes associés sont redistribués dans les autres fractions, la quantité d'azote immobilisée dans cette classe granulométrique est très fortement réduite. L'éclatement des agrégats et la dispersion des argiles entraînent la libération de débris organiques peu décomposés devenus les seuls sites d'accueil pour les micro-organismes (planche 2, photo b).

Il apparaît donc très clairement que l'étude des sites microbiens d'un sol à argile 2:1 doit pouvoir prendre en considération les agrégats de taille 250-2 000 μm et que cela n'est possible qu'en appliquant au sol une méthode de fractionnement ayant une faible énergie de dispersion (la méthode A dans notre cas).

Cependant, l'accroissement de l'énergie de dispersion du sol modifie aussi les caractéristiques d'agrégats de plus petites tailles et tout particulièrement celles de la fraction 2-20 μm . Cette fraction, obtenue par la méthode A, abrite 20 % des micro-organismes totaux du sol et contient plus de 40 % de l'azote ^{15}N immobilisé dans le sol. Ils représentent donc un autre site important pour les micro-organismes du sol (JOCTEUR MONROZIER *et al.*, 1991 ; GUEZ, 1990) et un lieu privilégié de stockage de l'azote (LADD et AMATO, 1977).

L'agitation du sol en présence de billes provoque la diminution des micro-organismes et de l'azote immobilisé dans cette fraction. L'hypothèse selon laquelle les micro-organismes, situés à la surface des agrégats 2-20 μm , ayant utilisé bien plus efficacement l'urée ^{15}N que leurs homologues internes, sont entraînés dans la fraction 0-2 μm par l'augmentation de l'énergie de dispersion, paraît vraisemblable.

Les micro-organismes associés aux argiles dispersées par agitation dans l'eau (méthode A) représentent près de 40 % de la masse totale des micro-organismes. Le carbone de ces organismes correspond à 20 % du carbone organique total de cette fraction. Cette proportion est la plus importante de toutes les fractions. Par contre, moins de 10 % de l'azote ^{15}N immobilisé dans le sol sont localisés dans cette fraction qui contient par ailleurs 8 % du carbone et de l'azote du sol. L'immobilisation de l'azote de l'urée dans les argiles aisément dispersables se produit dans la même proportion que celle de l'azote total, mais différemment de la distribution de la biomasse microbienne. Les micro-organismes de ce compartiment sont plus faiblement marqués que ceux associés à la fraction 2-20 μm en raison soit d'une synthèse de biomasse ^{15}N plus faible, soit d'une utilisation d'azote non marquée plus importante. Cette deuxième hypothèse est d'autant plus vraisemblable que, par la méthode B, la surface de la fraction 2-20 μm est décapée et que les micro-organismes qui s'y étaient développés iront alimenter la fraction 0-2 μm , laissant sur place une

biomasse microbienne plus interne avec un excès isotopique faible (1,83 %).

Une agitation plus énergique (méthode B) provoque une augmentation de la biomasse microbienne et d'azote 15 immobilisés dans cette fraction 0-2 μm . Le carbone des micro-organismes représente encore 10 % du carbone total de la fraction.

L'accroissement de l'énergie de dispersion du sol modifie profondément la distribution en taille des sites abritant les micro-organismes et leurs métabolites (^{15}N immobilisé). Pour établir la nature des produits organiques dispersés et /ou érodés à partir des fractions 250-2 000 μm et 2-20 μm et celle des produits accumulés dans la fraction 0-2 μm (tabl. IV), il nous faut envisager deux hypothèses concernant l'homogénéité du marquage isotopique ^{15}N des constituants organiques :

1^{re} hypothèse : le marquage isotopique ^{15}N des constituants organiques est homogène, celui des produits dispersés l'est aussi.

Dans ce cas, les constituants dispersés de la fraction 250-2 000 μm , dont la valeur de l'excès isotopique ^{15}N est égale à 1,56 %, ne correspondent pas aux produits accumulés dans la fraction 0-2 μm , la valeur de l'excès isotopique de ces produits étant très nettement supérieure (3,79 %) (tabl. III). Ces produits proviendraient donc de la fraction 2-20 μm possédant une valeur d'excès isotopique ^{15}N suffisamment élevée (3,20 %). Dans ce cas, si la quantité d'azote 15 qui s'accumule dans la fraction 0-2 μm (19,2 $\mu\text{g}^{15}\text{N} \cdot \text{g}^{-1}$ sol) provient de la fraction 2-20 μm , on s'aperçoit que l'accroissement de l'énergie de dispersion (méthode B) provoquerait la disparition de 80 % des microagrégats (19,2 /

23,6 chiffres correspondant respectivement à la quantité d'azote 15 contenu dans la fraction 2-20 μm isolée après agitation dans l'eau et à la quantité d'azote 15 accumulé dans la fraction 0-2 μm). Ces produits organiques, dispersés de la fraction 2-20 μm , sont remplacés par ceux dispersés de la fraction 250-2 000 μm . Les variations pondérales de carbone et d'azote de la fraction 2-20 μm sont donc apparemment nulles.

Selon cette première hypothèse, les macroagrégats > 250 μm seraient constitués d'agrégats plus petits (2-20 μm) libérés par l'augmentation de l'énergie de dispersion. Ces microagrégats (2-20 μm) remplaceraient ceux isolés par agitation dans l'eau et détruits par l'augmentation de l'énergie de dispersion.

2^e hypothèse : le marquage isotopique ^{15}N des constituants organiques et produits dispersés n'est pas homogène.

Il existerait dans la fraction 250-2 000 μm des constituants organiques dont la valeur de l'excès isotopique ^{15}N est égale à 3,79 %. À partir de l'équation (i),

$$QN = Q^{15}\text{N} / E \% \quad (i) \text{ (d'après GUIRAUD, 1984)}$$

on peut calculer la quantité d'azote total (QN) d'un échantillon connaissant son excès isotopique (E %) et sa quantité d'azote 15 ($Q^{15}\text{N}$). Dans notre cas, E % = 3,79 % et $Q^{15}\text{N} = 11,7 \mu\text{g}^{15}\text{N} \cdot \text{g}^{-1}$ sol, la quantité d'azote total serait donc égale à 1,16 / 0,0379 soit 308 $\mu\text{g N} \cdot \text{g}^{-1}$ sol. Cette quantité représenterait 40 % (308 / 750) des produits originaires de la fraction 250-2 000 μm et dispersés par l'augmentation de l'énergie. Les 60 % restant seraient formés de produits organiques non marqués. Ce-

TABLEAU IV
Variations des teneurs C, N, ^{15}N et C-biomasse des fractions 250-2 000 μm , 2-20 μm et 0,2 μm sous l'effet de l'accroissement de l'énergie de dispersion (méthode B - méthode A)
Variations of C, N, ^{15}N and biomass-C contents of particle size fractions 250-2 000 μm , 2-20 μm and 0,2 μm due to increasing of the energy of the fractionation method (method B - method A)

Fraction (μm)	Poids g/g sol	C		N		C/N	^{15}N		C-biomasse		
		mg/g frac.	mg/g sol	mg/g frac.	$\mu\text{g/g sol}$		E%	$\mu\text{g/g sol}$	$\mu\text{g/g frac.}$	$\mu\text{g/g sol}$	en % C frac.
250-2000	-0,257	31,40	-8,06	2,90	-750	11	1,56	-11,7	1518	-390	4,8
2-20	0 imp	-2,10	imp	-9	imp	imp	imp	-10,2	imp	-197	imp
0-2	0,186	27,70	5,16	2,70	507	10	3,79	19,2	1355	252	4,9

les chiffres négatifs (-) indiquent une diminution, et les chiffres positifs une augmentation.

imp : calcul impossible.

pendant, la quantité d'azote 15 apporté par ces composés marqués originaires de la fraction 250-2 000 μm est inférieure à celle accumulée dans la fraction 0-2 μm (respectivement 1,16 et 1,93 $\mu\text{g}^{15}\text{N} \cdot \text{g}^{-1} \text{sol}$). Les produits dispersés de la fraction 2-20 μm participeraient donc aussi à l'enrichissement en azote 15 de la fraction 0-2 μm . Leur départ est compensé par l'arrivée des produits peu marqués et originaires de la fraction 250-2 000 μm . Ceci pourrait expliquer la valeur plus faible de l'excès isotopique ^{15}N de la fraction 2-20 μm isolée par la méthode B, comparée à celle mesurée dans cette fraction obtenue par la méthode A (respectivement 3,20 % et 1,80 %).

Selon cette seconde hypothèse, la méthode B provoquerait la destruction totale des macroagrégats constitués de composés organiques fortement marqués (40 %) et de composés organiques peu marqués (60 %). Les produits fortement marqués

seraient associés à des argiles et s'accumuleraient dans la fraction 0-2 μm sous l'effet de la méthode B. Les composés organiques peu marqués (débris végétaux figurés...) seraient associés à des microagrégats et isolés dans la fraction 2-20 μm . Selon cette hypothèse, la méthode B altérerait légèrement les microagrégats (2-20 μm) obtenus après agitation dans l'eau.

Il est très difficile de privilégier une des deux hypothèses. Mais il faut remarquer que quelle que soit l'origine et la nature de cette fraction argileuse dispersée par l'accroissement de l'énergie de dispersion, celle-ci est très différente de celle obtenue par simple agitation dans l'eau (méthode A). Elle est plus enrichie en azote 15 mais le carbone des micro-organismes est proportionnellement moins abondant.

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

BIBLIOGRAPHIE

- ADU (J.K.), OADES (J.M.), 1978. – Physical factors influencing decomposition of organic materials in soil aggregates. *Soil Biol. Biochem.*, 10 : 109-115.
- AHMED (M.), OADES (J.M.), 1984. – Distribution of organic matter and adenosine triphosphate after fractionation of soils by physical procedures. *Soil Biol. Biochem.*, 16 : 465-470.
- ALBRECHT (A.), RANGON (L.), BARRET (P.), 1992. – Effets de la matière organique sur la stabilité structurale et la détachabilité d'un vertisol et d'un ferrisol (Martinique). *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, vol. XXVII, n° 1 : 121-133.
- AMATO (M.), LADD (J.M.), 1988. – Assay for microbial biomass based on ninhydrin reactive nitrogen in extracts of fumigated soils. *Soil Biol. Biochem.*, 20 (1) : 107-114.
- BREWER (R.), 1964. – *Fabric and mineral analysis of soils*. New York, London, Sydney, John Wiley and Sons Ed., Inc. : 470 pages.
- BRUCKERT (S.), 1979. – « Analyse de complexes organominéraux des sols » in D. DUCHAUFOR et B. SOUCHIER (eds.), 1979 : 187-209.
- CHAUSSOD (R.), NICOLARDOT (B.), 1982. – Mesure de la biomasse microbienne dans les sols cultivés. I. Approche cinétique et estimation simplifiée du carbone facilement minéralisable. *Rev. Ecol. Biol. Sol*, 19 : 501-512.
- DANIELSON (R.E.), SUTHERLAND (P.L.), 1986. – « Porosity » in A. KLUTE (ed.), 1986 : 443-461.
- DOMMERGUES (Y.), MANGENOT (F.), 1970. – *Écologie microbienne du sol*. Paris, Masson, 796 pages.
- DOUGLAS (L.A.) (ed.), 1990. – *Proc. of the VIIIth Int. Working Meeting of Soil Micromorphology*, Amsterdam, Elsevier.
- DUCHAUFOR (D.), SOUCHIER (B.) (eds.), 1979. – *Pédologie : 2. Constituants et Propriétés du sol*. Paris, Masson.
- ELLIOTT (E.T.), 1986. – Aggregate structure and carbon, nitrogen, and phosphorus in native and cultivated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50 (3) : 627-633.
- ELLIOTT (E.T.), COLEMAN (D.C.), 1988. – Let the soil work for us. *Ecol. Bull.*, 39 : 23-32.
- FEDOROFF (N.), BRESSON (L.M.), COURTY (M.A.) (eds.), 1987. – *Micromorphologie des sols*, Plaisir, Afes.
- FELLER (C.), FRANÇOIS (C.), VILLEMIN (G.), PORTAL (J.M.), TOUTAIN (F.), MOREL (J.L.), 1991. – Nature des matières organiques associées aux fractions argileuses d'un sol ferrallitique. *C. R. Acad. Sci. Paris*, t. 312, Série II : 1491-1497.
- FOSTER (R.), 1986. – The ultrastructure of the rhizosphere and rhizopshere. *Ann. Rev. Phytopathol.*, 24 : 211-234.
- GUEZ (P.), 1990. – *Distribution des micro-organismes dans deux types de sols. Influence de leur localisation sur leurs contacts avec un herbicide (l'atrazine)*. Mémoire D.E.A. Univ. Claude-Bernard Lyon-I, 39 pages.
- GUIRAUD (G.), 1984. – *Contribution du marquage isotopique à l'évaluation des transferts d'azote entre les compartiments organiques et minéraux dans les systèmes sol-plante*. Thèse de Doctorat d'État, Univ. Paris-VI, 335 pages.

- GUPTA (V.V.S.R.), GERMIDA (J.J.), 1988. – Distribution of microbial biomass and its activity in different soil aggregate size classes as affected by cultivation. *Soil Biol. Biochem.*, 20 (6) : 777-786.
- GREVERS (M.C.J.), JONG (E. de), 1990. – The characterization of soil macroporosity of a clay soil under ten grasses using image analysis. *Can. J. Soil Sci.*, 70 : 93-103.
- HATTORI (T.), 1988. – Soil aggregates as microhabitats of microorganisms. *Rep. Inst. Agr. Res. Tohoku Univ.*, 37 : 23-36.
- HENIN (S.), GRAS (R.), MONNIER (G.), 1969. – *Le profil culturel. L'état physique du sol et ses conséquences agronomiques*. Paris, Masson, 320 pages.
- HOPKINS (D.W.), MACNAUGHTON (S.J.), O'DONNELL (A.G.), 1991. – A dispersion and differential centrifugation technique for representatively sampling microorganisms from soil. *Soil Biol. Biochem.*, 23 (3) : 217-225.
- JENKINSON (D.S.), POWLSON (D.S.), 1976. – The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. V. A method for measuring soil biomass. *Soil Biol. Biochem.*, 8 : 209-213.
- JENKINSON (D.S.), SMITH (K.A.) (eds.), 1988. – *Nitrogen efficiency in Agricultural soils*, London, Elsevier Applied Science.
- JOCTEUR MONROZIER (L.), LADD (J.N.), FITZPATRICK (R.W.), FOSTER (R.C.), RAUPACH (M.), 1991. – Components and microbial biomass content of size fractions in soils of contrasting aggregation. *Geoderma*, 49 : 1-10.
- KACZMAREK (W.), PEDZIWIŁK (Z.), 1988. – Mycolotic activity and the development of microflora in soils of different mechanical structure. *Soil Biol. Biochem.*, 20 (2) : 129-136.
- KANAZAWA (S.), FILIP (Z.), 1986. – Distribution of microorganisms, total biomass, and enzyme activities in different particles of brown soil. *Microb. Ecol.*, 12 : 205-215.
- KEMPER (W.D.), ROSENAU (R.C.), 1986. – « Aggregate stability and size distribution » in A. KLUTE (ed.), 1986 : 425-442.
- KILBERTUS (G.), 1980. – Étude des microhabitats contenus dans les agrégats du sol. Leur relation avec la biomasse bactérienne et la taille des procaryotes présents. *Rev. Ecol. Biol. Sol*, 17 (4) : 543-557.
- KLUTE (A.) (ed.), 1986. – *Methods of soil Analysis*, Part. 1. 2nd edition, Agronomy 9, Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America.
- LADD (J.M.), AMATO (M.), 1977. – Studies of nitrogen immobilization and mineralization in calcareous soils. I. Distribution of immobilized nitrogen amongst soil fractions of different particle size and density. *Soil Biol. Biochem.*, 9 : 309-318.
- MOORE (S.), STEIN (W.H.), 1954. – A modified ninhydrin reagent for the photometric determination of amino acids and related compounds. *J. Biol. Chem.*, 211 : 907-913.
- NICOLARDOT (B.), 1988. – « Behaviour of newly immobilized nitrogen in three agricultural soils after addition of organic carbon substrates » in D.S. JENKINSON and K.A. SMITH (eds.) : 340-353.
- NKRUMAH (M.), GRIFFITH (S.M.), AHMAD (N.), 1989. – Lysimeter and field studies on ^{15}N in tropical soil. II. Transformation of $(\text{NH}_2)_2\text{CO}^{15}\text{N}$ in a tropical loam in lysimeter and field plots. *Plant and Soil*, 114 : 13-18.
- OADES (J.M.), WATERS (A.G.), 1991. – Aggregate hierarchy in soils. *Aust. J. Soil Res.*, 19 : 815-828.
- POSTMA (J.), ALTEMULLER (H.J.), 1990. – Bacteria in thin soil sections stained with the fluorescent brightener calcofluor white M2R. *Soil Biol. Biochem.*, 22 (1) : 89-96.
- SEIFERT (J.), 1964. – Influence of the size of soil structural aggregate on the degree of nitrification. *Folia microbiol.*, 9 : 365-377.
- THIERY (J.P.), 1967. – Mise en évidence des polysaccharides sur coupes fines en microscopie électronique. *J. Microscopie*, 6 : 987-1017.
- TIPPKOTTER (R.), 1990. – « Staining of soil microorganisms and related materials with fluorochromes » in L.A. DOUGLAS (ed.), 1990, Amsterdam, Elsevier : 605-609.
- VILLEMIN (G.), TOUTAIN (F.), 1987. – « Méthode de fixation d'échantillons organominéraux de sols pour la microscopie électronique à transmission ». In N. FEDOROFF, L.M. BRESSON et M.A. COURTY (eds.), 1987 : 43-47.
- WU (L.), VOMOCIL (J.A.), CILDS (S.W.), 1990. – Pore size, particle size, aggregates size, and water retention. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 54 : 952-956.

Relations entre les formes d'azote organique du sol et l'azote absorbé par la plante dans un sol ferrallitique du Sénégal

Véronique WANEUKEM et Francis GANRY

Cirad-CA, UR Facteurs et Conditions du Milieu, BP 5035, 34032 Montpellier cedex.

RÉSUMÉ

Afin d'identifier un indicateur de prévision de la fourniture d'azote aux cultures par le sol, nous avons comparé cinq méthodes permettant de caractériser l'azote organique du sol. Trois tests chimiques (méthode Kjeldahl, extraction de l'azote par une solution de K_2SO_4 (N), fractionnement de l'azote par hydrolyse acide) et deux tests biologiques (incubation en anaérobiose et culture en pots avec ^{15}N) ont été appliqués à un sol ferrallitique de Moyenne Casamance (Sénégal). La fraction Nhd (azote hydrolysable distillable), prise comme variable unique, explique 68 % de la variabilité de l'azote minéralisable. Les fractions Nhd et Nhnd (azote hydrolysable non distillable) assurent, ensemble, la meilleure prévision du pool d'azote mobilisable du sol représenté par la valeur A. La prise en compte de données agronomiques montre que la fraction Nhnd permet de prévoir la quantité d'azote prélevée par un maïs-test dans un système de culture traditionnel sans apports d'azote. Les fractions chimiques Nhd et Nhnd constituent des indicateurs de prévision satisfaisants pour le type de sol étudié.

MOTS CLÉS : Sol ferrallitique – Sénégal – Formes organiques de l'azote – Hydrolyse acide – Fourniture d'azote par le sol – Maïs.

ABSTRACT

RELATIONSHIPS BETWEEN SOIL ORGANIC NITROGEN FORMS AND NITROGEN TAKEN UP BY PLANT
IN A SENEGAL FERRALLITIC SOIL

In order to identify a convenient index of nitrogen supply by soil to plants, we compared five methods of characterisation of soil organic nitrogen. Three chemical tests (Kjeldahl method, extraction of nitrogen by a K_2SO_4 solution (N), nitrogen fractionation by acid hydrolysis) and two biological tests (incubation under anaerobic conditions and a culture in pots with ^{15}N) were applied to a ferrallitic soil from Casamance (Senegal). The fraction Nhd (hydrolyzable distillable nitrogen), as a single variable, explained 68 % of the nitrogen mineralizable variability. The fractions Nhd and Nhnd (hydrolyzable no-distillable nitrogen), together, provided the best linear model of the soil nitrogen available pool represented by the A value. The fraction Nhnd could forecast the amount of nitrogen taken up by a maize culture in a traditional cropping system without nitrogen supply. Fractions Nhd and Nhnd seem to be convenient indexes of nitrogen supply by soil for the type of soil studied.

KEY WORDS: Ferrallitic soil – Senegal – Organic nitrogen – Acid hydrolysis – Soil nitrogen supply – Maize.

INTRODUCTION

Comme dans la plupart des sols cultivés, dans les sols tropicaux sableux d'Afrique de l'Ouest, l'alimentation azotée des céréales se fait principalement à partir des réserves d'azote organique (BLONDEL, 1971a ; WETSELAAR et GANRY, 1982 ; GANRY, 1990). Dans ces sols, ces réserves sont très faibles et constituent généralement un facteur limitant de la production végétale, même en présence d'engrais. Dans ce contexte, le pool d'azote mobilisable ainsi que la fourniture d'azote par le sol aux cultures sont deux variables qu'il importe de quantifier pour gérer à long terme la fertilité du sol tout en assurant l'objectif de production. Dans les sols tropicaux, où l'azote minéral constitue un compartiment de transition instable (BLONDEL, 1971b, 1971c, 1971d ; GIGOU, 1982), la capacité du sol à fournir de l'azote aux plantes ne peut être appréciée que par un indicateur défini à partir des fractions organiques de l'azote du sol. Devant cette nécessité, de nombreux tests chimiques ou biologiques ont été proposés. Cependant, la quantification directe du pool d'azote mobilisable du sol pose toujours un problème méthodologique (STANFORD, 1982 ; CATROUX *et al.*, 1987). La méthode isotopique permet de quantifier l'azote absorbé par la culture provenant du sol (NdfS) et d'estimer le pool d'azote mobilisable du sol ; celui-ci est alors représenté conventionnellement par la valeur A (FRIED et DEAN, 1952 ; RENNIE, 1969). Cependant la valeur A est difficile à mesurer *in situ* et ne peut être définie que pour une plante et un environnement donnés. Par ailleurs, la valeur A, *in situ*, est d'une interprétation délicate (GANRY, 1990). Les travaux récents d'EGOUMENIDÈS *et al.* (1987) et d'EGOUMENIDÈS (1989) montrent que la fraction organique du sol « Nhnd » (fraction hydrolysable non distillable), obtenue par la technique de l'hydrolyse acide (STEWART *et al.*, 1963), est déterminante dans la nutrition azotée des plantes. Cette technique, contrairement à la méthode isotopique, permet d'obtenir des fractions comparables d'une situation à une autre, indépendamment de la culture. Dans le but de vérifier si la méthode de fractionnement de l'azote par hydrolyse acide est utilisable pour caractériser le pool d'azote mobilisable et juger de la fertilité azotée des sols tropicaux, nous l'avons comparée à des tests biologiques (incubation en anaérobiose et culture en pots) et à des résultats au champ (azote absorbé par un maïs test cultivé sur sol non travaillé et non fertilisé).

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Le dispositif expérimental

Le dispositif implanté en Moyenne Casamance a été installé en 1972 par DIATTA (1975, 1989). Il s'agit d'un terrain (1 ha) de défriche récente divisé en bandes dont chacune constitue une sole de système de culture. Dans chacune de ces bandes, 6 parcelles de rendements ont été délimitées (48,6 m²). Cinq traitements (sans répétition) ont été appliqués sur 9 bandes orientées d'est en ouest (fig.1) : (1) une bande est maintenue sous forêt pendant toute la durée de l'expérimentation ; (2) une bande est maintenue nue ; (3) une bande est laissée en jachère continue ; (4) le système traditionnel comprend deux bandes en rotation biennale arachide-mil, sans travail du sol ni apport d'engrais, ni restitution des résidus de récolte ; (5) le système amélioré comprend quatre bandes en rotation quadriennale maïs-mil-arachide-riz, avec apport d'engrais N-P-K (8-18-27) à la dose de 250 kg/ha pour l'arachide, 300 kg/ha pour le maïs, 250 kg/ha pour le mil et 250 kg/ha pour le riz, avec apport d'urée à la dose de 150 kg/ha pour les cultures de maïs, mil et riz, avec travail du sol et enfouissement des pailles de maïs en fin de cycle et un phosphatage de fond à la mise en place de l'essai (400 kg/ha).

Perpendiculairement aux bandes traitements, une bande test de maïs ne recevant pas d'engrais (ni travail du sol) a été cultivée tous les deux ans. Elle est destinée à traduire en termes agronomiques l'évolution des sols induite par les différents systèmes de culture.

Le sol étudié

Il s'agit d'un sol ferrallitique faiblement désaturé du Sénégal, dont les principales caractéristiques physico-chimiques sont présentées dans le tableau I. L'horizon de surface (horizon étudié) présente une texture sableuse. La teneur en argile est de 8,3 % et celle en matière organique de 13 mg/g de sol. La CEC est de 3 cmol/kg de sol. Les échantillons ont été prélevés dans les horizons 0-15 et 15-30 cm de chaque parcelle du dispositif expérimental, chaque année test (1974, 1976 et 1980), en période de saison sèche. Un échantillon moyen a été constitué à partir de 20 prélèvements sur la parcelle. Les échantillons de sol ont été tamisés à 2 mm, séchés et stockés à l'abri de la lumière.

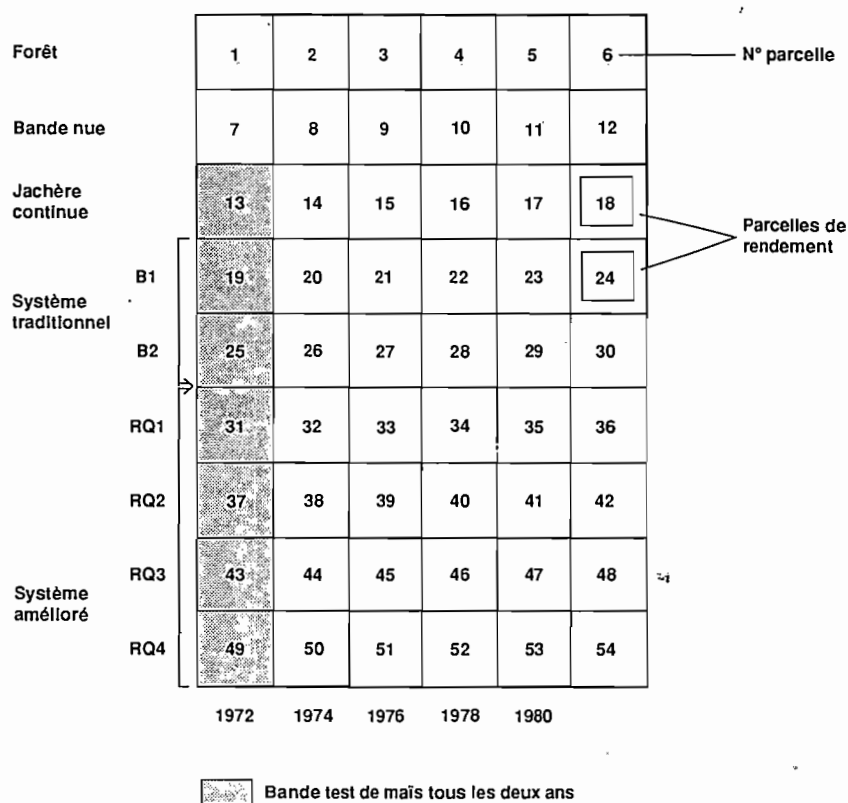


FIG. 1 – Plan du dispositif du champ dit de défriche récente (MANIORA II).
Plan of the field device.

Les méthodes d'analyse

Une étude préliminaire a permis de vérifier la stabilité des fractions organiques des échantillons de sol conservés sur une longue durée (entre 10 et 20 ans) en comparant les analyses récentes à des résultats antérieurs (SARR, 1978). Des tests chimiques et biologiques récemment décrits (WANEUKEM, 1991) ont été appliqués aux échantillons de sol prélevés entre 1974 et 1980 sur le dispositif expérimental : nous les résumons ci-dessous.

LES MÉTHODES CHIMIQUES

Elles consistent en la détermination de l'azote total du sol

($Nt_{sol} = N_{total\ organique} + NH_4^+ + NO_3^-$) par la méthode Kjeldahl, la détermination de l'azote total extractible par une solution de K_2SO_4 normale ($Nt_{K_2SO_4} = N_{minéral} + N_{organique}$) et en la détermination des formes d'azote organique du sol par la technique de l'hydrolyse acide (STEWART *et al.*, 1963, modifié par EGOUMENIDÈS *et al.*, 1987). Il s'agit d'une technique biochimique clas-

sique d'hydrolyse des protéines qui conduit à l'obtention de deux fractions : l'azote hydrolysable (Nh) et l'azote non hydrolysable (Nnh). La distillation en présence de soude de la fraction Nh permet d'obtenir deux sous-fractions: l'azote hydrolysable distillable (Nhd) et l'azote hydrolysable non distillable (Nhnd). Les fractions Nh et Nhd ont été mesurées puis calculées en soustrayant $N-NH_4^+$ préexistant dans les échantillons de sol. La fraction Nhnd est calculée par différence entre Nh et Nhd. Par conséquent $Nt_{sol} = Nhd + Nhnd + Nnh + N_{minéral}$.

LES MÉTHODES BIOLOGIQUES

Incubations en anaérobiose

L'azote minéralisable (obtenu par différence entre $N-NH_4^+$ dosé après incubation et celui dosé avant incubation) est déterminé sur 68 échantillons de sol mis à incuber dans les conditions du test WARING-BREMNER (1964) – 15 jours d'incubation à 30 °C, en condition anaérobie. Le nombre de répétitions réalisées par échantillon est de 3 à 4.

TABLEAU I
Caractéristiques physico-chimiques du sol prélevé en 1973 (d'après DIATTA, 1989)
Physico-chemical characteristics of the soil sampled in 1973 (from DIATTA, 1989)

Caractéristiques	Profondeur (cm)	
	0 - 20	20 - 45
pH H ₂ O	6,5	6,2
pH KCl	5,4	4,7
Analyse mécanique (%)		
0-2 µm	8,3	13,8
2-20 µm	4,3	6,5
20-50 µm	9,3	8,9
50-200 µm	47,4	41
200-2000 µm	30,3	29,3
MO		
C ‰	7,51	4,22
N ‰	0,52	0,33
C/N	14	13
P ₂ O ₅ total ‰	0,28	0,14
Complexe d'échange * (cmol/kg)		
Ca ²⁺	2	1
Mg ²⁺	0,8	0,6
K ⁺	0,04	0,01
Na ⁺	0,13	0,07
Somme (S)	2,97	1,68
CEC	3	2,4
100.S/CEC	99	70
Minéralogie		
Fe total ‰	14,4	13,5
Fe libre ‰	7,8	11
RX (0-2 µm) Kaolinite	+++	+++
Smectite	traces	traces
Vermiculite	traces	traces

(*) Méthode à l'acétate - NH₄⁺

Cultures en pots

Un test de culture en pots est réalisé sur 53 échantillons de sol. Il consiste à cultiver une plante-test (le *Ray-grass*) en conditions non limitantes, qui reçoit un engrais azoté (urée enrichie en ¹⁵N à 5,33 %) dont le traceur ¹⁵N permet de distinguer l'azote prélevé par la plante provenant du sol (NdfS) de celui provenant de l'engrais (NdfF) (GUIRAUD, 1984). Ce test est destiné à mesurer le pool d'azote mobilisable du sol (représenté par la mesure conventionnelle de la valeur A) par la technique isotopique. Cette mesure repose sur l'hypothèse de la proportionnalité entre consommation (NdfS et NdfF) et source (valeur A et engrais).

Cette hypothèse vérifiée expérimentalement par certains auteurs (FRIED et DEAN, 1952 ; ALEKSIC *et al.*, 1968 ; IAEA, 1970, 1971, 1974, 1978, 1983) est, par contre, infirmée par GUIRAUD (1984).

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Caractérisation de l'azote du sol par analyses chimiques : évolution du statut azoté sous les différents systèmes de culture

Les résultats quantitatifs (tabl. II) sont présentés pour trois systèmes de culture et trois années de prélèvement.

TABLEAU II
Moyennes (X en mg/kg) et intervalles de confiance (t.SE à $P_{0,05}$) des fractions azotées mesurées sous les différents systèmes de culture, horizon 0-15 cm
Averages (X mg/kg) and confidence intervals (t.SE at $P_{0,05}$) of the nitrogen fractions measured under the different cultural systems in the 0-15 cm horizon

Fractions azotées	Années	Systèmes de culture					
		Forêt		Système traditionnel		Système amélioré	
		$\bar{x}$	t SE	$\bar{x}$	t SE	$\bar{x}$	t SE
Nt sol	1974	505	-	403	41	452	35
	1976	586	160	378	47	394	32
	1980	495	52	291	38	339	21
Nt K ₂ SO ₄	1974	25,2	-	28,7	3,3	34,8	4,4
	1976	30,8	6,3	23,1	3,2	28,7	3,2
	1980	25,7	4,3	18,6	3,3	24	2,2
Nhnd	1974	117	-	98	8	108	6
	1976	132	31	90	10	93	6
	1980	118	10	73	11	80	4
Nhnd	1974	260	-	212	27	223	16
	1976	307	61	198	20	187	14
	1980	262	22	149	29	157	8
Nnh	1974	137	-	97	13	126	16
	1976	164	68	87	13	110	14
	1980	120	18	65	9	98	8

$\bar{x}$ = moyenne

t SE = intervalle de confiance de la moyenne

Pour les sols sous forêt, les fractions azotées mesurées ne diminuent pas au cours du temps : la forêt constitue un système en équilibre où l'apport continu de matière organique au sol permet de régénérer et de préserver le stock d'azote.

Sous l'effet des cultures (systèmes traditionnel et amélioré), on constate d'une manière générale une baisse significative de toutes les fractions organiques azotées au cours du temps (tabl. II), dans des proportions allant de 25 à 35 % du stock mesuré en 1974.

L'azote total du sol diminue significativement entre 1974 et 1980 de 28 % sous le système traditionnel et de 25 % sous le système amélioré. La diminution relative de l'azote du sol concerne principalement les fractions Nt K₂SO₄ (respectivement de -35 et -31 % pour les systèmes traditionnel et amélioré) et Nhnd (de -30 % pour les 2 systèmes). En l'absence d'apport d'azote au sol (système traditionnel), on note une baisse significative de la fraction Nnh (-33 %) alors que celle-ci ne varie pas de manière significative sous système amélioré.

Par rapport à la forêt (système de référence), l'azote total du sol (Nt sol) diminue significative-

ment de 41 et 31 % respectivement sous les systèmes traditionnel et amélioré, après huit années de culture. En moyenne, l'azote total du sol diminue sous l'effet des cultures à un rythme annuel de 4 %. Cette baisse de l'azote organique du sol cultivé concerne les 3 fractions Nnh (-46 %), Nhnd (-43 %) et Nhd (-38 %) pour le système traditionnel, mais concerne essentiellement les fractions Nhnd (-40 %) et Nhd (-32 %) pour le système amélioré.

Ces premières observations conduisent à l'hypothèse que la fraction Nhnd, la plus importante quantitativement (environ 50 % de l'azote total) jouerait un rôle important dans la fourniture d'azote aux cultures, en présence ou non d'engrais. En l'absence d'apport exogène d'azote au sol, la fraction Nnh semble également contribuer à l'alimentation azotée des plantes.

Nous disposons ainsi d'une gamme d'échantillons de sol dont le statut azoté organique présente une variabilité importante, induite par la mise en culture et les pratiques culturales : celle-ci nous permet de comparer les résultats des tests chimiques à ceux des tests biologiques.

Relation entre les formes organiques de l'azote et l'azote minéralisable du sol déterminé par incubation anaérobie

Le test d'incubation a été appliqué à 68 échantillons de sol (0-15 et 15-30 cm) dont les fractions organiques de l'azote déterminées par analyses chimiques sont connues (tabl. II). Dans les conditions du test, l'azote minéralisable obtenu, désigné par DN, permet d'avoir une estimation de l'azote du sol disponible sur une période relativement courte. La reproductibilité de la méthode étant correcte ($CV < 6\%$), les résultats de ce test permettent alors d'établir un premier niveau de corrélation entre l'azote minéralisable DN et les fractions organiques du sol : Nt sol, N org K_2SO_4 , Nhd, Nhnd et Nnh. Les coefficients de corrélation obtenus sont hautement significatifs à $P_{0,01}$ (tabl. III). La fraction Nhd comme variable unique assure la meilleure détermination de l'azote minéralisable par l'équation de régression linéaire simple :

$DN = 0,39 \text{ Nhd} - 17$ ($n = 68$, $R = 0,83$, $R^2 = 0,68$, $P < 0,01$),

pour DN variant de 4 à 38 mg/kg. Cependant, par l'équation de régression multiple progressive (introduction des variables à $P_{0,05}$) suivante :

$DN = 0,38 \text{ N org } K_2SO_4 + 0,31 \text{ Nhd} - 15$ ($n = 68$, $R = 0,84$, $R^2 = 0,70$),

on améliore légèrement la détermination de DN. Les variables N org K_2SO_4 et Nhd (variables non indépendantes) seraient les plus explicatives des processus de minéralisation nette réalisés dans les conditions du test.

Relation entre les formes organiques de l'azote et l'azote fourni à une culture en pot (NdfS)

Le test de culture en pots a porté sur 53 échantillons de sol (0-15 et 15-30 cm) dont les fractions organiques de l'azote ainsi que l'azote minéralisable avant culture sont connus. Cet essai met tout d'abord en évidence l'importance de la fourniture d'azote par le sol (NdfS) dans l'alimentation azotée du *Ray-grass*, même en présence d'engrais. La culture de *Ray-grass* s'étant développée dans des conditions non limitantes (condition nécessaire à une détermination correcte de NdfS et de la valeur A), les résultats du test permettent d'établir un deuxième niveau de corrélation entre la variable NdfS (variable dépendante) et les fractions organiques du sol (variables explicatives).

Toutes les fractions organiques donnent des coefficients de corrélation hautement significatifs à $P_{0,01}$ (tabl. III). La meilleure corrélation simple est

TABLEAU III

Corrélations entre les fractions azotées et l'azote minéralisable, NdfS, valeur A sol et l'azote du maïs-test
Correlations between nitrogen fractions and mineralizable nitrogen, NdfS, A value and nitrogen test-maize

Tests chimiques	Incubations		Culture en pots				Résultats au champ			
	N minéralisable		NdfS		Valeur A		N maïs-test en système traditionnel			
	DN (mg/kg)		(mg/kg)		(mg/kg)		Np (kg/ha)			
	n = 68		n = 53		n = 53		n = 6			
							0 - 15 cm		0 - 30 cm	
	R	P	R	P	R	P	R	P	R	P
Nt sol	0,816	0,000	0,856	0,000	0,918	0,000	0,879	0,022	0,957	0,004
Nt K_2SO_4	0,656	0,000	0,779	0,000	0,740	0,000	0,830	0,041	0,942	0,006
N org K_2SO_4	0,714	0,000	0,684	0,000	0,730	0,000	0,763	0,077	0,956	0,000
N min K_2SO_4	0,275	0,022	0,573	0,000	0,456	0,000	0,668	0,146	0,876	0,023
Nhd	0,826	0,000	0,820	0,000	0,903	0,000	0,842	0,036	0,956	0,004
Nhnd	0,787	0,000	0,829	0,000	0,901	0,000	0,948	0,005	0,989	0,001
Nnh	0,720	0,000	0,755	0,000	0,838	0,000	0,839	0,038	0,945	0,006
Tests biologiques										
DN	-	-	0,827	0,000	0,847	0,000	0,900	0,016	0,939	0,007
NdfS	-	-	-	-	0,936	0,000	0,903	0,015	0,968	0,006
Valeur A	-	-	0,936	0,000	-	-	0,957	0,004	0,971	0,005

R = coefficient de corrélation simple : P = probabilité.

obtenue avec Nt sol ($n = 53$, $R = 0,86$, $R^2 = 0,74$, $P < 0,01$) pour NdfS variant de 26 à 61 mg/kg de sol. L'équation de régression multiple progressive : $NdfS = 0,55 Nt K_2SO_4 + 0,093 Nhnd + 10,4$ ($n = 53$, $R = 0,90$, $R^2 = 0,82$, $P < 0,05$), améliore la détermination de NdfS.

Relation entre les formes organiques de l'azote et le pool d'azote mobilisable du sol (valeur A)

À partir des résultats du test de culture en pots on calcule la valeur A par la relation suivante : $A \text{ sol} = (NdfS / CRU \%) \times 100$. Elle est exprimée en équivalent N-urée et représente une mesure conventionnelle du pool d'azote mobilisable du sol.

Un troisième niveau de corrélation entre la valeur A sol et les fractions organiques de l'azote du sol peut ainsi être établi. Toutes les fractions azotées donnent des coefficients de corrélation hautement significatifs à $P_{0,01}$ (tabl. III). La meilleure corrélation simple est obtenue entre la valeur A et Nt sol ($n = 53$, $R = 0,92$, $R^2 = 0,84$, $P < 0,01$) pour A sol variant de 50 à 130 mg/kg équivalent N-urée. Cependant, une régression multiple progressive effectuée entre les variables valeur A et Nhnd, Nhnd, Nnh montre que la fonction :

$A \text{ sol} = 0,54 Nhnd + 0,17 Nhnd + 5$ ($n = 53$, $R^2 = 0,85$, $P < 0,05$)

améliore légèrement la détermination du pool d'azote mobilisable du sol.

Relations entre les formes organiques de l'azote du sol et l'azote absorbé par le maïs test au champ

La mesure de l'azote total des parties aériennes du maïs (N plante) (tabl. IV) cultivé sur les bandes

tests non fertilisées (DIATTA, 1989) montre que le système de culture influe sur la quantité d'azote prélevée par la plante. Ne pouvant faire ressortir que des différences arithmétiques entre les résultats sans en donner le degré de signification statistique, que les conditions expérimentales ne permettent pas d'établir, nous obtenons en moyenne l'effet des systèmes de culture sur la mobilisation de l'azote du sol par le maïs dans l'ordre croissant suivant : « jachère » < « traditionnel » < « amélioré », dans une gamme de variation importante. Ces résultats agronomiques nous permettent d'établir le quatrième niveau de corrélation entre l'azote fourni par le sol au maïs test *in situ* et les fractions organiques de l'azote du sol, l'azote minéralisable, et la valeur A.

Tous systèmes de culture confondus (« jachère », « système traditionnel » et « système amélioré »), aucune des méthodes testées (chimiques et biologiques) ne permet de mettre en évidence un indicateur directement fiable à l'azote prélevé par le maïs test. En effet, les mécanismes d'absorption de l'azote minéral par les racines du maïs ne dépendent pas uniquement de la fourniture d'azote par le sol mais résultent des facteurs du milieu sol-climat et des précédents culturels. En revanche, on obtient des corrélations significatives entre l'azote du maïs test obtenu en système de culture traditionnel (système sans apport exogène d'azote) et les fractions azotées du sol (tabl. III). Ces corrélations sont améliorées et deviennent hautement significatives lorsque l'on considère le niveau 0-30 cm du sol. Dans un tel système, la fonction :

TABLEAU IV
Azote (kg/ha) des parties aériennes du maïs test (DIATTA, 1989)
Nitrogen (kg/ha) of the aerial parts of the test-maize (DIATTA, 1989)

Précédents / Années		1974	1976	1980	Moyenne
Jachère		10,7	12,9	7,6	10,4
Système traditionnel	Arachide	40,2	28,0	22,5	30,2
	MII	50,0	37,2	15,1	34,1
	Moyenne	45,1	32,6	18,8	32,2
Système amélioré	Maïs	40,8	30,4	24,5	31,9
	MII	44,6	50,1	42,7	45,8
	Arachide	9,7	77,9	66,2	51,3
	Riz	35,4	74,9	45,1	51,8
	Moyenne	32,6	58,3	44,6	45,2
Moyenne		33,1	45,0	32,0	

$N_{\text{plante}} = 0,074 N_{\text{hnd}} - 25,17$ ($n = 6$, $R = 0,99$, $R^2 = 0,98$, $P < 0,01$),

assure la meilleure détermination de l'azote total du maïs test à partir de la fraction chimique N_{hnd} mesurée dans une profondeur de sol de 30 cm pour N_{plante} variant de 15 à 50 kg/ha (fig. 2). Une régression multiple effectuée entre les variables N_{hd} , N_{hnd} , N_{nh} , N_{t} K_2SO_4 et N_{plante} n'améliore pas cette prévision.

DISCUSSION ET CONCLUSION

La mise en culture d'un sol ferrallitique récemment défriché entraîne très rapidement une baisse du stock en azote total à un rythme annuel d'environ 4 % quel que soit le système de culture pratiqué. Ces résultats confirment ceux obtenus sur des sols ferrallitiques au Sénégal par SIBAND (1974) et en Côte-d'Ivoire par CHABALIER (1986). Les résultats des tests chimiques montrent que la diminution de l'azote du sol sous l'effet de la mise en culture concerne principalement la fraction N_{hnd} , ce qui laisserait supposer la participation majeure de cette dernière à l'alimentation azotée des plantes. Cette hypothèse est en accord avec celle émise par EGOUMENIDÈS *et al.* (1987). Néanmoins, en l'absence d'apport d'azote au sol (système traditionnel), la fraction N_{nh} semble également être mise à contribution dans l'alimentation azotée de la plante. La comparaison entre les résultats des tests chimiques et biologiques montre que, pour le sol étudié, il existe des corrélations hautement

significatives entre les fractions chimiques azotées et les variables N minéralisable, N_{dfS} et Valeur A (tabl. III). En première interprétation des résultats obtenus, on peut admettre que pour le sol étudié la mesure de N_{t} sol est suffisamment sensible pour estimer à moindre coût et rapidement la fertilité azotée du sol, évaluée par l'azote minéralisable (DN), son pool d'azote mobilisable (valeur A) et l'azote prélevé par la plante en pots (N_{dfS}) et au champ (N_{plante}) (tabl. III). Cependant, la fraction N_{hd} , prise comme variable unique, donne la meilleure régression linéaire de l'azote minéralisable obtenu dans les conditions du test Waring-Bremner, et les fractions N_{hd} et N_{hnd} , par une régression linéaire multiple, améliorent la prévision du pool d'azote mobilisable du sol représenté par la valeur A (fig. 3). De plus, la fraction N_{hnd} , mesurée dans une profondeur de sol de 30 cm, assure la meilleure détermination de la quantité d'azote prélevée par une culture de maïs non fertilisée obtenue en système de culture traditionnel (fig. 3). Nos résultats nous conduisent donc à penser que les fractions chimiques N_{hd} et N_{hnd} , qui représentent des formes biochimiques d'azote facilement biodégradables (sucres aminés et acides aminés) (BREMNER, 1965 ; SCHNITZER et HINDLE, 1981), sont des indicateurs de prévision de la fourniture d'azote aux cultures par le sol satisfaisants pour le type de sol étudié. Par ailleurs, elles présentent l'avantage d'être reproductibles et sont, pour cela, comparables d'une situation à une autre.

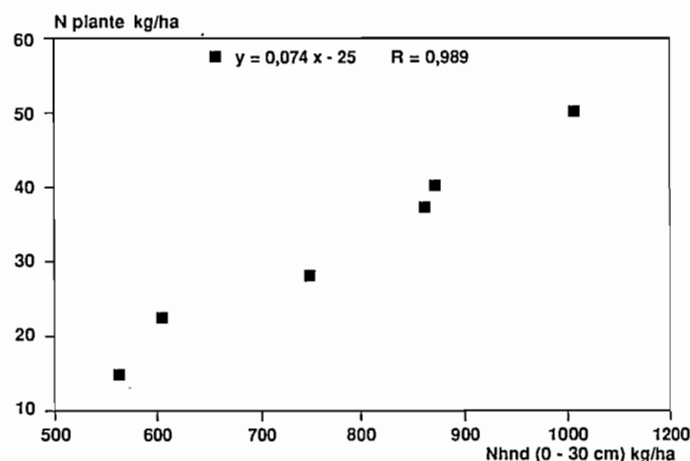


FIG. 2 – Corrélation entre N sol fourni au maïs test et N_{hnd}
- Cas du système traditionnel.

Correlation between soil nitrogen taken up by the test-maize and N_{hnd} - Case of the traditional cultural system.

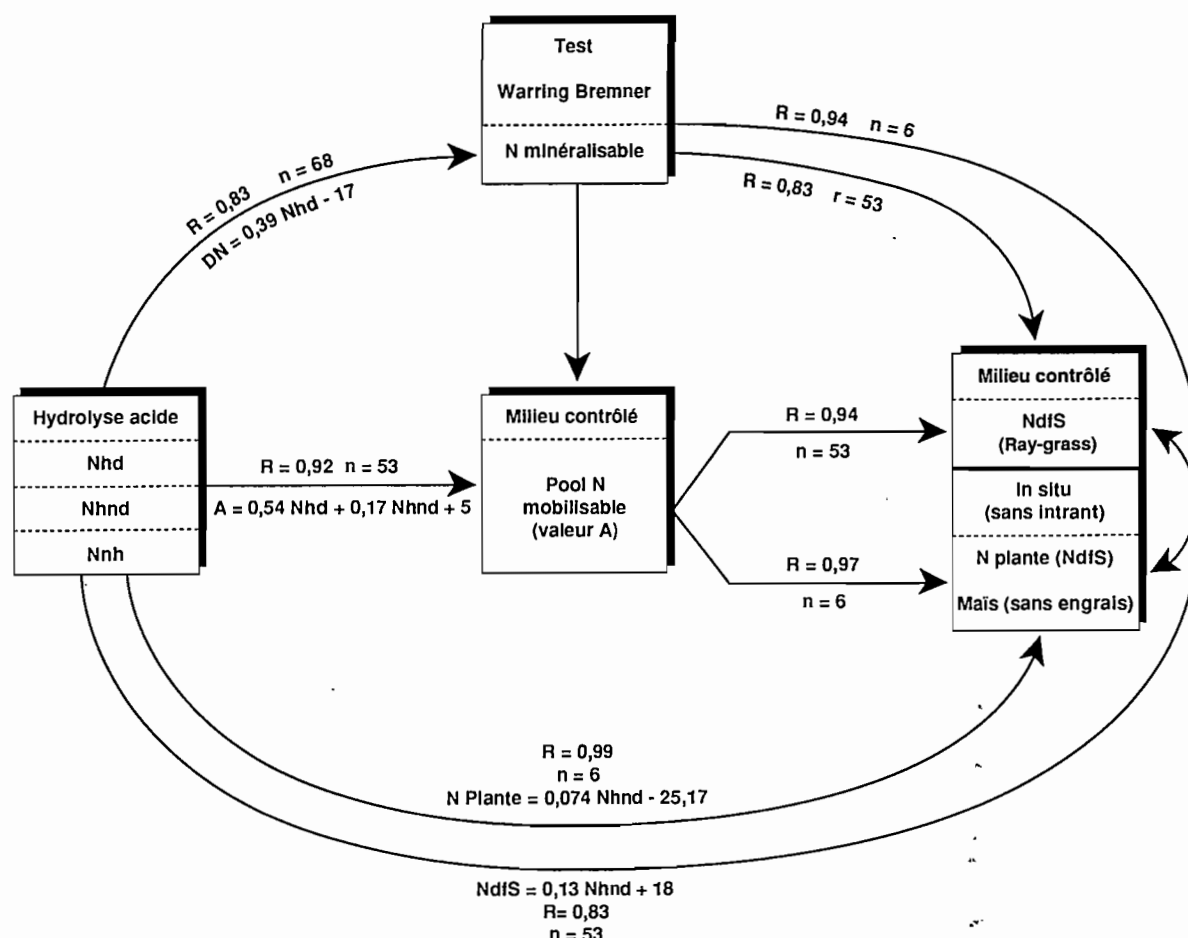


FIG. 3 – Chaîne des corrélations entre l'indicateur chimique et la fourniture d'azote par le sol.

NdfS : N fourni par le sol à la plante ;
 N plante : N total dans les parties aériennes ;
 Nhd : N hydrolysable distillable ;
 Nhnd : N hydrolysable non distillable ;
 Nnh : N non hydrolysable ;
 Test Warring : Test d'incubation *in vitro* en anaérobiose (WARRING et BREMNER, 1964) ;
 Valeur A : source N sol exprimée en équivalent engrais selon la relation $NdfS = CRU \times \text{Valeur A}$;
 CRU : Coefficient réel d'utilisation de N engrais ;
 Chain of correlations between the chemical index and the nitrogen supply by soil.

Cependant, la méthode demande une validation à la fois pour confirmer la signification des fractions distinguées et pour mieux définir le pouvoir de résolution du test. En particulier, des recherches devraient être portées sur une meilleure connaissance du déterminisme des ces fractions, *in situ*, sous l'influence de diverses pratiques culturales et des caractéristiques physico-chimiques du sol (pH, texture, fractions granulométriques). En effet, il a été montré que dans les sols sableux pauvres en

matière organique, la variation du stock en matière organique est essentiellement due aux fractions supérieures à $2 \mu\text{m}$ (FELLER *et al.*, 1991). Par conséquent, l'analyse des formes chimiques (Nhd, Nhnd et Nnh) associées aux diverses fractions granulométriques du sol devrait permettre de dégager le rôle de ces fractions dans l'alimentation azotée des cultures et, d'une manière plus générale, d'affiner et de mieux comprendre le type de relations obtenues dans le cadre de cette étude.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient : (1) l'Isra (Institut sénégalais de Recherche agricole) d'une part pour avoir autorisé cette étude et d'autre part pour sa collaboration, (2) M. Sitapha DIATTA de l'Adrao (Association pour le développement de la riziculture en Afrique de l'Ouest), réalisateur de l'expérience « Maniora », pour ses conseils et l'accès à son dossier de résultats agronomiques, (3) M. P. SIBAND, pour avoir suscité

l'exploitation analytique du dossier d'expérience « Maniora », expérience dont il fut le concepteur et qu'il a démarrée à Maniora, et pour ses conseils, (4) M. R. OLIVER pour son appui au laboratoire, sa disponibilité et ses conseils, (5) M. R. LETOURMY pour son appui aux interprétations statistiques.

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

BIBLIOGRAPHIE

- ALEKSIC (A.), BROESHART (H.), MIDDELBOE (V.), 1968. – The effect of nitrogen fertilisation on the release of soil nitrogen. *Plant and Soil*, 29 : 474-478.
- BARTHOLOMEW (W.C.), CLARK (F.E.) (eds.), 1965. – *Soil nitrogen*, Madison, American Society of Agronomy.
- BLONDEL (D.), 1971a. – Rôle de la matière organique libre dans la minéralisation en sol sableux, relation avec l'alimentation azotée du mil. *Agron. Trop.*, 26 : 1372-1377.
- BLONDEL (D.), 1971b. – Contribution à la connaissance de la dynamique de l'azote minéral : en sol sableux au Sénégal. *Agron. Trop.*, 26 : 1303-1333.
- BLONDEL (D.), 1971c. – Contribution à la connaissance de la dynamique de l'azote minéral : en sol ferrugineux tropical à Séfa. *Agron. Trop.*, 26 : 1334-1353.
- BLONDEL (D.), 1971d. – Contribution à la connaissance de la dynamique de l'azote minéral : en sol ferrugineux tropical à Nioro du Rip. *Agron. Trop.*, 26 : 1354-1361.
- BREMNER (J.M.), 1965. – « Organic nitrogen in soil » in BARTHOLOMEW W.C. and CLARK F.E. (eds.), 1965 : 93-149.
- CATROUX (G.), CHAUSSOD (R.), NICOLARDOT (B.), 1987. – Appréciation de la fourniture d'azote par le sol. *C.R. Acad. Agric. Fr.*, 73 (3) : 71-79.
- CHABALIER (P.F.), 1986. – Évolution de la fertilité d'un sol ferrallitique sous culture continue de maïs en zone forestière tropicale. *Agron. Trop.*, 41 : 179-191.
- DIATTA (S.), 1975. – Évolution sous culture des sols de plateau en Casamance continentale. Compte-rendu de deux années d'essais. *Agron. Trop.*, 30 (4) : 344-351.
- DIATTA (S.), 1989. – Évolution des sols de plateau sous culture continue. Rapport séminaire interne de l'Adrao, septembre 1989 : 47 p.
- DOMMERGUES (Y.R.), DIEM (H.G.) (eds.), 1982. – *Microbiology of tropical soils and plant productivity*, The Hague, Martinus Nijhoff and Junk W.
- EGOUMENIDÈS (C.), RISTERUCCI (A.), MELEBOU (K.E.), 1987. – Appréciation de la fertilité azotée des sols tropicaux : étude des fractions organiques de l'azote. *Agron. Trop.*, 42 : 85-93.
- EGOUMENIDÈS (C.), 1989. – Fractions organiques de l'azote dans les sols tropicaux et fertilité azotée. Acte des journées de la DRN, IRAT (ed.), Montpellier : 317-326.
- FELLER (C.), FRITSCH (E.), POSS (R.), VALENTIN (C.), 1991. – 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.
- FRIED (M.), DEAN (L.A.), 1952. – A concept concerning the measurement of available soil nutrients. *Soil Sci.*, 73 : 263-271.
- GANRY (F.), 1990. – *Application de la méthode isotopique à l'étude des bilans azotés en zone tropicale sèche*. Thèse de Doctorat d'État, Université de Nancy-I, 351 p.
- GIGOU (J.), 1982. – *Dynamique de l'azote minéral en sol nu ou cultivé de région tropicale sèche du Nord-Cameroun*. Thèse de Docteur Ingénieur, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier, 130 p.
- GUIRAUD (G.), 1984. – *Contribution du marquage isotopique à l'évaluation des transferts d'azote entre les compartiments organiques et minéraux dans les systèmes sol-plante*. Thèse de Doctorat d'État, Université P. et M. Curie, Paris-VI, 335 p.
- IAEA, 1970. – Fertilizer management practices for maize : results of experiments with isotopes. *Technical Report Series* n° 121. Vienna, Austria.
- IAEA, 1969. – *Technical Report Series* n° 120, Vienna, Austria.
- IAEA, 1971. – Nitrogen-15 in soil-plant studies. *Panel Proceeding series*, STI/PUB/278. Vienna, Austria.
- IAEA, 1974. – Isotope studies on wheat fertilization. *Technical Report Series* n° 157. Vienna, Austria.
- IAEA, 1978. – Isotope studies on rice fertilization. *Technical Report Series* n° 181. Vienna, Austria.
- IAEA, 1983. – A guide to the use of nitrogen-15 and radioisotopes in studies of plant nutrition : calculations and interpretation of data. *IAEA TECDOC-288*. Vienna, Austria.
- RENNIE (D.A.), 1969. – « The significance of the A value concept in field fertilizer studies », in IAEA (ed.), 1969 : 132-145.
- SARR (P.L.), 1978. – *Évolution de la fertilité d'un sol rouge de plateau de Casamance sous l'effet des systèmes de culture*. Mémoire de DEA, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, 35 p.

- SCHNITZER (M.), HINDLE (D.A.), 1981. – Effect of different methods of acid hydrolysis on the nitrogen distribution in two soils. *Plant and Soil*, 60 : 237-243.
- SIBAND (P.), 1974. – Évolution des caractères et de la fertilité d'un sol rouge de Casamance. *Agron. Trop.*, 29 : 1228-1248.
- STANFORD (G.), 1982. – « Assessment of soil nitrogen availability », in STEVENSON F.J. (ed.), 1982 : 651-688.
- STEVENSON (F.J.) (ed.), 1982. – *Nitrogen in agricultural soils*, Madison, American Society of Agronomy.
- STEWART (B.A.), PORTER (L.K.), JOHNSON (D.D.), 1963. – Immobilization and mineralization of nitrogen in several organic fractions of soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 27 : 302-304.
- WANEUKEM (V.), 1991. – *Test de diagnostic de la fertilité azotée d'un sol tropical. Essai de validation in situ d'un indicateur chimique du sol*. Mémoire de DEA, INPT-Ensa, Toulouse, 39 p. + annexes.
- WARING (S.A.), BREMNER (J.M.), 1964. – Ammonium production in soil under waterlogged conditions as an index of nitrogen availability. *Nature*, 4922 : 951-952.
- WETSELAAR (R.), GANRY (F.), 1982. – « Nitrogen balance in tropical agrosystems » in DOMMERGUES Y.R. and DIEM H.G. (eds.), 1982 : 1-35.

Le phosphore dans les vertisols de la Martinique (Petites Antilles) Relations avec la matière organique

Michel BROSSARD (1) et Jean-Yves LAURENT (2)

(1) Orstom c/o CPB-CNRS - BP 5, 54501 Vandœuvre-lès-Nancy cedex.

(2) Laboratoire matière organique des sols tropicaux, Orstom, BP 8006, 97259 Fort-de-France cedex.

RÉSUMÉ

Suite à un inventaire agropédologique des vertisols du sud-est de la Martinique, neuf situations caractérisées par des histoires culturales très différenciées ont été sélectionnées. Les phosphores total (P_t), inorganique (P_i) et organique (P_o) ont été déterminés sur sols totaux et sur les fractions granulométriques de deux sols, l'un portant une prairie (Pr9) et l'autre un maraîchage (M11). Les cultures maraîchères (M) sont comparées aux jachères longues (J) et prairies (Pr). Ces sols se caractérisent par de fortes différences de teneurs de matière organique. Les teneurs de P_t dans les sols M et J sont comparables, mais sont inférieures à celles observées sous Pr. Jachères et prairies induisent l'accumulation de P_o . Les teneurs élevées de matière organique dans les sols sous jachère et prairies sont dues à l'abondance de débris végétaux (fractions $> 50 \mu m$) et à la fraction organo-minérale 0-5 μm . La comparaison des horizons 0-10 cm des sols Pr9 et M11 fait apparaître un contenu élevé de P_o sous prairie dans la fraction 0-5 μm et de P_i dans les fractions $> 50 \mu m$. Le contenu de P_o de la fraction 0-5 μm explique 51 % de la différence de P_i entre Pr9 et M11. Les mécanismes impliqués dans le stockage du phosphore de ces vertisols sont discutés.

MOTS CLÉS : Phosphore total – Phosphore inorganique – Phosphore organique – Carbone – Fractionnement granulométrique – Pâturage – Maraîchage.

ABSTRACT

PHOSPHORUS IN VERTISOLS OF MARTINIQUE (WEST INDIES). RELATIONS WITH ORGANIC MATTER

In an agropedological inventory nine sites were chosen as representative of different farming practices on vertisols. Total (P_t), inorganic (P_i) and organic (P_o) phosphorus were quantified in whole soils, and in particle size fractions of two situations, pasture (Pr9) and market gardening (M11). Systems with short fallows (M) are compared to long term fallows (J) and to pastures (Pr) (table II). The amounts of total phosphorus (P_t) are equivalent in M and J sites, and lower than in Pr sites (table II, fig.1). Fallows and pastures improve the P_o accumulation (fig. 3). In comparison with soils under market gardening the high levels of organic matter in soils observed after fallows or pastures are mostly due to an increase of plant residues (fractions $> 50 \mu m$), and to the organo-mineral fraction (fraction $< 5 \mu m$) (table III and IV). The comparison between the 0-10 cm layer of the M11 and Pr9 sites showed a high level of P_o in 0-5 μm fraction under pasture and an accumulation of P_i in the $> 50 \mu m$ fractions. The P_o content in the 0-5 μm fraction explains 51 % of the P_i difference between M11 and Pr9. These results are discussed in terms of soil-P processes.

KEY WORDS: Total phosphorus – Inorganic phosphorus – Organic phosphorus – Carbon – Particle size fractionation – Pasture – Market gardening.

INTRODUCTION

Depuis une vingtaine d'années dans le sud-est de la Martinique, suite à l'abandon de la monoculture de la canne à sucre, des cultures prairiales et maraîchères se sont largement développées sur vertisols grâce à l'installation d'un vaste réseau d'irrigation. Or, selon le mode de gestion des vertisols, prairies ou cultures maraîchères, et le niveau d'intensification, on observe, en 5 à 10 ans, une forte différenciation des teneurs de matière organique des horizons de surface : teneurs voisines de 2 % sous cultures maraîchères et de 5 % sous prairies (ALBRECHT *et al.*, 1992 a).

Le mode d'utilisation du sol, et en particulier le type de couverture végétale, influence son contenu de phosphore organique sous climats tempérés (HARRISON, 1987). La mise en culture de sols tropicaux modifie leur contenu de phosphore organique (ENWEZOR et MOORE, 1966). Cependant, les travaux ayant pour thème l'étude des formes du phosphore en relation avec la matière organique (quantité et nature) dans les vertisols sont peu nombreux (HARRISON, 1987).

Il apparaît donc intéressant de comparer les effets du type de situations culturales sur la distribution du phosphore entre formes organiques et inorganiques, et ce, en relation avec les modifications des stocks organiques.

L'étude porte sur l'analyse des teneurs de phosphore total, inorganique et organique dans diverses situations agropédologiques. Une approche par fractionnement granulométrique du sol permet ensuite de préciser les relations matière organique-phosphore.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Les sols et les situations étudiés

Les caractéristiques analytiques moyennes des sols sont présentées dans le tableau I. Les situations agropédologiques (tabl. II) ont été inventoriées par TYBURN (1986). Il s'agit de vertisols lithomorphes (vertisols à drainage externe, à structure anguleuse, modaux ; CPCS, 1967). L'épaisseur des sols est variable, de 40 à plus de 80 cm.

Dans le sud-est de la Martinique la durée de la saison sèche est de 4 à 6 mois en moyenne, avec cependant de très fortes variations inter-annuelles. L'irrigation est essentielle pour assurer une production végétale régulière. Les situations suivantes sont étudiées (tabl. II) : prairies à *Digitaria decum-*

bens (Pr), jachères pâturées (JP) (avec parfois introduction ancienne de *Digitaria decumbens*) et jachères arborées (Ja), cultures maraîchères (M). Les situations prairiales et maraîchères peuvent être plus ou moins intensifiées. Sont considérées comme intensifiées : 1. les prairies plantées ou semées, disposant de l'irrigation toute l'année, et d'une fertilisation fractionnée ; 2. les cultures maraîchères irriguées continues dont la jachère intercalaire entre deux cycles n'a pas une durée excédant 6-7 mois, le sol restant généralement sans végétation pendant cette période. Dans les situations intensives les quantités annuelles de phosphore-engrais (di-ammonium phosphate, phosphate mono-calcique) apportées aux prairies et maraîchages sont équivalentes, de 70 à 80 kg P.ha⁻¹.an⁻¹. La profondeur de labour est comprise, en général, entre 15 et 20 cm.

Deux échantillons de sols (0-10 cm), Pr9 et M11, prairie et cultures maraîchères intensifiées (Station d'Études en Cultures Irriguées, Sainte-Anne), sont plus particulièrement étudiés. L'historique des successions culturales de ces parcelles est le suivant :

– Pr9 : avant 1973 canne à sucre, 1973-78 jachère, prairie à *Digitaria decumbens* depuis 1978, prélèvement en 1987 ;

TABLEAU I
Caractéristiques analytiques moyennes
et valeurs extrêmes observées des horizons 0 à 20 cm
des vertisols étudiés (n = 8)
Analytical data of 0 to 20 cm layers of studied vertisols
(mean and limit values)

	min.	max.	moyenne
Texture : 0-20 µm %	60	70	68
γ _a g.cm ⁻³	0,7	1,2	1,1
pH eau	5,5	7	6,3
pH KCl	4,7	5,9	5,2
MO % 0-20 cm	2	7	4,4
Pt µg.g ⁻¹	100	400	220
CEC cmol.kg ⁻¹	40	60	55
S "	36	58	46
Ca ⁺⁺ "	15	28	22
Mg ⁺⁺ "	9	25	16
K ⁺ "	0,3	1,4	0,7
Na ⁺ "	2,2	6	3,3
Al ⁺⁺⁺ + H ⁺ "	0,1	0,5	0,2
S/CEC %	74	97	88

γ_a : densité apparente

S : Σ cations

TABLEAU II
Principales situations étudiées et données analytiques des sols
Main studied sites and soils analytical data

durée : années										
Prairie à <i>Digitaria decumbens</i> fortement intensifiée	Pr	9								
Prairie à <i>Digitaria decumbens</i> moyennement intensifiée	Pr	10								
Prairie à <i>Digitaria decumbens</i> faiblement intensifiée	Pr'	10								
Jachère pâturée "améliorée" (= <i>Digitaria decumbens</i>)	JP	10								
Jachère pâturée "peu améliorée" (= <i>Digitaria decumbens</i>)	JP	15								
Jachère arborée longue durée peu pâturée	Ja	> 15								
Maraîchage fortement intensifié	M	11								
Maraîchage moyennement intensifié	M'	10								
Maraîchage faiblement intensifié	M''	10								

Localisation	Occupation du sol	Pré.* p/m	H _z ** cm	δa g.cm ⁻³	C ‰	N ‰	C/N	P total μg P.g sol ⁻¹	P total kg.ha ⁻¹	pH H ₂ O	pH KCl
SECI	M 11	m	0-10	0,99	12,20	1,10	11	222	220	6,24	5,13
			10-20	1,18	12,30	1,10	11	209	247	6,43	5,23
			20-40	0,99	11,80	1,20	10	189	374	6,06	4,94
Ex.Gusto Les Anglais	M' 10	m	0-10	0,99	20,01	2,20	9	211	209	6,92	5,94
			10-20	0,71	21,20	2,73	8	233	165	6,82	5,94
			20-40	1,03	19,51	2,39	8	183	377	6,91	5,91
Ex.Laguignerais Pte.Cailloux	M'' 10	m	0-10	0,95	17,86	1,92	9	253	240	6,87	6,03
			10-20	1,04	16,70	2,88	6	257	267	7,66	6,9
			20-40	1,02	17,00	1,98	9	192	392	6,47	5,43
Ex.usine du Marin face SECI	JP 10	p	>70		20,16	2,16	9	61		5,18	3,93
			0-10	1,02	27,68	2,53	11	262	267	5,87	5,02
			10-20	1,22	17,54	1,79	10	209	255	6,2	5,1
Ex.Volny St.Anne	Jp 15	m	20-40	1,14	12,80	1,50	9	118	269	6,61	5,36
			p		0-7	36,55	12	379		5,69	4,97
					7-45	9,62	9	92		6,45	5,16
face Ex.Gusto Les Anglais	Ja	m	45-75		4,84	0,80	6	57		6,66	5,15
			0-10	1,24	25,47	2,02	13	174	216	6,4	5,21
			10-20	0,93	15,28	1,54	10	109	101	6,37	5,06
SECI	Pr 9	m	20-40	1,01	12,78	1,35	10	105	212	6,21	4,9
			p		40-50	4,96	10	26		6,51	5,36
					50-60	3,69	9	26		6	4,77
Ex.Aselin Vauclin	Pr 10	m	0-10	0,72	40,66	4,20	10	244	176	6,05	5,09
			10-20	1,04	25,69	2,84	9	174	181	6,22	5,09
			20-40	1,04	20,32	2,24	9	135	281	6,35	5,1
Ex.Aselin Vauclin	Pr' 10	m	p		40-60	12,40	6	74		4,72	3,73
					>60	5,25	8	87		4,73	3,64
			0-10	0,98	26,98	2,27	10	353	346	5,5	4,77
Ex.Aselin Vauclin	Pr 10	m	10-20	1,01	19,50	1,84	9	216	218	5,88	5,01
			20-40	1,03	14,50	1,54	8	190	391	6,09	5,14
			0-10	1,06	44,47	4,17	11	363	385	6	4,86
Ex.Aselin Vauclin	Pr' 10	m	10-20	1,16	29,21	2,91	10	271	314	6,22	4,93
			20-40	1,21	20,69	2,08	10	236	571	6,41	4,98
			p		45-50	15,74	11	235		6,65	5,19
Ex.Aselin Vauclin	Pr' 10	m	60-70		5,95	0,62	10	83		7,05	5
			0-10	1,14	46,12	3,98	12	288	328	5,86	4,76
			10-20	1,21	28,00	2,99	9	192	232	5,98	4,72
Ex.Aselin Vauclin	Pr' 10	m	20-40	1,15	19,84	2,07	10	166	382	6	4,71
			p		70-75	9,23	8	192		5,78	4,37

* Type de prélèvement : m : échantillon moyen de l'horizon dans la parcelle (tarrière)

p : échantillon moyen de l'horizon dans la fosse pédologique

** H_z : horizon

— M11 : avant 1975 canne à sucre, depuis 1975 cultures maraîchères intensives, prélèvement en 1986.

Les méthodes

ANALYSE DU PHOSPHORE

Le phosphore total (P_t) est déterminé après calcination ($550\text{ }^{\circ}\text{C}$) de l'échantillon et reprise par l'acide nitrique pur à chaud. La quantité de phosphore organique (P_o) est obtenue par le calcul de la différence des quantités de phosphore extraites à l'acide sulfurique 2N avant et après calcination (ANDERSON, 1960). Le phosphate de tous les extraits est dosé par colorimétrie (DUVAL, 1962). Le phosphore total extractible par l'eau au pH du sol et à pH 10, lors de la dispersion des sols qui précède le fractionnement granulométrique, est déterminé après attaque nitrique. La teneur de phosphore inorganique de ces extraits est déterminée par colorimétrie selon JOHN (1970).

FRACTIONNEMENT GRANULOMÉTRIQUE DU SOL

La méthode est celle précédemment utilisée lors de l'étude de la matière organique des mêmes sols (ALBRECHT *et al.*, 1986). La dispersion des échantillons est effectuée par agitation dans l'eau (rapport sol/eau = 1/10) pendant 17 heures, puis le mélange est amené et maintenu à pH 10 (q.s.p. NaOH 0,1 N à l'aide d'un titrateur automatique) sous agitation pendant deux heures. La phase soluble est séparée par décantation rapide ; le culot est tamisé sous eau à 200, 50 et 20 μm ; les fractions 5-20 et 0-5 μm sont séparées par sédimentation. Il est ainsi obtenu les fractions F > 200, F 50-200, F 20-50, F 5-20, F 0-5 μm . Par densimétrie dans l'eau les fractions légères Fl > 200 et Fl 50-200 sont séparées des fractions denses (sableuses) Fd > 200 et Fd 50-200 (FELLER, 1979). Les échantillons Pr9 et M11 ont été fractionnés selon ce protocole.

Le carbone et l'azote des sols et des fractions granulométriques ont été déterminés par voie sèche (auto-analyseur CNS NA 1500 Carlo Erba).

ERREUR SUR LA MESURE DES STOCKS DE PHOSPHORE

Les coefficients de variation sont compris entre 1,7 et 3 % ($n = 3$) lors de la détermination de la teneur de P_t d'un horizon. Les écart-types varient de 4,4 à 9,6 $\text{kg } P_t \cdot \text{ha}^{-1}$ pour l'ensemble des horizons étudiés. Aussi pour un même horizon (0-10, 10-20, 20-40 cm) les stocks de deux situations ont été considérés : 1. non différents si la différence de P_t est comprise entre 0 et 10 $\text{kg } P_t \cdot \text{ha}^{-1}$; 2. diffé-

rents si la différence est supérieure à 10 $\text{kg } P_t \cdot \text{ha}^{-1}$. Les coefficients de variation des déterminations de la teneur de phosphore des extraits H_2SO_4 sont de 2,5 à 3 %, soit de 5 à 6 % pour la détermination du P_o d'un horizon.

RÉSULTATS

Phosphore total (P_t), organique (P_o) et inorganique (P_i) des sols

Toutes situations confondues les teneurs de phosphore total des horizons 0-10 cm sont comprises entre 174 et 363 $\mu\text{g } P_t \cdot \text{g}^{-1}$ sol ; celles des horizons 10-20 cm entre 96 et 271 $\mu\text{g } P_t \cdot \text{g}^{-1}$ sol (fig. 1).

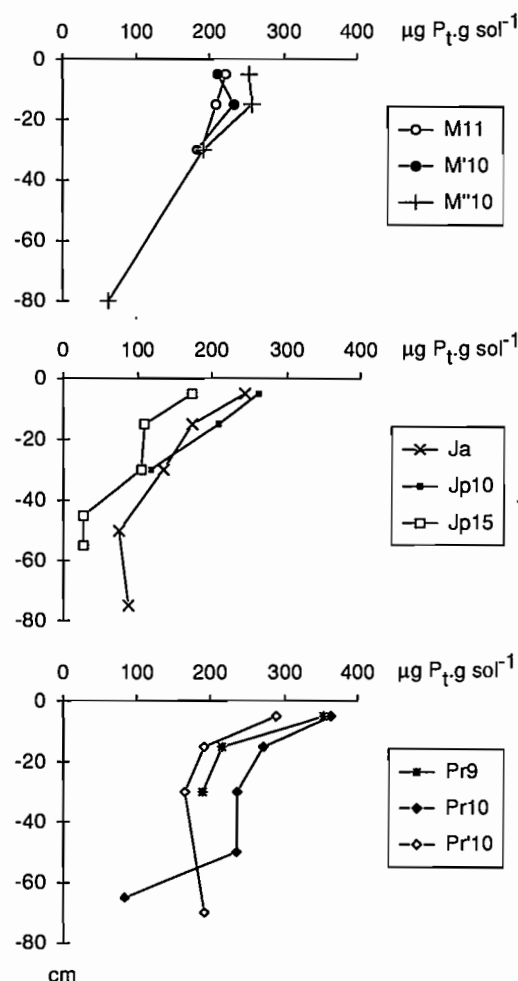


FIG. 1 — Répartition des teneurs de phosphore total dans les profils de sols sous maraîchage (M), jachères (J) et prairies (Pr). Total phosphorus contents in soil under market gardening (M), fallows (J) and pastures (Pr).

Seules les teneurs de P_t des horizons 0-10 cm des prairies sont significativement supérieures à celles observées sous maraîchages et jachères. Les valeurs de P_t diminuent avec la profondeur. Les teneurs de P_t des horizons 20-40 cm sous maraîchages sont comparables à celles observées sous prairies, et supérieures à celles observées sous jachères. À plus de 40 cm de profondeur les teneurs de P_t sont inférieures à $100 \mu\text{g.g}^{-1}$ et sont semblables, sauf pour la situation Pr'10 qui est un des sols les plus profonds.

Il existe une relation linéaire positive entre les stocks de carbone et de phosphore total des horizons 0-10 et 10-20 cm des sols étudiés (fig. 2).

Le classement des stocks de phosphore total de la couche de sol 0-40 cm exprimés en kg P.ha^{-1} est le suivant (tabl. II) :

$Jp15 < Ja < M'10 \leq Jp10 < M11 < M''10 < Pr'10 \leq Pr9 < Pr10$

avec : $529 < J < 791 \text{ kg P.ha}^{-1}$;

$751 < M < 899 \text{ kg P.ha}^{-1}$;

et $942 < Pr < 1270 \text{ kg P.ha}^{-1}$.

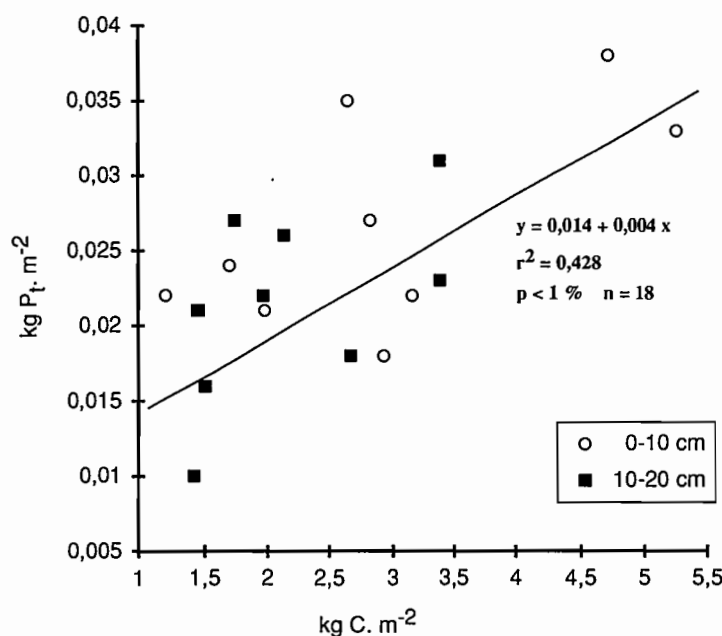


FIG. 2 – Relation entre les contenus de carbone et de phosphore total des horizons 0-10 et 10-20 cm.
Total carbon and phosphorus contents relation in 0-10 and 10-20 cm layers.

La figure 3 illustre la répartition de 0 à 40 cm de profondeur des quantités (kg P.ha^{-1}) de P_t , P_i et P_o des situations M11, M'10, Pr9 et Ja. Le phosphore inorganique est le plus abondant sous maraîchage ($P_o/P_i < 1,1$), alors que le phosphore organique domine sous jachère et prairie ($P_o/P_i > 1,2$). Les quantités relatives de P_i et P_o sont dépendantes du mode d'exploitation du sol. Pour la couche de sol 0-40 cm, les stocks de P_o et P_i se classent de la manière suivante :

pour P_o : $M11 < M'10 = Ja < Pr9$;

pour P_i : $Ja < M'10 = Pr9 < M11$.

Les rapports C/P_o (fig. 3) sont les plus élevés dans le sol sous jachère (Ja) : 295, 238, et 254 de 0 à 40 cm de profondeur. Les situations M11, M'10

présentent des rapports C/P_o voisins dans les deux horizons superficiels, entre 177 et 189. Les C/P_o les plus faibles sont observés dans le sol Pr9, 141 en surface et 117 en profondeur.

Fractionnement granulométrique des sols M11 et Pr9 et distribution du phosphore dans les fractions

BILANS DES FRACTIONNEMENTS

La comparaison des résultats pondéraux du fractionnement granulométrique (sans destruction de MO) avec l'analyse mécanique (après destruction MO) montre que l'échantillon M11 a été bien dispersé lors du fractionnement granulométrique (tabl. III). Par contre les fractions F 5-20 et F 20-50

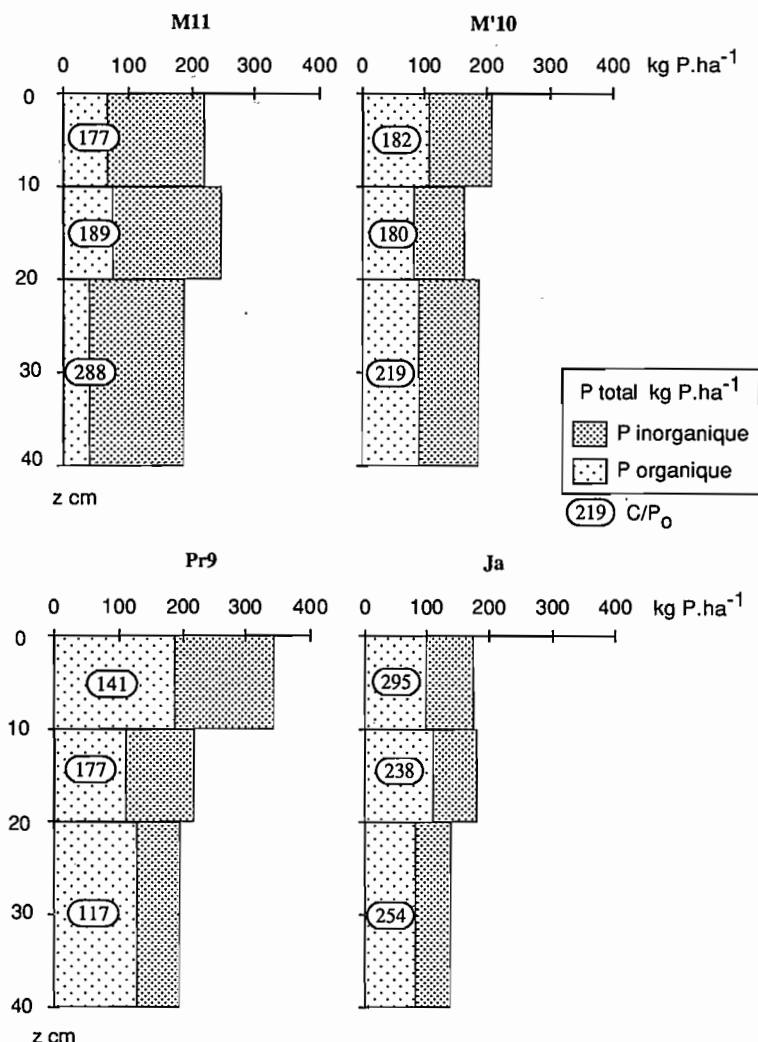


FIG. 3 – Répartition du phosphore total, inorganique et organique (kg.ha^{-1}) et rapports C/P_0 de vertisols sous maraîchages (M'10 et M11), prairie (Pr9) et jachère arborée (Ja).

Distribution of total, inorganic and organic phosphorus (kg.ha^{-1}) and C/P_0 ratios of vertisols with market gardening (M'10 and M11), pastures (Pr9) and arborescent fallows (Ja).

de l'échantillon Pr9 ne sont pas totalement dispersées après fractionnement granulométrique (présence d'argiles) puisque leurs teneurs pondérales sont supérieures à celles obtenues par l'analyse mécanique. L'observation de ces fractions au microscope confirme la présence d'agrégats organo-limono-argileux.

Les sommes des fractions pour Pt, Pi, Po ($\mu\text{g.g sol}^{-1}$), et C (mg.g sol^{-1}) sont comprises respectivement entre 105 % et 107 %, 107 % et 116 %, 102 % et 99 %, et 89 % et 100 % de l'élément dosé directement sur le sol total (tabl. IV). Ces bilans sont acceptables compte tenu du nombre de fractions séparées.

NATURE ET CONTENU DE CARBONE DES FRACTIONS (tabl. III et IV)

Les fractions Fd sont essentiellement constituées de sables siliceux. Les fractions Fl sont constituées de débris racinaires fragmentés peu décomposés. Les teneurs ($\text{mgC.g fraction}^{-1}$) et le contenu (mgC.g sol^{-1}) de carbone des fractions minérales Fd > 200 et Fd 50-200 sont négligeables dans ces sols, sauf pour la fraction Fd > 200 de l'échantillon Pr7, dans laquelle des débris végétaux subsistent suite à une séparation imparfaite. La somme des fractions Fl représente respectivement 11 % et 27 % du carbone total des échantillons M11 et Pr9.

TABLEAU III

Bilans pondéraux de l'analyse mécanique et du fractionnement granulométrique, rapports C/N et nature des fractions
Weight balance of the particle size analysis and particle size fractionation, C/N ratios and nature of fractions

Fractions μm	Masse g.100 g sol ⁻¹			C/N	Nature des fractions *
	Analyse mécanique	Fractionnement granulométrique			
		moyenne	écart-type		
Maraichage					
Fd > 200	9,0	10,1	0,8	6,8	sables siliceux, bipyramidaux
Fl > 200		0,3	0,1	19,5	débris de racines fragmentés
Fd 50-200	14,2	14,1	0,8	13,6	sables siliceux
Fl 50-200		1,4	0,2	19,0	débris de racines fragmentés
F 20-50	6,0	8,7	1,9	14,7	particules minérales siliceuses propres, débris végétaux en cours de décomposition
F 5-20	10,8	10,4	0,8	12,3	particules minérales siliceuses propres, débris végétaux humifiés
F 0-5	55,9	52,8	1,8	7,7	** Montmorillonite, interstratifiés, cristobalite
M.O.	2,1				
Σ fractions	98,0	97,9			
Sol total	100,0	100,0		11,1	
Prairie					
Fd > 200	14,5	13,9	1,0	88,1	sables siliceux, bipyramidaux
Fl > 200		0,9	0,1	26,4	racines fines et débris de racines fragmentés
Fd 50-200	17,7	17,9	0,7	11,5	sables siliceux
Fl 50-200		2,4	0,4	16,1	débris de racines fragmentés, partiellement décomposés
F 20-50	2,9	9,1	0,7	13,1	particules minérales siliceuses propres, débris végétaux décomposés, agrégats non dispersés
F 5-20	10,8	15,6	0,9	13,2	particules minérales siliceuses propres, débris végétaux humifiés, agrégats non dispersés
F 0-5	50,5	36,6	1,0	8,6	** Montmorillonite, interstratifiés, cristobalite
M.O.	4,7				
Σ fractions	100,9	96,4			
Sol total	100,0	100,0		11,9	

* Observations optiques et ** diffraction RX sur fraction 0-2 μm

Les fractions F 20-50 et F 5-20 sont constituées de limons siliceux et de débris végétaux et fongiques, elles contiennent moins de 10 % du carbone total des sols. Dans le cas de l'échantillon Pr9 nous avons observé quelques agrégats incomplètement dispersés.

L'observation en microscopie électronique à transmission (CHOTTE, comm. pers.) des fractions F 0-5 montre qu'elles sont constituées de colloïdes organo-minéraux, de bactéries, de débris figurés non identifiables. Respectivement 57 % et 43 % du carbone du sol sont contenus dans la fraction F 0-5 des échantillons M11 et Pr9.

Les quantités de carbone dans la fraction soluble n'ont pas été dosées ici, mais, pour d'autres échantillons provenant des mêmes situations, cette fraction représente environ 4 % du carbone total.

TENEURS DE P_t , P_i ET P_o DANS LES FRACTIONS GRANULOMÉTRIQUES (tabl. IV)

Les teneurs de P_t , P_i , et P_o des fractions du sol Pr9 sont supérieures à celles du sol M11, sauf pour la fraction F 5-20 μm dont les teneurs de phosphore sont identiques.

DISTRIBUTION DU PHOSPHORE DANS LES FRACTIONS GRANULOMÉTRIQUES

Les fractions supérieures à 50 μm contiennent 11 % et 23 % du P_t respectivement dans les échantillons Pr9 et M11. Les fractions comprises entre 5 et 50 μm représentent 14 % et 15 % P_t , les fractions 0-5 μm 64 % et 54 % du P_t respectivement dans les échantillons Pr9 et M11. La fraction soluble représente de 13 à 15 % du P_t , et est dominée par du phosphore minéral (63 à 73 %) (tabl. IV).

La différence $\Delta P_t = 143 \mu\text{g.g sol}^{-1}$ de P_t entre les deux échantillons est due essentiellement au contenu de P_o ($\Delta P_o / \Delta P_t = 0,83$). Les fractions F 0-5 μm et supérieures à 50 μm représentent respectivement 62 et 25 % de ΔP_o .

DISCUSSION ET CONCLUSIONS

Contenu de phosphore des sols

Les contenus de phosphore total des sols cultivés sont déterminés par la teneur de phosphore des roches-mères et les apports d'engrais. Dans

TABLEAU IV
Phosphore et carbone des fractions granulométriques des sols maraîcher M11 et prairial Pr9
Phosphorus and carbon distribution in particle size fractions, market gardening M11 and pasture Pr9 soils

Fractions μm	P total		P inorganique			P organique			CARBONE		
	$\mu\text{g g}^{-1}$	$\mu\text{g g}^{-1}$	$\mu\text{g g}^{-1}$	Pt %Pt	Pi %Pi	Pi %Pi	$\mu\text{g g}^{-1}$	Po %Po	C/Po	mg g ⁻¹ fract ⁻¹	C % Ctotal
Maraîchage											
Fd > 200	10,14	69,19	55,57	3,16	3,67	2,54	13,62	1,38	79	1,08	0,11
Fi > 200	0,3	375,2	20,65	0,5	0,04	0,03	354,55	1,06	199	70,42	0,21
Fd 50-200	14,14	77,83	61,98	11	4,95	3,94	15,85	2,24	86	1,36	0,19
Fi 50-200	1,44	355,33	20,00	2,3	0,19	0,13	335,33	4,83	237	79,51	1,15
F 20-50	8,68	195,69	159,19	7,64	8,99	6,21	36,5	3,17	381	13,92	1,21
F 5-20	10,42	147,26	137,88	6,9	9,35	6,46	9,38	0,98	982	9,21	0,96
F 0-5	52,75	271,46	182,14	64,4	62,49	43,21	89,32	47,12	148	13,23	6,98
soluble		34,29	24,87	15,42	16,17	11,18		9,42			nd
Σ fractions		234,08	163,90	105,3	106,59	73,70		70,20			10,8
Sol total		222,38	153,76	100	69,14			68,62			12,2
Prairie											
Fd > 200	13,92	237,3	137,24	9,35	11,74	5,41	100,06	13,93	255	25,56	3,56
Fi > 200	0,92	542,8	31,40	1,42	0,18	0,08	511,4	4,70	652	333,61	3,08
Fd 50-200	17,9	125,5	130,83	6,36	14,39	6,63	0	0		3,1	0,55
Fi 50-200	2,4	875,51	32,04	5,95	0,47	0,22	843,47	20,24	203	171,56	4,12
F 20-50	9,08	364,39	233,39	9,36	13,02	5,99	131	11,89	181	23,69	2,15
F 5-20	15,63	141,6	134,33	6,26	12,90	5,94	7,27	1,14	1560	11,34	1,77
F 0-5	36,58	526,47	199,16	54,51	44,77	20,62	327,31	119,74	98	31,95	11,69
soluble		47,64	30,12	13,48	18,51	8,53		17,52			nd
Σ fractions		376,99	188,75	106,7	115,99	53,42		189,17			26,93
Sol total		353,3	162,73	100	46,06			190,57			26,98

l'ensemble des situations étudiées les teneurs de P_t des roches-mères, non ou peu altérées, sont semblables (GRUNEVALD, 1965). Les sols étudiés ont un fort pouvoir fixateur vis-à-vis des ions phosphate (BROSSARD *et al.*, 1988). En l'absence de données initiales sur le phosphore des sols sous culture de canne à sucre, avant la mise en place des prairies et maraîchages, le fond géochimique de phosphore peut être estimé par les teneurs de P_t observées sous cultures de très longue durée de canne à sucre. COLMET DAAGE *et al.* (1967-70) indiquent une teneur de P_t de l'horizon 0-20 cm de $318 \mu\text{g P g sol}^{-1}$, soit $668 \text{ kg } P_t \cdot \text{ha}^{-1}$ (densité apparente γ_a de $1,05 \text{ g cm}^{-3}$). Ce stock est équivalent à celui mesuré dans la situation Pr10, légèrement supérieur à celui mesuré en Pr9 et Pr'10, et supérieur à ceux des autres situations pour une couche de sol de même épaisseur (tabl. II). Compte tenu de la variabilité inter-parcellaire existante, les prairies étudiées contribuent à maintenir le stock de P_t issu de la culture de canne.

Les stocks plus faibles de P_t observés dans les jachères et M'10 sont expliqués par l'absence de fertilisation depuis la fin de la culture de canne. Les apports de phosphore ne peuvent provenir que des déjections animales. Or, celles-ci sont faibles (moins de 10 brebis/ha) sur parcelles non irriguées (MAHIEU, 1990).

Malgré une fertilisation identique, les stocks de P_t sous cultures maraîchères intensives sont plus faibles que ceux observés sous prairies. Ceci peut être dû à une érosion en nappe importante des parcelles maraîchères (ALBRECHT *et al.*, 1992 b) entraînant en bas de pente du phosphore associé aux particules argileuses.

Relation carbone-phosphore des sols

Dans la couche 0-40 cm, les teneurs élevées de carbone dans les sols sont induites par des longues durées de jachères ou de prairies. Elles s'accompagnent d'un contenu élevé de phos-

phore organique. La situation Ja est un exemple en l'absence de fertilisation, la situation Pr9 un exemple en présence de fertilisation (fig. 3). Les cultures intensives, M11, conduisent à privilégier le stockage de phosphore sous forme inorganique. M'10 est une situation où les durées de jachères sont plus longues et le sol enherbé, si bien que l'on observe un équilibre entre P_o et P_i . Le rôle de stockage du phosphore par la matière organique du sol est illustré par la relation entre les quantités de carbone et de phosphore contenus dans les horizons superficiels (fig. 2).

Comparaison des sols de type maraîcher et prairial

La différence de stock de phosphore total entre le sol M11 et le sol Pr9 est expliquée par l'horizon 0-10 cm : M11 contient 220 kg P_{ha}^{-1} , dont 31 % de P_o , et Pr9 346 kg P_{ha}^{-1} , dont 54 % de P_o . Dans ces horizons les contenus de P_i ne sont pas significativement différents : 152 kg $P_i \cdot \text{ha}^{-1}$ dans M11 et 159 kg $P_i \cdot \text{ha}^{-1}$ dans Pr9. P_o explique donc les différences entre M11 et Pr9.

Le fractionnement granulométrique de ces sols permet de préciser la répartition des formes du phosphore total, organique et inorganique des sols.

Dans le sol M11 le stock de phosphore est inorganique et contenu dans la fraction 0-5 μm . Ceci s'explique par le fait que les sols étudiés ont une texture très argileuse, et que ce sont les fractions argileuses qui présentent le pouvoir fixateur le plus élevé à l'égard du phosphore, les fractions limono-sableuses constituées de silice cristallisée étant peu fixatrices (SEXE, 1989). Aussi, en l'absence d'une forte densité racinaire, les apports d'engrais sont préférentiellement fixés par les fractions minérales du sol. Sous prairie le feutrage dense de racines en surface du sol sur une épaisseur de 3 à 5 cm constitue un facteur d'interception de l'apport plus efficace que celui existant sous les cultures maraîchères.

Les fractions F 0-5 μm et de taille supérieure à 50 μm représentent respectivement 62 % et 25 % de la différence de P_o entre les deux sols. Deux compartiments de stockage du phosphore sont mis en évidence. Le premier est formé par les débris végétaux associés aux fractions sableuses, le second par la fraction organo-argileuse F 0-5 μm . La fraction F 5-20 joue un rôle négligeable dans le stockage du phosphore total, et en particulier du phosphore organique. Ces compartiments varient quantitativement et qualitativement selon le

niveau des restitutions racinaires comme le montre la comparaison prairie-maraîchage. Ces résultats rejoignent les données bibliographiques. WILLIAMS et STEINBERG (1958) envisagent deux compartiments de P_o , l'un ayant des C/P_o voisins de 100 où le phosphore est combiné à C, N ou S dans les colloïdes, l'autre où le P_o n'est pas associé à la matière organique. TURCHENEK et OADES (1979) montrent que le P_i de fractions granulodensimétriques est associé aux fractions densimétriques les plus légères constituées de débris végétaux (taille > 20 μm), et aux « matériaux » microbiens associés aux limons fins et argiles. Dans les chernozems sous prairies, les teneurs de P_o les plus élevées sont mesurées dans les fractions granulométriques comprises entre 0,2 et 5 μm (TIESSEN et STEWART, 1983), fractions qui sont caractérisées par des contenus élevés de carbone avec des rapports C/N d'environ 10 et des rapports C/P_o voisins de 50 (TIESSEN *et al.*, 1983). Dans un sol ferrugineux tropical à texture sableuse, 43 à 71 % du P_i est contenu dans la fraction granulométrique 0-50 μm , le restant étant dans les fractions de taille supérieure à 50 μm (FELLER *et al.*, 1987).

Le phosphore des fractions Fl est originaire de débris végétaux variés (parties aériennes, racines). Ces débris Fl > 200 μm de Pr9 sont peu décomposés (teneur de C = 334 %, C/N = 26,4) et présentent le rapport $C/P_o = 652$ le plus élevé des fractions Fl. La valeur de ce rapport est inférieure dans la fraction Fl 50-200 pour lequel $C/P_o = 203$. Elle correspond à une décomposition accrue des structures végétales avec baisse de la teneur de carbone (172 %) et C/N = 16. Si les rapports C/N de 12,3 et 13,2 des fractions F 5-20 illustrent l'existence d'un mélange de matières organiques à caractère végétal et amorphe, leur rapport $C/P_o > 900$ indique que la matière organique a perdu une partie importante du phosphore initialement présent, le phosphore restant étant essentiellement sous forme minérale.

Deux processus permettent d'expliquer le stockage de P_o dans la fraction F 0-5 μm :

(1) l'adsorption directe de composés organophosphatés issus de débris végétaux ou des produits de l'activité racinaire et microbienne (exsudats, mucilages, etc.) sur les colloïdes minéraux. Il existe une affinité des composés organophosphatés simples pour les constituants minéraux du sol (ANDERSON, 1980 ; SHANG *et al.*, 1990). Les

vertisols étudiés présentent moins de 2 % de Fe_2O_3 et d' Al_2O_3 dans l'extrait citrate-bicarbonate-dithionite, ces quantités de fer et aluminium ne sauraient seules expliquer les valeurs de P_0 observées. L'adsorption par les argiles est l'hypothèse la plus probable. SÁNCHEZ CAMAZANO et SÁNCHEZ MARTÍN (1983) démontrent l'adsorption de pesticides organo-phosphorés dans l'espace inter-foliaire d'une montmorillonite-Ca. LAHEURTE (1985) montre que des composés insolubles provenant de l'exsudation racinaire d'un maïs sont fixés à 80 % sur la montmorillonite. Les pH_{eau} des vertisols sont compris entre 5,5 et 7 (tabl. I), domaine de pH pour lequel GREAVES et WILSON (1969) ont démontré l'adsorption d'acides nucléiques sur les surfaces externes des feuillets de montmorillonite ;

(2) l'immobilisation microbienne des phosphates apportés et du phosphore racinaire lors des processus de décomposition-humification. L'immobilisation microbienne des ions phosphates a été montrée par de nombreux auteurs (MAYAUDON et SIMONART, 1964 ; GHOSHAL, 1975). Ceci nécessite la présence de substrats carbonés, condition assurée dans la situation prairiale puisque les racines de *Digitaria* sont constamment renouvelées. Les tests respirométriques d'échantillons des parcelles Pr et M ont montré que l'activité microbienne était deux fois plus intense dans l'échantillon Pr que dans l'échantillon M (CHOTTE, comm. pers.).

On observe que le rapport $\text{C}/\text{P}_0 = 98$ de la fraction 0-5 μm de l'échantillon Pr9 est nettement inférieur à celui de la même fraction de l'échantillon M11 ($\text{C}/\text{P}_0 = 148$). Ceci peut être interprété par une abondance plus importante de débris microbiens et fongiques et de produits issus de leur activité. Les valeurs de C/P_0 varient dans le même sens que celles des C/N , ils décroissent avec la diminution de la taille des fractions. Les F 5-20 étant exclues de par le caractère minéral du phosphore qu'elles contiennent, on obtient la relation suivante entre C/N et C/P_0 des fractions granulométriques :

$$\text{C}/\text{P}_0 = 21,01 \text{ C}/\text{N} - 74,72 ;$$

avec $n = 8$, $r^2 = 0,522$ et $p = 0,026$.

Le sens de la variation est conforme à celui observé par TIESSEN et STEWART (1983). Ces auteurs observent que le C/P_0 varie de 141 dans les fractions $> 50 \mu\text{m}$ (constituées de débris végétaux et de sables) à 51-54 dans les fractions de taille inférieure à 2 μm . ENWEZOR (1976) montre

que l'immobilisation microbienne du phosphore de débris végétaux a lieu lorsque le C/P_t des débris décroît — de 501 à 112 — au cours de l'incubation dans un sol tropical. Pour des sols de régions tempérées, BROOKES *et al.* (1984) estiment que 5 à 24 % du phosphore organique est contenu dans la biomasse microbienne, dont les rapports C/P_t sont compris entre 11,7 et 25,6 dans les sols prairiaux. Les valeurs de C/P_0 et une activité microbienne plus intense dans le sol prairial militent en faveur d'un transfert d'une partie du phosphore contenu dans les débris racinaires vers la biomasse microbienne lors des processus de décomposition.

La plus grande partie du P_0 des sols M et Pr est contenue dans la fraction 0-5 μm . Ces résultats sont en accord avec ceux de BRANNON et SOMMERS (1985) qui montrent que des composés organo-phosphatés, des ester-phosphates associés à des groupements aminés incorporés à des substances humiques, sont résistants aux hydrolyses chimiques et enzymatiques. La stabilité chimique et biochimique du phosphore organique serait renforcée par une stabilité physique d'une partie des colloïdes organiques associés aux micelles argileuses, même après de très longues durées de cultures en continu sur vertisols, comme le montrent SKJEMSTAD *et al.*, (1986).

CONCLUSION

Cet inventaire a permis de préciser le rôle du type de situations culturales sur la distribution du phosphore de vertisols. Les situations peuvent être classées selon la quantité de phosphore total dans la couche 0-40 cm : jachères $\leq$ maraîchages $<$ prairies. Les quantités d'engrais ont modulé ce classement, toutefois les prairies fertilisées contribuent au maintien d'un stock de phosphore équivalent à celui observé sous cultures de canne à sucre de longue durée. Il est mis en évidence une relation linéaire positive entre les quantités de carbone et de phosphore total des horizons superficiels des sols. La mise en réserve de phosphore organique est assurée en présence de restitutions racinaires relativement importantes, sous jachères et prairies. L'étude de la répartition des formes organique et inorganique du phosphore montre que sont concernées les fractions du sol de taille supérieure à 20 μm (constituées par des débris végétaux) et la fraction organo-argileuse de taille inférieure à 5 μm . Sous prairies, l'adsorption directe de pro-

duits organo-phosphatés sur les colloïdes minéraux et l'immobilisation microbienne des phosphates des engrais et du phosphore racinaire sont les processus qui conduisent à la réserve de phosphore organique observée. Dans les situations à faibles restitutions

racinaires, le stockage de phosphore est régi par les propriétés des minéraux du sol qui conduisent à une réserve de phosphore inorganique.

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

BIBLIOGRAPHIE

- ALBRECHT (A.), BROSSARD (M.), FELLER (C.), 1986. – Étude de la matière organique par fractionnement granulométrique. 2 – Augmentation par une prairie à *Digitaria decumbens* du stock organique de vertisols cultivés en Martinique. *C. R. 13^e Cong. Intern. AISS*, Hambourg, vol. II : 214-215.
- ALBRECHT (A.), BROSSARD (M.), CHOTTE (J.L.), FELLER (C.), 1992 a. – Les stocks organiques des principaux sols cultivés de la Martinique. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, vol. XXVII, n° 1 : 23-36.
- ALBRECHT (A.), RANGON (L.), LAURENT (J.Y.) 1992 b. – *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, vol. XXVII, n° 1 : 00-00.
- ANDERSON (G.), 1960 – Factors affecting the estimation of phosphate-esters in soils. *J. Sci. Food Agric.*, 11 : 497-503.
- ANDERSON (G.), 1980. – « Assessing organic phosphorus in soils » in KHASAWNEH F.E., SAMPLE E.C. et KAMPRATH E.J. (eds.), 1980 : 411-431.
- BRANNON (C.A.), SOMMERS (L.E.), 1985. – Stability and mineralization of organic phosphorus incorporated into model humic polymers. *Soil Biol. Biochem.*, 17 : 221-227.
- BROOKES (P.C.), POWLSON (D.S.), JENKINSON (D.S.), 1984. – Phosphorus in the soil microbial biomass. *Soil Biol. Biochem.*, 16 : 169-175.
- BROSSARD (M.), FARDEAU (J.C.), MONTEAU (J.P.), LAURENT (J.Y.), 1988. – « Matière organique et mobilité du phosphore dans quelques types de sols » in *Fertilité des sols dans les agricultures paysannes caribéennes*, Rapp. Convention CEE-Orstom, multigr., Martinique : 69-84.
- COLMET-DAAGE (F.), GAUTHEYROU (J.), GAUTHEYROU (M.), 1967-1970. – Sélection de profils des Antilles avec rattachement à la classification des sols des Antilles au 1/20000^e. Publ. Orstom-Antilles n° 44, 1199 p.
- CPCS, 1967. – *Classification des sols*. École nationale supérieure agronomique Grignon, 87 p.
- DUVAL (L.), 1962. – Dosage céruléomolybdique de l'acide phosphorique dans les sols, les végétaux et les engrais. *Ann. Agron.* : 469-482.
- ENWEZOR (W.O.), 1976. – The mineralization of nitrogen and phosphorus in organic materials of varying C/N and C/P ratios. *Plant and Soil*, 44 : 237-240.
- ENWEZOR (W.O.), MOORE (A.W.), 1966. – Phosphorus status of some Nigerian soils. *Soil Sci.*, 102 : 322-328.
- FELLER (C.), 1979. – Une méthode de fractionnement granulométrique de la matière organique des sols. Application aux sols tropicaux à textures grossières, très pauvres en humus. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, vol. XVII, n° 4 : 339-346.
- FELLER (C.), CHOPART (J.L.), DANCETTE (F.), 1987. – Effet de divers modes de restitution de pailles de mil sur le niveau et la nature du stock organique dans deux sols sableux tropicaux (Sénégal). *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, vol. XVIII, n° 4 : 237-252.
- GHOSHAL (S.), 1975. – Biological immobilization and chemical fixation of native and fertilizer phosphorus in soil. *Plant and Soil*, 43 : 649-662.
- GREAVES (M.P.), WILSON (M.J.), 1969. – The adsorption of nucleic acids by montmorillonite. *Soil Biol. Biochem.*, 1 : 317-323.
- GRUNVALD (H.), 1965. – *Géologie de la Martinique*. Mém. de la Carte Géol. de la France, Imp. Nat., 144 p.
- HARRISON (A.F.), 1987. – *Soil organic phosphorus*. CAB International, 257 p.
- JOHN (M.K.), 1970. – Colorimetric determination of phosphorus in soil and plant materials with ascorbic acid. *Soil Sci.*, 109 : 214-220.
- KHANAWNEH (F.E.), SAMPLE (E.C.), KAMPRATH (E.J.) (eds.), 1980. – *The role of phosphorus in agriculture*.
- LAHEURTE (F.), 1985. – *Recherches sur quelques mécanismes d'interactions rhizosphériques en modèles expérimentaux : altération microbienne et racinaire, exsudation et humification*. Thèse Univ. Nancy-I, 178 p. et annexes.
- MAHIEU (M.), 1990. – Irrigation et élevage. 1^{res} journées de l'agriculture et de l'élevage à Ste Anne, Martinique, 5 p.
- MAYAUDON (J.), SIMONART (P.), 1964. – Assimilation of 32P orthophosphate by soil micro-organisms. *Annls. Inst. Pasteur*, 107 : 188-196.
- SÁNCHEZ CAMAZANO (M.), SÁNCHEZ MARTÍN (M.J.), 1983. – Factors influencing interactions of organophosphorus pesticides with montmorillonite. *Geoderma*, 29 : 107-118.
- SEXE (M.), 1989. – *Biodisponibilité du phosphore dans un vertisol soumis à deux systèmes de culture différents (Martinique)*. Mém. DEA de Pédologie, Orstom-Martinique, ENSIA-Nancy, 39 p. et annexes.
- SHANG (C.), HUANG (P.M.), STEWART (J.W.R.), 1990. – Kinetics of adsorption of organic and inorganic phos-

- phates by short-range ordered precipitate of aluminium. *Can. J. Soil Sci.*, 70 : 461-470.
- SKJEMSTAD (J.O.), DALAL (R.C.), BARRON (P.F.), 1986. – Spectroscopic investigations of cultivation effects on organic matter of vertisols. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50 : 354-359.
- TIESSEN (H.), STEWART (J.W.B.), 1983. – Particle-size fractions and their use in studies of soil organic matter : II. Cultivation effects on organic matter composition in size fractions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 47 : 509-514.
- TIESSEN (H.), STEWART (J.W.B.), MOIR (J.O.), 1983. – Changes in organic and inorganic phosphorus composition of two grassland soils and their particle size fractions during 60-90 years of cultivation. *J. of Soil Sc.*, 34 : 815-823.
- TURCHENEK (L.W.), OADES (L.M.), 1979. – Fractionation of organo-mineral complexes by sedimentation and densities techniques. *Geoderma*, 21 : 311-343.
- TYBURN (P.), 1986. – *Effet de l'intensification des cultures maraîchères et prairiales sur les propriétés de vertisols et ferrisols de la Martinique*. Mém. Istom, rapp. mult. Irat-Orstom, Martinique.
- WILLIAMS (C.H.), STEINBERG (A.), 1958. – Sulfur and phosphorus in some eastern Australian soils. *Aust. J. Agric. Res.*, 9 : 483-491.

Effets de la matière organique sur la stabilité structurale et la détachabilité d'un vertisol et d'un ferrisol (Martinique)

Alain ALBRECHT, Luc RANGON et Pierre BARRET

Laboratoire matière organique des sols tropicaux
Orstom, BP 8006, 97259 Fort-de-France cedex, Martinique

RÉSUMÉ

À la Martinique, sur deux types de sols (vertisol et ferrisol), deux modes d'occupation du sol – maraîchage et prairie – permettent une nette différenciation des stocks organiques en quantité et qualité. Ces différences ont des conséquences sur la stabilité structurale des sols.

L'utilisation de deux approches expérimentales, l'une au laboratoire et l'autre sur le terrain utilisant la simulation de pluie, montre : 1. l'effet positif de la matière organique du sol sur le mode d'organisation du sol et sa résistance à la détachabilité ; 2. la meilleure stabilité structurale, au champ et au laboratoire, des ferrisols par rapport aux vertisols.

Quel que soit le type de sol, la matière organique responsable de cette amélioration est essentiellement celle liée aux argiles (fraction inférieure à 5 μm). Les teneurs en matière organique permettent le développement d'agrégats stables de taille comprise entre 5 et 200 μm pour le vertisol et de plus de 200 μm pour le ferrisol. La conséquence est une nette diminution de la sensibilité à la dispersion (testée au laboratoire) et de la détachabilité (testée au champ par simulation de pluie).

Les résultats obtenus par la méthode de terrain apportent une validation aux tests de laboratoire.

MOTS CLÉS : Agrégation – Détachabilité – Ferrisol – Maraîchage – Martinique – Matière organique – Prairie – Simulation de pluie – Vertisol.

ABSTRACT

EFFECTS OF SOIL ORGANIC MATTER ON SOIL STABILITY AND SOIL DETACHMENT FOR A VERTISOL AND A FERRISOL (MARTINIQUE)

For two soil types (vertisol and ferrallitic soil), two land management – either market gardening or pastures – involved the differentiation of organic status in quantity and quality. Soil structural stability was affected.

By two experimental approaches, in the laboratory and on the field using rainfall simulation, it was displayed the positive effect of soil organic matter on soil aggregation and the decreasing of soil detachment. Ferrisol had a better stability than vertisol.

Soil organic matter which was responsible for the increase of soil stability was colloidal organic matter linked with clay particles. This organic matter permitted the development of medium-sized soil aggregates (5-200 μm) for the vertisol and largest aggregates (> 200 μm) for the ferrisol. Consequently, it was observed, for the situations with high organic content, a sensible decreasing: 1. of soil dispersability detected with the laboratory method and 2. of soil detachment detected with the field method (rainfall simulation). Field results had a good fit with the laboratory results.

KEY WORDS: Aggregation – Ferrisol – Market gardening – Martinique – Pasture – Rainfall simulation – Soil detachment – Soil organic matter – Vertisol.

INTRODUCTION

De la stabilité structurale du sol *in situ* dépendent de nombreux processus liés aux relations eau-sol-plante. L'approche de la stabilité de la structure sur le terrain fut souvent qualitative, essentiellement descriptive. Sa quantification est le fait de techniques de laboratoire, qui, en routine, ne respectent que peu l'organisation initiale du sol et son état hydrique. La prédiction des comportements au champ à partir de quantifications faites au laboratoire a toujours posé de nombreux problèmes. Toutefois, grâce aux techniques de simulation de pluie, il est possible maintenant de quantifier les comportements de la surface du sol. Il n'existe, à l'heure actuelle, que peu de travaux systématiques qui mettent en parallèle des tests de stabilité structurale au laboratoire et ceux de comportements au champ sous pluie simulée (VALENTIN *et al.*, 1990 ; LE BISSONNAIS *et al.*, 1990). Le premier objectif de cet article sera de comparer une méthode de caractérisation de l'agrégation du sol au laboratoire et le comportement de ce même sol sous pluie simulée (en étudiant tout particulièrement sa détachabilité).

La stabilité structurale du sol dépend de nombreux facteurs (nature des constituants, texture, précédents culturels, etc.) et, en particulier, de la qualité et du niveau des stocks organiques. Si l'effet des teneurs en matière organique sur la stabilité structurale des sols tropicaux a été maintes fois étudié au laboratoire (MOREL et QUANTIN, 1972 ; TALINEAU *et al.*, 1979), les mesures quantitatives au champ sont beaucoup plus rares. Par ailleurs, la hiérarchisation des matières organiques du sol impliquées dans la stabilité de l'agrégation est encore mal connue (débris végétaux / complexes organo-limono-argileux, substances préhumiques / polysaccharides / composés humiques). Le second objectif de cette étude est : 1. d'analyser le comportement au champ sous pluie simulée de la surface de sols génétiquement identiques mais très différenciés par le niveau de leur stock organique ; 2. d'essayer d'identifier les compartiments organiques responsables des variations d'agrégation et de comportement observés.

Pour cette étude, menée à la Martinique, nous avons choisi deux types de sols : un vertisol et un sol faiblement ferrallitique (ferrisol). Pour chacun de ces sols, nous avons sélectionné deux parcelles, dont les horizons de surface présentent, par suite de leur histoire culturale, des teneurs en matière organique très différentes (ALBRECHT *et al.*, 1992).

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Les situations étudiées

Les situations étudiées se trouvent à la Martinique, île volcanique de l'arc Caraïbe. Les deux types de sols concernés par cette étude, vertisol et ferrisol (COLMET-DAAGE et LAGACHE, 1965), sont développés à partir de roches volcaniques de type andésitique. Les vertisols étudiés sont situés dans le sud-est de la Martinique. Cette région a une pluviosité de 1 300 mm par an (source : *Atlas de la Martinique*) et subit une saison sèche de trois à cinq mois par an. Les ferrisols étudiés sont situés dans la partie centrale de l'île, sous une pluviosité comprise entre 1 800 et 2 200 mm par an. Deux systèmes de culture sont pratiqués depuis plus de 10 ans sur ces deux types de sols : les cultures maraîchères (une ou deux cultures par an, jachère de courte durée — inférieure à 6 mois) et les cultures fourragères (essentiellement prairies à *Digitaria decumbens*). Les situations étudiées se trouvent dans les champs d'expérimentation de la Station d'Études en Cultures Irriguées à Sainte-Anne (Martinique) pour les situations sur vertisol et de la station du Cirad/Irat au Lamentin (Martinique) et à l'Habitation Grande Savane (Ducos) pour les ferrisols. Ces situations ont été décrites respectivement par TYBURN (1986) et BARRET (1989). Les échantillons traités au laboratoire proviennent de la couche de sol 0-10 cm pour le vertisol et 0-5 cm pour le ferrisol.

LES MÉTHODES D'ANALYSES

Analyses classiques

Le carbone et l'azote organiques sont dosés par voie sèche à l'autoanalyseur Carlo Erba 1106.

La capacité d'échange cationique est dosée par la méthode à l'acétate d'ammonium. La granulométrie des sols (analyse mécanique) est déterminée par tamisages (200, 50 et 20 μ m) et sédimentation (5 et 2 μ m), après destruction de la matière organique par un traitement à l'eau oxygénée (20 ml d' H_2O_2 à 110 volumes pour 5 grammes de sol ; 24 heures de contact à froid puis 6 heures de contact à chaud suivi d'une courte ébullition) et dispersion à la soude (addition de NaOH N en quantité suffisante pour atteindre un pH de 10).

FRACTIONNEMENT PHYSIQUE DE LA MATIÈRE ORGANIQUE

La matière organique des sols est caractérisée par une méthode de fractionnement physique selon

ALBRECHT *et al.* (1986) : agitation durant 2 heures de 40 g de sol dans 300 ml d'eau auxquels est ajoutée la quantité nécessaire de NaOH N pour atteindre un pH de 10 ; tamisages à 200, 50 et 20 μm puis séparation par sédimentation des fractions 5-20 et 0-5 μm . Concernant les fractions de tailles supérieures à 200 μm , il a été effectué une « battée » afin de différencier les matières organiques constituées de débris végétaux libres (noté fo) et celles restant associées à la fraction minérale grossière (noté fm). Toutes ces fractions sont séchées, pesées, broyées puis dosées en C et N.

TESTS D'AGRÉGATION ET DE SIMULATION DE PLUIE

L'agrégation du sol et sa stabilité sont caractérisées par trois méthodes (deux méthodes de laboratoire et une de terrain).

Test d'instabilité structurale préconisé par HENIN et al. (1960),

Après divers prétraitements à l'eau, à l'alcool, au benzène, les échantillons de sols sont agités (30 retournements à la main) et tamisés sous eau à 200 μm ; les agrégats (refus sur le tamis) ainsi obtenus sont notés Age pour le prétraitement à l'eau, Aga pour le prétraitement à l'alcool, Agb pour le prétraitement au benzène. Sur la suspension 0-200 μm , on détermine les teneurs en argile + limon fin (A + LF, 0-20 μm). L'indice A + LF_{max} correspond à la valeur la plus élevée de A + LF pour les trois traitements (eau, alcool, benzène). Toutes ces analyses permettent de calculer l'indice d'instabilité structurale (Is) qui répond à la formule suivante :
$$Is = (A + LF)_{\max} / [(Age + Aga + Agb)/3] - 0,9 \times SG$$
 où SG est la masse de sables grossiers (de taille supérieure à 200 μm) définie par l'analyse mécanique.

Cinétiques de désagrégation sous eau

La méthode choisie s'inspire de celles développées par YODER (1936), WILLIAMS *et al.* (1966) et KEMPER et ROSENAU (1986). Il s'agit de suivre la cinétique de désagrégation du sol dans l'eau au cours d'agitations de durée croissante. On opère de la façon suivante :

- les échantillons de sols sont prélevés dans des cylindres afin de ne pas perturber leur organisation ;
- ils sont ramenés à la capacité au champ avant traitement ;
- ils sont agités dans l'eau (35 g de sol pour 250 ml d'eau ; agitateur rotatif à 50 tours.mn⁻¹) pendant des durées variables : 0, 0,5, 1, 2, 6, 12 et

18 heures. En outre, il a été ajouté à cette cinétique un point qui s'intercale entre les temps d'agitation $t = 0$ et $t = 0,5$ h correspondant à l'énergie de désagrégation préconisée par HENIN *et al.* (1960), soit 30 retournements à la main (noté 30r) ;

d. après agitation, les échantillons sont tamisés à 1 000, 500, 200, 50 et 20 μm puis fractionnés par sédimentation à 5 μm . La distribution granulométrique obtenue après chaque temps d'agitation permet de calculer ou de déterminer graphiquement (à partir d'une courbe cumulée des fréquences de chaque classe granulométrique) le diamètre médian pondéral (MWD — pour « mean weight diameter » — de VAN BAVEL (1949) et YOUKER et MCGUINNESS (1956)) qui est la médiane des fréquences cumulées.

Afin d'éviter toute confusion entre les agrégats obtenus ici et les fractions granulométriques obtenues par la méthode de fractionnement physique de la matière organique, nous définirons les conventions suivantes : 1. sont dénommées « fractions » les produits obtenus lors du fractionnement physique de la matière organique et 2. sont dénommés « agrégats » les produits obtenus lors de la cinétique de désagrégation ; pour chaque type de produit, on définira sa taille.

Afin de tester un effet « matière organique » sur l'agrégation, les échantillons traités lors de la cinétique d'agitation dans l'eau ont également fait l'objet d'une analyse mécanique avec coupure des particules les plus fines à 5 μm au lieu de 2 μm .

Simulation de pluie au champ

L'appareil utilisé est le mini-simulateur de pluie type Orstom (ASSELINE et VALENTIN, 1978) qui permet d'étudier le comportement du sol sur une surface de 1 m². Dans ce travail, ce sont les pertes en terre (quantité, qualité) sous des averses à intensité de pluie constante qui ont été plus particulièrement étudiées. Pour toutes les situations testées, l'état de la surface du sol correspond à un labour manuel sur une profondeur de 5 cm (type lit de semences). Les pluies simulées ont été réalisées sur des sols ayant des teneurs en eau élevées afin : 1. d'obtenir des ruissellements élevés ; 2. de privilégier les processus de désagrégation par rapport aux processus d'éclatement des mottes (LE BISSONNAIS, 1988).

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Principales caractéristiques des situations agropédologiques étudiées.

Pour chacun des deux sols, les horizons de surface des parcelles étudiées (prairie ou maraîchage) apparaissent tout à fait comparables quant à leur texture et leurs propriétés d'échange (tabl. I) mais diffèrent fortement par leurs teneurs en matière organique. Les variations en terme d'agrégation et de stabilité structurale pourront donc être attribuées essentiellement aux variations des stocks organiques dues à l'histoire culturale des parcelles et/ou éventuellement aux différences de travail du sol des années antérieures. Ce dernier effet est probablement très minimisé pour les échantillons remaniés et de petite taille (études en laboratoire). Nous avons aussi essayé de le minorer au champ par une préparation du sol de type labour identique pour toutes les parcelles avant simulation de pluie.

Pour les deux types de sols étudiés, les horizons de surface des parcelles « prairie » ont des teneurs

en C et N deux à trois fois plus élevées que ceux des parcelles « maraîchage ». Le rapport C/N, légèrement supérieur sous prairie, traduit l'accumulation de débris végétaux à C/N élevés.

Les contenus en C des différentes fractions sont présentés dans le tableau II. On constate que :

- les différences de C total sont dues à l'ensemble des fractions (fm 200-2 000 μm exceptée) ;
- les variations pour les fractions 0-5 μm sont déjà très importantes alors que la matière organique associée à cette fraction est souvent considérée comme relativement stable par un effet protecteur des colloïdes minéraux.

La stabilité structurale selon HENIN *et al.* (1960) (tabl. III) se révèle être faible (I_s élevé, de 0,7 à 1,2) pour les situations « maraîchage » mais élevée pour les situations « prairie » (I_s de 0,1 à 0,3) et ce, quel que soit le type de sol. Cette différence apparaît liée à un effet « matière organique » puisque les différences les plus importantes en quantité d'agrégats stables sont observées avec le prétraitement au benzène censé mettre en évidence le rôle d'agents stabilisants

TABLEAU I
Granulométrie, teneurs en C et N, propriétés d'échange des échantillons étudiés
Particle-size distribution, C and N contents and exchange properties of studied soil samples

Situations	Granulométrie					Matière organique			Propriétés d'échange						
	<2 µm	2-20 µm	20-50 µm	50-200 µm	>200 µm	C	N	C/N	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	S	T	100S/T
	g.100g ⁻¹ sol					mgC.g ⁻¹ sol	mgN.g ⁻¹ sol		cmol.kg ⁻¹ sol						
Vertisol :															
marais	56,9	11,4	4,7	15,9	11,2	10,6	1,1	9,6	20,8	11	0,5	3,7	36,0	39,5	91,2
prairie	52,5	14,6	5,7	18,0	9,2	32,5	2,8	11,6	17,9	9,1	1,59	1,3	29,9	40,0	74,7
Ferrisol :															
marais	56,1	18,1	5,0	13,1	6,6	19,7	2,1	9,4	8,3	3,0	0,5	0,2	12,0	12,1	98,9
prairie	56,3	23,3	3,3	8,5	8,7	49,1	4,6	10,7	6,7	4,0	0,6	0,5	11,8	12,3	95,9

TABLEAU II
Teneur en matière organique (en mgC.g⁻¹sol) des situations étudiées et sa distribution selon la taille des fractions
Particle-size distribution of soil organic matter (in mgC.g⁻¹soil)

Situations	Fractionnement granulométrique				
	>200 μm			5-200 μm	< 5 μm
	total	fo	fm		
	mgC.g ⁻¹ sol				
Vertisol :					
maraîchage	0,9	0,7	0,3	3,8	5,8
prairie	9,3	8,5	0,8	11,5	11,8
Ferrisol :					
maraîchage	1,0	0,6	0,4	7,7	11,0
prairie	5,9	4,6	0,5	22,5	20,7

TABLEAU III
Résultats du test d'instabilité structurale de Hénin (légende voir paragraphe « Matériel et méthodes »)
Results of Hénin's structural instability test (for legend see « Matériel et méthodes »)

Situations	Is	Ag m	Ag e	Ag a	Ag b	A + LF max	SG
		g.100g ⁻¹ sol					
Vertisol :							
maraîchage	0,70	46,7	46,3	58,2	34,9	26,1	10,3
prairie	0,27	63,2	48,5	75,8	62,2	14,5	9,3
Ferrisol :							
maraîchage	1,24	42,2	47,5	67,6	11,4	43,3	8,0
prairie	0,14	73,9	78,7	83,6	59,5	9,4	5,6

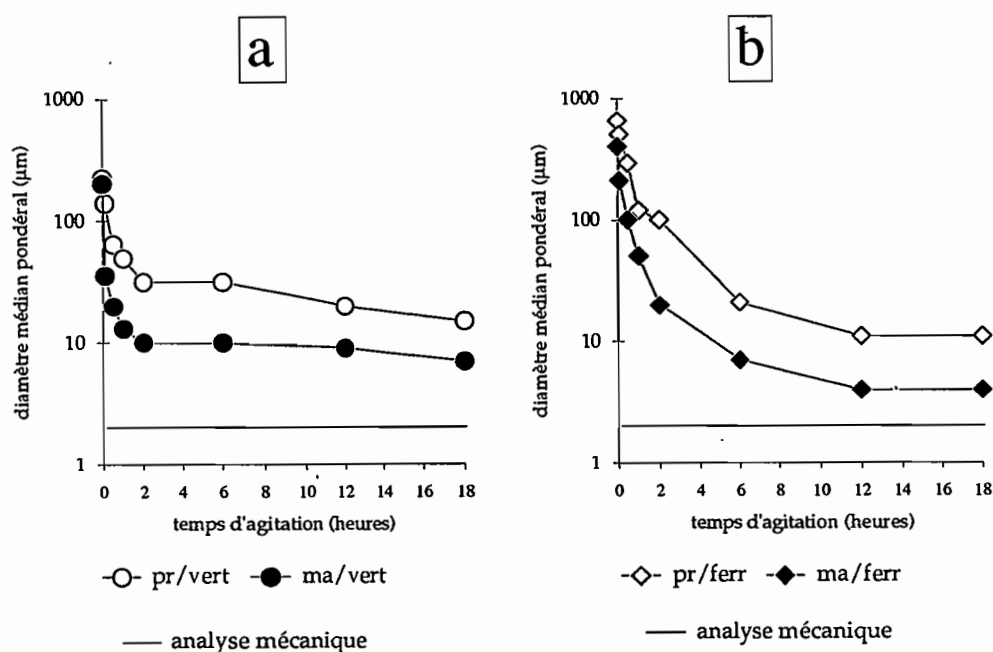


FIG. 1 – Évolution avec le temps d'agitation dans l'eau du diamètre médian des agrégats des sols des situations étudiées
(a : vertisol ; b : ferrisol ; vert : vertisol ; ferr : ferrisol ; ma : maraîchage ; pr : prairie).
Variation with the shaking time of the soil aggregate mean weight diameter
(a : vertisol ; b : ferrisol ; vert : vertisol ; ferr : ferrisol ; ma : market gardening ; pr : pasture).

de type colloïdes organiques. Parallèlement, on note une sensibilité à la dispersion des éléments fins (teneur en A+LF_{max}) beaucoup plus forte sous « maraîchage » (26 à 43 %) que sous « prairie » (9 à 15 %).

Effets de la cinétique de désagrégation sur les sols étudiés

VERTISOL

L'ensemble des résultats (fig. 1a et 2a) fait apparaître deux phases dans la cinétique de désagrégation : une phase rapide (0 à 2 h) et une phase très

lente (> 2 h). La figure 1a montre l'évolution, avec le temps d'agitation, du diamètre médian pondéral qui est une approche globale de l'état d'agrégation du sol. On constate que : 1. quelle que soit la situation considérée, les valeurs du diamètre médian pondéral des échantillons bruts sont toujours supérieures à celles des échantillons traités à l'eau oxygénée (analyse mécanique) ; 2. la vitesse de désagrégation est nettement plus élevée pour la situation « maraîchage » que pour la situation « prairie » ; 3. la valeur du diamètre médian reste largement supérieure à

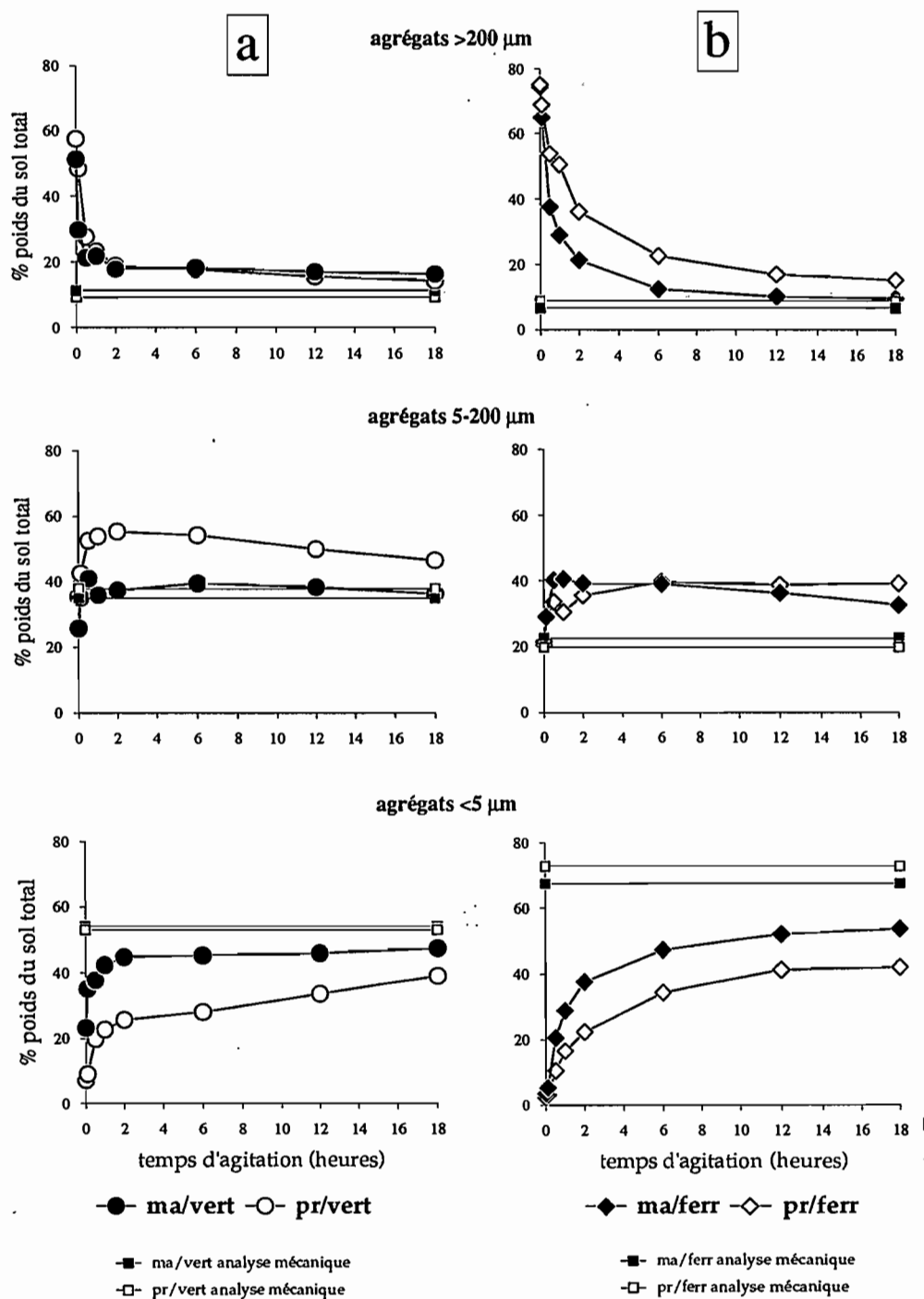


FIG. 2 – Évolution avec le temps d'agitation dans l'eau des classes d'agrégats constitutives des sols des situations étudiées (légende *idem* fig. 1).

Variation with the shaking time of the soil constitutive aggregates (for legend see fig.1).

10 μm pour la situation « prairie » après la phase initiale de désagrégation rapide, alors qu'elle est proche de 10 μm pour la situation « maraîchage ». Ces résultats sont le reflet d'une évolution différente, selon la situation, des masses des différentes classes d'agrégats avec le temps d'agitation (fig. 2a).

Pour la situation « maraîchage », les masses de toutes les classes d'agrégats atteignent très rapidement — deux heures d'agitation au maximum — des valeurs proches de celles obtenues après analyse mécanique. Par contre, pour la situation « prairie », si les agrégats de taille supérieure à 200 μm suivent un comportement identique à ceux sous maraîchage, les évolutions des deux classes d'agrégats 5-200 μm et 0-5 μm sont très différentes. Dans la phase de désagrégation rapide (de 0 à 2 heures d'agitation), la masse des agrégats de 5-200 μm sous prairie est beaucoup plus élevée que sous maraîchage et celle de 0-5 μm beaucoup plus faible. Qui plus est, notons que, au premier point de la cinétique d'agitation (simple contact dans l'eau pendant 16 heures), les agrégats de taille inférieure à 5 μm de la situation « prairie » (fig. 2a) ne représentent que 7,3 % du sol total alors que pour la situation « maraîchage » ils représentent déjà 23,2 % du sol total. Cette différence de dispersabilité s'accroît dès les premiers points de la cinétique d'agitation, puisque au point $t = 30$ mn la classe d'agrégats de taille $< 5 \mu\text{m}$ de la situation « maraîchage » représente 80 % de la fraction $< 5 \mu\text{m}$ totalement dispersable contre 50 % pour la situation « prairie ». Dans la seconde phase, on ne note qu'une diminution lente et progressive de la masse des agrégats 5-200 μm et une augmentation lente de la masse des agrégats de taille inférieure à 5 μm . Pour ces deux classes, on n'atteint jamais la valeur obtenue après analyse mécanique.

FERRISOL

La désagrégation pour les situations sur ferrisol est nettement plus lente que pour celles sur vertisol et les diamètres médians pondéraux (fig. 1b) des deux situations étudiées restent élevés dans la première phase de la cinétique d'agitation (de l'ordre de 100 μm et au-dessus). Toutefois, le mode d'occupation du sol influe, tout comme pour les situations sur vertisol, sur la vitesse de désagrégation (plus rapide pour la situation « maraîchage ») et la valeur du diamètre médian — plus élevée pour la situation « prairie » — dans la seconde phase de la cinétique d'agitation (6 heures et plus). Les agrégats de taille supérieure à 200 μm montrent des évolutions différentes (fig. 2b) : sous prairie, ces

agrégats se désagrègent plus lentement sans jamais atteindre la valeur obtenue par l'analyse mécanique. Cette différence entre situations se retrouve de manière inversée pratiquement totalement sur les masses des classes d'agrégats de taille inférieure à 5 μm (maraîchage > prairie). En effet, peu de différences apparaissent pour la classe d'agrégats de taille comprise entre 5 et 200 μm , dont les masses, pour les deux situations, sont toujours largement supérieures à celles obtenues par l'analyse mécanique. Cette stabilité des agrégats 5-200 μm dans ces deux situations a également pour conséquence (fig. 2b) que la dispersion obtenue au cours de la cinétique de désagrégation est toujours nettement inférieure à celle obtenue par l'analyse mécanique.

DISCUSSION : EFFETS DU TYPE DE SOL ET DE LA MATIÈRE ORGANIQUE SUR L'AGRÉGATION

L'agrégation, telle qu'elle s'exprime à travers l'évolution du diamètre médian pondéral au cours de la cinétique d'agitation, est influencée à la fois par le type de sol et la teneur en matière organique. Concernant le vertisol, l'agrégation est très instable et l'effet de la matière organique se fait essentiellement sentir sur les classes d'agrégats de petite taille. Concernant le ferrisol, la stabilité de l'agrégation est nette et l'effet matière organique est sensible quelle que soit la taille des classes d'agrégats considérées.

La méthode « cinétique d'agitation » permet de mettre en évidence un ou deux niveaux d'agrégation du sol et d'appréhender la stabilité du niveau d'agrégation d'ordre supérieur. En effet, les organisations et stabilités suivantes ont été mises en évidence :

- *situation maraîchage sur vertisol (ma/vert)*. Des agrégats de taille supérieure à 200 μm sont rapidement détruits par l'énergie liée à l'agitation rotative dans l'eau ; les constituants de ces agrégats sont des éléments constitutifs primaires du sol (sables, limons et argiles), puisque les masses obtenues sont proches de celles obtenues par l'analyse mécanique ;

- *situation prairie sur vertisol (pr/vert)*. Une désagrégation aussi rapide des agrégats $> 200 \mu\text{m}$ donne des produits toujours agrégés (puisque de masse nettement supérieure à celle obtenue par l'analyse mécanique) mais de taille inférieure (5-200 μm). Leur stabilité est importante puisque l'on n'observe qu'une diminution progressive de leur poids au cours de la seconde phase de la cinétique d'agitation ;

- *situation maraîchage sur ferrisol (ma/ferr)*. On observe sur cet échantillon une dynamique de désagrégation proche de celle de la situation pr/vert mais avec une vitesse de désagrégation des agrégats $> 200 \mu\text{m}$ nettement plus lente ;

– situation prairie sur ferrisol (pr/ferr). On notera dans ce cas une grande stabilité des agrégats de taille comprise entre 5 et 200 μm (aucune diminution dans le temps) et également une agrégation de taille $> 200 \mu\text{m}$ très stable : cette fraction représente encore 50 % du sol total après une heure d'agitation alors que la fraction $> 200 \mu\text{m}$ après destruction de la matière organique n'est que de 8 %.

L'effet du type de sol sur l'agrégation se résume ainsi :

1. concernant le vertisol : les agrégats de taille supérieure à 200 μm sont peu stables, quelle que soit la situation ;

2. pour le ferrisol : les agrégats de taille supérieure à 200 μm et compris entre 5 et 200 μm sont moyennement stables.

L'effet « matière organique », considéré ici à travers l'effet « prairie », se traduit pour les situations sur vertisols par le développement d'agrégats de taille comprise entre 5 et 200 μm dont on notera la stabilité. Concernant les situations sur ferrisol, les agrégats de taille supérieure à 200 μm (et aussi, à un degré moindre, ceux compris entre 5 et 200 μm) sous prairie sont très stables. Ces stabilisations sont essentiellement attribuables aux produits organiques liés aux fractions inférieures à 5 μm (tabl. II). Les teneurs en carbone (par gramme d'agrégat) des agrégats obtenus après 6 heures d'agitation (tabl. IV) montrent bien l'effet « matière organique » ; en effet, les teneurs en carbone sont systématiquement plus élevées pour les situations prairies. On notera en particulier des teneurs en carbone élevées pour les classes d'agrégats les plus stables : 1. pour le vertisol et la classe d'agrégats 5-200 μm , 25,4 mgC.g^{-1} pour la situation prairie contre

9,5 mgC.g^{-1} pour la situation maraîchage ; 2. pour le ferrisol et la classe d'agrégats de taille supérieure à 200 μm , 46,9 mgC.g^{-1} pour la situation prairie et 13,2 mgC.g^{-1} pour la situation maraîchage. A *contrario*, les teneurs en carbone des classes d'agrégats qui ont un comportement analogue (par exemple les agrégats de taille comprise entre 5 et 200 μm pour pr/vert, pr/ferr et ma/ferr sont proches, de l'ordre de 20 mgC.g^{-1} dans ce cas. Enfin, la faible stabilité des agrégats de taille supérieure à 200 μm de pr/vert malgré des teneurs élevées en carbone (46,4 mgC.g^{-1}) peut s'expliquer par le fait que l'essentiel de la matière organique est sous forme de débris végétaux ($\text{fo} = 132,2 \text{ mgC.g}^{-1}$) et beaucoup plus faiblement sous forme colloïdale ($\text{fm} = 16,4 \text{ mgC.g}^{-1}$). De manière globale, il est intéressant de constater que, toutes situations et classes d'agrégats confondues, il y a agrégation stable lorsque les teneurs en carbone des agrégats $> 200(\text{fm})$, 5-200 et 0-5 μm sont supérieures à 20 mgC.g^{-1} . EMERSON *et al.* (1986) et HAYNES et SWIFT (1990) obtiennent des résultats analogues avec des méthodes de cinétiques d'agitation mais sans appréhender plusieurs fractions inférieures à 250 μm . Ils attribuent l'amélioration de la stabilité des ces agrégats à des produits organiques extractibles à l'eau chaude tels que des polysaccharides que l'on peut également retrouver dans les fractions organiques liées aux argiles des vertisols et ferrisols étudiés (FELLER *et al.*, 1991).

De nombreux auteurs (TISDALL et OADES, 1982 ; OADES, 1984) ont, à partir de méthodes de caractérisation granulométrique des agrégats mais n'utilisant pas une approche cinétique, proposé et testé une classification par taille des agrégats : macroagrégats pour des tailles supérieures à 250 μm et microagrégats pour des tailles inférieures à 250 μm . L'effet matière organique sur l'agrégation pour ces auteurs, ainsi que pour ELLIOTT (1986), dépend de la taille des agrégats considérés. Les débris végétaux, à *turn-over* rapide, facilement décomposables (PAUL, 1984 ; PARTON *et al.*, 1983 ; VAN VEEN et PAUL, 1981) garantiraient une bonne macroagrégation (agrégats $> 250 \mu\text{m}$) alors que la matière organique responsable de la microagrégation (agrégats $< 250 \mu\text{m}$) aurait un *turn-over* lent et un âge apparent élevé. La conséquence de ces considérations est que l'exploitation agricole d'un sol a essentiellement une influence sur la macroagrégation (OADES, 1984). Si l'on appliquait ces conclusions aux résultats présentés ici, aucune différence n'apparaîtrait entre les situations étudiées (fig. 2 : fractions $> 200 \mu\text{m}$ au temps t_0). Ceci ren-

TABLEAU IV
Comparaison des teneurs en carbone (en mgC.g^{-1} agrégat)
des agrégats stables après 6 heures d'agitation rotative
Aggregate organic carbon content (in mgC.g^{-1} aggregate) after 6 hours of head over head shaking

Situations	Classes d'agrégats				
	$>200 \mu\text{m}$			5-200 μm	$< 5 \mu\text{m}$
	total	fo	fm		
mgC.g^{-1} agrégat					
Vertisol :					
maraîchage	5,7	216,8	1,7	9,5	12,5
prairie	46,4	132,3	16,4	25,4	25,8
Ferrisol :					
maraîchage	17,5	192,0	13,2	20,9	20,2
prairie	61,0	207,8	46,9	22,9	40,5

force la nécessité de prendre en compte les classes d'agrégats de tailles inférieures à 250 μm , puisque la méthodologie utilisée ici met en évidence le rôle fondamental des agrégats de taille comprise entre 5 et 200 μm . L'agent de stabilisation de ces agrégats est probablement beaucoup plus une matière organique de type colloïdale que des débris végétaux.

Comportement des sols étudiés sous pluies simulées

VERTISOL

Les deux hydrogrammes, maraîchage et prairie, montrent des courbes analogues. Le ruissellement s'installe rapidement et devient maximum en moins de dix minutes de pluie (fig. 3a). Dans les

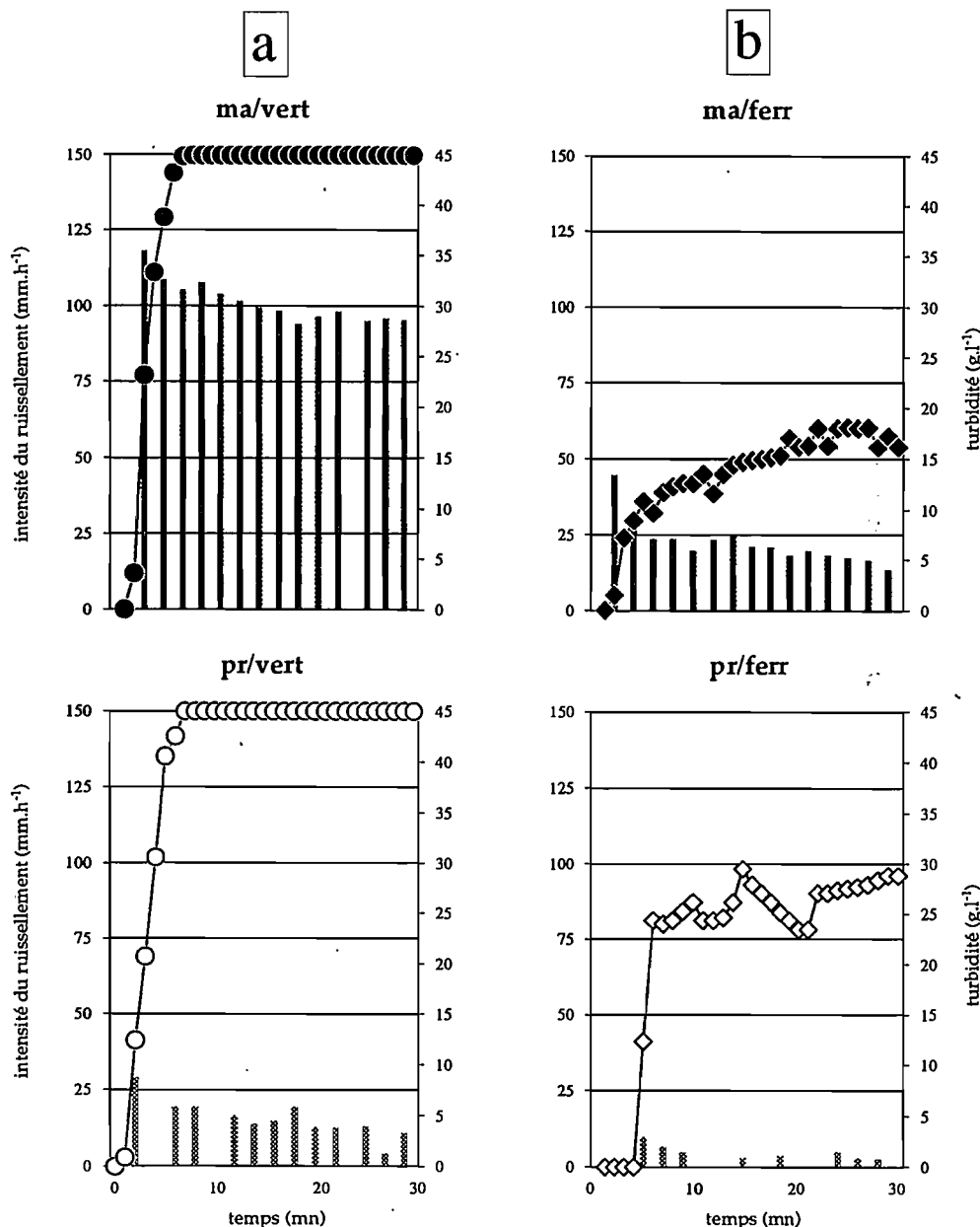


FIG. 3 – Ruissellement (courbes) et turbidité (histogrammes) sous pluie simulée (Intensité de pluie = 150 mm/h ; état de la surface du sol identique dans toutes les situations : labour manuel ; a : vertisol ; b : ferrisol).
Runoff (curves) and turbidity (histograms) under simulated rainfall (rainfall intensity = 150 mm/h ; identical soil surface for all studied situations : handploughed ; a : vertisol ; b : ferrisol).

deux situations, les fentes de retrait sont fermées. Ainsi l'eau arrivant à la surface du sol ne peut que ruisseler. Les turbidigrammes, par contre, montrent des différences spectaculaires : 1. pour la situation « maraîchage », les valeurs de turbidité sont très élevées (de l'ordre de 30 g.l⁻¹) et varient peu dans le temps ; 2. pour la situation « prairie », les valeurs de la turbidité sont beaucoup plus faibles (4,4 g.l⁻¹ en moyenne) et diminuent avec le temps.

FERRISOL

L'hydrogramme pour la situation « prairie » montre l'installation rapide d'un ruissellement dont l'intensité atteint une valeur moyenne de 80 mm.h⁻¹. Pour la situation « maraîchage », le ruissellement est plus faible. Les turbidités décroissent rapidement dans les deux situations mais ont des valeurs nettement plus élevées sous maraîchage que sous prairie.

DISCUSSION : RELATION DISPERSABILITÉ-DÉTACHABILITÉ POUR LES SITUATIONS ÉTUDIÉES

Les turbidités obtenues pour les quatre situations étudiées donnent le classement suivant : ma/vert > ma/ferr ≈ pr/vert > pr/ferr. Ce classement est le même pour les classes d'agrégats inférieures à 5 µm obtenues au laboratoire pour un temps d'agitation de 30 minutes (tabl. V). Ces résultats sont en accord avec ceux de MILLER et BAHARUDDIN (1987) pour des alfisols et des ultisols.

Plus le sol est agrégé, moins il se disperse et moins ses particules constitutives s'en détachent sous les impacts des gouttes de pluies. Dans cet esprit, POESEN et SAVAT (1981 a et b) et HUSSAIN *et*

al. (1988) ont modélisé la relation entre le diamètre médian des particules et leur susceptibilité au détachement : plus le diamètre médian d'un échantillon de sol diminue, plus sa détachabilité (mesurée par la turbidité des eaux de ruissellement sous pluie simulée) augmente et ce jusqu'à une valeur de 60 µm environ. Les valeurs des diamètres médians pondéraux obtenus pour le temps t = 30r et t = 30 mn sont rapportées au tableau V et peuvent être ainsi comparées aux valeurs de turbidité. Le classement est analogue à celui des turbidités (mesurées sur le terrain) pour les situations à plus forte (ma/vert) et à plus faible (pr/ferr) turbidité. Les situations (ma/ferr et pr/vert) dont les valeurs des diamètres médians sont proches ont des turbidités analogues.

Comparaison des différentes approches méthodologiques

Le tableau VI résume le comportement des quatre situations selon les différentes approches méthodologiques utilisées. Ce tableau est conçu de façon à classer les situations en termes de stabilité décroissante : la stabilité structurale des situations décroît de la gauche vers la droite du tableau.

Toutes les approches méthodologiques mettent en évidence la stabilité élevée de la situation prairie sur ferrisol. Le test de cinétique de désagrégation dans l'eau montre, quel que soit l'indice utilisé, la très faible stabilité de la situation maraîchage sur vertisol. Ces deux situations extrêmes sont bien caractérisées par le test de terrain (simulation de pluie). La position intermédiaire des

TABLEAU V
Dispersabilité et détachabilité des sols des situations étudiées
Soil dispersability and soil detachment of the studied sites

Situations	Dispersabilité			Détachabilité	Désagrégation	
	f<5 μm dispersée				turbidité	diamètre médian
	(g.100g ⁻¹ sol)					pondéral
	selon le temps d'agitation					(μm)
	t = 0	t = 30 r	t = 30 mn		t = 30 r	t = 30 mn
Vertisol :						
maraîchage	23,2	35,1	37,7	30,4	36	20
prairie	7,3	9,1	19,8	4,4	140	65
Ferrisol :						
maraîchage	3,5	5,4	20,7	6,7	210	100
prairie	2,3	3,2	10,4	1,5	500	290

TABLEAU VI
Comparaison des méthodes de caractérisation de la stabilité structurale du sol
Comparison of the methods for soil structural stability characterization

Stabilité de l'agrégation vue au travers		Classement des situations					
du test de Hénin							
1/ (Is)	pr/ferr	>	pr/vert	>	ma/vert	>	ma/ferr
Age	pr/ferr	>	pr/vert	≥	ma/ferr	≥	ma/vert
Aga	pr/ferr	>	pr/vert	>	ma/ferr	>	ma/vert
Agb	pr/ferr	>	pr/vert	>	ma/vert	>	ma/ferr
1/ (A+LF _{max})	pr/ferr	>	pr/vert	>	ma/vert	>	ma/ferr
des cinétiques de désagrégation							
Diamètre médian t = 30 r	pr/ferr	>	ma/ferr	>	pr/vert	>	ma/vert
1/ (Dispersabilité t = 30 r)	pr/ferr	>	ma/ferr	>	pr/vert	>	ma/vert
Diamètre médian t = 30 mn	pr/ferr	>	ma/ferr	>	pr/vert	>	ma/vert
1/ (Dispersabilité t = 30 mn)	pr/ferr	>	pr/vert	≈	ma/ferr	>	ma/vert
Stabilité des agrégats > 200 µm	pr/ferr	>	ma/ferr	>	pr/vert	>	ma/vert
Stabilité des agrégats 5-200 µm	pr/ferr	>	pr/vert	≈	ma/ferr	>	ma/vert
du comportement sous pluie simulée							
1/ (Turbidité)	pr/ferr	>	pr/vert	≈	ma/ferr	>	ma/vert

situations ma/ferr et pr/vert exprimée par le test de terrain se trouve être caractérisée par les cinétiques de désagrégation, en particulier par les indices de dispersabilité et la stabilité au cours du temps des agrégats de taille comprise entre 5 et 200 µm. Les résultats obtenus par le test de Hénin, qui sont dominés par les valeurs d'agrégats et de la fraction fine (argile + limon fin) obtenus après le prétraitement au benzène, ne semblent pas, dans le cadre de cette étude, être validés par le test au champ, excepté pour la situation pr/ferr.

De manière générale, la méthode « cinétique d'agitation » appréhende essentiellement les processus liés à la désagrégation (usure progressive d'agrégats préalablement humectés), alors que le test Is prend également en compte les processus liés à l'éclatement des agrégats. Ce sont ces processus de désagrégation qui sont, au champ et dans les conditions expérimentales de cette étude, responsables de la détachabilité des sols étudiés.

CONCLUSION

Les méthodes proposées, tant au laboratoire (caractérisation de l'agrégation au laboratoire par une cinétique d'agitation dans l'eau) qu'au champ (caractérisation de la détachabilité sous pluies simulées) ont permis d'appréhender les effets du

type de sol et de la matière organique (à travers des effets « prairie » et « maraîchage ») sur les niveaux d'agrégation du sol et sa stabilité structurale.

Pour les ferrisols, le niveau d'agrégation stable est celui des agrégats de 5-200 µm. Cet effet peut être attribué, entre autres, au rôle agrégeant des oxyhydroxydes de fer et d'aluminium présents dans ces sols (BARRET, 1989). Il en résulte une relativement faible sensibilité à la détachabilité ; celle-ci est encore diminuée pour des échantillons riches en matière organique (prairie) par suite de la formation d'agrégats de taille supérieure à 200 µm. La comparaison des résultats obtenus par ces deux approches est possible car, pour les deux méthodes, les échantillons sont traités à l'état humide ; ainsi les processus en cause, sur le terrain comme au laboratoire, sont ceux liés à la désagrégation des mottes et non à leur éclatement (LE BISSONNAIS *et al.*, 1990).

Pour les vertisols, sous culture maraîchère (teneur en carbone de l'ordre de 10 mgC. g⁻¹ sol), aucune agrégation stable n'est définie par la méthode de cinétique d'agitation dans l'eau. Dès les faibles énergies, ces échantillons se désagrègent en leurs constituants élémentaires ; leur détachabilité atteint des niveaux très élevés (turbidité de l'ordre de 30 g.l⁻¹, soit une perte en terre de l'ordre de 30 t.ha⁻¹, pour une pluie de 30 minutes et

une intensité de 150 mm.h⁻¹). L'effet « matière organique » permet le développement d'une agrégation stable de taille comprise entre 5 et 200 µm et les tests de terrain sous pluie simulée montrent, pour les situations prairies sur vertisol, des détachabilités dont les valeurs sont sept fois plus faibles que celles observées pour les situations maraîchage sur vertisol.

L'effet « matière organique » sur l'agrégation dans les deux types de sols étudiés provient de produits colloïdaux liés à la fraction limono-argileuse du sol. Toutes situations confondues, il est intéressant de noter que, pour qu'il y ait une agrégation stable, la valeur minimale requise de la teneur en carbone de la classe d'agrégat correspondante doit

être de l'ordre de 20 mgC . g⁻¹.

Sur le plan méthodologique, ces premiers résultats, qui ne concernent que quatre échantillons de sols, indiquent que la méthode de cinétique de désagrégation, comme test de laboratoire, est plus probante que le test Is en matière de prédiction de comportement au champ de la structure des sols. D'autres études sont nécessaires pour valider ou infirmer ces premières données.

REMERCIEMENTS

Les résultats de cet article traitant des ferrisols ont pu être obtenus grâce au soutien du programme DBT-INSU (thème Fleuves et Érosion, contrat n° 893833).

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

BIBLIOGRAPHIE

- ALBRECHT (A.), BROSSARD (M.), FELLER (C.), 1986. – « Étude de la matière organique des sols par fractionnement granulométrique. 2 – Augmentation par une prairie à *Digitaria decumbens* du stock organique de vertisols cultivés à la Martinique » in *C.R. du 13^e Cong. Int. AISS*, Hambourg. Vol V : 214-215.
- ALBRECHT (A.), BROSSARD (M.), CHOTTE (J.L.), FELLER (C.), 1992. – Les stocks organiques des principaux sols cultivés de la Martinique (Petites Antilles). *Cah. Orstom, Sér. Pédol.*, vol. XXVII, n° 1 : 23-36.
- ASSELIN (J.), VALENTIN (C.), 1978. – Construction et mise au point d'un infiltromètre à aspersion. *Cah. Orstom, sér. Hydrol.*, Vol. XV, n° 4 : 321-350.
- BARRET (P.), 1988. – Effets du système de culture sur l'agrégation des horizons de surface de ferrisols (Martinique) : influence du stock organique. *Rapp. multigr.*, DEA Univ. Nancy-I et Centre Orstom de Fort-de-France.
- COLMET-DAAGE (F.), LAGACHE (P.), 1965. – Caractérisation de quelques groupes de sols dérivés de roches volcaniques aux Antilles françaises. *Cah. Orstom, Sér. Pédol.*, vol. III, n° 2 : 91-121.
- ELLIOTT (E.T.), 1986. – Aggregate structure and carbon, nitrogen and phosphorus in native and cultivated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50 : 627-633.
- EMERSON (W.W.), FOSTER (R.C.), OADES (J.M.), 1986. – « Organo-mineral complexes in relation to soil aggregation and structure » in P.M. HUANG and M. SCHNITZER (eds.), 1986 : 521-548.
- FELLER (C.), FRANÇOIS (C.), VILLEMIN (G.), PORTAL (J.M.), TOUTAIN (F.), MOREL (J.L.), 1991. – Nature des matières organiques associées aux fractions argileuses d'un sol ferrallitique. *C.R. Acad. Sci. Paris*, t. 312, Sér. II : 1491-1497.
- HAYNES (R.J.), SWIFT (R.S.), 1990. – Stability of soil aggregates in relation to organic constituents and soil water content. *J. Soil Sci.*, 41 : 73-83.
- HUANG (P.M.), SCHNITZER (M.) (eds.), 1988. – *Interactions of soils minerals with natural organics and microbes*, SSSA Special Publication n° 17.
- HUSSAIN (S.K.), MIELKE (L.N.), SKOPP (J.), 1988. – Detachment of soil affected by fertility management and crop rotations. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 52 : 1463-1468.
- HENIN (S.), GRAS (J.), MONNIER (G.), 1960. – *Le profil cultural*. Société d'éditions des Ingénieurs agricoles, Paris.
- KEMPER (W.D.), ROSENAU (R.C.), 1986. – « Aggregate stability and size distribution » in *Methods of soil analysis, Part 1. Physical and mineralogical methods*. Agronomy monographs n° 9 (2nd edition) : 425-442.
- LE BISSONNAIS (Y.), BRUAND (A.), JAMAGNE (M.), 1990. – Étude expérimentale sous pluie simulée de la formation des croûtes superficielles. Apport à la notion d'érodibilité des sols. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, vol. XXV, nos 1-2 : 31-40.
- LOWRANCE *et al.* (eds.), 1983. – *Nutrient cycling in agricultural ecosystems*, Athens, The University of Georgia Press, Special Publication n° 23.
- MOREL (R.), QUANTIN (A.), 1972. – Observations sur l'évolution à long terme de la fertilité des sols cultivés à Grimari (République Centrafricaine). *L'Agron. Trop.*, 27 : 667-739.
- MILLER (W.P.), BAHARUDDIN (M.K.), 1987. – Particle size of interrill-eroded sediments from highly weathered soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 51 : 1610-1615.
- OADES (J.M.), 1984. – Soil organic matter and structural stability : Mechanisms and implications for management. *Plant and Soil*, 76 : 319-337.

- PARTON (W.J.), ANDERSON (D.W.), COLE (C.V.), STEWART (J.W.B.), 1983. – « Simulation of organic matter formation and mineralization in semi-arid agroecosystems » in R.R. LOWRANCE *et al.* (eds.), 1983 : 533-550.
- PAUL (E.A.), 1984. – Dynamics of organic matter in soils. *Plant and Soil*, 76 : 275-285.
- POESEN (J.), SAVAT (J.), 1981. – Detachment and transportation of loose sediments by raindrop splash. Part I : Calculation of absolute data on detachability and transportability. *Catena*, 8 : 1-17.
- POESEN (J.), SAVAT (J.), 1981. – Detachment and transportation of loose sediments by raindrop splash. Part II : Detachability and transportability measurements. *Catena*, 8 : 19-41.
- TALINEAU (J.C.), BONZON (B.), FILLONNEAU (C.), HAINNEAUX (G.), 1979. – Contribution à l'étude d'un agrosystème prairial dans le milieu tropical humide de la Côte-d'Ivoire. 1. Analyse de quelques paramètres de l'état physique du sol. *Cah. Orstom, Sér. Pédol.*, vol. XVII, n° 2 : 141-157.
- TISDALL (J.M.), OADES (J.M.), 1982. – Organic matter and water stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.*, 33 : 141-163.
- TYBURN (P.), 1986. – *Effet de l'intensification des cultures maraîchères et prairiales sur les propriétés de vertisols et ferrisols de la Martinique*. Orstom Martinique et Istom Le Havre, *rapp. multigr.*, 85 p.
- VALENTIN (C.), CHEVALLIER (P.), FRITSCH (E.), JANEAU (J.L.), 1990. – « Le fonctionnement hydrodynamique aux petites échelles » in *Equipe HYPERBAV; Structure et fonctionnement hydropédologique d'un petit bassin versant de savane humide*. Paris, Orstom, Études et Thèses : 147-163.
- VAN BAVEL (C.H.M.), 1949. – Mean weight diameter of soil aggregates as statistical index of aggregation. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 14 : 20 - 23.
- VAN VEEN (J.A.), PAUL (E.A.), 1981. – Organic carbon dynamics in grassland soils. 1. Background information and computer simulation. *Can. J. Soil Sci.*, 61 : 185-201.
- WILLIAMS (B.G.), GREENLAND (D.J.), LINDSTROM (G.R.), QUIRK (J.P.), 1966. – Techniques for the determination of the stability of soil aggregates. *Soil Sci.*, 101 : 157-163.
- YODER (R.E.), 1936. – A direct method of aggregate analysis of soils and study of the physical nature of erosion losses. *J. Am. Soc. Agron.*, 28 : 337-351.
- YOUKER (R.L.), MCGUINNESS (J.L.), 1956. – A short method of obtaining mean weight diameter values of aggregate analysis of soils. *Soil Sci.*, 83 : 291-294.

Photocomposition et impression
réalisées par

PARA 
GRAPHIC

31240 L'UNION (Toulouse)
Tél. (16) 61.74.27.67
Dépôt légal : Juillet 1994

Sommaire / Contents

Matière organique et activités biologiques dans les sols tropicaux

FELLER (C.) – Avant-propos/ <i>Foreword</i>	3
DJEGUI (N.), BOISSEZON (P. de), GAVINELLI (É.) – Statut organique d'un sol ferrallitique du Sud-Bénin sous forêt et différents systèmes de cultures/ <i>Organic matter levels of ferrallitic soils under different cropping systems in the south of Benin</i>	5
ALBRECHT (A.), BROSSARD (M.), CHOTTE (J.L.), FELLER (C.) – Les stocks organiques des principaux sols cultivés de la Martinique (Petites Antilles)/ <i>Soil organic matter storage in the main cultivated soils of Martinique (West Indies)</i>	23
LEROY (C.), TOUTAIN (F.), LAVELLE (P.) – Variations des caractéristiques de l'humus forestier d'un sol ferrallitique (Guyane) selon l'essence arborée considérée. Résultats préliminaires/ <i>Effect of different tree species on characteristics of the humus layer in a ferrallitic soil of French Guyana. Preliminary results</i>	37
CADET (P.), ALBRECHT (A.) – Le remodelage des terres à la Martinique. 3 - Effet sur le peuplement de nématodes parasites de la canne à sucre en relation avec la croissance végétale/ <i>Hillock-levelling field in Martinique. 3 - Influence on the sugarcane plant parasitic nematode community in relation with plant growth</i>	49
CHAUSSOD (R.), ZUVIA (M.), BREUIL (M.C.), HETIER (J.M.) – Biomasse microbienne et « statut organique » des sols tropicaux : exemple d'un sol vénézuélien des Llanos sous différents systèmes de culture/ <i>Microbial biomass and « organic status » of tropical soils: example of a Venezuelan soil of the Llanos under different cropping systems</i>	59
LUIZÃO (F.), LUIZÃO (R.), CHAUVEL (A.) – Premiers résultats sur la dynamique des biomasses racinaires et microbiennes dans un latosol d'Amazonie centrale (Brésil) sous forêt et sous pâturage/ <i>Preliminary results on roots and soil microbial biomass dynamics in oxisol in Central Amazon</i>	69
CHOTTE (J.L.), JOCTEUR MONROZIER (L.), VILLEMIN (G.), TOUTAIN (F.) – Effet du mode de dispersion du sol sur la localisation de sa biomasse microbienne. Cas d'un vertisol/ <i>Effect of the soil dispersion on the location of the microbial biomass. Example of a vertisol</i>	81
WANEUKEM (V.), GANRY (F.) – Relations entre les formes d'azote organique du sol et l'azote absorbé par la plante dans un sol ferrallitique du Sénégal/ <i>Relationships between soil organic nitrogen forms and nitrogen taken up by plant in a Senegal ferrallitic soil</i>	97
BROSSARD (M.), LAURENT (J.Y.) – Le phosphore dans les vertisols de la Martinique (Petites Antilles). Relations avec la matière organique/ <i>Phosphorus in vertisols of Martinique (West Indies). Relations with organic matter</i>	109
ALBRECHT (A.), RANGON (L.), BARRET (P.) – Effets de la matière organique sur la stabilité structurale et la détachabilité d'un vertisol et d'un ferrisol (Martinique)/ <i>Effects of soil organic matter on soil stability and soil detachment for a vertisol and a ferrisol (Martinique)</i>	121