

CRSTOM

Institut français de recherche scientifique
pour le développement en coopération

**Centre
de
Montpellier**

LA MATIÈRE ORGANIQUE
ET LA STABILITÉ STRUCTURALE
D'HORIZONS DE SURFACE
DE SOLS FERRALLITIQUES ARGILEUX.
EFFET DU MODE DE GESTION DES TERRES

Ernest KOUAKOUA

Laboratoire d'étude du comportement des sols cultivés

Ernest KOUAKOUA

LA MATIÈRE ORGANIQUE
ET LA STABILITÉ STRUCTURALE
D'HORIZONS DE SURFACE
DE SOLS FERRALLITIQUES ARGILEUX.
EFFET DU MODE DE GESTION DES TERRES

12 AOUT 1998



Montpellier
1998

F



Les opinions exprimées dans ce document
n'engagent que la responsabilité de leurs auteurs

Ce travail de recherche a été effectué par Ernest KOUAKOUA au sein du Laboratoire d'étude du comportement des sols cultivés du centre de recherche Orstom de Montpellier, sous la direction de Christian FELLER et de Georges-Henri SALA, pour l'obtention du doctorat de l'université Henri Poincaré, Nancy I, spécialité Sciences du sol, le 21 janvier 1998.

© Centre Orstom de Montpellier, 1998

A la mémoire de ma mère Cécile MASSAMOUNA,

A mon oncle Antoine KIYINDOU,

A mon père Casimir KOUAKOUA,

A mes frères et sœurs : *Toussaint, Xavier, Denise, Olga et Amélie,*

Ce travail vous est dédié.

Résumé

Dans les régions intertropicales, on assiste généralement après défrichage et mise en culture à une dégradation de nombreuses propriétés des sols, en particulier des propriétés physiques, avec des accroissements du ruissellement, de l'érodibilité, de la compaction, etc. Ces propriétés sont toutes plus ou moins dépendantes de la stabilité de l'agrégation (AS) des horizons de surface. Parallèlement, on note aussi : (i) avec la mise en culture, une forte diminution des teneurs en matière organique (MO) des sols (MOS), (ii) de fortes corrélations entre teneurs en MOS et stabilité de l'agrégation des horizons de surface. Aussi apparaît-il essentiel de mieux comprendre les interactions entre MOS et stabilité de l'agrégation. C'est l'objet de cette thèse.

Cette étude concerne essentiellement des sols ferrallitiques argileux provenant du Congo, du Brésil et de la Martinique.

Les formes de MO susceptibles de variations importantes avec le mode de gestion de terres et la stabilité de l'agrégation ont été étudiées par différentes approches : par fractionnement granulométrique du sol et par extraction du sol à l'eau chaude. La stabilité structurale est estimée par le taux de macroagrégats stables à l'eau (AS) avant et après traitement à l'eau chaude (AS_e).

La diminution importante des teneurs en carbone total dans les horizons de surface des sols cultivés après défrichage de la végétation naturelle (savane ou forêt) a été généralement confirmée.

Le fractionnement granulométrique de la MO montre que : (i) tous échantillons confondus, les contenus en C augmentent des fractions sableuses (50-2000 μm) aux fractions argileuses (0-2 μm), (ii) toutes les fractions sont concernées par les variations des contenus en carbone, mais avec des amplitudes variables selon la fraction, le type de sol et le mode de gestion. Toutefois, les variations de la fraction sableuse sont les plus importantes.

La mise en culture intensive induit aussi une diminution des teneurs en carbone soluble à l'eau chaude et en sucres totaux des sols.

Les relations entre MOS et stabilité de l'agrégation AS ont été étudiées pour les MO solubles à l'eau chaude et pour les fractions granulométriques de la MO.

On a pu montrer, comme d'autres auteurs, l'existence de relations hautement significatives entre teneur en C soluble à l'eau chaude et AS. Pourtant l'étude de l'effet direct de ces MO solubles (comparaisons des stabilités avant et après extraction aux MO solubles) ne met pas en évidence un effet agrégeant de ces MO. Ainsi, la seule existence de relations statistiques est insuffisante pour identifier des compartiments agrégeants.

Ce type d'approche statistique a tout de même été appliqué aussi au contenu en carbone des fractions granulométriques des sols. Seules les MO associées aux fractions sableuses (débris végétaux) montrent une corrélation significative avec la stabilité de l'agrégation. Compte-tenu des observations ci-dessus, on ne peut toutefois conclure définitivement à un effet réel et direct de cette fraction sur l'agrégation.

En conclusion, ce travail n'aura pas permis d'identifier avec certitude une fraction organique agrégeante dans ces sols ferrallitiques argileux. Il aura toutefois conduit à montrer que les MO solubles à l'eau chaude ne le sont probablement pas, et que, dans ces sols à argile 1:1 où le processus de désagrégation est dominé par le phénomène d'éclatement, les MO associées aux fractions sableuses pourraient éventuellement jouer un rôle important dans la stabilité structurale.

Mots clés : matière organique, stabilité des macroagrégats, sol ferrallitique, fractionnement granulométrique, traitement eau chaude, sucres.

Abstract

In the intertropical regions, the clearing of native vegetation and cultivation of native soils lead generally to drastic degradation of soil properties, in particularly physical properties with increases in runoff, erodibility, compaction, ... All these properties are more or less dependent upon the aggregate stability (AS) of the surface horizons. Similarly, it should be noticed (i), a strong decrease in soil organic matter (SOM) contents with cultivation, (ii) a strong correlation between the SOM and AS contents of the surface horizons. The objective of this work was to get a better understanding of the relationships between SOM and AS.

This study deals primarily with clayey ferrallitic soils from the Congo, Brazil and Martinique.

Particle-size fractionation and hot-water extraction of soils have been used in order to study the different forms of organic matter (OM) occurring after changes in soil management and aggregate stability. The aggregate stability was evaluated by means of the contents in water-stable macroaggregates (AS), preceding and following a hot-water treatment (AS_e).

An important decrease in the total carbon contents of the surface horizons in cultivated soils after clearing of the native vegetation (savanna or forest), was generally confirmed.

The particle-size fractionation of OM showed that : (i) whatever the samples, the carbon contents decreased from the sand-sized fractions (50-2000 μm) to the clay ones (0-2 μm), (ii) all the fractions were concerned with the carbon content variations, but to a different extent according to the fraction considered, the type of soil and management. However, the sand fractions displayed the most important variations.

The intensive cultivation of native soils led also to a decrease in the contents of the hot-water soluble carbon and the total carbohydrates.

As was shown also by some authors, there were highly significant relationships between the hot-water carbon content and AS. However, the direct measurement of aggregate stability of the soils after hot-water extraction, shows no effect of this treatment on aggregate stability. Therefore, would not assign a clear aggregating role to the soluble OM forms.

The same statistical approach has been applied to the carbon contents of the particle-size fractions. The OM of sand fractions (plant debris) only, showed a significant correlation with AS. In the absence of a direct test, we could not conclude on a real aggregation effect of this fraction.

In conclusion, this work did not allow to identify with certainty an aggregating organic fraction in these clayey ferrallitic soils. However, it showed that the hot-water soluble OM probably do not have an aggregation effect ; in these 1:1 clayey soils where the disaggregation process is dominated by the breakdown phenomenon, the OM associated with the sand fractions would possibly play an important role in structural stability.

Key words : organic matter, macroaggregate stability, ferrallitic soil, particle-size fractionation, hot-water treatment, carbohydrates.

Avant Propos

Ce travail a été mené au Laboratoire d'étude du Comportement des Sols Cultivés (LCSC) du Centre ORSTOM de Montpellier dans le cadre des recherches menées à l'ORSTOM sur le thème « Biofonctionnement des sols tropicaux et gestion des terres » de l'Unité de Recherche 35.

Avant d'en exposer les résultats et les conclusions, je tiens à remercier les personnes qui, en France, au Congo, au Brésil et à la Martinique ont contribué à sa réalisation.

Le professeur A. HERBILLON m'a autorisé à m'inscrire en thèse et a accepté d'être le directeur de thèse. Je lui exprime ici ma profonde gratitude.

M. C. FELLER, Directeur de Recherches à l'ORSTOM, et directeur scientifique de cette thèse, malgré ses nombreuses occupations, a pris sur son temps, que je sais très précieux pour discuter et me prodiguer les conseils pour le choix des paramètres utiles et nécessaires pour la rédaction de ce mémoire. Ce travail porte ainsi les empreintes de sa rigueur. Le chapitre 2 lui doit particulièrement beaucoup. Je lui exprime ici mes plus vifs remerciements pour sa patience et sa compréhension.

Je tiens aussi à remercier très sincèrement M. G-H. SALA, Chargé de Recherches à l'ORSTOM qui n'a pas ménagé son temps pour encadrer ce travail et m'aider à organiser cette recherche. Ses critiques et remarques ont contribué à la mise en forme de cette version finale.

Mme M.C. LARRE-LARROUY, Ingénieur de Recherches à l'ORSTOM, a consacré une partie de son temps pour m'aider à conduire une grande partie des travaux de ce travail. Qu'elle trouve ici le témoignage de ma profonde gratitude.

Mes remerciements vont également à Mme C. CHENU, Chargée de Recherche à l'INRA de Versailles, qui a accepté de juger ce travail.

Un grand merci à M. J. BERTHELIN, Professeur de l'Université Henri Poincaré de Nancy I, qui a bien voulu accepter d'être le président du jury auquel je sou mets ces résultats.

Je remercie également P. LAVELLE, Professeur de l'Université de Paris VI et M. F. GANRY, Ingénieur de Recherches au CIRAD, pour avoir accepté de rapporter sur cette thèse. Je leur en suis très reconnaissant.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance et mes remerciements aux personnes qui m'ont encadré en DEA, en 1992 : M. BROSSARD, F. THOMAS et E. SCHOULLER.

B. BARTHES a toujours accordé un intérêt à ce travail. Ses conseils et ses critiques ont été d'une grande utilité pour la réalisation d'une grande partie des travaux de ce mémoire. Qu'il soit assuré de ma reconnaissance.

Je remercie Messieurs A. ALBRECHT et R. MOREAU pour leurs informations et conseils.

Ma gratitude va profondément à M. PANSU pour ses informations et ses conseils : il m'a aidé m'a immergé dans les analyses statistiques. Egalement merci à J. ROUILLER, M. SCHWARC et J.Y. LAURENT, et leurs équipes, qui ont fait certaines analyses physico-chimiques.

C'est aussi avec un grand plaisir que je remercie D. BLAVET et B. LE ROUGET pour leur aide.

Ce travail n'aurait pas abouti sans l'aide des techniciennes et des techniciens qui ont passé beaucoup de temps à faire des analyses parfois fastidieuses. Je tiens à remercier particulièrement E. GAVINELLI, maintenant à la retraite, qui a toujours été très disponible à mon égard et J. FARDOUX pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail.

J'adresse mes remerciements à Monsieur G. DE NONI, responsable du Laboratoire d'étude du Comportement des Sols Cultivés à Montpellier pour son accueil au sein du laboratoire. J'ai profité d'un cadre de travail exceptionnel, et j'ai pu vivre des relations personnelles enrichissantes. Je n'oublie pas de remercier les hommes et les femmes du laboratoire avec qui j'ai construit une forte amitié : M. VIENNOT, J. A. PETARD, M. SICOT, E. ROOSE, J. ASSELINE, M. MARCOUREL, R. CHAUME, A-L. VIALA, C. HELY, C. ORANGE, J.F. NDANDOU, L. THURIES et J. A. TAMIA.

En ce qui concerne le terrain, bien que n'ayant pas été sur les lieux, j'ai bénéficié de l'aide précieuse de personnes qui n'ont pas ménagé leurs efforts pour me faciliter la tâche. Je voudrais remercier en particulier B. NYETE à Loudima et M.Y. DJONDO à Nkayi au Congo, P.L. de FREITAS et Ph. BLANCANEUX à Goiânia et C. NEVES à Londrina au Brésil pour m'avoir fourni les échantillons qui sont à l'origine de ce travail.

Merci à tous ceux qui, en m'accordant leur précieuse amitié, m'ont beaucoup aidé.

Enfin, je ne saurais terminer ces remerciements sans invoquer le sacrifice et le soutien de ma famille. Je tiens pour cela à adresser ma profonde gratitude à mon oncle A. KIYINDOU, à mon père C. KOUKOUA, à mes frères et soeurs Toussaint, Xavier, Denise, Olga et Amélie. Merci à C. KODIA pour son aide. Cette thèse est aussi à la mémoire de ma mère C. MASSAMOUNA.

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE	1
PREMIÈRE PARTIE : PRESENTATION GENERALE DES MILIEUX ET EFFET DU MODE DE GESTION DES TERRES.....	7
CETTE PREMIÈRE PARTIE CONCERNE LA PRÉSENTATION GÉNÉRALE DES MILIEUX ET EFFET DU MODE DE GESTION DES TERRES. ELLE COMPORTE DEUX CHAPITRES :	9
- LE PREMIER CHAPITRE DÉCRIT ET CARACTÉRISE LES SITUATIONS QUI ONT SERVI DE BASE POUR CE TRAVAIL.....	9
- LE SECOND CHAPITRE (SOUS FORME D'ARTICLE) ÉTUDIE L'EFFET DU MODE DE GESTION DES TERRES SUR LES MATIÈRES ORGANIQUES (MO) DES SOLS (MOS). IL S'AGIT D'UNE ÉTUDE PAR FRACTIONNEMENT GRANULOMÉTRIQUE ET EXTRACTION À L'EAU CHAUDE.....	9
CHAPITRE I : PRÉSENTATION DES SITUATIONS ÉTUDIÉES.....	11
<i>Les zones d'étude</i>	13
<i>Les situations du Congo</i>	20
<i>Les situations du Brésil</i>	30
<i>Situation de la Martinique</i>	41
<i>Synthèse</i>	43
CHAPITRE II : LA MATIÈRE ORGANIQUE DE SOLS FERRALLITIQUES ARGILEUX. ÉTUDE PAR FRACTIONNEMENT GRANULOMÉTRIQUE ET EXTRACTION À L'EAU CHAUDE. EFFET DU MODE DE GESTION DES TERRES.....	45
<i>Résumé</i>	47
<i>Introduction</i>	47
<i>Matériels et méthodes</i>	48
<i>Résultats</i>	53
<i>Discussion</i>	67
<i>Références Bibliographiques</i>	72
DEUXIÈME PARTIE : RECHERCHE DES COMPARTIMENTS ORGANIQUES AGREGEANTS	77
CHAPITRE III : MATIÈRE ORGANIQUE SOLUBLE À L'EAU CHAUDE ET STABILITÉ DE L'AGRÉGATION DE SOLS FERRALLITIQUES ARGILEUX	81

<i>Résumé</i>	83
<i>Matériels et méthodes</i>	85
<i>Résultats</i>	89
<i>Discussion</i>	98
<i>Références bibliographiques</i>	101
CHAPITRE IV : EFFET DE LA MATIÈRE ORGANIQUE ASSOCIÉE AUX	
FRACTIONS GRANULOMÉTRIQUES SUR LA STABILITÉ DE L'AGRÉ - GATION DE SOLS FERRALLITIQUES ARGILEUX	
<i>Résumé</i>	109
<i>Introduction</i>	110
<i>Matériels et Méthodes</i>	110
<i>Résultats</i>	114
<i>Discussion</i>	124
<i>Références bibliographiques</i>	128
CONCLUSIONS GENERALES	133
<i>EFFET DES CARACTÉRISTIQUES DU SOL SUR LA STABILITÉ DE L'AGRÉGATION : ANALYSE EN COMPOSANTES</i>	
<i>PRINCIPALES</i>	138
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	145
ANNEXES	161
ANNEXE I : MÉTHODE DE FRACTIONNEMENT GRANULOMÉTRIQUE DE LA MATIÈRE ORGANIQUE	163
ANNEXE II : QUELQUES ASPECTS MÉTHODOLOGIQUES CONCERNANT LA STABILITÉ STRUCTURALE	167
ANNEXE III : ARTICLE KOUAKOUA <i>ET AL.</i> 1997	175
ANNEXE IV : MÉTHODE D'ANALYSE DES SUCRES	197
LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX TABLE DES MATIÈRES	199
LISTES DES FIGURES	201
LISTES DES TABLEAUX	202
TABLE DES MATIÈRES	205

INTRODUCTION GENERALE

“Les caractéristiques de la matière organique et de la structure d'un sol dépendent des facteurs naturels comme le climat, la faune et les plantes, mais aussi de l'action de l'homme qui cultive le sol ” (KONONOVA, 1966).

Introduction générale

Les sols ferrallitiques, leur pauvreté naturelle et leur mise en culture

Cette étude est réalisée sur des échantillons de sols ferrallitiques bien drainés de la zone intertropicale. D'après SANCHEZ (1976), ces sols représentent environ 50 à 70 % de la totalité des sols tropicaux, et au moins 70 % des superficies cultivées. Leur constitution minérale est essentiellement dominée par des minéraux primaires siliceux (quartz) et des constituants secondaires sous forme d'argile de type 1:1 (kaolinite, halloysite) et d'oxyhydroxydes de fer et d'aluminium (gœthite, hématite, gibbsite).

Ces sols sont fragiles lorsqu'ils sont privés de leur couverture arborée. En raison de leur faible degré de fertilité, ils doivent être cultivés avec le plus grand soin (SEGALEN, 1995). C'est ainsi que la mise en culture de ces sols s'accompagne généralement d'une évolution défavorable de leurs propriétés physiques, biologiques et chimiques ((FAUCK *et al.*, 1969 ; MOREL et QUANTIN, 1972 ; BOISSEZON, 1973 ; BOYER, 1982 ; MOREAU, 1983 ; PIERI, 1989 ; FELLER, 1995 ; FELLER *et al.*, 1996). Le rôle de la matière organique (MO) des sols (MOS) dans l'évolution des propriétés des horizons de surface est connu. En se limitant aux sols ferrallitiques, ce rôle est important, direct ou indirect, dans leur fertilité, en favorisant le stockage d'éléments nutritifs, en augmentant la capacité d'échange cationique, en intervenant dans les activités microbiennes et enzymatiques et en améliorant la stabilité de l'agrégation. C'est ce dernier aspect qui nous intéresse ici.

Stabilité structurale et matière organique des sols

D'une façon générale, le maintien d'une bonne structure dans les sols est essentiel à l'atteinte des objectifs d'une agriculture durable. Or la structure du sol est une propriété très variable et dépendante des facteurs intrinsèques du sol, mais également des facteurs extrinsèques, climatiques et anthropiques (DUVAL *et al.*, 1993). Souvent très spectaculaires, voire catastrophiques et toujours très dommageables pour les potentialités agricoles dans les milieux tropicaux exposés à des conditions climatiques agressives (ROOSE, 1973), les phénomènes de battance et d'érosion hydrique sont à l'origine de la dégradation structurale superficielle du sol sous l'action des gouttes de pluies. La mesure de la stabilité structurale est un moyen d'évaluation de la sensibilité des sols à la battance et à l'érosion hydrique, phénomènes responsables des pertes en sol et en éléments chimiques.

Les constituants qui assurent des liens entre les particules de sol peuvent être de nature organique ou inorganique. Qu'il s'agisse des régions tempérées, froides ou tropicales, il est généralement accepté que la stabilité des agrégats dépend des teneurs en argile, en oxyde et

surtout en MO (KEMPER & KOCH, 1966 ; KEMPER *et al.*, 1987 ; ELUSTONDO *et al.*, 1990 ; GOLDBERG *et al.*, 1990 ; OADES & WATERS, 1991 ; GIJSMAN & THOMAS, 1995).

Ainsi, la MO joue un rôle important dans la stabilité de l'agrégation. De faibles teneurs s'accompagnent généralement d'une dégradation structurale. Même dans les régions où l'eau ne constitue pas un facteur limitant, la qualité de la MO, tout autant que son taux dans les couches arables, peuvent conditionner l'aptitude agronomique des sols (SANCHEZ & MILLER, 1986).

Les matériaux organiques qui contribuent aux liaisons entre les particules minérales sont de nature et de taille très variable, des composés à faibles poids moléculaire tels que les sucres, des polymères peu transformés ou fortement transformés, des résidus végétaux et microbiens (TISDALL & OADES, 1982 ; ELLIOT, 1986 ; JASTROW *et al.*, 1996). Mais toutes les fractions organiques du sol ne semblent pas responsables au même degré de l'agrégation (OADES, 1984). La nature des groupements carbonés des matériaux organiques et leurs degrés de protection physique (PARTON *et al.*, 1987) semblent être d'une importance particulière. Par ailleurs, certains auteurs (BALDOCK & KAY, 1987 ; ANGERS & MEHUYS, 1989) ont observé des changements majeurs de stabilité pouvant survenir avant l'arrivée de changements significatifs de la quantité totale de MOS. Ceci suggère que la stabilité structurale serait influencée de façon plus importante par certaines formes mineures de carbone. Il est dès lors intéressant de caractériser les formes de MO susceptibles de favoriser l'agrégation, surtout pour les sols ferrallitiques dans lesquels elles ont été jusqu'à présent peu étudiées.

Formes des constituants organiques en relation avec la stabilité de l'agrégation du sol

Différentes hypothèses existent quant aux données sur la nature des compartiments organiques impliqués dans la stabilité de l'agrégation. COMBEAU (1960), MARTIN (1963) et THOMANN (1963) attribuent à la fraction humine un rôle particulier dans la stabilité structurale de sols à argile 1:1 (sols ferrugineux et ferrallitiques). De même, DUTARTRE *et al.* (1993) montrent l'importance de l'humine, des acides uroniques, des osamines et des polyphénols dans la stabilité structurale des sols ferrugineux. Par ailleurs, CHANEY & SWIFT (1984), PICCOLO & MBAGWU (1990) et FORTUN *et al.* (1990) accordent une grande importance aux acides humiques et fulviques dans la stabilisation de la structure des sols des régions tempérées ou froides.

Des études ont concerné aussi des composés plus spécifiques de la MO des sols. Ainsi, GIOVANNINI & SEQUI (1976 a, b) et WIERZCHOS *et al* (1992), en utilisant des solvants organiques (acétylacétone et benzène), montrent l'importance des cations minéraux (Fe et Al) associés à la MO dans la stabilité de l'agrégation. De leur côté, HAMBLIN & GREENLAND (1977) indiquent que la MO extraite par l'acétylacétone ou le pyrophosphate de sodium a plus d'importance dans la stabilité de l'agrégation que les polysaccharides.

D'autres constituants organiques comme les substances phénoliques (GRIFFITHS & BURNS, 1972) ou la "fraction aliphatique" extraite par l'hexane supercritique, caractérisée par ses propriétés hydrophobes (CAPRIEL *et al.*, 1990), sont aussi considérés comme efficaces dans le processus d'agrégation. La structure tridimensionnelle des macromolécules organiques est aussi parfois invoquée, et HAYES (1986) estime que les macromolécules aux conformations linéaires ou en hélices joueraient un rôle capital dans l'agrégation.

Depuis très longtemps, il a aussi été montré que la stabilité structurale serait liée aux polysaccharides (RENNIE *et al.*, 1954 ; CHESTERS *et al.*, 1957 ; ACTION *et al.*, 1963 ; GUCKERT, 1973 ; GUCKERT *et al.* 1975 ; CHENU, 1989). Les polysaccharides agiraient sous forme de "glus" et de "bag-like" au sein des agrégats (HARRIS *et al.*, 1966 ; MARTIN, 1971 ; CHESHIRE, 1979 ; TISDALL & OADES, 1982 et TATE, 1992), mais auraient souvent un caractère transitoire (MONNIER, 1965 a; b ; TISDALL & OADES, 1982).

Par ailleurs, divers travaux récents montrent que la teneur en carbohydrates solubles à l'eau chaude serait fortement corrélée avec la stabilité de l'agrégation : elle pourrait jouer un rôle important dans la formation d'agrégats stables (HAYNES & SWIFT, 1990 ; HAYNES *et al.*, 1991 ; HAYNES & FRANCIS, 1993 ; ANGERS *et al.*, 1993b ; GIJSMAN & THOMAS, 1995 ; BALL *et al.*, 1996). Cette fraction de carbohydrates solubles à l'eau chaude représenterait de 1 à 15 % du carbone total du sol.

Enfin, depuis de nombreuses années, la caractérisation de la MOS met de plus en plus en œuvre des fractionnements physiques, densimétriques ou granulométriques (CHRISTENSEN, 1992 ; FELLER, 1997). Curieusement, cette démarche n'a pas été fortement appliquée à l'étude des propriétés physiques des sols sauf pour la caractérisation d'agrégats (PUGET *et al.*, 1996 ; GOLCHIN *et al.*, 1994, 1995). Il apparaît donc, à priori, intéressant d'évaluer le rôle dans l'agrégation de ces formes de MOS séparées par voie physique.

Objectifs de l'étude

L'objectif central de cette étude est de tenter d'identifier des formes de MO agrégeantes des sols à argile 1:1. Dans cette optique une collection d'échantillons de sols ferrallitiques **argileux** a été sélectionnée, et les formes de MO choisies **à priori** pour être étudiées sont : les polysaccharides, les MO solubles à l'eau (froide et chaude) et les fractions organiques séparées par granulométrie.

Le plan de l'étude sera le suivant :

- **le premier chapitre** est consacré à la présentation et à la caractérisation des situations retenues. Trois grands types de sols ferrallitiques argileux soumis à différents modes de gestion des terres sont étudiés : un sol ferrallitique fortement désaturé à "*kaolinite et goethite*" du Congo, des sols ferrallitiques fortement désaturés à "*kaolinite, hématite et goethite*" du Brésil, un sol ferrallitique faiblement désaturé à "*kaolinite et halloysite*" de la Martinique,

- **le deuxième chapitre** porte sur les modifications des différentes formes de carbone organique en fonction du mode de gestion des terres,

- **le troisième chapitre** s'intéresse à la nature et au rôle de la matière organique soluble à l'eau chaude dans la stabilité structurale des sols.

- **le quatrième chapitre** concerne le rôle des MO associées aux fractions granulométriques des sols dans l'agrégation.

Nous concluerons par une synthèse générale des résultats obtenus.

Première partie :

**PRESENTATION GENERALE DES MILIEUX
ET EFFET DU MODE DE GESTION DES
TERRES**

Cette première partie concerne la présentation générale des milieux et effet du mode de gestion des terres. Elle comporte deux chapitres :

- le premier chapitre décrit et caractérise les situations qui ont servi de base pour ce travail,

- le second chapitre (sous forme d'article) étudie l'effet du mode de gestion des terres sur les matières organiques (MO) des sols (MOS). Il s'agit d'une étude par fractionnement granulométrique et extraction à l'eau chaude.

CHAPITRE I :
Présentation des situations étudiées

Remarque préliminaire : Ce travail est une recherche de laboratoire sur une collection d'échantillons de sols déjà prélevés. En conséquence, un certain nombre des données fournies sont extraites des travaux des différents auteurs qui ont travaillé sur ces sols.

Cette étude portera principalement sur des sols ferrallitiques argileux bien drainés de régions intertropicales (Congo, Brésil et Martinique).

Les situations décrites ci-dessous ont été choisies en vue de caractériser des sols variant fortement par leur minéralogie. La kaolinite est présente dans toutes les situations. Elle est associée à la goëthite au Congo, à l'hématite, la gibbsite et la goëthite au Brésil et à de fortes proportions d'halloysite à la Martinique.

Pour chaque situation, différents modes de gestion des terres ont été sélectionnés afin de comparer des horizons de surface différents par leur teneur en MO. Ceci devrait permettre d'appréhender le rôle de la MO dans la stabilité de l'agrégation pour un type de sol donné.

Ainsi, dans ce chapitre, après avoir présenté les caractéristiques générales des milieux (localisation, climat, végétation, géologie et géomorphologie), on décrira plus précisément les situations et les agrosystèmes étudiés.

Les zones d'étude

Localisation générale

La figure I.1 et le Tableau I.1 présentent les différentes zones d'étude :

- au **Congo**, la Vallée du Niari, régions de *Loudima* (Situation Congo-L), de *Nkayi* et de *Mantsoumba* (Congo-M), située dans la partie sud du pays,
- au **Brésil**, les sites sont localisés dans la région de *Goiânia* (Etat de Goiás, au centre-ouest, situation Brésil-G), et la région de *Londrina* (état de Paraná, au sud, situation Brésil-L),
- à la **Martinique**, dans la zone centre, près de Sainte Marie, dans la plantation du *Galion*.

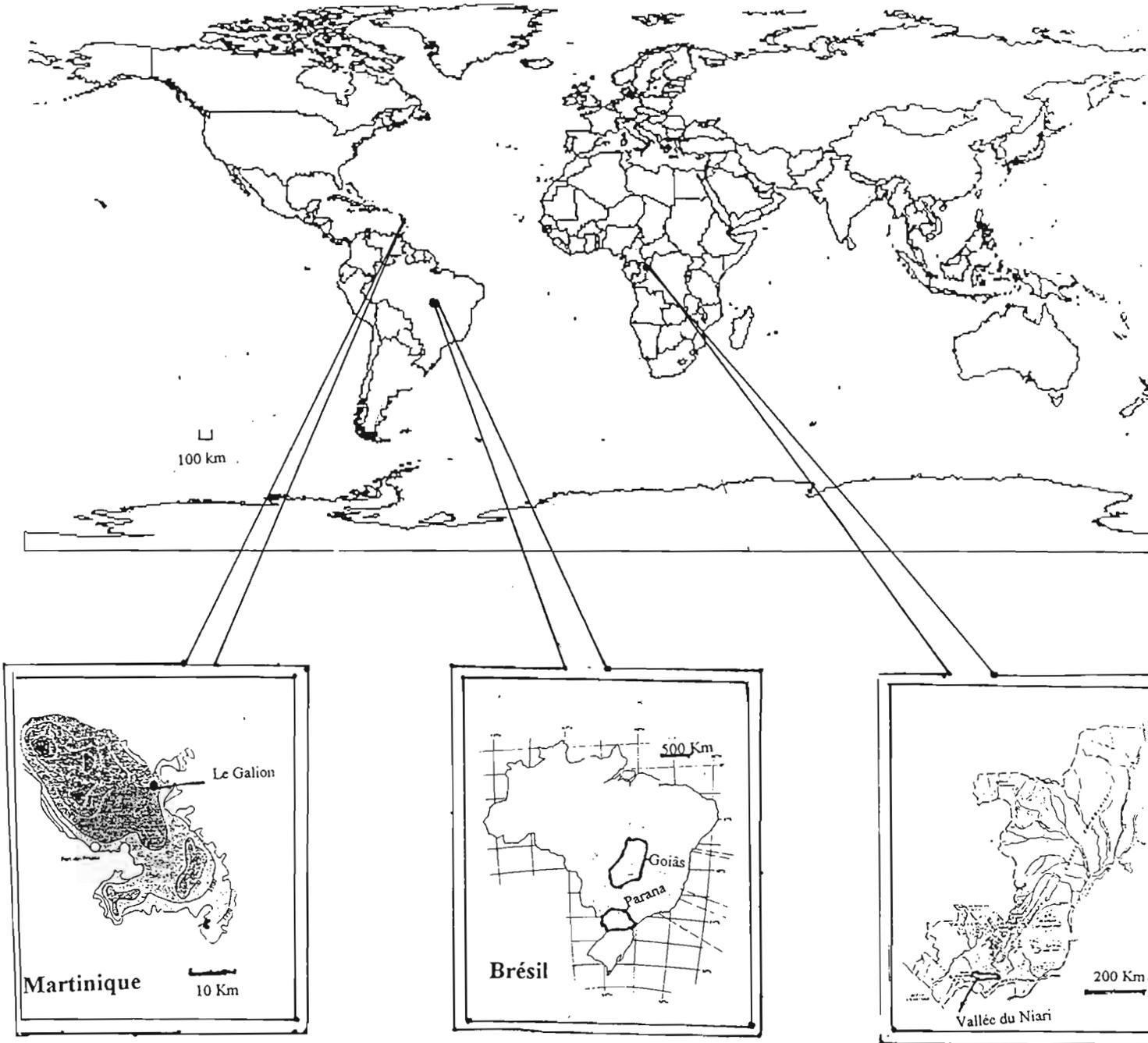


Figure I.1 Localisation des situations étudiées

Tableau I.1 Localisation des situations

Pays	Zone	Région	Références géographiques		
			Latitude	Longitude	Altitude (m)
Congo	Vallée du Niari	Loudima	4°S	13 - 14° E	165
		Nkayi	4°17' S	13°20' E	200
		Mantsoumba	4°S10'S	13 - 14° E	540
Brésil	Goiás	Goiâna	16°S	49° - 50° W	750
	Paraná	Londrina	23°23'S	51°11'W	566
Martinique	Centre	Galion	14°43' N	61°90' W	60

Climat

Les caractéristiques climatiques des différentes zones d'étude sont résumées au Tableau I.2.

Au **Congo**, la Vallée du Niari est soumise au climat "bas-congolais", tropical semi-humide de type soudano-guinéen de transition (AUBREVILLE, 1949). Dans cette zone, la saison des pluies dure 7 à 8 mois. Elle s'installe de septembre-octobre à juin et est suivie d'une grande saison sèche (MAPANGUI, 1992). La pluviométrie moyenne annuelle est de 1070 mm à **Loudima** (JAMET, 1975), de 1194 mm à **Nkayi** sur 77 jours (MOUTON, 1952), et de 1400 mm sur 100 jours à **Mantsoumba** (MARTIN & BATILA, 1975). La température moyenne annuelle est de 25 °C dans la Vallée du Niari.

Au **Brésil**, le climat est tropical sub-humide à **Goiânia** et subtropical humide à **Londrina** (KOPPEN, 1936).

La majeure partie du **Goiás** présente une pluviométrie moyenne annuelle comprise entre 1000 et 2000 mm, répartie entre les mois d'octobre et d'avril (ADAMOLI *et al.*, 1986). La température moyenne annuelle est de 23° C, variant de 20° C en hiver à 24,5° C en été. La période sèche peut durer de 4 à 7 mois sur approximativement 88 % de la surface, entraînant de sérieuses limitations pour l'agriculture car celle-ci ne peut donc se pratiquer qu'à la saison pluvieuse (BLANCANEUX *et al.*, 1993).

Dans la région de **Londrina**, le climat est caractérisé par une pluviométrie moyenne annuelle de 1615 mm, les pluies tombent toute l'année et la température moyenne annuelle est de 22,5 °C (ROCHA *et al.*, 1991). Il s'agit d'un climat relativement humide, de type subtropical (KOPPEN, 1936). On note simplement une légère diminution du volume des précipitations durant le mois d'août (58 mm) et une petite augmentation aux mois de décembre-janvier (220 mm). Cette distribution pluviométrique régulière dans l'année est favorable au développement d'une forêt dense dans la région (EMBRAPA, 1972 ; NIMER, 1979). Il n'y a pas de périodes prolongées de manque de pluies (15 jours maximum).

A la **Martinique**, le climat est tropical humide dans la région du **Galion** (ATLAS DE LA MARTINIQUE, 1977). La pluviométrie annuelle est comprise entre 1800 et 2200 mm avec de 3 à 5 mois secs. La température moyenne annuelle est de 26 °C.

Végétation

Les caractéristiques sont regroupées dans le Tableau I.2.

Tableau I.2 Caractéristiques climatiques (moyennes annuelles) et végétation des situations étudiées.

Pays	Zone	Région	Végétation	P (mm)	T (° C)	ETP (mm)	Nombre de mois sec	P-ETP	Classification climacique
Congo	Vallée du Niari	Loudima	Sa	1070	25	900	4 - 5	170	Soudano-guinéen de transition
		Nkayi	Sa	1194	25	900	4 - 5	294	idem
		Mantsoumba	Sa	1400	25	750	4 - 5	500	idem
Brésil	Goiás	Goiânia	SA	1522	23	1133	3 - 4	389	Tropical sub-humide
	Paraná	Londrina	Fd	1615	22,5	1066,8	0	548,2	Subtropical humide
Martinique	Centre	Galion	Fd	1820	26	1630	3 - 5	190	Tropical humide

* P = précipitations , T = température , ETP = évapotranspiration potentielle, Sa = savane arbustive, SA = savane arborée, Fd = forêt dense.

Tableau I.3. Systèmes de culture étudiés pour les différentes situations

Pays	Zone	Région	Végétation ou systèmes de culture étudiés
Congo	Vallée du Niari	Loudima	savane arbustive dégradée jachère naturelle (4 ans) manioc continu (20 ans)
		Nkayi Mantsoumba	canne à sucre continue (15 ans) savane arbustive non dégradée manioc continu (17 ans)
Brésil	Goiás	Goiâna	savane arborée dégradée prairie plantée (15 ans) rotation maïs-haricot (5 ans)
	Paraná	Londrina	forêt dense avoine continue (20 ans) couverture de légumineuses (10 ans)
Martinique	Centre	Ste Marie	canne à sucre continue (20 ans)

Au **Congo**, malgré un climax général de type forestier sur le pays, la Vallée du Niari est essentiellement couverte de savanes plus ou moins arbustives (Sa) (AUBREVILLE, 1949 ; KOECHLIN, 1961).

Au **Brésil**, les végétations climaciques sont principalement des savanes arborées (SA) ou "Cerrados" à Goiânia (WANIEZ, 1992) et des forêts denses (Fd) à Londrina. Le climax saisonnier ou non, est le facteur déterminant des écosystèmes : "cerrado subcaducifolia" à Goiânia et "floresta tropical subperenifolia" à Londrina (EMBRAPA/SNLCS, 1992/1993).

A la **Martinique**, la végétation climacique des plantations de Sainte Marie du Galion est constituée principalement de forêts denses (Fd).

Géologie et géomorphologie

Au **Congo**, la quasi-totalité du substratum géologique de la Vallée du Niari est constituée par des sédiments schisto-calcaires d'âge précambrien (DADET, 1969). Les plateaux de la Vallée du Niari constituent les interfluves : ce sont des surfaces tabulaires largement ondulées, pouvant présenter quelques dépressions marécageuses et dolines occupées ou non par des étangs (BOCQUIER & GUILLEMIN, 1959).

Au **Brésil**, le "plateau central de Goiânia" est constitué par des couvertures détrito-latéritiques pléistocéniques, reposant sur des micaschistes et quartzites du groupe "araxá" du précambrien. Par ailleurs, le "plateau du bassin sédimentaire du Paraná", qui englobe des formes géomorphologiques assez diverses avec prédominance de formes tabulaires, est constitué par une succession d'épanchements généralement basiques (basaltes toléitiques) souvent associés à des arsénites, appartenant à la formation "Serra Geral" et au Groupe "São Bento" (BRASIL, 1983, BLANCANEUX *et al.*, 1993 ; ROCHA *et al.*, 1991).

A la **Martinique**, le substrat géologique des plantations du Galion est dominé par des brèches volcaniques, de type andésitique (COMELT-DAAGE & LAGACHE, 1965). Le relief est constitué des collines.

Les sols

Les sols retenus pour cette étude sont tous argileux à argile 1:1 (kaolinite, halloysite) et peuvent être subdivisés en trois groupes :

- dans les sols ferrallitiques fortement désaturés argileux de la Vallée du Niari au Congo, la kaolinite est associée à des oxyhydroxydes de fer et d'aluminium, dominés par la goëthite,

- dans les sols ferrallitiques fortement désaturés argileux à caractère oxique marqué du Brésil, la kaolinite est associée prioritairement à l'hématite, secondairement à la goëthite et à la gibbsite. Du point de vue minéralogique, les sols des deux situations étudiées au Brésil diffèrent par l'existence de plus faibles teneurs en argiles et en fer à Goiânia qu'à Londrina,

- dans les sols ferrallitiques faiblement désaturés sur matériaux d'origine volcanique de la Martinique, la fraction argileuse est dominée par l'halloysite associée à la kaolinite et à la goëthite.

Les agrosystèmes étudiés

Le Tableau I.3 présente les principaux agrosystèmes étudiés. Pour chaque situation, à l'exception de la Martinique, on compare les sols sous systèmes de culture dominants à ceux sous végétation naturelle ou vieille jachère.

Les situations du Congo

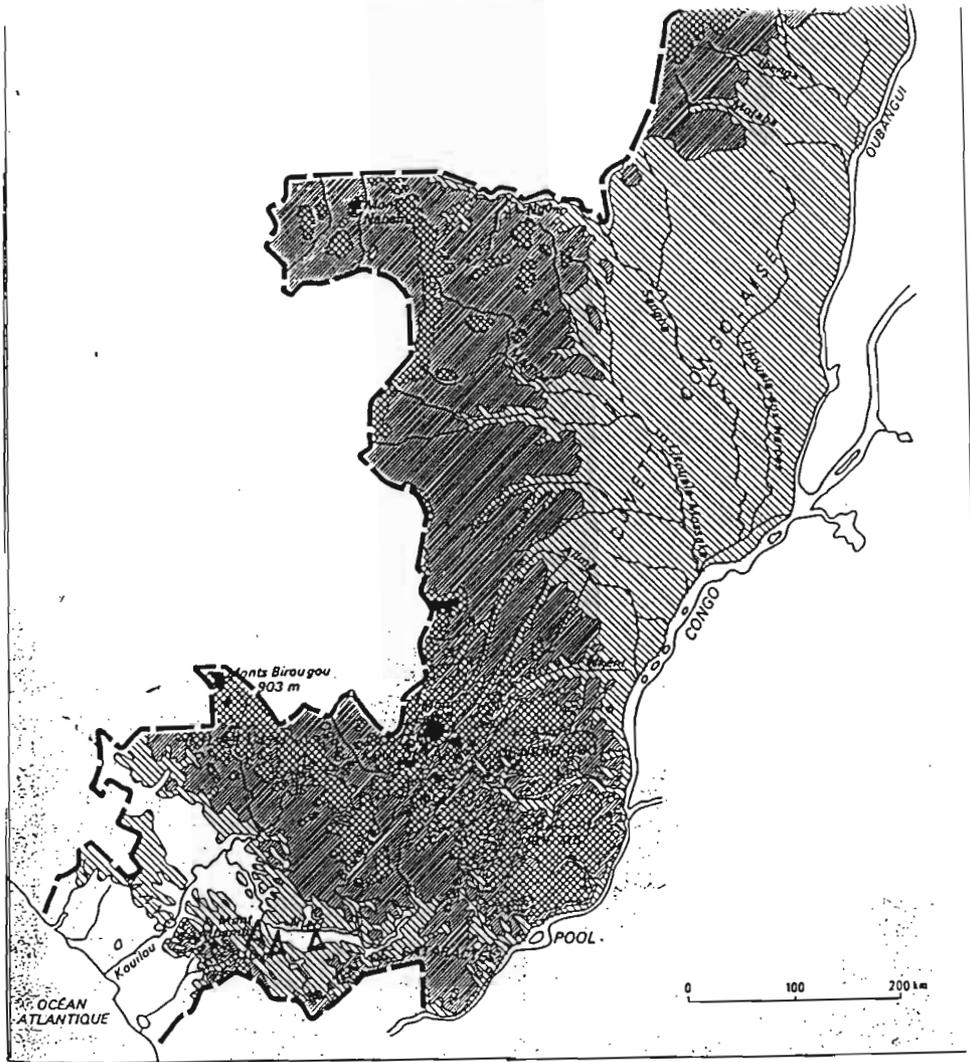
Elles sont situées dans la Vallée du Niari au Congo (fig. I.2), domaine des sols ferrallitiques fortement désaturés jaunes argileux profonds bien drainés. Ces sols correspondent aux oxisols (Haplorthox) de la SOIL TAXONOMY (1975) et aux ferralsols de la légende FAO/UNESCO (1976).

Dans la Vallée du Niari, trois sites différents ont été choisis :

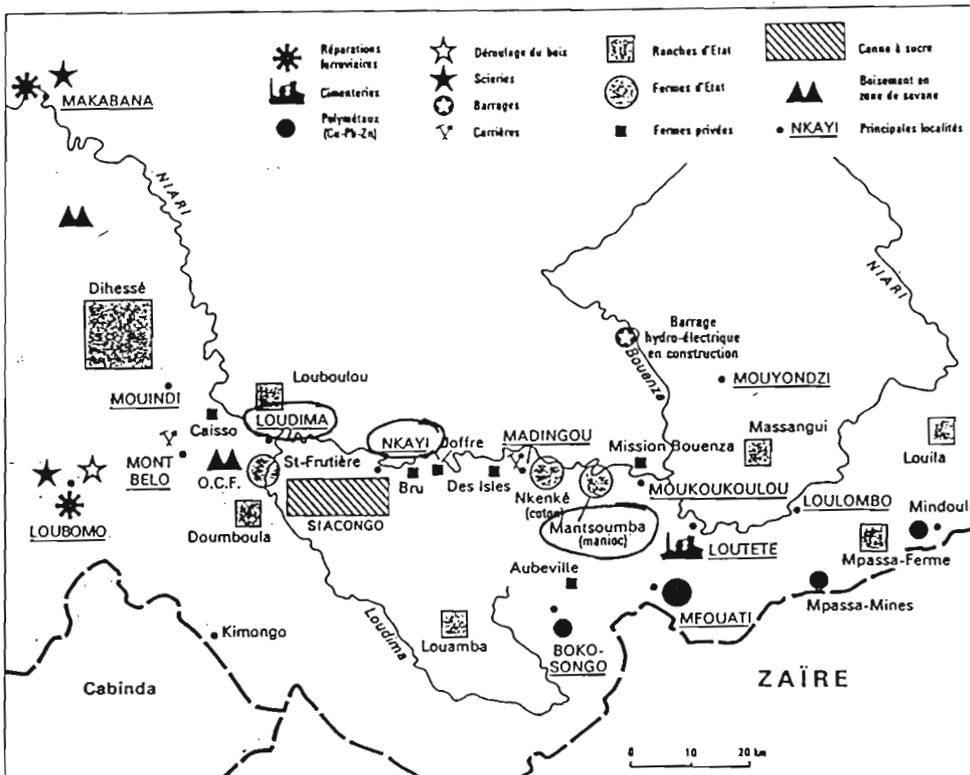
1) à *Loudima* (Congo-L), les parcelles étudiées sont situées au Centre de Recherche Agronomique de Loudima (CRAL). Il s'agit de :

- une savane-jachère (**LS**) de plus de 20 ans sur laquelle 4 prélèvements ont été effectués (**LS0** : 0-10 cm, **LS15** : 10-20 cm, **LS30** : 25-35 cm, **LS150** : 150-160 cm de profondeur),

- une jachère naturelle à *Hyparrhenia diplandra* et *Panicum maximum* de 4 ans après 10 ans de culture expérimentale intensive de rotations légumineuse (soja) / céréales (maïs-riz). (**LJ** : 0-10 cm) ;



A - Carte du Congo et localisation des sites (Δ)



B - Economie moderne de la Vallée du Niari et localisation des sites de Loudima, Mantsoumba et Nkayi

Figure I.2 Cartes des situations du Congo

- une parcelle sous culture intensive et mécanisée de manioc depuis 20 ans (LM : 0-10 cm). Le travail du sol se fait sans retournement avec des disques crantés lourds (romep-low) allant à une profondeur de 25 cm ; puis deux ou trois passages de disques légers (cover-crop) suivis d'un apport de calcaire broyé (400 kg ha^{-1}) à l'épandeur d'engrais ;

2) à Nkayi (Congo-L), une parcelle sous culture intensive et mécanisée de canne à sucre depuis 15 ans (LC : 0-10 cm) a été également étudiée. Elle est localisée dans les plantations de la SARIS (ex. SUCO). Bien que n'étant pas située à Loudima, compte tenu des caractéristiques proches des sols de Loudima et Nkayi, cette situation peut être analysée en même temps que celles de Loudima ;

3) à Mantsoumba (Congo-M), les parcelles étudiées sont localisées sur le plateau de Tenzi dans les expérimentations multifactorielles des projets FAC (Fond d'Aide et de Coopération) manioc. L'étude (DJONDO, 1994) porte sur :

- une savane naturelle (MS) à *Hyparrhenia diplandra* (qui, en floraison, dépasse 2 m de haut), *Imperata cylindrica*, *Schizachirium platyphyllum* pour la strate herbacée et *Annona arenaria* et *Vitex madiensis* pour la strate arbustive de 17 ans,

- une parcelle sous culture intensive et mécanisée de manioc depuis 17 ans (MM) avec même type de travail du sol que la parcelle LM.

Caractères morphologiques

Pour la situation Loudima/Nkayi, le profil-type a été choisi sous savane (LS) (BARTHES & NYETE., 1993). Il est localisé sur pente de 1 % en moyenne (3 % localement) et présente les caractères morphologiques suivants ;

0 - 3 cm : horizon noirâtre (10 YR 2/1 à 3/2), limoneux, à structure grumeleuse.

3 - 18 cm : horizon brun sombre (10 YR 3/3 à 3/4), argileux, à structure polyédrique

subanguleuse grossière (2 à 5 cm) à débit polyédrique anguleux fin (0,5 à 1 cm), meuble, poreux, à racines nombreuses ;

18 - 37 cm: horizon brun - jaunâtre sombre, à deux phases (10YR 4/4, plus terne, dominant au sommet ; 10YR 4/6, plus vif, dominant à la base), argileux, à structure polyédrique grossière (2 à 5 cm) à débit polyédrique fin (0,5 à 1 cm), compact, assez poreux, à racines assez nombreuses ;

> 37 cm : horizon jaune-brunâtre (10YR 6/8), à volumes plus ternes brun-jaunâtres (10YR 5/6), argileux, à structure polyédrique grossière (2 à 5 cm) à débit polyédrique

fin (0,2 à 1 cm), compact, poreux, à racines peu nombreuses devenant rares en profondeur ;

vers 100 cm, l'horizon devient jaune-rougeâtre (7,5YR 6/8) homogène.

Selon MARTIN (1967), la mise en culture de ces sols provoque généralement :

- une homogénéisation de l'horizon de surface du fait du travail mécanique, avec une disparition de la structure microagrégée qui devient continue (plus nettement en Ap2). La masse volumique augmente aussi. Les agrégats sont beaucoup moins gros. Quelques mottes subsistent mais qui s'écrasent facilement sous la main. En surface on note un épandage de petits agrégats très durs,

- une concentration des radicelles dans des volumes de sol de couleur sombre, c'est à dire riches en humus. Les racines tubérisantes sont superficielles car elles buttent sur l'horizon Ap2 plus compact que Ap1.

Minéralogie et texture

Les Tableaux I. 4 et I. 5 a. présentent les caractéristiques des échantillons étudiés.

Les teneurs en fer et aluminium sous la forme dite " libre " cristallisée (méthode CBD) diminuent légèrement de la surface en profondeur : elles varient respectivement entre 31,3 à 29,9 g kg⁻¹ sol et de 6,4 à 4,5 g kg⁻¹ sol. Les différences sont faibles d'un échantillon à l'autre. Dans ce sol, les teneurs en fer et aluminium sous forme amorphe "cryptocristallines" (méthode Tamm) sont en général très faibles et décroissent avec la profondeur à partir de 1,3 g kg⁻¹ sol de fer et de 2,1 g kg⁻¹ sol d'aluminium.

La fraction argileuse est essentiellement constituée de kaolinite (K) désordonnée (entre 70 et 80 %) associée à de la goethite (Go) légèrement alumineuse (10 à 20 %) et du quartz (Qz) (5 à 10 %) et des minéraux accessoires tels que l'anatase (Ti) et le rutile dont les taux n'excèdent pas 2 %. Ces constituants sont communs à tous les échantillons étudiés au sein du profil.

Les teneurs en argile sont très élevées et peu variables entre la surface et la profondeur : elles passent de 768 à 863 g kg⁻¹ sol. La teneur en sables est de 96 g kg⁻¹ sol en surface et décroît jusqu'à 76 g kg⁻¹ sol à 150 cm en profondeur. Les sables fins dominant. Les teneurs en limons diminuent généralement avec la profondeur (92 à 61 g kg⁻¹ sol).

Tableau I. 4. Teneurs en fer, aluminium (g kg⁻¹ sol) et minéralogie de la fraction argileuse des sols étudiés

Pays	Situations	Echantillon	0 - 2 mm Profondeur (cm)	CBD		Tamm		Fraction 0 - 2 µm Constituants déterminés par Rx
				Fe	Al	Fe	Al	
Congo	Loudima	LS0	0 - 10	30,4	6,4	1,3	2,1	K-Go-(Qz,Ti, Hm)
		LS15	10 - 20	nd	nd	nd	nd	*
		LS30	20 - 40	31,3	5	0,4	1,6	*
		LS150	140 - 160	29,9	4,5	0,2	1,8	*
		LM	0 - 10	35,6	6,8	1,4	2,2	*
		LJ	0 - 10	32	7,6	1,5	3,3	*
	Nkayi	LC	0 - 10	18,8	5,2	1,4	2,3	nd
	Mantsoumbc	MS	0 - 10	33,7	6,9	2,9	5,8	K-Go-(Qz,Ti,IS)
MM		0 - 10	11,8	2,2	1,2	1,9	*	
Brésil	Goiàna	CER	0 - 10	35	4,8	2,2	10,9	K-Hm-Gb-Go-(Ti-IS)
		PAL	0 - 10	29,9	5,4	0,19	0,39	*
		CCL	0 - 10	38,9	0,47	1,9	4,9	*
	Londrina	FN	0 - 10	87,1	5,1	5,3	5,4	K-Hm-Go
		CA	0 - 10	70,6	4,5	5,3	2,7	*
		CL	0 - 10	72	5,1	5,2	2,8	*
Martinique	Galion	T	0 - 10	46	nd	nd	nd	K-H-Go

* nd = non déterminé, K=kaolinite, H=halloysite, Go=goethite, Hm=hématite, Gb=gibbsite, Ti=titane, Qz= quartz, IS=intrastratifié

Les résultats aux rayons x (Rx) ont été obtenus par MAPANGUI (1993) pour Loudima et Nkayi, DJONDO (1995) pour Mantsoumba, BLANCANEUX *et al.* (1993) pour Goiàna, ROCHA *et al.* (1991) pour Londrina et FELLER (1995) pour le Galion. En gras = constituant très abondant, en italique = abondant, entre parenthèse = moins abondant.

Tableau I. 5a. Principales caractéristiques physico-chimiques des situations du Congo

Echantillon	Profondeur (cm)	Granulométrie (g kg ⁻¹ sol)				da (g / cc)	AS	C g Kg ⁻¹ sol	N	C/N	
		A	L	SF	SG						
LS0	0 - 10	768,0	92,2	60,4	36,0	1,03	669	35,0	1,9	18,4	
LS15	10 - 20	847,0	57,0	71,0	25,0	1,42		14,0	1,2	11,7	
LS30	20 - 40	857,0	65,0	54,0	24,0			10,5	1,0	10,5	
LS150	140 - 160	863,0	61,0	52,0	24,0	1,27		5,6	0,6	9,3	
LM	0 - 10	658,0	199,0	106,0	37,0		571	21,8	1,4	15,6	
LJ	0 - 10	590,0	270,0	110,0	30,0		621	36,4	1,6	22,8	
LC	0 - 10	780,0	120,0	70,0	30,0		651	27,0	1,4	19,3	
MS	0 - 10	382,0	323,0	204,0	91,0	0,99	746	42,5	2,4	17,7	
	10 - 33	522,0	257,0	137,0	84,0	1,31		18,9	1,2	15,8	
	33 - 70	447,0	365,0	152,0	36,0	1,33		3,3	0,8	4,1	
	70 - 150	732,0	172,0	73,0	23,0	1,34		4,0	0,9	4,4	
MM	0 - 10	598,0	215,0	103,0	34,0	1,20	585	18,0	1,3	13,8	
	10 - 20	556,0	203,0	83,0	33,0	1,42		17,1	1,0	17,1	
	20 - 30	619,0	216,0	100,0	31,0	1,31		10,5	1,0	10,5	
	30 - 70	721,0	183,0	73,0	23,0	1,33		7,7	0,7	11,0	
Echantillon	CEC	Complexe d'échange, cmol (+)kg ⁻¹ sol									pH eau - KCl
		BE	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Mn ²⁺	Al ³⁺	H ⁺	T (%)	
LS0	3,56	1,75	0,97	0,46	0,30	0,02	0,18	1,56	0,18	49,16	5,0 - 3,6
LS15	1,85	0,24	0,16	0,02	0,04	0,02	0,04	1,29	0,18	12,97	4,9 - 3,6
LS30	1,70	0,26	0,17	0,02	0,04	0,03	0,05	1,03	0,14	15,29	5,0 - 3,8
LS150	1,69	0,20	0,15	0,01	0,02	0,02	0,01	1,12	0,14	11,83	5,3 - 4,3
LM	5,31	4,84	4,29	0,46	0,08	0,01	0,76	0,05	0,03	91,15	6,0 - 5,4
LJ	9,29	9,06	8,40	0,59	0,05	0,02	0,37	0,05	0,02	97,52	5,5 - 4,7
LC	4,60	3,82	2,72	0,40	0,68	0,02	0,82	0,30	0,06	83,04	4,6 - 4,3
MS	7,58	5,08	4,19	0,69	0,12	0,08	1,18	0,08	0,03	67,02	5,0 - 4,2
	2,77	0,69	0,48	0,05	0,07	0,09	0,80	0,77	0,11	24,91	4,6 - 3,9
	2,38	0,28	0,17	0,02	0,03	0,06	0,74	0,45	0,07	11,76	4,7 - 4,0
	2,73	0,25	0,13	0,01	0,04	0,07	0,03	1,49	0,14	9,16	4,6 - 3,9
MM	4,61	2,87	1,98	0,69	0,12	0,08	1,18	1,07	0,03	62,26	4,4 - 3,9
	4,54	2,59	2,38	0,05	0,07	0,09	0,80	0,88	0,11	57,05	4,4 - 4,0
	2,66	0,35	0,24	0,02	0,03	0,06	0,74	1,66	0,07	13,16	4,7 - 4,0
	2,73	0,27	0,15	0,01	0,04	0,07	0,03	1,51	0,14	9,89	4,7 - 4,0

*une partie des résultats présentés ici ont été obtenus par BARTHES (non publiés) pour Loudima, par DJONDO (1995) pour Mantsoumba.

AS = taux des macroagrégats stables à l'eau selon KOUAKOUA *et al.* (1996), valeurs qui seront commentées au chapitre III.

Autres propriétés physiques et chimiques

Les densités apparentes pour le profil LS varient entre 1,03 et 1,42 g cm³. L'acidité est forte et peu variable jusqu'à 150 cm sur LS, avec des pH H₂O variant de 4,9 à 5,3. Les pH KCl sont de l'ordre de 3,6 à 4,3 sur LS. L'acidité d'échange (Al³⁺ + H⁺) est élevée, avec des teneurs en aluminium échangeable variant entre 1,12 à 1,56 cmol (+) kg⁻¹.

Les teneurs en carbone total diminuent avec la profondeur : elles varient de 35,0 en surface jusqu'à 5,6 g kg⁻¹ sol à 150 cm. Les rapports C/N sont élevés et diminuent aussi avec la profondeur : ils varient entre 18,4 et 9,3. BARTHES & NYETE (1993) estiment que ces fortes valeurs témoignent d'une mauvaise décomposition de la matière organique, pouvant être liée à la présence d'un niveau compact subsuperficiel.

La capacité d'échange cationique baisse de 3,6 à 1,69 cmol (+) kg⁻¹ à 150 cm sur LS. Les taux de saturation en bases aussi diminuent avec la profondeur (de 49,2 à 11,8 %). Parmi les bases échangeables, l'aluminium domine avec le calcium, avec des teneurs respectivement de l'ordre de 1,56 à 1,12 cmol (+) kg⁻¹ et 0,97 à 0,15 cmol (+) kg⁻¹. Le manganèse et le magnésium échangeables sont bien représentés ainsi que le potassium. Les teneurs en sodium échangeable sont toujours très faibles, inférieures à 0,02 cmol (+) kg⁻¹.

Sous culture mécanisée et fertilisée (400 kg ha⁻¹ de calcaire broyé) de manioc, les analyses indiquent une modification importante des caractéristiques physico-chimiques dans les 10 premiers cm (Tableau I.5a). On constate que par rapport au sol sous savane :

- le taux des macroagrégats stables à l'eau est significativement faible
- les teneurs en carbone total baissent jusqu'à 21,8 g kg⁻¹ sol sous manioc,
- la capacité d'échange cationique et la somme des bases échangeables augmentent et passent respectivement de 3,56 à 5,31 et de 1,75 à 4,84 cmol (+) kg⁻¹,
- le taux de saturation du complexe, mesuré au pH du sol passe également de 49,2 à 91,2 %,
 - le pH eau passe de 5 à 6 sous manioc,

Cette grande différenciation entre sols sous savane et sous manioc du point de vue des caractéristiques physico-chimiques s'explique en partie par des apports en amendements calcaïques et en biomasse végétale (résidus des récoltes lors de la préparation des sols), dans les horizons 0-10 cm.

La mise en jachère après culture favorise la formation des macroagrégats stables à l'eau ainsi que l'augmentation des teneurs en MO. Le sol reste acide (pH eau de 5,5) mais

avec une CEC plus élevée que sous savane LS0. Les teneurs en fer et aluminium ont tendance à être égales à celles sous savane.

A Nkayi, sous canne à sucre, les teneurs en fer et aluminium libre sont respectivement de 18,8 et 5,2 g kg⁻¹ sol tandis que celles en fer et aluminium amorphe (Tableau I.4) sont comprises entre 1,5 et 2,3 g kg⁻¹ sol.

C'est aussi un sol à texture argileuse : 780 g kg⁻¹ sol en surface. Le taux de carbone organique est élevé (27 g kg⁻¹ sol). Le rapport C/N est également élevé, 19 comme dans la plupart des sols ferrallitiques de la Vallée du Niari. La capacité d'échange cationique est de 4,6 cmol (+) kg⁻¹, avec une teneur de bases échangeables de 3,8 g kg⁻¹. Le degré de saturation est élevé (83 %). Les pH eau (4,6) et KCl (4,3) sont très acides (Tableau I.5 a).

Caractéristiques du sol de Mantsoumba

Caractères morphologiques

La situation MS est représentée ici par le profil-type sous savane décrit par DJONDO (1994) :

- 0 - 8 cm : horizon A, noir (10 YR 2/2), humifère, frais, à texture argilo-limoneuse, structure grumeleuse et polyédrique très fine à fine, meuble, fragile ; racines fines abondantes, pores très nombreux, présence de lombrics, transition nette et régulière.
- 8 - 33 cm : horizon A B, brun foncé (10 YR 3/3), pénétration humifère uniforme, frais, texture argileuse, structure polyédrique subanguleuse fine à moyenne, peu compact ; nombreuses racines et radicules réparties dans la masse, poreux, transition inférieure nette et régulière ; présence de nombreux nodules ferromanganiques.
- 33 - 70 : horizon B21, brun jaunâtre (10 YR 5/8), pénétration humifère en traînées, frais, texture argileuse, structure massive à éclats polyédriques moyens à fins, compact à peu compact s'ameublissant vers le bas, poreux, racines fines peu nombreuses, nombreux nodules ferromanganiques, transition peu nette.
- 70 - 150 cm et plus : horizon B22, jaune ocre (10 YR 7/6), frais, argileux, structure polyédrique fine à très fine, meuble, friable, poreux, absence de racines et d'activité biologique, présence à l'oeil nu de grains de sable quartzeux anguleux.

Ce sol argileux est humifère, noir, avec un chevelu racinaire fin dense et une structure grumeleuse et polyédrique fine de cohésion moyenne en surface.

Le travail du sol ayant été identique et uniforme sur toute la surface de l'essai, la morphologie des sols sous culture ne diffère de celle du sol témoin sous savane que dans les vingt premiers centimètres. Les différences essentielles concernent l'apparition de mottes centimétriques, des traces de lissage par les outils de travail du sol et la densité raculaire amoindrie sous culture (DJONDO, 1994).

Minéralogie et texture

Les teneurs en fer et en aluminium libres sont élevées dans l'échantillon MS (33,7 et 6,9 g kg⁻¹ sol) mais sont plus faibles dans MM (11,8 et 2,2 g kg⁻¹ sol). La même tendance s'observe pour les teneurs en fer et aluminium dites amorphes : plus élevées dans MS (2,9 et 5,8 g kg⁻¹ sol) que dans MM (1,2 et 1,9 g kg⁻¹ sol). Cette diminution notable des teneurs en fer et aluminium pourrait expliquer en partie la péjoration de la structure des horizons supérieurs du sol cultivé du fait du rôle de cimentation de la structure qui leur est attribué (DJONDO, 1994).

La fraction argileuse est dominée par la kaolinite (K) désordonnée associée à la goethite alumineuse (Go). Du titane sous forme d'anatase (Ti) et des traces de rutile et d'interstratifiés vermiculite-illite (IS) ont été aussi décelés dans ces sols (DJONDO, 1994).

Du point de vue textural, la teneur en argile sous savane augmente avec la profondeur, de 382 en surface à 732 g kg⁻¹ sol en profondeur à 150 cm. Les taux de limons (fraction 2-50 µm) sont moyens et peu variables (323 à 365 g kg⁻¹ sol) jusqu'à 70 cm et baissent à 172 g kg⁻¹ sol au delà. Les fractions sables fins sont de 204 g kg⁻¹ sol en surface et baissent à 73 g kg⁻¹ sol à 150 cm ; les sables grossiers diminuent régulièrement avec la profondeur de 91 à 23 g kg⁻¹ sol. Une attention particulière peut être portée sur l'horizon 10-33 cm qui présente un pic d'argile (522 pour MS à 0-10 cm et 447 pour MS à 33-70 cm), un creux pour les limons et les sables fins.

Autres propriétés physico-chimiques

Si on examine le profil sous savane, la densité apparente est plus faible en surface du sol qu'en profondeur où elle atteint 1,3 g cm⁻³. Cela est probablement en relation avec le

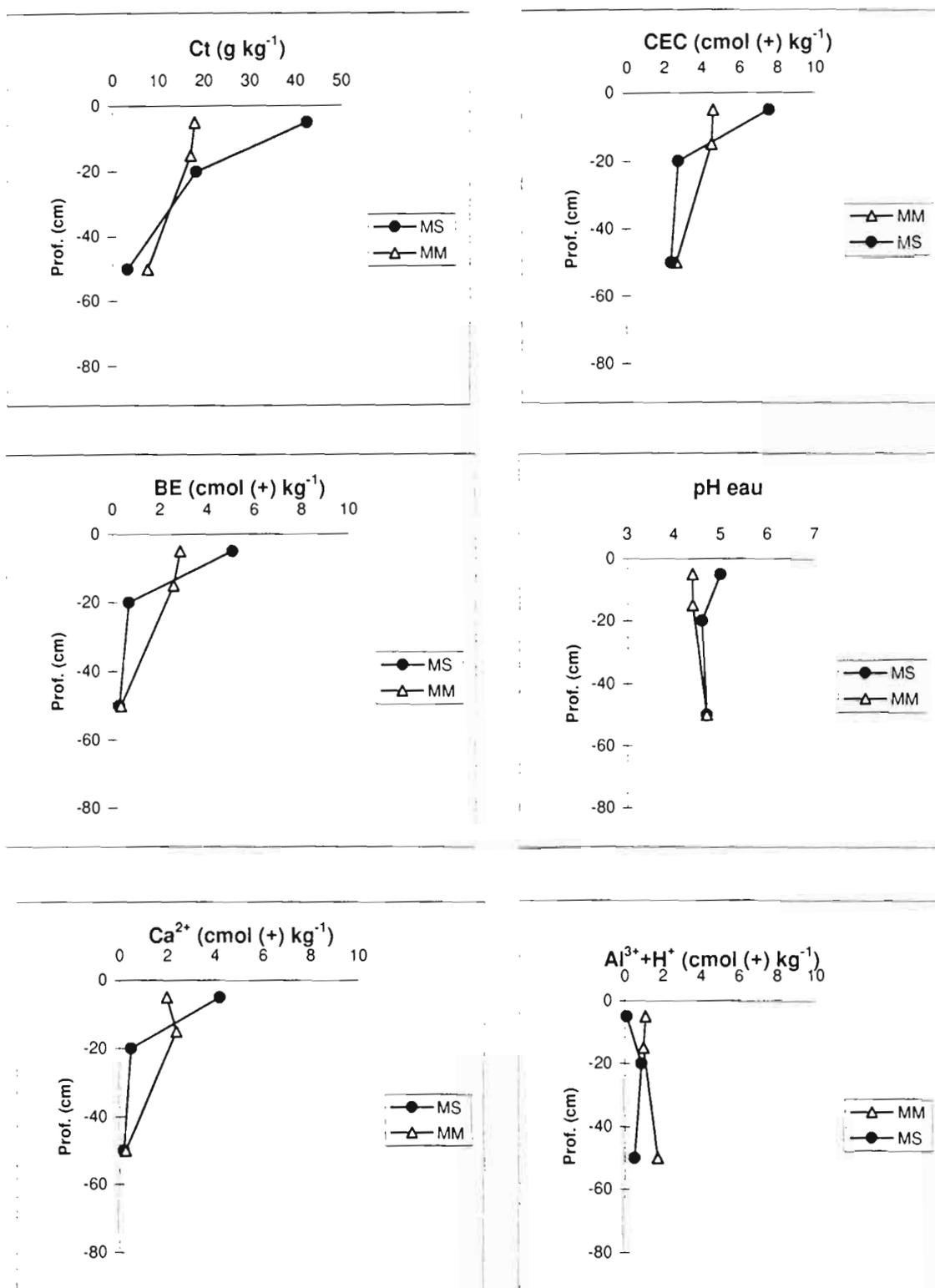


Figure I.5 Quelques caractéristiques analytiques de profils du sol de Mantsoumba (Congo)

chevelu radicaire et l'activité biologique (DJONDO, 1994). Le taux des macroagrégats stables à l'eau est élevé et égal à $746 \text{ g kg}^{-1} \text{ sol}$.

La teneur en carbone organique est très élevée ($42,5 \text{ g kg}^{-1} \text{ sol}$) en surface. Elle diminue de moitié entre 10 et 33 cm ($18,9 \text{ g kg}^{-1} \text{ sol}$), n'est plus que de 3,3 à $4,0 \text{ g kg}^{-1} \text{ sol}$ au delà de 33 cm de profondeur. Les pH eau et KCl sont généralement acides, pH H_2O égal à 5 en surface et toujours inférieurs à 5 dans les horizons de profondeur, tandis que les pH KCl varient peu autour de 4,0. Les capacités d'échange cationique (seulement $7,6 \text{ cmol (+) kg}^{-1} \text{ sol}$ en surface) et les teneurs en bases échangeables (seulement $5,1 \text{ cmol (+) kg}^{-1} \text{ sol}$ en surface) sont faibles en surface et décroissent dès 10 cm de profondeur. Le calcium est le cation échangeable dominant en surface ($4,19 \text{ cmol (+) kg}^{-1}$), suivi du manganèse ($1,18 \text{ cmol (+) kg}^{-1}$), du magnésium ($0,69 \text{ cmol (+) kg}^{-1}$) et du potassium ($0,12 \text{ cmol (+) kg}^{-1}$). L'aluminium et le sodium présentent les teneurs les plus faibles, généralement inférieures à $0,1 \text{ cmol (+) kg}^{-1}$. Par contre, dès les 10 premiers cm, l'aluminium devient le deuxième (après Mn^{2+}) cation échangeable puis le premier à 70 cm.

En comparaison avec le sol sous savane, le sol sous culture mécanisée de manioc présente une densité apparente plus élevée dans les premiers cm (1,2 à 1,41) et des teneurs en argile plus élevées jusqu'à 30 cm (598 à $619 \text{ g kg}^{-1} \text{ sol}$). Cependant, en surface le taux des macroagrégats stables à l'eau diminue du sol sous savane au sol sous culture mécanisée de manioc.

Les profils des caractéristiques analytiques (figure I.3) montrent que les variations des teneurs en Ct, CEC, BE, pH et en Ca^{2+} concernent essentiellement les dix ou vingt premiers centimètres du sol.

Des variations des teneurs en ($\text{Al}^{3+} + \text{H}^+$) s'observent aussi en profondeur.

Les situations du Brésil

Les situations concernées sont localisées dans les deux Etats du Brésil, le Goiás et le Paraná. Les sols sont des sols ferrallitiques argileux fortement désaturés (CPCS, 1967). Ce sont des Latossolos de la classification Brésilienne. Il s'agit des oxisols de la SOIL TAXONOMY (1975), des ferralsols de la Légende FAO/UNESCO (1976). Ces sols sont largement représentés au Brésil.

Deux sites ont été choisis pour cette étude (figure I.4) :

1) à *Goiânia* (Brésil-G), au sud de l'état du Goiás, les situations sont localisées sur la station expérimentale de l'EMBRAPA (Institut brésilien de la recherche agropastorale) / CNPS (Conseil national pour le développement scientifique et technique) à Senador Canedo. L'étude porte sur un sol ferrallitique argileux fortement désaturé (Latosolos roxo) de couleur rouge. Trois parcelles représentatives des systèmes de gestion des sols des cerrados sont étudiées :

- une parcelle sous végétation de savane arbustive à arborée (**CER**), aux arbres et arbustes aux troncs tortueux et ligneux, nommée "campo-cerrado" et présentant un caractère "anthropisé", dû au défrichement sélectif de touffes de graminées et à l'introduction de bovins pendant la saison sèche. Ce niveau d' "anthropisation" est caractéristique de la région ;

- une parcelle sous pâturage artificiel de longue durée (**PAL**), mis en place depuis plus de 15 ans, replanté en *Brachiaria brizanthae* depuis cinq ans avec labour (charrue à socs) et fertilisation. La parcelle est pâturée toute l'année avec une gestion rationnelle évitant le surpâturage. Ce pâturage est considéré comme non ou peu "dégradé" selon la terminologie brésilienne (BLANCANEUX *et al.*, 1993) ;

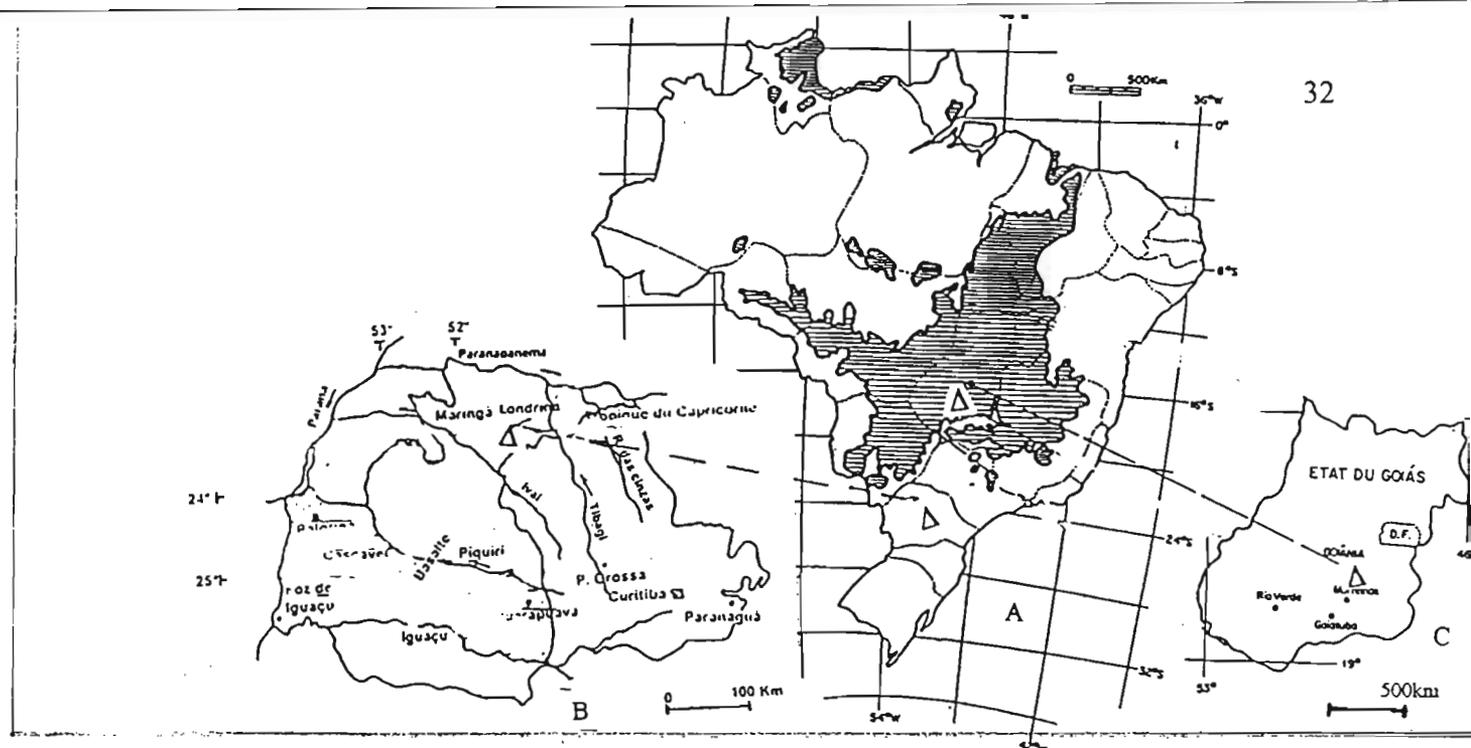
- une parcelle sous rotation maïs/haricot conventionnelle (**CCL**) depuis cinq ans avec labour au pulvérisateur offset "cover-crop" sur 15 cm, suivi d'un double passage de pulvérisateur à disque niveleur (5 à 10 cm). Il y a enfouissement des résidus de récolte et traitement par un herbicide non sélectif "trifuraline";

2) à *Londrina* (Brésil-L), au nord de l'état du Paraná, les parcelles étudiées sont situées dans la zone d'expérimentation installée dans le campus de l'Université Estadual de Londrina. Trois parcelles différentes par leur mode de gestion ont été retenues. Toutes ces parcelles sont implantées sur un sol ferrallitique fortement désaturé argileux rouge violet (Latosolos Vermelho-Escuro):

- une parcelle sous forêt naturelle (**FN**) caractéristique de l'écosystème "floresta tropical subperenifolia" ;

- une parcelle sous culture d'avoine depuis plus de 20 ans (**CA**) ;

- une parcelle (**CL**) , dans des vergers à Citrus de 10 ans, associée à une couverture de légumineuse à "*Arrachis prostrata*" disposée en bandes entre les arbres fruitiers. Avant l'installation des vergers les parcelles avaient été cultivées en manioc. Les prélèvements de sols sont effectués sous la couverture de légumineuse. Tout se passe comme si on étudiait, pour la parcelle CL, un effet "couverture de légumineuse" après culture (manioc) de longue durée. Les résultats pour cette parcelle seront interprétés dans ce sens dans la suite de ce travail.



B - Carte de Paraná et localisation du site de Londrina

C - Carte de Goiás et localisation du site de Goiânia

A - Carte du Brésil et localisation des sites (Δ)

▨ Localisation des «Cerrados» du Brésil

Figure I.4 - Cartes des situations du Brésil

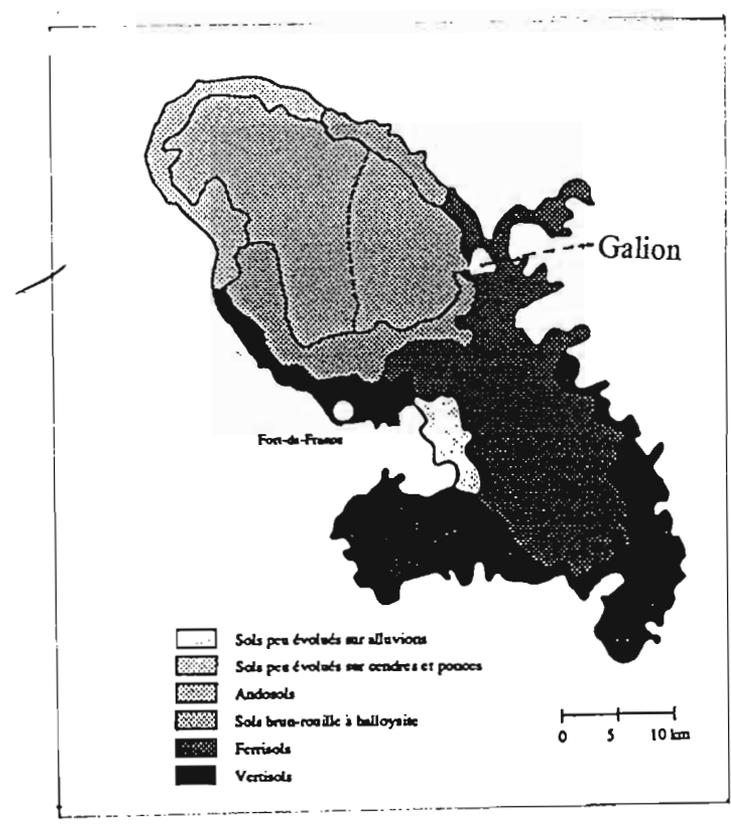


Figure I.5 - Carte pédologique de la Martinique et localisation du site de Galion (d'après ATLAS - Martinique, 1977)

Tableau I. 5b Principales caractéristiques physico-chimiques des situations de Goiàna (Brésil)

Echantillon	Profondeur (cm)	Granulométrie (g kg ⁻¹ sol)				da (g/cc)	AS	C	N	C/N
		A	L	SF	SG					
CER	0 - 10	460	200	250	90	1,19	615	23,8	1,5	15,9
	10 - 20	460	190	260	90	1,24		19,6	1,2	16,3
	20 - 40	500	180	250	70	1,12		13,7	0,8	17,1
	40 - 60	500	190	250	60	1,00		10,7	0,8	13,4
	60 - 80	510	180	250	60	1,00		10,1	0,7	14,4
	80 - 100	510	180	250	60	1,00		8,0	0,6	13,3
PAL	0 - 10	360	160	370	110	1,10	623	22,0	1,3	16,9
	10 - 20	380	170	340	110	1,32		16,1	1,1	14,6
	20 - 40	410	150	350	90	1,33		10,8	0,7	15,4
	40 - 60	410	170	330	90	1,33		9,6	0,7	13,7
	60 - 80	410	160	340	90	1,10		8,3	0,6	13,8
	80 - 100	410	180	330	80	1,10		6,9	0,5	13,8
CCL	0 - 10	500	150	260	90	1,34	541	21,4	1,4	15,3
	10 - 20	480	180	250	90	1,25		19,4	1,1	17,6
	20 - 40	520	140	270	70	1,20		13,9	0,8	17,4
	40 - 60	510	150	260	80	1,07		10,3	0,6	17,2
	60 - 80	520	140	270	70	1,00		8,3	0,6	13,8
	80 - 100	520	130	280	70	1,00		6,7	0,5	13,4

Echantillon	Complexe d'échange. cmol (+) kg ⁻¹								S/T (%) eau - KCl	pH
	CEC7	BE7	(Ca ²⁺ Mg ²⁺)	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺	(Al ³⁺ H ⁺)			
CER	7,6	1,20	0,8	0,29	0,09	0,60	6,4	16,00	5,5 - 4,2	
	5,4	0,50	0,3	0,12	0,05	0,60	4,9	9,00	5,2 - 4,2	
	4,4	0,40	0,3	0,09	0,04	0,40	4,0	10,00	5,4 - 4,3	
	3,0	0,40	0,3	0,06	0,04	0,00	2,6	13,00	5,4 - 4,6	
	2,4	0,40	0,3	0,04	0,03	0,00	2,0	16,00	5,5 - 4,9	
	2,0	0,40	0,3	0,04	0,06	0,00	1,6	20,00	5,6 - 5,2	
PAL	5,3	1,80	1,0	0,79	0,03	0,00	3,5	34,00	5,9 - 5,8	
	4,0	0,80	0,5	0,32	0,03	0,00	3,2	21,00	5,4 - 5,6	
	2,8	0,60	0,4	0,22	0,01	0,00	2,2	22,00	5,4 - 5,8	
	2,1	0,40	0,2	0,15	0,01	0,00	1,7	17,00	5,6 - 5,2	
	1,6	0,40	0,2	0,16	0,01	0,00	1,2	24,00	5,7 - 5,6	
	1,3	0,30	0,1	0,15	0,01	0,00	1,0	21,00	5,8 - 5,7	
CCL	6,7	1,60	1,1	0,46	0,02	0,00	5,1	24,00	5,2 - 4,4	
	5,7	1,00	0,7	0,24	0,02	0,00	4,7	17,00	4,7 - 4,2	
	3,9	0,60	0,4	0,18	0,01	0,00	3,3	15,00	4,9 - 4,4	
	3,2	0,60	0,4	0,18	0,01	0,00	2,6	18,00	5,1 - 4,6	
	2,5	0,60	0,5	0,13	0,01	0,00	1,9	25,00	5,4 - 5,2	
	2,0	0,70	0,5	0,14	0,01	0,00	1,3	33,00	5,7 - 5,6	

* Une partie des résultats présentés ici ont été obtenus par FREITAS (non publiés). As = taux des macroagrégats stables à l'eau selon KOUAKOUA *et al.* (1997), valeurs qui seront commentées au chapitre III.

Caractéristiques du sol de Goiânia

Caractères morphologiques

Le profil-type sous Cerrado (CER) a été décrit par FREITAS *et al.* (1995). Il se caractérise par la succession d'horizons suivants :

- 0 - 8 cm : horizon A₁₁ brun (5YR 3/4), structure grumeleuse très nette et individualisée, très poreux à pores fins à moyens, racines nombreuses et horizontales, matière organique figurée abondante, activité biologique très forte,
- 8 - 30 cm : horizon A₁₂ brun (5YR 4/4), structure polyédrique sub-anguleuse peu nette, sous structure subanguleuse à granulaire, très poreux (pores fins à moyens), racines nombreuses et horizontales, matière organique figurée abondante, activité biologique forte,
- 30 - 56 cm : horizon A/B rouge-sombre (5YR 3/6), structure polyédrique sub-anguleuse peu nette, à sous-structure granulaire, très poreux à pores fins liés aux racines et à l'activité, biologique, racines fines à moyennes, matière organique humifiée et localisée, activité biologique moyenne,
- 56 - 100 cm : horizon B rouge (2,5YR4/8, sec), structure polyédrique sub-anguleuse, peu nette et moyenne, à sous-structure granulaire, très poreux, pores fins liés aux racines et à l'activité biologique, racines fines, moyennes et verticales, matière organique humifiée et débris organiques localisés, activité biologique moyenne.

Les horizons sont peu compacts, les racines des arbres sont concentrées dans l'horizon 0 - 8 cm, et celles des graminées dans les deux premiers horizons (0 - 30 cm), la macro-structure est très fragile sur tout le profil.

La mise en culture modifie la structure initialement grumeleuse qui passe à polyédrique sub-anguleuse dans l'horizon superficiel. On note aussi une compaction sub-superficielle du sol qui réduit la porosité, donc de la capacité d'infiltration de l'eau, d'où une chute significative de la capacité productive du sol (FREITAS, 1994).

Minéralogie et texture

Les Tableaux I.4 et I.5 b, présentent les caractéristiques analytiques des sols de Goiânia.

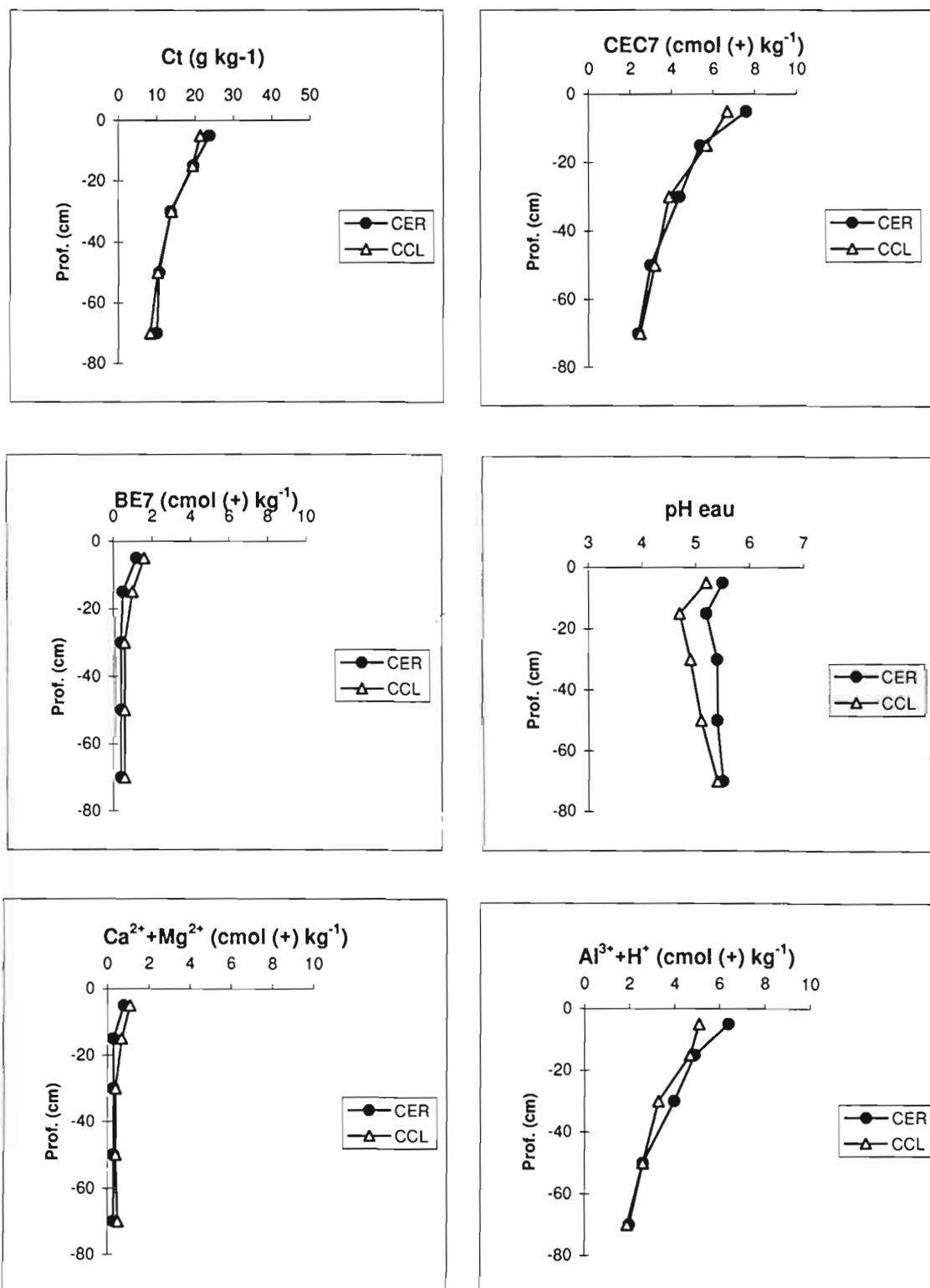


Figure 1.6 Quelques caractéristiques analytiques de profils du sol de Goiânia (Brésil)

Les teneurs en fer et en aluminium libres en surface sont respectivement égales à 35 g kg⁻¹ sol et 4,8 g kg⁻¹ sol. La teneur en fer amorphe est de 2,2 g kg⁻¹ sol contre 10,9 g kg⁻¹ sol en aluminium.

Tous échantillons confondus, l'analyse aux RX (rayons X) de la fraction argileuse révèle la présence quantitativement importante de kaolinite désordonnée (K), de gibbsite (Gb) en quantité encore importante, d'hématite (Hm) assez importante, d'un peu de goéthite alumineuse (Go), d'anatase (Ti), d'interstratifiés chlorite-vermiculite et/ou vermiculite alumineuse (IS) et de traces d'illite altérée (BLANCANEUX *et al.*, 1993).

Du point de vue textural, ces sols ont des teneurs en argile qui varient entre 460 g kg⁻¹ sol en surface et 510 g kg⁻¹ sol jusqu'à 100 cm en profondeur. La teneur en limons est de 200 g

kg⁻¹ sol en surface et de 180 g kg⁻¹ sol entre 20 et 100 cm. Celles des sables fins sont partout voisines de 250 g kg⁻¹ sol. La fraction sables grossiers est de 90 g kg⁻¹ sol en surface et décroît jusqu'à 60 g kg⁻¹ sol en profondeur.

Autres propriétés physiques et chimiques

La densité apparente est de 1,19 en surface et de 1,00 g cm⁻³ à partir de 40 cm de profondeur, avec une légère augmentation entre 10 et 20 cm (1,24). Le taux des macroagrégats stables à l'eau est de 615 g kg⁻¹ sol en surface.

La teneur en carbone organique total est de 23,8 g kg⁻¹ sol en surface et diminue régulièrement jusqu'à 8,0 g kg⁻¹ sol à 1 m. Les pH eau sont acides sur tout le profil (entre 5,2 et 5,6) et ceux en KCl sont très acides à acides et augmentent avec la profondeur (de 4,2 à 5,2). Les capacités d'échanges cationiques à pH7 (de 7,6 à 2,0 cmol (+) kg⁻¹ sol) et les bases échangeables (1,2 à 0,4 cmol (+) kg⁻¹ sol) sont faibles et diminuent avec la profondeur. La teneur en Al³⁺+H⁺ échangeable est élevée (6,40 cmol (+) kg⁻¹ sol) en surface et diminue jusqu'à 1,60 cmol (+) kg⁻¹ à 1 m.

Curieusement on observe peu d'effet de la mise en culture continue pour l'ensemble des caractéristiques chimiques (Ct, CEC7, BE7, Ca²⁺+Mg²⁺ échangeables, pH eau, Al³⁺+H⁺ échangeables) (figure I.6). Ceci peut s'expliquer par les observations suivantes :

- le sol sous Cerrado CER est probablement perturbé par les pratiques de pâturage et les prélèvements de biomasse,

- la parcelle CCL sous rotation maïs/haricot est conduite dans une perspective améliorante avec restitution systématique des résidus de récolte. Ceci lui confère des caractéristiques chimiques proches aussi de la situation pâturage PAL.

Par contre, pour l'horizon 0-10 cm, on observe pour CCL une augmentation de la densité apparente (d_a) et une diminution du taux des macroagrégats stables à l'eau.

Caractéristiques du sol de Londrina

Les parcelles étudiées ici font partie d'un dispositif qui constitue la base de la thèse de NEVES (soutenance prévue en 1998).

Caractères morphologiques

Le profil-type sous forêt dense FN est caractérisé par la succession des horizons suivants (ROCHA *et al.*, 1991) :

- 4 à 0 cm : couche O sombre composée d'un mélange de fragments végétaux et animaux plus ou moins décomposés, transition plane et abrupte ;
- 0 - 25 cm : horizon A₁ brun - rougeâtre sombre (2,5 YR 3/3, humide ; 2,5 YR 3/4, sec), très argileux, structure fine à moyenne, en grumeaux, onctueux, friable, légèrement plastique et légèrement collant, nombreuses racines fasciculées avec un diamètre variant 1 à 2 cm ; transition graduelle et ondulée ;
- 25 - 60 cm : horizon A₃ brun - rougeâtre sombre (2,5 YR 3/3, humide ; 2,5 YR 3/4, sec) ; très argileux, structure polyédrique anguleuse à sous-structure fine à moyenne granuleuse, onctueux friable, plastique et collant, peu de racines fasciculées millimétriques, transition graduelle et ondulée ;
- 60 - 90 cm : horizon B₁ rouge sombre (10 R 3/6, humide et sec) : argile, blocs anguleux moyens à grands, à débit granuleux fin à moyen, légèrement dur, peu de racines fasciculées millimétriques ;
- 90 - 150 cm : horizon Bt₁ rouge sombre (10R 3/6, humide et sec), très argileux, structure prismatique assez fine à moyenne, composée de blocs anguleux petits à moyens, légèrement dur, plastique et collant, racines fasciculées rares, transition ondulée ;

Tableau I. 5c Principales caractéristiques physico-chimiques des situations de Londrina (Brésil)

Echantillon	Profondeur (cm)	Granulométrie (g kg ⁻¹ sol)				da (g cm ⁻³)	AS	C	N	C/N
		A	L	SF	SG					
FN	0 - 10	800,0	160,0	30,0	10,0	752	31,9	3,1	10,3	
	10 - 20	760,0	210,0	30,0	0,0					20,0
	20 - 40									
CL	0 - 10	686,6	217,0	63,2	32,8	639	24,5	2,2	11,1	
	10 - 20	682,0	226,0	60,8	32,2					19,7
	20 - 40									
CA	0 - 10	706,8	198,0	63,5	32,5	551	17,7	1,7	10,4	
	10 - 20	699,3	214,0	56,5	29,5					16,8
	20 - 40									

Echantillon	Complexe d'échange, cmol (+) kg ⁻¹ sol									pH eau - KCl
	CEC7	BE7	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Mn ²⁺	(Al ³⁺	H ⁺)	
FN	12,45	10,53	8,38	1,90	0,25	0,00	nd	1,92	84,58	6,8 - 6,2
	8,95	5,70	4,38	1,20	0,12	0,00	nd	3,25	63,69	
	7,40	3,15	2,36	0,75	0,04	0,00	nd	4,25	42,57	
CL	10,99	8,53	5,77	2,46	0,30	0,00	nd	2,46	77,62	5,9 - 5,5
	8,08	4,47	3,12	1,17	0,18	0,00	nd	3,61	55,32	
	6,33	2,65	1,86	0,68	0,11	0,00	nd	3,68	41,86	
CA	8,54	3,32	1,99	1,07	0,26	0,00	nd	5,22	38,88	5,7 - 4,5
	8,01	2,79	1,70	0,91	0,18	0,00	nd	5,22	34,83	
	6,09	2,48	1,56	0,87	0,05	0,00	nd	3,61	40,72	

* Les résultats présentés ici ont été obtenus par NEVES (non publiés). Les données sur la densité apparente da sont en cours d'acquisition, AS = taux des macroagrégats stables à l'eau, valeurs qui seront commentées au chapitre III (selon KOUAKOUA *et al.*, 1997).

150 - 240 cm : horizon Bt₂ brun sombre (7,5 YR 3/4, humide), brun (7,5 YR 4/4, sec),
 moucheté de jaune - orange peu prédominant (10 YR 8/8) ; très argileux;
 massif à débit en blocs anguleux assez petits à moyens, légèrement dur, plastique et
 collant, racines absentes ;

Observations : activité biologique de fourmis et coléoptères dans le profil ; trou de
 tatou de 20 cm de diamètre englobant les horizons A₁ et A₃. Pores très petits dans tout le
 profil. Attraction magnétique dans les horizons d'altération ou de la roche-mère. Influence de
 la nappe phréatique à partir de l'horizon Bt₂.

La mise en culture, quelle que soit la pratique culturale, modifie rapidement la
 morphologie des horizons de surface dans le même sens que ce qui a été observé à Goiânia,
 c'est à dire vers la compaction. Elle provoque généralement un tassement dont l'intensité
 dépend de la pratique culturale et du type de sol (TAVARES FILHO, 1995).

Minéralogie et texture

Les caractéristiques sont mentionnées dans les Tableaux I 4 et I.5 c.

La teneur en fer libre est très élevée (87,1 g kg⁻¹ sol) et celle en aluminium est de 5,1
 g kg⁻¹ sol. Les teneurs en fer et en aluminium amorphes sont identiques, voisines de 5,3 g kg⁻¹
 sol.

La fraction argileuse du sol de Londrina, comme dans la plupart des sols du Paraná,
 est principalement constituée de kaolinite (K) associée à de l'hématite (Hm), puis de la
 goethite (Go) (FASOLO, 1978 ; VOLKOFF, 1985 ; ROCHA *et al.*, 1991 ; TAVARES FILHO,
 1995).

Le taux d'argile est de 800 g kg⁻¹ sol à 0-10 cm et passe à 760 g kg⁻¹ sol à 10-20 cm,
 celui de limons est de 160 g kg⁻¹ sol en surface et de 210 g kg⁻¹ sol 20 cm. La fraction
 sableuse variant de 30 à 40 g kg⁻¹ sol est à dominante de sables fins.

Autres propriétés physiques et chimiques

Le taux des macroagrégats stables à l'eau est très élevé dans ce sol ; il est égal à 752 g
 kg⁻¹ sol.

La teneur en carbone organique total (Ct) est élevée en surface (31,9 g. kg⁻¹ sol) et
 diminue nettement dans la couche 10-20 cm (20,0 g kg⁻¹ sol). Le pH est presque neutre en

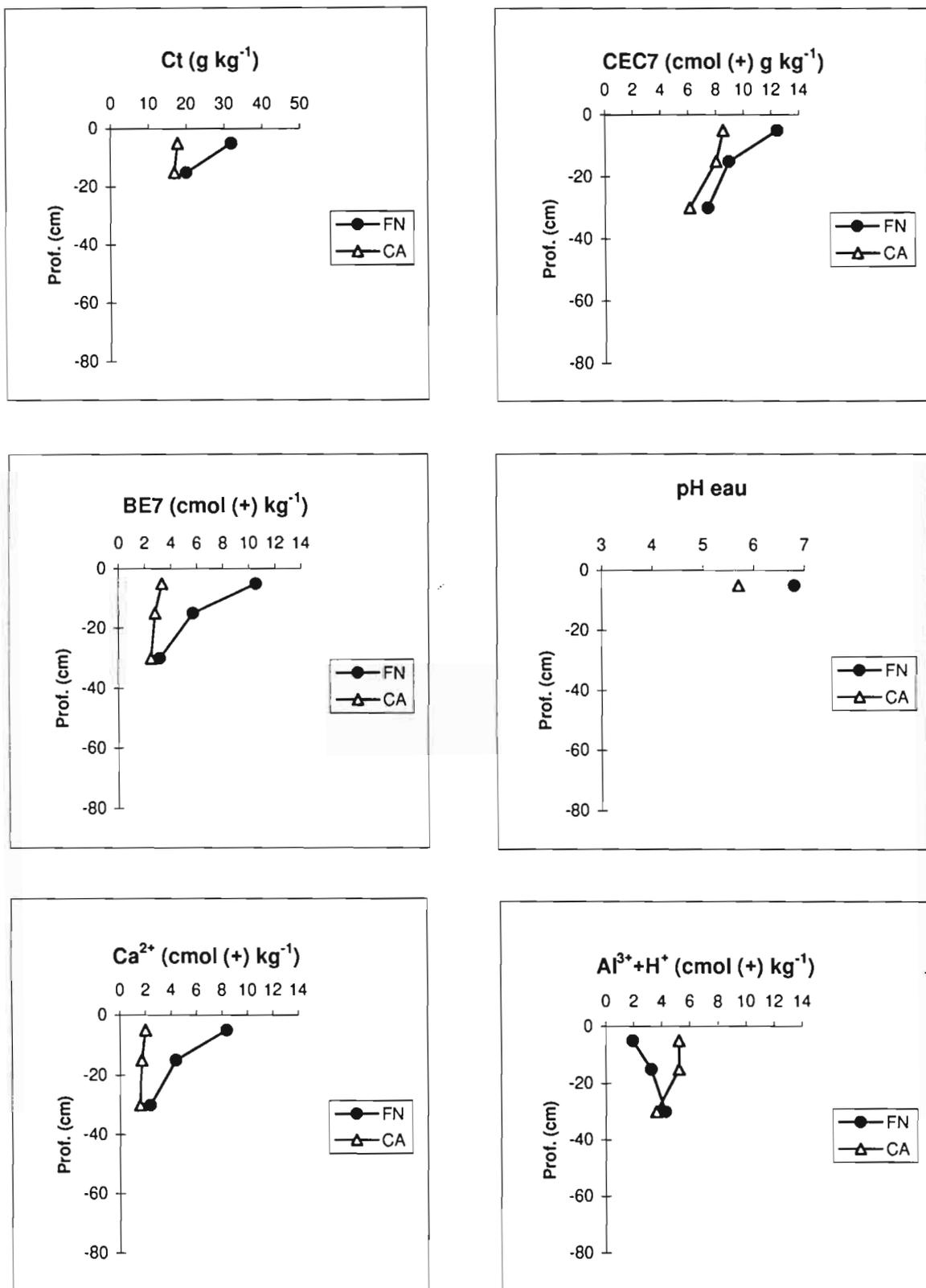


Figure I.7 Quelques caractéristiques analytiques de profils du sol de Londrina (Brésil).

surface (6,8) et celui en KCl est légèrement acide (6,2). Les CEC7 et les teneurs en BE7 sont élevées et décroissent respectivement de 12,5 à 7,4 et de 10,5 à 3,2 cmol (+) kg⁻¹ sol. Les teneurs en Al³⁺+H⁺ échangeables diminuent régulièrement avec la profondeur jusqu'à 40 cm (1,9 et 4,3 cmol (+) kg⁻¹ sol). Le calcium domine généralement le complexe d'échange.

Les profils de quelques caractéristiques analytiques (figure I.7) font apparaître que l'effet de la mise en culture sur les teneurs en Ct, CEC7, BE7, pH eau, Ca²⁺ et Al³⁺+H⁺ concerne essentiellement les dix premiers centimètres.

Le sens de variations des teneurs en CEC7 en BE7 et en Ca²⁺ échangeables est identique et opposé à celui de H⁺+Al³⁺ (figure I.7).

En dehors des modifications observées sur les caractéristiques chimiques, on note, par rapport à la forêt, une diminution de taux des macroagrégats à l'eau des sols sous culture d'avoine et sous couverture de légumineuse.

Situation de la Martinique

Dans la région de Sainte Marie à la Martinique (fig. I.5) a été retenue une parcelle sur sol faiblement ferrallitique sous culture de canne à sucre depuis 20 ans (T).

Il s'agit d'un "ferrisol" (d'après COLMET-DAAGE & LAGACHE, 1965) qui appartient au groupe des sols ferrallitiques rajeunis ou pénévoués (C.P.C.S., 1967).

Le profil-type, sous canne à sucre, est décrit dans la parcelle Duquesne Haut de l'habitation du Galion à Ste Marie (CHEVIGNARD *et al.*, 1987). Il est caractérisé par la succession d'horizons suivants :

- 0 - 20 cm : horizon Ap humifère, frais, brun grisâtre très foncé (10YR3/2), argileux, structure grenue bien développée, racines moyennes et fines, macro- et microporosité bonnes, transition distincte ;
- 20 - 50 cm : horizon A12 humifère, frais, brun grisâtre très foncé (10YR3/2), argileux, structure polyédrique grossière, racines moyennes et fines, compact, activité biologique forte, macro- et microporosité bonnes, transition graduelle ;
- 50 - 80 cm : horizon (B) faiblement humifère, frais, brun jaunâtre (10YR3/3), argileux, structure polyédrique moyenne bien développée, quelques racines, compact, activité biologique forte, macro- et microporosité bonnes, transition graduelle ;
- 80 - 100 cm : horizon (B) C frais, brun jaunâtre (10YR5/5) argileux, pas de racines, quelques

Tableau I. 5d Caractéristiques physico-chimiques de l'échantillons de sol étudié à la Martinique

Echantillon	Profondeur (cm)	Granulométrie (g kg ⁻¹ sol)				da g cm ⁻³	AS			C g Kg ⁻¹ sol	N	C/N
		A	L	SF	SG							
T	0-10	498,0	206,0	142,0	69,0	1,10	640	27,0	2	13,5		
		Complexe d'échange, cmol (+) kg ⁻¹									pH	
		CEC	BE	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K+	Na ⁺	Mn ²⁺	Al ³⁺	H ⁺	T (%)	eau - KCl
		11,52	10,81	6,28	3,01	0,67	0,84	1,69	0,01	0,01	93,87	5,4 - 5,1

concrétions ferromanganiques Fe-Mn (0,5 mm), compact, activité biologique forte, macro- et microporosité bonnes, transition graduelle.

Quelques caractéristiques de l'échantillon T sont indiquées dans les Tableaux I.4 et I.5 d.

La fraction argileuse est dominée par la kaolinite (K) et l'halloysite (H), associées à la goethite (Go) (FELLER, 1995). La teneur en argile est élevée, égale à 498 g kg⁻¹ sol.

Dans ce sol, la teneur en carbone total est élevée (27 g kg⁻¹ sol). Les pH eau et KCl sont acides en surface, respectivement 5,4 et 5,1. La capacités d'échange cationique et la teneur en bases échangeables sont respectivement égales à 11,5 et 10,8 cmol (+) kg⁻¹ sol.

En raison des capacités d'échange cationique (CEC) et des taux de saturation supérieurs à 50 %, ces sols riches en kaolinite et surtout en halloysite se définissent à la limite de la classe des sols ferrallitiques et leurs caractéristiques justifient la dénomination de ferrisols (Classification FAO : ferralic cambisol ; Soil Taxonomy : Eutropept).

Synthèse

Les éléments rassemblés dans ce chapitre illustrent les différences d'environnement pédologique et bioclimatique des situations étudiées.

Au Congo, les trois sites d'études (Loudima, Mantsoumba et Nkayi) connaissent un climat tropical humide de type "bas congolais", sous végétation de savanes arbustives (Sa). Bien que les sols soient ferrallitiques argileux jaunes dans les trois sites, les *sols sont plus riches en argile et plus pauvres en limons* à Loudima et à Nkayi (Congo-L) (en moyenne > 600 g kg⁻¹ d'argile) qu'à Mantsoumba (Congo-M) (en moyenne < 500 g kg⁻¹ d'argile).

Par contre, leur minéralogie est identique et correspond à un pôle kaolinite-goethite.

Au Brésil, les deux sites retenus diffèrent sensiblement par le climat : *tropical sub-humide* à Goiânia (Brésil-G), *subtropical humide* à Londrina (Brésil-L).

Bien que les sols soient ferrallitiques argileux rouges dans les deux cas, le sol de Brésil-L est nettement plus riche en argile et hématite que le sol de Brésil-G. Ces deux situations correspondent à un pôle kaolinite-hématite.

Enfin, à **la Martinique** (Antilles), le sol ferrallitique argileux étudié correspond à un pôle kaolinite-halloysite-goethite.

On peut donc estimer que ces sols sont représentatifs de nombreux sols ferrallitiques argileux.

Sur un plan morphologique, l'effet de la mise en culture après savane ou forêt s'exprime essentiellement sur les propriétés physico-chimiques des sols sur les dix premiers centimètres. Parmi les caractéristiques analytiques étudiées (Ct, CEC, BE, pH eau, Ca^{2+} , $\text{Al}^{3+} + \text{H}^+$), on observe qu'une des fluctuations les plus importantes concerne le carbone total même si elle est faible pour la situation Brésil-G, compte-tenu du mode de gestion de ces sols.

Cette diminution des teneurs en carbone total des horizons de surface avec la mise en culture des sols tropicaux à argile 1:1 est bien connue, ainsi que les conséquences qui en découlent sur les propriétés physiques (taux des macroagrégats stables à l'eau, par exemple) et chimiques du sol (MARTIN, 1963 ; BOYER, 1982 ; MAPANGUI, 1992 ; NZILA, 1992 ; DJONDO, 1994 ; FELLER, 1995 ; FELLER *et al.*, 1996 ; BLANCANEAUX *et al.*, 1993 ; FREITAS, 1994 ; TAVARES FILHO, 1995). Toutefois, d'une part, peu d'études concernent spécifiquement les sols ferrallitiques à texture argileuse et, d'autre part, on dispose de peu de données sur la nature des MO susceptibles de favoriser la stabilité structurale dans ces sols.

Aussi, le chapitre suivant sera consacré à l'étude de la matière organique des horizons de surface et à ses variations selon le mode de gestion des terres.

CHAPITRE II :

**La matière organique de sols ferrallitiques argileux.
Etude par fractionnement granulométrique et
extraction à l'eau chaude. Effet du mode de gestion
des terres**

E. KOUAKOUA¹, C. FELLER¹, P. L de FREITAS², C. NEVES³, M C. LARRE-LARROUY¹
& G. H. SALA¹

¹Laboratoire d'étude du Comportement des Sols Cultivés (LCSC), ORSTOM, B.P. 5045, 34032 Montpellier Cedex, FRANCE ; ²EMBRAPA / CNPS, Rua Jardin Botânico, 1024, 22460-000 Rio de Janeiro, BRESIL ; ³Université Estadual de Londrina, Departamento de Agronomia, C.P. 6001, CEP 86051, Londrina, BRESIL

Version provisoire pour article à soumettre à Journal Canadien de Science du Sol

Résumé

L'influence du mode de gestion des terres sur les teneurs en carbone total (Ct), en carbone soluble à l'eau chaude (Cs) et sur les contenus en carbone C des matières organiques (MO) associées aux fractions granulométriques a été étudiée pour des sols ferrallitiques argileux du Congo, du Brésil et de la Martinique.

Les teneurs en Ct et en Cs diminuent généralement avec la mise en culture. La mise en jachère, en prairie, ou l'utilisation de couverture de légumineuse permet une augmentation plus ou moins forte des teneurs en Ct et Cs par rapport aux sols sous culture continue.

Tous échantillons confondus, les contenus en C des fractions granulométriques augmentent quand on passe des fractions sableuses (50-2000 μm) aux fractions argileuses (0-2 μm).

Toutes les fractions sont concernées par les variations (augmentation ou diminution) des contenus en carbone, mais avec des amplitudes variables selon la fraction, le type de sol et le mode de gestion. Toutefois, les variations des contenus en C des fractions sableuses (50-2000 μm) sont les plus importantes.

Introduction

Pour les sols ferrugineux et ferrallitiques de la zone intertropicale, de nombreuses propriétés physiques, chimiques et biologiques des horizons de surface dépendent de leur

teneur en matière organique (MO), celle-ci dépendant elle-même du mode de gestion des terres (FELLER, 1995).

Cette étude concerne spécifiquement les sols ferrallitiques argileux et l'objectif de ce travail est d'analyser les formes de MO susceptibles de variations importantes avec le mode de gestion des terres afin d'en étudier ultérieurement l'effet sur une des propriétés physiques des sols, en particulier, la stabilité de l'agrégation (KOUAKOUA *et al.* en préparation, Chapitre III et IV de cette thèse). Les effets de la mise en culture se manifestant le plus fortement sur l'horizon de surface (cf. chapitre I), celui-ci sera exclusivement étudié ici.

La caractérisation de la MO est faite selon deux approches :

- par fractionnement granulométrique du sol. En effet, ce type de méthode est de plus en plus répandu et conduit à la séparation de fractions très différenciées par leur origine, leur nature, leur dynamique et leurs propriétés (FELLER, 1993 & 1995 ; CHRISTENSEN, 1992). Dans le cas des sols tropicaux, elle apparaît particulièrement intéressante pour l'étude de l'effet de différents mode de gestion des terres (DJEGUI, 1992 ; DJEGUI *et al.*, 1992 ; BACYE, 1993 ; FELLER, 1995) sur le statut organique des sols et l'évolution des propriétés chimiques et biologiques. Mais relativement peu de recherches concernent les sols ferrallitiques argileux et encore moins le rôle de ces fractions dans la stabilité de l'agrégation ;

- par extraction du sol à l'eau chaude. En effet, des travaux récents en milieu tempéré (ANGERS & MEHUYS, 1989 ; HAYNES & SWIFT, 1990 ; HAYNES & FRANCIS, 1993) ont montré que les polysaccharides des MO solubles à l'eau chaude étaient susceptibles de variations notables à court terme, selon le mode de gestion des terres et ce, en relation, avec des modifications de la stabilité de l'agrégation.

Matériels et méthodes

Présentation des situations

L'étude porte sur une gamme d'échantillons de surface (0-10 cm) de sols ferrallitiques argileux. Trois zones d'étude ont été choisies dont les caractéristiques pédologiques sont présentées dans le Tableau II.1.

1 - La première zone comporte six parcelles de sols ferrallitiques fortement désaturés argileux de la Vallée du Niari au Congo (KOUAKOUA *et al.*, 1997) :

a) à Loudima (situation nommée Congo-L) : une savane-jachère (LS0) de plus de 20 ans faisant suite à des cultures diverses; une jachère naturelle de 4 ans après plusieurs années de manioc (LJ) ; une parcelle sous culture de manioc depuis 20 ans (LM) ;

b) à Nkayi (proche de Loudima), une parcelle sous culture intensive et mécanisée de canne à sucre depuis 15 ans (LC) ;

c) à Mantsoumba (situation nommée Congo-M), une savane naturelle (MS) et une parcelle sous culture intensive et mécanisée de manioc depuis 17 ans (MM).

2 - La seconde zone regroupe six parcelles de sols ferrallitiques fortement désaturés (latossols) qui sont répartis dans deux états au Brésil : le Goiás (dans la région de Goiânia) et le Paraná (dans la région de Londrina) :

a) à Goiânia (situations nommées Brésil-G), trois parcelles sont étudiées (FREITAS *et al.*, 1997) : (i) une savane arbustive à arborée (CER), nommée “ campo-cerrado ” et présentant un caractère “anthropisé” dû au défrichement sélectif de touffes de graminées et à l’introduction de bovins durant la saison sèche ; (ii) une parcelle sous pâturage artificiel de longue durée (PAL), mis en place depuis plus de 15 ans, replanté en *Brachiaria brizanthae* depuis cinq ans avec labour (charrue à socs) et fertilisation ; ce pâturage est considéré comme peu “ dégradé ” selon la terminologie brésilienne ; (iii) une parcelle sous rotation de culture conventionnelle maïs/haricot depuis cinq ans (CCL) avec un travail du sol sur 15 cm, suivi d’un double passage de pulvérisateur à disque niveleur (5 à 10 cm), avec traitement par un herbicide non sélectif “trifuraline” et enfouissement des résidus de récolte ;

b) à Londrina (situations nommées Brésil L), trois parcelles sont retenues (NEVES, non publié) : (i) une parcelle sous forêt naturelle (FN) caractéristique de l’écosystème “forest a tropical subcaducifolia” ; (ii) une parcelle cultivée en avoine depuis plus de 20 ans (CA) avec un travail du sol ; (iii) une parcelle dans un verger de *Citrus* de 10 ans, avec couverture de légumineuse (CL) à *Arrachis prostrata* disposée en bandes entre les arbres fruitiers. Avant l’installation du verger, la parcelle CL avait été cultivée en manioc. Les prélèvements de sols y sont effectués sous légumineuse. Aussi, pour les échantillons CL, tout se passe comme si on étudiait l’effet d’une légumineuse de couverture sur les propriétés d’un sol après culture de manioc.

3 - Enfin, la troisième zone concerne un sol faiblement ferrallitique argileux de la Martinique, nommé “ ferrisol ” par COLMET-DAAGE & LAGACHE (1965) et localisé dans une plantation à Sainte Marie. La parcelle est sous culture de canne à sucre depuis 20 ans (T).

Les principales caractéristiques (Tableau II.1) des horizons de surface des différentes parcelles peuvent être résumées ainsi : les sols sont très acides au Congo-M, acides au Congo-L et Brésil-G, acides à neutres au Brésil-L. La teneur en fer est plus élevée dans les sols du Brésil-L que dans ceux du Brésil-G, Congo-L et Congo-M. L'argile minéralogique prédominante est la kaolinite associée à la goëthite au Congo, à l'hématite, la gibbsite et à la goëthite au Brésil et à l'halloysite à la Martinique. Enfin, cette collection d'échantillons permet, pour ces sols argileux, de couvrir une large gamme de teneur en C total des horizons 0-10 cm (17,7 à 42,5 g kg⁻¹ sol).

Préparation des échantillons et analyses.

Les échantillons sont des échantillons composites constitués à partir de 6 à 12 répétitions de terrain (FELLER, 1995 ; FREITAS *et al.*, 1997 ; NEVES, non publié, thèse en cours).

L'analyse granulométrique est effectuée par la méthode de la pipette de Robinson.

Les minéraux phyllosilicatés et les oxyhydroxydes cristallisés sont identifiés par diffractométrie rayons X sur un dépôt orienté provenant d'une suspension d'argile placée sur une lame de verre préalablement dégraissée. L'analyse est faite à l'aide d'un diffractomètre *Siemens D 500* informatisé.

Le carbone sur échantillons solides (sol total ou fractions granulométriques) est dosé par combustion voie sèche à l'auto-analyseur CHN (type CHN 600 LECO CORPORATION). Le carbone organique soluble à l'eau (froide ou chaude) est dosé par un auto-analyseur Shimadzu TOC 5000.

Les formes cristallisées du fer et de l'aluminium sont extraites par le réactif CBD de Mehra-Jackson (citrate-bicarbonate-dithionite de sodium) selon le protocole décrit par ROULLER *et al.* (1994).

Les capacités d'échange cationique et les bases échangeables sont déterminées au pH du sol par la méthode au chlorure de cobaltihexamine (FALLAVIER *et al.*, 1985).

Les mesures de pH à l'eau sont effectuées en suspension avec un rapport sol/solution de 1/2,5.

Extraction du sol à l'eau chaude

La méthode a été décrite par KOUAKOUA *et al.* (1997). 4 g de sol tamisé à 2 mm sont pesés dans un tamis à maille de 200 μm , puis placés dans un bécher contenant 100 ml d'eau déminéralisée. L'ensemble (sol-tamis-eau) contenu dans le bécher est ensuite placé dans une étuve à 90 °C pendant 1 heure après la durée de montée en température (40 min environ). Après passage à l'étuve, l'ensemble est agité pendant 6 min à l'aide d'un agitateur de type KEMPER & ROSENAU (1986). On obtient ainsi un mélange sol-eau. Ce dernier est centrifugé à 4000 tours pendant 30 min. (centrifugeuse type JUAN GR422) et filtré sur microfiltre en verre. Le carbone organique soluble à l'eau chaude (Cs) est ensuite dosé sur le filtrat.

Fractionnement granulométrique de la MO

La méthode utilisée est décrite par GAVINELLI *et al.* (1995) et s'inspire de celle proposée par FELLER *et al.* (1991). Comme pour de nombreuses méthodes décrites dans la littérature (ELLIOT & CAMBARDELLA, 1991 ; CHRISTENSEN, 1992), la méthode développée ici vise à une dispersion maximum du sol tout en limitant l'altération des MO. Elle diffère des méthodes habituelles par le mode d'application des ultrasons. Il a en effet été montré (BALESDENT *et al.*, 1991) que les ultrasons appliqués sur le sol total présentaient le risque de diviser les débris végétaux de taille > 50 μm et donc de transférer artificiellement des quantités importantes de MO dans les fractions fines < 20 μm . Les ultrasons ne sont donc appliqués ici que sur les fractions inférieures à 50 μm . La dispersion des agrégats de taille > 50 μm est assurée par l'addition d'un dispersant chimique, l'hexamétaphosphate de sodium (HMP).

La méthode est décrite en annexe I. En résumé, on opère de la façon suivante :

- agitation (2 heures) du sol dans l'eau (200 ml) en présence de HMP et 3 billes de verre (diamètre 1 cm),
- tamisages à 200 μm et 50 μm ,
- ultrasonication (10 min à 100 Joules ml^{-1}) de la suspension 0-50 μm ,
- tamisage à 20 μm ,
- puis séparation par sédimentation et centrifugation répétées des fractions 0-2 et 2-20 μm .

Les résultats de C et N des fractions seront exprimés en « teneurs » (g kg^{-1} fraction ou en « contenu » (g kg^{-1} sol).

Tableau II.1 - Quelques caractéristiques générales des échantillons de surface (0-10 cm) étudiés

Zone d'étude	Situation	Symbole	Minéralogie	Ct	pH eau	CEC	BE	Fe	Al
				g kg ⁻¹		cmol (+) /kg	% (CBD)		
Congo-L	savane arbustive	LS0	k+g	35,0	5,0	3,6	1,8	3,0	0,6
	jachère naturelle (4 ans)	LJ	*	36,4	5,5	9,3	9,1	3,2	0,8
	manioc continu (20 ans)	LM	*	21,8	6,0	5,3	4,8	3,6	0,7
	canne à sucre continu (15 ans)	LC	*	27,0	4,3	4,6	3,8	1,9	0,5
Congo-M	savane arbustive non dégradée	MS	*	42,5	5,0	7,6	5,1	3,4	0,7
	manioc continu (17 ans)	MM	*	18,0	4,4	4,6	2,9	1,2	0,2
Brésil-G	savane arborée dégradée	CER	k+hm+gb+g	23,8	5,5	1,4	0,8	3,5	0,5
	prairie plantée (15 ans)	PAL	*	22,0	5,9	2,5	2,6	3,0	0,5
	rotation maïs/haricot	CCL	*	21,4	5,2	2,4	2,5	3,9	0,5
Brésil-L	forêt dense	FN	*	31,9	6,8	12,5	10,5	8,7	0,5
	couverture de légumineuses (10 ans)	CL	*	24,5	5,9	10,4	8,0	7,2	0,5
Martinique	avoine continue (20 ans)	CA	*	17,7	5,7	8,5	3,3	7,1	0,4
	canne à sucre continue (20 ans)	T	k+h	27,0	5,4	11,5	10,8	4,6	nd

* k = kaolinite, g = goethite, gb = gibbsite, hm = hématite, h = halloysite, nd = non déterminé

Résultats

Carbone organique total

L'examen de la figure II.1 et du Tableau II.1 fait apparaître les points suivants :

- à l'exception du Brésil-G, les teneurs en C total (Ct) de l'horizon 0-10 cm sont supérieures ou égales à 30 g kg⁻¹ sol pour les végétations de savane, forêt ou jachère de 4 ans.
- la mise en culture relativement continue (comparaisons LS0/LM, MS/MM, CER/CCL, FN/CA) conduit généralement, à l'exception de la situation Brésil-G, à une forte diminution des teneurs en Ct. A noter, pour la situation Brésil-G, les faibles différences entre CER (Cerrado) et CCL (culture intensive),
- la culture de canne à sucre (comparaison LM/LC) conduit à des teneurs en C plus élevées que la culture continue de manioc,
- la jachère de 4 ans (LJ) et les plantes de couverture derrière des cultures intensives permettent une augmentation (comparaisons LM/LJ, CA/CL) des teneurs en Ct en quelques années (4 à 8 ans). Toutefois, la parcelle sous prairie (PAL) de la situation Brésil-G ne présente pas de grandes différences avec la parcelle sous culture intensive CCL.

Carbone soluble à l'eau chaude

Tous échantillons confondus, les teneurs en C soluble à l'eau chaude (Cs) sont comprises entre 0,3 et 0,9 g kg⁻¹ sol (Figure II.1). Les teneurs Cs sont significativement et étroitement corrélées à celles en Ct : $Cs = 0,02 Ct + 0,14$; $r = 0,61$; $p < 0,05$ pour $n = 13$.

Toutefois, au sein de chaque situation, le sens de variation de Cs selon le mode de gestion des terres n'est pas systématiquement identique à celui de Ct. Il est identique mais avec des amplitudes différentes pour les comparaisons (LS0 et LM, MS et MM, CER et CCL, FN et CA) mais il diffère en particulier, pour la situation Congo-L avec de fortes teneurs en Cs sous canne à sucre (LC) et de faibles sous jachère (LJ).

Matières organiques associées aux fractions granulométriques du sol

Avant toute présentation des résultats sur les caractéristiques des fractions et la distribution du carbone au sein de celle-ci, il importe de discuter de la qualité du

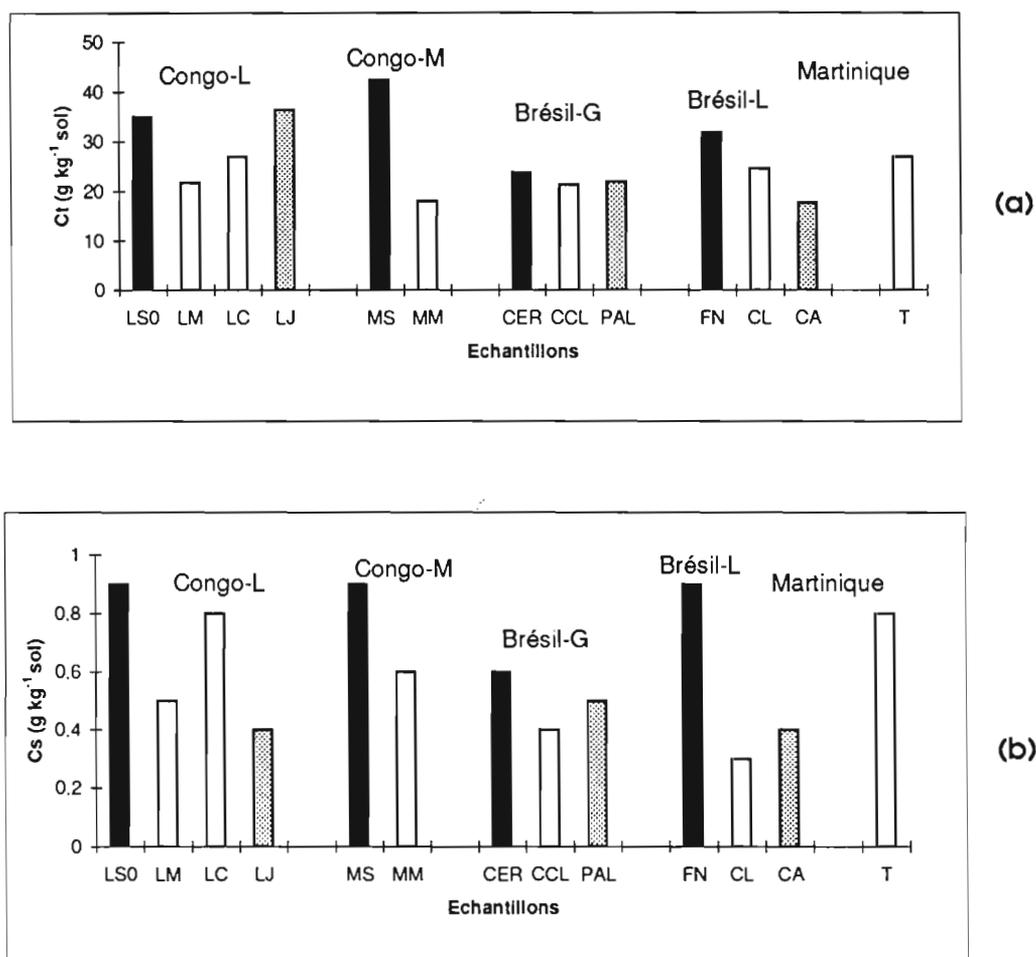


Figure II.1 - Teneurs en carbone total Ct (a) et en carbone soluble à l'eau chaude Cs (b) en fonction du mode de gestion des terres

fractionnement effectué, à savoir, les bilans de masse, de C et de N, et l'état de dispersion du sol obtenu par le fractionnement mis en oeuvre.

Aspects méthodologiques. Qualité du fractionnement

Bilans de masse, de C et de N, après fractionnement

Les bilans du fractionnement sont appréciés par la comparaison des masses et contenus en C et N du sol fractionné (SF) avec ceux du sol non fractionné (SNF). Les résultats sont exprimés en % (ligne SF % SNF, Tableau II.2a,b). Pour la fraction hydrosoluble (W), seul le carbone a été dosé.

Bilans de masse. Sur l'ensemble des échantillons fractionnés, ils varient de 93,4 à 100,3 % (moyenne : 96,8 %).

Bilans de C. Ils varient de 72,6 à 116,3 % (moyenne : 103,7 %). Les échantillons MM (116,3 %), LS0 (92,2 %), LC (91,00 %), FN (93,10 %) et T (72,6 %) ont des bilans respectivement excédentaires et déficitaires, les pourcentages des autres échantillons étant compris entre 95,0 et 103,9 %.

Bilans d'azote. Ils varient plus fortement de 80,6 à 173,7 %. Si l'on ne tient pas compte des situations LS0 (139 %) et LJ (173,7), l'étendue de la variation est comprise entre 80,6 et 118,5 %. Ces fortes variations observées pour les bilans de N par rapport à ceux du C tiennent essentiellement au fait que les erreurs sur les teneurs en azote sont plus élevées que sur celles en carbone avec l'appareillage technique utilisé (GAVINELLI *et al.*, 1995). De manière globale, à l'exception des échantillons LS0 et T pour le carbone et des échantillons LS0 et LJ pour l'azote, on peut considérer les bilans de masse, de C et de N comme satisfaisants.

Qualité de la dispersion obtenue par le fractionnement

La comparaison du fractionnement granulométrique de la MO (sans destruction de la MO) et de l'analyse mécanique (fractionnement granulométrique après destruction de la MO) permet d'apprécier l'état de dispersion obtenu pour les éléments fins de ces sols (argiles et limons) sans destruction de la MO. On constate (Tableau II.2) que :

la dispersion des argiles est pratiquement complète pour tous les échantillons du Congo (LS0, LJ, LM, MS, MM), pour les échantillons PAL (Brésil-G), CL et CA (Brésil-L) et

Tableau II. 2a - Caractéristiques des fractions granulométriques de la matière organique du sol et résultats d'analyse mécanique

Situation	Echantillon	Fraction µm	Masse des fractions (% SNF)	Teneurs et contenus en carbone			Teneurs et contenus en azote			Rapport C/N	Analyse mécanique (%)	
				g kg ⁻¹ frac.	g kg ⁻¹ sol	% C-SF	g kg ⁻¹ frac.	g kg ⁻¹ sol	% N-SF			
Congo-L	LS0	50-2000	10,9	49,91	5,44	16,86	2,02	0,22	8,76	24,7	9,6	
		2-50	12,5	51,92	6,49	20,12	3,60	0,45	17,93	14,4	9,2	
		0 - 2	76,5	23,50	17,97	55,71	2,40	1,84	73,13	9,8	76,8	
		w			2,36	7,32						
		SF			32,26	100,01		2,51	99,82	12,9		
		SNF			35,00			1,90		18,4		
		SF % SNF	99,9		92,18			131,87				95,7
LJ	LJ	50-2000	18,2	34,23	6,23	16,78	1,15	0,21	7,58	29,7	14,0	
		2-50	18,6	69,52	12,93	34,83	4,89	0,91	32,85	14,2	27,0	
		0 - 2	62,4	26,20	16,35	44,05	2,64	1,65	59,48	9,9	59,0	
		w			1,61	4,34						
		SF			37,12	100,00		2,77	99,91	13,4		
		SNF			36,40			1,60		22,8		
		SF % SNF	99,2		101,98			172,98				100,0
LM	LM	50-2000	16,7	16,77	2,80	12,36	0,78	0,13	7,93	21,5	14,3	
		2-50	17,5	36,11	6,32	27,90	2,40	0,42	25,61	15,0	19,9	
		0 - 2	66,1	16,89	11,16	49,27	1,65	1,09	66,47	10,2	65,8	
		w			2,37	10,46						
		SF			22,65	100,00		1,64	100,01	13,8		
		SNF			21,80			1,30		16,8		
		SF % SNF	100,3		103,90			126,17				100,0
LC	LC	50-2000	11,8	28,22	3,33	11,91	1,61	0,19	10,00	17,5	10,0	
		2-50	13,5	48,00	6,48	23,17	4,37	0,59	31,05	11,0	12,0	
		0 - 2	75,7	19,50	14,76	52,77	1,48	1,12	58,95	13,2	78,0	
		w			3,40	12,16						
		SF			27,97	100,00		1,90	100,00			
		SNF			27,00			1,40				
		SF % SNF	101,0		103,59			135,71				100,0
Congo-M	MS	50-2000	28,9	51,00	14,74	35,10	1,94	0,56	21,96	26,3	29,5	
		2-50	28,0	43,50	12,18	29,00	2,21	0,62	24,31	19,6	32,3	
		0 - 2	41,6	30,00	12,48	29,71	3,30	1,37	53,84	9,1	38,2	
		w			2,60	6,19						
		SF			42,00	100,00		2,55	100,11			
		SNF			42,50			2,40				
		SF % SNF	98,5		98,82			106,37				100,0
MM	MM	50-2000	14,6	23,63	3,45	16,48	1,03	0,15	10,79	23,0	13,7	
		2-50	22,4	17,54	3,93	18,78	0,89	0,20	14,39	19,7	21,5	
		0 - 2	61,2	18,00	11,02	52,63	1,70	1,04	74,85	10,6	59,8	
		w			2,53	12,09						
		SF			20,93	99,98		1,39	100,03			
		SNF			18,00			1,30				
		SF % SNF	98,2		116,26			106,95				95,0

Tableau II. 2b - Caractéristiques des fractions granulométriques de la matière organique du sol et résultats d'analyse mécanique

Situation	Echantillon	Fraction µm	Masse des fractions (% SNF)	Teneurs et contenus en carbone			Teneurs et contenus en azote			Rapport C/N	Analyse mécanique (%)	
				g kg ⁻¹ frac.	g kg ⁻¹ sol	% C-SF	g kg ⁻¹ frac.	g kg ⁻¹ sol	% N-SF			
Brésil-G	CER	50-2000	46,7	9,91	4,63	20,03	0,60	0,28	20,74	16,5	34,0	
		2-50	14,0	38,36	5,37	23,23	1,43	0,20	14,81	26,9	20,0	
		0 - 2	39,2	28,70	11,25	48,66	2,22	0,87	64,46	12,9	46,0	
		w			1,87	8,09						
		SF			23,12	100,00		1,35	100,02			
		SF % SNF	99,9		97,14			1,53				100,0
PAL	PAL	50-2000	44,3	6,09	2,70	12,58	0,38	0,17	12,32	15,9	48,0	
		2-50	20,1	32,49	6,53	30,41	1,84	0,37	26,81	17,6	16,0	
		0 - 2	35,6	29,80	10,61	49,41	2,37	0,84	61,14	12,6	36,0	
		w			1,63	7,59						
		SF			21,47	99,99		1,38	100,27			
		SF % SNF	100,0		22,00			1,30				100,0
CCL	CCL	50-2000	35,5	5,94	2,11	10,00	0,39	0,14	9,93	15,2	35,0	
		2-50	29,3	30,10	8,82	41,80	1,98	0,58	41,13	15,2	15,0	
		0 - 2	35,3	25,00	8,83	41,82	1,96	0,69	49,07	12,8	50,0	
		w			1,34	6,35						
		SF			21,10	99,98		1,41	100,13			
		SF % SNF	100,1		21,40			1,43				100,0
Brésil-L	FN	50-2000	14,0	49,86	6,98	23,50	4,43	0,62	25,10	11,3	4,0	
		2-50	22,2	35,05	7,78	26,20	3,42	0,76	30,77	10,2	16,0	
		0 - 2	57,2	18,00	10,28	34,61	1,91	1,09	44,25	9,4	80,0	
		w			4,66	15,69						
		SF			29,70	100,00		2,47	100,12			
		SF % SNF	93,4		31,90			3,07				100,0
CL	CL	50-2000	10,3	27,48	2,83	12,16	1,94	0,20	10,20	14,2	9,6	
		2-50	20,1	33,03	6,64	28,53	3,08	0,62	31,63	10,7	21,7	
		0 - 2	66,4	14,50	9,65	41,47	1,72	1,14	58,21	8,5	68,7	
		w			4,15	17,83						
		SF			23,27	100,00		1,96	100,05			
		SF % SNF	96,8		24,50			2,18				100,0
CA	CA	50-2000	7,1	30,28	2,15	11,76	1,97	0,14	9,21	15,4	9,6	
		2-50	23,3	23,18	5,40	29,54	2,06	0,48	31,58	11,3	19,8	
		0 - 2	67,2	11,90	8,02	43,87	1,34	0,90	59,28	8,9	70,7	
		w			2,71	14,82						
		SF			18,28	100,00		1,52	100,07			
		SF % SNF	97,6		17,70			1,66				100,1
Martinique	T	50-2000	18,80	9,84	1,85	9,43	0,43	0,08	4,60	23,13	21,10	
		2-50	24,80	26,05	6,46	32,94	1,81	0,45	25,86	14,36	20,60	
		0 - 2	49,30	22,92	11,30	57,62	2,45	1,21	69,54	9,34	49,80	
		H2O	4,40									
		w										
		SF			19,61	100,00		1,74	100,00	11,27		
SF % SNF	97,30		27,00			2,00				91,50		
			97,30		72,63		87,00					

T (Martinique). Elle est plus ou moins fortement incomplète pour les autres échantillons CER (Brésil-G) et FN (Brésil-L). Pour CER et FN les argiles non dispersées sont retrouvées dans les sables et limons, pour l'échantillon CCL seule la fraction limon est enrichie en argile.

En conclusion, à l'exception des échantillons CER et FN pour lesquels on peut retrouver des éléments fins dans les fractions sableuses, le fractionnement granulométrique de la MO de ces sols argileux à forte stabilité structurale peut être considéré comme satisfaisant.

Aspects morphologiques

Il n'y a pas eu dans ce travail une étude morphologique détaillée des fractions, à l'exception d'une observation à la loupe binoculaire de la fraction $> 50 \mu\text{m}$. Mais les observations de FELLER *et al.* (1991) sur l'échantillon T et sur d'autres échantillons tropicaux (FELLER, 1995) ont permis de montrer que :

- les MO associées aux fractions sableuses sont essentiellement sous forme de débris végétaux plus ou moins décomposés,
- les MO de la taille des limons sont dominées par des débris végétaux et fongiques très décomposés et humifiés, et sont plus ou moins associées à des microagrégats organo-limoneux (ou organo-limono-argileux, quand la dispersion des argiles est incomplète),
- les MO associées à la fraction argileuse sont de diverses formes : une dominance de MO amorphes imprégnant la matrice argileuse, mais aussi des colonies bactériennes et des résidus organiques figurés non identifiables.

Teneurs en C et rapport C/N des fractions granulométriques de la matière organique

Fraction 50-2000 μm .

L'étendue des teneurs en C est très grande de 6 à 51 g kg^{-1} fraction (figure II.2a). Les teneurs en C varient globalement dans l'ordre : Congo \approx Brésil-L $>$ Antilles $>$ Brésil-G.

La figure II.3a montre que ces teneurs sont plus ou moins dépendantes de la masse de la fraction. Il semble donc exister un effet de dilution de la MO de cette fraction par les

matières minérales sableuses associées. Au sein de chaque situation les teneurs sont plus élevées pour les situations sous végétation naturelle (Vég. Nat.).

Les rapports C/N de la fraction 50-200 μm (figure II.4) sont plus élevés au Congo-L, Congo-M et à la Martinique (de 18 à 30) qu'au Brésil-G et Brésil-L (de 11 à 17).

Fraction 2-50 μm .

L'étendue des teneurs en C de cette fraction est de 17,5 à 69,5 g kg^{-1} fraction (figure II.2b). Il n'y pas globalement de différences nettes entre les situations. Il n'y pas non plus d'effet de la masse de la fraction sur les teneurs en C (figure II.3b). Au sein de chaque situation, les sols sous végétation naturelle présentent des teneurs en C plus élevées.

Les rapports C/N (figure II.4) varient de 14 à 27 pour l'ensemble des parcelles du Congo-M, Congo-L à Brésil-G et Martinique mais sont nettement plus faibles (10 à 12) pour le Brésil-L.

Fraction 0-2 μm .

Pour chaque situation, l'étendue des teneurs en C est généralement plus faible (de 12 à 30) que celle des autres fractions, avec des valeurs les plus faibles pour Brésil-L (figure II.2c). On note une tendance à une diminution des teneurs avec l'augmentation de la masse des fractions (figure II.3c). Les parcelles sous végétation naturelle (Vég. Nat.) n'ont pas systématiquement des teneurs plus élevées que les autres parcelles.

Les rapports C/N (figure II.4) sont généralement les plus faibles des trois fractions et varient peu entre échantillons. Les rapports C/N sont plus élevés pour le Brésil-G (de 12 à 13) et au Congo-L (LC, 13) que pour les autres situations (9 à 11).

Enfin, pour chaque échantillon, les résultats du Tableau II.2 et la figure II.4 mettent bien en évidence pour le regroupement en trois fractions (50-2000, 2-50 et 0-2 μm) effectué ici une diminution, généralement, des rapports C/N avec la taille des fractions. Toutefois, lorsque toutes les fractions séparées sont considérées (cf. Tableau-annexe 1), il apparaît que les fractions 50-200 μm ont souvent des rapports C/N inférieurs à ceux des fractions 20-50 μm et/ou 2-20 μm .

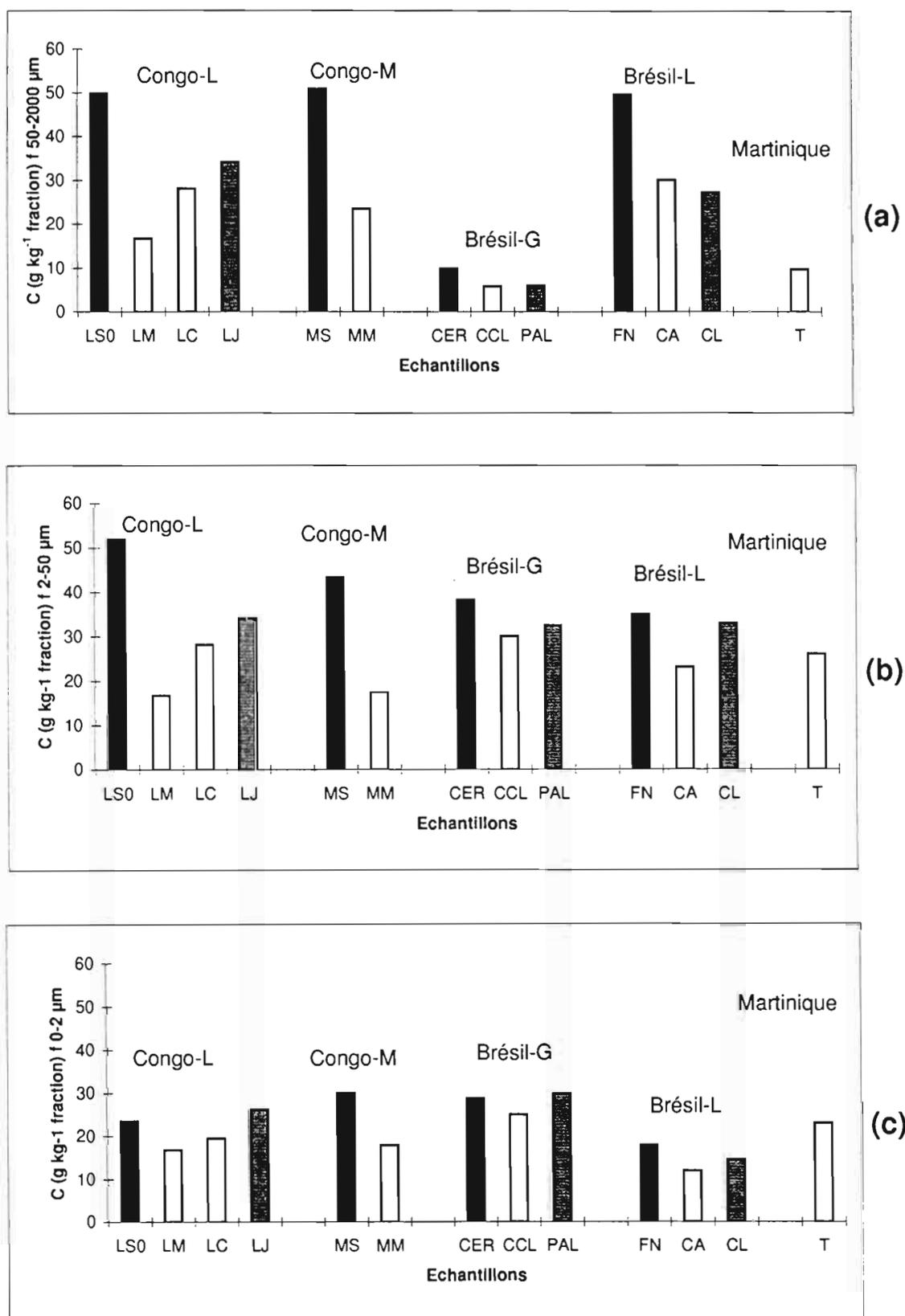


Figure II.2 - Teneurs en carbone des fractions sableuses (a), limoneuses (b) et argileuses (c) en fonction du mode de gestion des terres

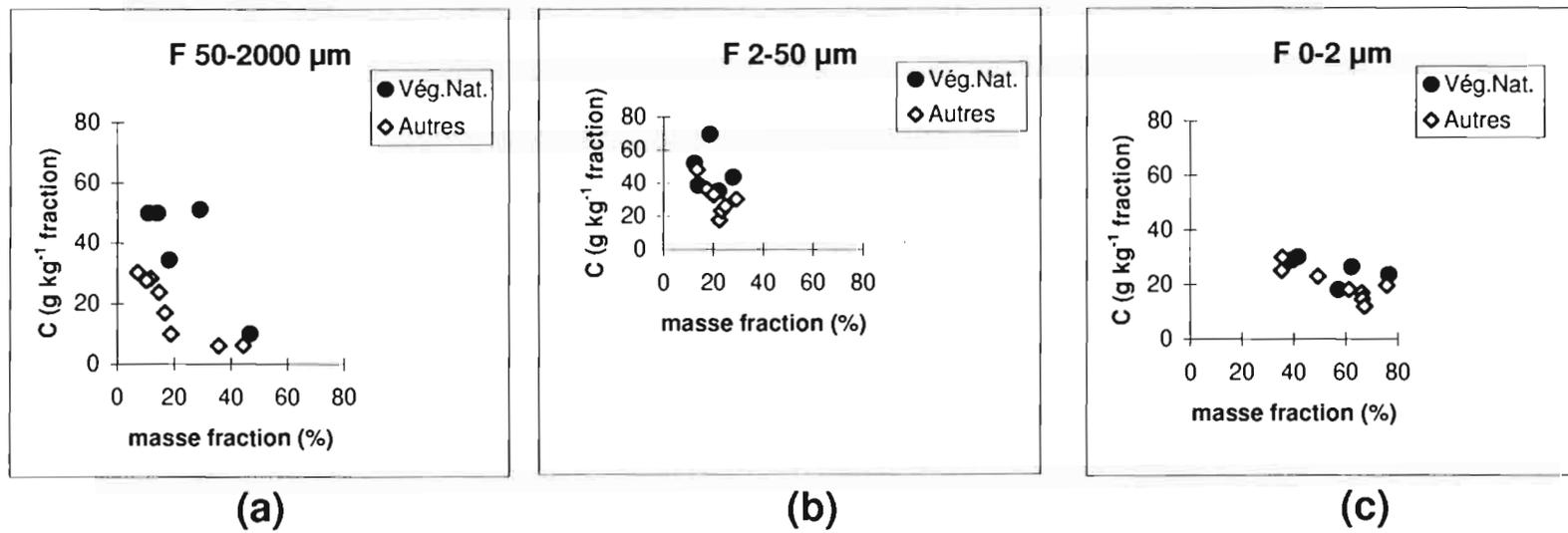


Figure II.3 - Relations entre carbone et masse des fractions granulométriques des échantillons de sols étudiés. Vég.Nat. = végétation naturelle

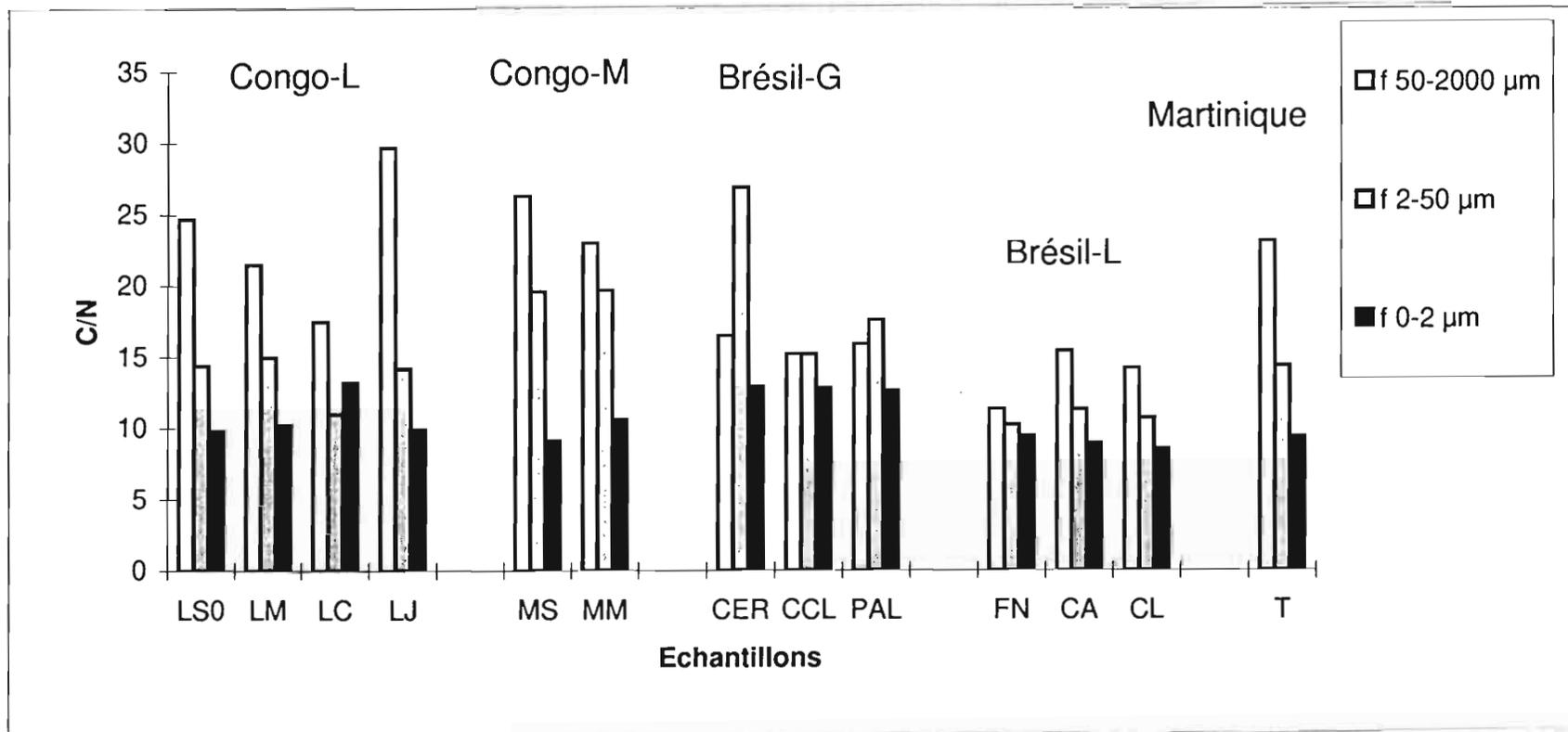


Figure II.4 - Rapports C/N des fractions granulométriques des échantillons de sols étudiés

Contenus en carbone des fractions granulométriques en fonction du mode de gestion des terres

Fractions 50 - 2000 μm

Tous échantillons confondus, les contenus en C de ces fractions représentent de 8 à 34 % de carbone total (Ct) des échantillons. Ces contenus sont très variables en fonction du mode de gestion des terres (figure II.5) :

- le défrichement et la mise en culture continue (comparaisons LS0/LM, MS/MM, CER/CCL, FN/CA) conduisent à une baisse des contenus en carbone (figure II.5a). Les diminutions (ΔC %) représentent de 41 à 77 % des valeurs initiales (figure II.6a),

- la mise en jachère, prairie ou couverture permanente de légumineuse derrière culture (comparaisons LJ/LM, PAL/CCL, CL/CA) permettent des augmentations fortes (LJ) ou faibles (PAL, CL) des contenus en C (figure II.5a),

- pour la parcelle sous canne à sucre (LC) au Congo, on note peu de différence avec celle sous culture de manioc (LM).

Fractions 2 - 50 μm

Les contenus en carbone de la fraction limoneuse sont, pour toutes les situations, plus élevées que ceux de la fraction sableuse. Tous échantillons confondus, les contenus de ces fractions représentent de 18 à 41 % de Ct des échantillons et sont variables selon le mode de gestion des terres (figure II.5b). Les variations suivent un sens similaire, mais avec des amplitudes différentes, à celui des fractions 50-2000 μm , avec une exception pour la situation Brésil-G. Pour celle-ci, les contenus sont plus élevés pour les parcelles sous pâturage (PAL) et culture (CCL) que pour la parcelle Cerrado (CER).

A l'exception de Brésil-G, la diminution du contenu en C après défrichement et culture (ΔC %) représente de 3 à 68 % des valeurs initiales (figure II.6a).

Fractions 0 - 2 μm

Les contenus en C des fractions argileuses de ces sols sont généralement plus élevés que ceux des fractions sableuses et limoneuses mais aussi nettement moins variables selon le mode de gestion des terres (Figure II.5c). Ils représentent de 30 à 67 % de Ct.

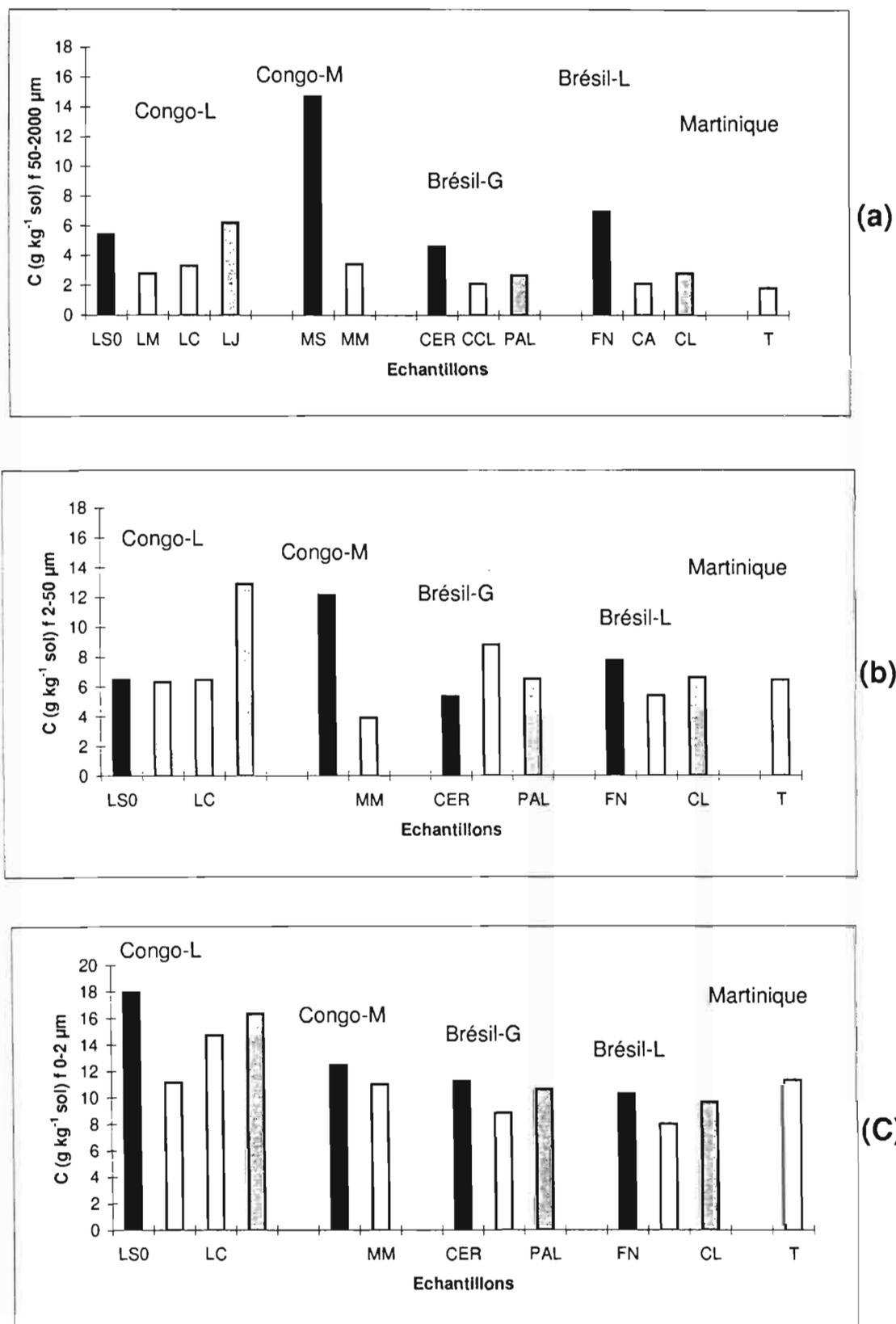
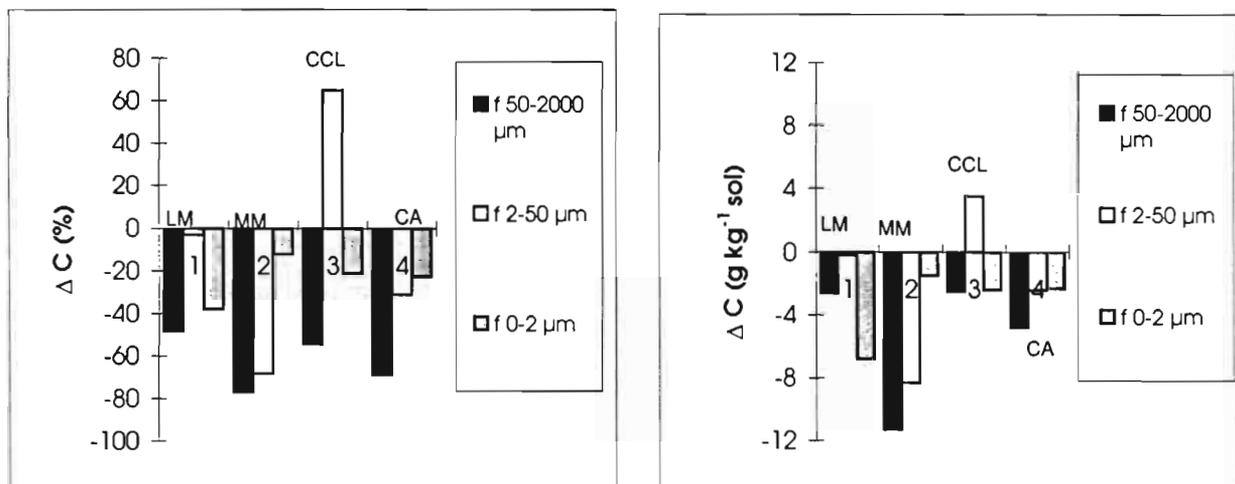


Figure II.5 - Contenus en carbone organique des fractions sableuses (a), limoneuses (b) et argileuses (c) en fonction du mode de gestion des terres

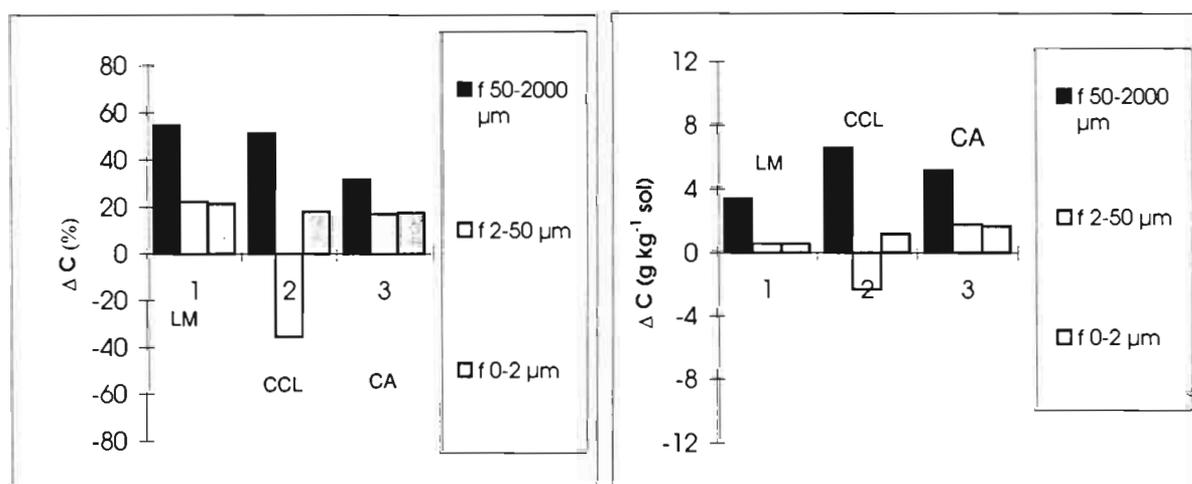
Défrichement et mise en culture : (comparaison LM/LS0, MM/MS, CCL/CER, CA/FN)



(a)

(b)

Reconstitution : comparaison (LJ/LM, PAL/CCL, CL/CA)



(c)

(d)

Figure II.6 - Effets de mode de gestion des terres sur les variations relatives ΔC (%) et absolues ΔC (g/kg sol) du contenu en C de chaque fraction par rapport au contenu initial avec : $\Delta C \text{ \%} = (C \text{ final} - C \text{ initial} / C_i \text{ initial}) * 100$ et $\Delta C \text{ (g/kg sol)} = C \text{ final} - C \text{ initial}$.

On retrouve le même sens de variation, mais avec des amplitudes plus faibles que pour les fractions sableuses. Ainsi, la diminution du contenu en C par défrichage et mise en culture représente de 12 à 38 % du carbone initial (figure II.6a), alors qu'elle était de 41 à 77 % pour la fraction sableuse.

Fraction w.

Le contenu en C de cette fraction soluble représente de 4 à 16 % de Ct de l'échantillon (Tableau II.2). On notera simplement les valeurs absolues plus élevées pour la situation Brésil-L. Il n'y a pas de liaison significative entre les contenus en C de la fraction w et celles en carbone total Ct.

Discussion

Effet du mode de gestion des terres sur les teneurs en carbone total

Sur l'ensemble des sols cultivés, à l'exception des sols de Goiânia (Brésil-G), on observe une baisse d'au moins 13 g kg^{-1} sol en Ct par rapport aux témoins sous savane ou sous forêt. Les teneurs en MO de ces sols diminuent donc assez fortement avec la mise en culture.

Les échantillons sous culture de manioc ou d'avoine ont les teneurs en carbone total les plus faibles. Ces résultats corroborent ceux déjà obtenus sur les mêmes types de sols sous savane du plateau de la Vallée du Niari (MARTIN, 1963 ; NZILA, 1992 ; MAPANGUI, 1992 ; DJONDO, 1994) et sous forêt dans le Paraná (TAVARES FILHO, 1995). Toutefois, une augmentation des teneurs en Ct des horizons de surface des sols après culture est possible par différentes alternatives testées ici : 4 ans de jachère naturelle à Loudima (Congo-L), 10 ans de couverture de légumineuse herbacée (associée à un verger) à Londrina (Brésil-L).

L'effet positif des jachères de moyenne durée sur le stockage du carbone a été souvent observé mais avec des amplitudes variables (BOYER, 1982 ; FELLER, 1995). On dispose, par contre, de peu de données sur des systèmes à légumineuses de couverture. On peut signaler les travaux récents de AZONTONDE (1993) qui montre l'intérêt d'un *Mucuna* pour améliorer le

stock organique d'un sol ferrallitique très dégradé. La canne à sucre (Congo-L) semble exercer un effet plutôt positif sur les teneurs en C, comparée aux autres cultures testées.

Par contre la mise en culture (CCL) à Goiânia (Brésil-G) ne semble exercer qu'un effet mineur, et généralement non significatif, sur les teneurs en C total. On rejoint ainsi les observations de LEPSCH *et al.* (1994) pour d'autres sols sous cultures dans les Cerrados. Selon FREITAS *et al.* (1997), dans le cas de la situation Brésil-G, l'absence de variations peut être expliquée de la manière suivante :

- la parcelle témoin sous Cerrado (CER), supposée être initialement riche en MO, correspond en fait à une parcelle déjà "anthropisée" (pâturage et éclaircissement) avec un niveau de restitution organique probablement inférieur à celui d'un Cerrado protégé. Pour les Cerrados protégés, BROSSARD *et al.* (1997) donne des teneurs en Ct, pour les horizons 0 à 20 cm, comprises entre 34 et 48 g C kg⁻¹ sol et une valeur de 24 g C kg⁻¹ sol pour un Cerrado pâturé.

- pour la parcelle sous culture annuelle CCL, il y a restitution systématique de l'ensemble des résidus de récolte au sol,

- enfin, divers travaux montrent que des pâturages plantés (PAL) et bien gérés peuvent maintenir des teneurs en Ct en surface équivalentes à celles sous végétation naturelle correspondante (ALBRECHT *et al.*, 1992 ; DESJARDINS *et al.*, 1994 ; CORREA & REICHARDT, 1995 ; FEIGL *et al.*, 1995).

Effet du mode de gestion des terres sur les teneurs en carbone soluble à l'eau chaude

Les teneurs en carbone soluble à l'eau chaude (Cs) des sols étudiés représentent de 1 à 5 % du carbone total. Ces quantités sont assez voisines de celles observées en milieux tempérés par LEINWEBER *et al.* (1995) et en milieu tropical par FELLER (1995). La répartition du carbone soluble en fonction du mode de gestion des terres est marquée par une diminution *systématique* quand on passe des sols sous "savane ou forêt" aux sols sous cultures, pâturages ou couverture de légumineuse. Selon LEINWEBER *et al.* (1995) pour des sols tempérés d'Allemagne, la concentration en Cs est le reflet de la fertilité naturelle d'un sol et de son milieu, surtout lorsqu'il y a modification du stock de MO et de l'activité biologique due à l'application à long terme des pratiques culturales et de la fertilisation minérale. Dans notre cas, on peut simplement conclure que Cs pourrait être un indicateur sensible de

l'évolution des teneurs en MO. Toutefois, malgré l'existence d'une liaison significative entre Cs et Ct, les variations des teneurs en Cs ne sont pas directement liées à celles en Ct. Ainsi Cs sous jachère est plus faible que sous savane alors que Ct est légèrement supérieur. Selon ARRIGO *et al.* (1993) le taux de carbone soluble serait fortement lié à l'activité biologique, ce qui pourrait expliquer les plus faibles valeurs de Cs sous jachère LJ dont l'activité biologique est probablement plus faible que sous savane LS0.

Effet du mode de gestion sur les teneurs en carbone et les rapports C/N des fractions granulométriques

Nous avons vu que, pour chaque situation, il existe une forte variabilité des teneurs en carbone (g kg^{-1} fraction), avec globalement une diminution des fractions sableuses (50-200 μm) aux fractions argileuses.

Deux facteurs peuvent expliquer cette variabilité, la texture et le mode de gestion des terres :

- pour un contenu donné de C dans une fraction granulométrique, la teneur en C sera en rapport inverse de la masse minérale. Cet effet de dilution de la MO par les particules minérales apparaît nettement pour la fraction 50-2000 μm (figure II.2a) quand on distingue les parcelles sous savanes ou vieilles jachères des autres parcelles. La même observation est faite par CHRISTENSEN (1992) pour les sols tempérés. Cette tendance n'est pas perceptible pour les fractions 2-50 et 0-2 μm . Cette tendance est confirmée par les valeurs obtenues par FELLER (1995), concernant des sols moins riches en argile (8 à 20 %) sous végétation naturelle. Les teneurs en C de la fraction 0-2 μm sont nettement plus élevées comprises entre 25 et 50 g kg^{-1} fraction, que celles obtenues ici pour les sols argileux (11 à 30 g kg^{-1} fraction),

- le deuxième facteur d'explication est le mode de gestion des terres. En effet la variabilité observée pour les teneurs en C de la fraction 50-2000 μm , où la MO est sous forme de débris végétaux, est due en partie à l'existence de deux familles de points : les situations sous savane forêt ou jachère de longue durée (Figure II.3a, Vég. Nat.) à teneurs élevées et les autres situations à teneurs plus faibles. De telles observations sur la fraction sableuse ont déjà été faites pour d'autres sols tropicaux à texture grossière (DJEGUI, 1992 ; FELLER, 1995).

Au delà de ces variations générales, il faut noter le cas de la situation Brésil-G dans la région des Cerrados, avec de très faibles teneurs en C de la fraction 50-2000 μm , en particulier pour les parcelles sous Cerrado CER ou pâturage PAL pour lesquelles le niveau de

restitution est supposé élevé. En l'absence de données quantifiées sur les apports organiques au sol, il nous est difficile d'expliquer ces résultats. Par ailleurs, il n'existe pas, à notre connaissance pour cette région et, des travaux publiés mettant en oeuvre des fractionnements granulométriques de la MO qui nous permettraient de faire des comparaisons. Si l'on suppose que le niveau de restitution n'est pas particulièrement faible, il faudrait invoquer des processus de décomposition particulièrement rapide dans ces milieux où les activités de termites et fourmis sont considérées comme importantes (DIAS *et al.*, 1997).

Rapport C/N

Comme de nombreuses autres études sur les sols tropicaux, (BACYE, 1993 ; DJEGUI, 1992 ; FELLER, 1993) les rapports C/N des fractions diminuent globalement des fractions grossières aux fractions fines. Toutefois, il faut noter les deux points particuliers suivants :

- les faibles valeurs des rapports C/N des fractions 50-2000 μm pour l'échantillon FN (11,3). Ceci est dû à la fois aux fractions 200-2000 (C/N = 12,4) et 50-200 μm (C/N = 10) (Tableau-annexe 1). A titre de comparaison, on peut donner les valeurs moyennes de C/N obtenues à partir de 21 échantillons sablo-argileux d'Afrique de l'Ouest (FELLER, 1995) pour les différentes fractions : 200-2000 μm (C/N = $18,9 \pm 1,3$) ; 50-200 (C/N = $16,4 \pm 1,6$) ; 20-50 ($16,2 \pm 1,1$) ; 2-20 (C/N = $16,6 \pm 1,2$) ; 0-2 μm (C/N = $10,6 \pm 0,6$).

Ces faibles valeurs des fractions 50-2000 μm s'expliquent principalement (CER, PAL, CCL) par une dispersion incomplète de la fraction sableuse (cf. résultats méthodologiques) qui contient encore des agrégats à faible rapport C/N. Toutefois des échantillons tels que PAL, CCL du Brésil-G présentent de faibles valeurs du rapport C/N des fractions 50-200 μm (Tableau-annexe 1). Sans observations microscopiques pour préciser la nature des MO de ces fractions (présence d'agrégats faunique, par exemple), il est difficile d'expliquer ces résultats,

- pour de nombreux échantillons (LJ, LM, MS, CER, CL) on note aussi des fortes valeurs (> 25) des rapports C/N des fractions 20-50 μm . Des valeurs de C/N anormalement élevées sont parfois interprétées comme étant dues à des cendres charbonneuses (VITORRELLO *et al.*, 1989 ; SKJEMSTAD *et al.*, 1990). La confirmation de cette hypothèse nécessite aussi des études micromorphologiques.

Effet du mode de gestion des terres sur les contenus en carbone des différentes fractions granulométriques

On distinguera les variations liées au défrichement et à la mise en culture continue de l'effet améliorant des jachères, prairie et couverture de légumineuse après culture.

Pour chaque fraction, les résultats sont schématisés sur la figure II.6, soit en variation relative, du contenu en carbone ΔC % [ΔC % = $(C_{\text{final}} - C_{\text{initial}}/C_{\text{final}}) \cdot 100$], soit en variations absolue ΔC [$\Delta C = (C_{\text{final}} - C_{\text{initial}})$ en g kg^{-1} sol].

Le défrichement et la mise en culture continue conduisent (figure II.6a) pour toutes les situations à des diminutions relatives (ΔC %) importantes des fractions 50-2000 μm et plus faibles des fractions 2-50 μm (exception Congo-M) et 0-2 μm . Ces fortes diminutions observées pour les fractions sableuses peuvent être attribuées à la fois à des niveaux de restitutions plus faibles sous cultures et à une dynamique rapide de ces fractions (CERRI *et al.*, 1985 ; BALESSENT *et al.*, 1987 ; MARTIN *et al.* 1990 ; DESJARDINS *et al.*, 1994 ; FELLER & BEARE, 1997), celle-ci étant accélérée avec le travail du sol (BALESSENT *et al.*, 1988 ; FELLER & BEARE, 1997) par destruction des agrégats.

Ces fortes variations relatives sont en accord avec les données disponibles dans la littérature concernant le turnover des MO des fractions granulométriques de sols tropicaux à argile 1:1, étudié à l'aide de l'isotope C13 en abondance naturelle. FELLER (1995) indique des taux de renouvellement du carbone deux fois plus élevés pour les fractions sableuses que pour les fractions argileuses.

Toutefois, l'analyse des variations absolues de ΔC (figure II.6b) montre que ΔC ne suit pas de variation systématique selon les fractions : valeurs de ΔC de la fraction sableuse plus fortes (LM) ou plus faibles (MM, CA) que celles de la fraction argileuse.

Au vu de ces seuls résultats, il ne semble donc pas se dégager de loi générale de l'évolution des contenus en C des fractions avec la mise en culture pour ces sols argileux, d'autant qu'il est toujours difficile d'estimer dans les parcelles cultivées, pour les pertes de C de la fraction 0-2 μm , la part des pertes par minéralisation et celle des pertes par érosion sélective en nappe.

Des restitutions après culture, par des couvertures herbacées provenant de jachère (LJ), prairie (PAL) ou légumineuse (CL), permettent une amélioration des contenus en C des sols (figure II 6). Les variations relatives ΔC % (figure II.6c) et absolues ΔC (figure II.6d)

portent aussi sur toutes les fractions, mais avec des valeurs plus élevées pour les fractions sableuses que pour les fractions limoneuses et argileuses.

En conclusion, aussi bien les pertes (après mise en culture) que les gains (après mise en jachère etc...) relatifs et absolus de carbone des sols argileux étudiés concernent souvent l'ensemble des fractions. Dans tous les cas, les fractions sableuses présentent les variations relatives ΔC % les plus fortes. Les variations absolues de la fraction sableuse sont aussi les plus fortes au cours de la reconstitution mais il est difficile, pour la mise en culture, de mettre en évidence des variations ΔC systématiques des différentes fractions.

Dans l'ensemble, le schéma proposé par FELLER & BEARE, (1997) pour les sols argileux (fortes variations des fractions argileuses) n'est pas toujours retrouvé.

Références Bibliographiques

- ALBRECHT, A., RANGON, L. & 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.* 27, 121 - 133.
- ANGERS, D.A. & MEHUYS, G.R. 1989. Effets of cropping on carbohydrate content and water stable aggregation of a clay soil. *Can. J. Soil. Sci.* 69, 373-380.
- ARRIGO, N.M., PALMA, R.M., CONTI, M.E. & COSTANTINI, A.O. 1993. Cropping rotations : effect on aggregate stability and biological activity. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 24, 2441-2453.
- AZONTONDE, A. 1993. Dégradation et restauration des terres de barre (sols ferrallitiques faiblement désaturés argilo-sableux) au Bénin. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, 28, 217-226.
- BACYE, B. 1993. Influence des systèmes de culture sur l'évolution du statut organique et minéral des sols ferrugineux et hydromorphes de la zone Soudo-Sahélienne (Provence du Yatenga, Burkina Faso). Thèse, Université Aix-Marseille III, 243 p.
- BALESDENT, J. WAGNER, G.H. & MARIOTTI, A. 1988. Soil organic matter turnover in long-term field experiments as revealed by the carbon-13 natural abundance. *Soil Sci. Am. J.* 52, 118-124.
- BALESDENT, J., MARIOTTI, A. & GUILLET, B. 1987. Natural ^{13}C abundance as a tracer for soil organic matter dynamics studies. *Soil Biol. Biochem.* 19, 25-30.

- BALESDENT, J., PETRAUD, J.P. & FELLER, C. 1991. Effet des ultrasons sur la distribution granulométrique des matières organiques des sols. *Science du sol*, 29, 95-106.
- BOYER, J. 1982. Les sols ferrallitiques. *ORSTOM*, Paris, Tome X, 384 p.
- BROSSARD, M., LOPES ASSAD, M.L., CHAPUIS, L. & BARCELLOS, A.O. 1997. Estoques de carbono em solos diferentes fitofisionomias de Cerrados. In Laércio leonel L.C.H.S. Contribuição ao conhecimento ecológico do Cerrado. *Dept. Ecologia Universidade de Brasília*, pp. 272-277.
- CERRI, C.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, série II, 423-428.
- CHRISTENSEN, B.T. 1992. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. *Advances in Soil Sciences*, 20, 1-90.
- COLMET-DAAGE, F. & LAGACHE, P., 1965. Caractéristiques de quelques groupes de sols dérivés de roches volcaniques aux antilles françaises. *Cah. Orstom, sér. Pédol.* 3 : 91-121.
- CORREA, J.C. & REICHARDT, K. 1995. Efeito do tempo de uso das pastagens sobre as propriedades de um latossolo amarelo da Amazonia Central. *Pesq. Agropec. Bras*, 30: 107-114.
- DESJARDINS, T., ANDREUX, F., VOLKOFF, B & CERRI, C.C. 1994. Organic carbon and ^{13}C contents in soils and soil size-fractions, and their changes due to deforestation and pasture intallation in eastern Amazonie. *Geoderma*, 61 : 19-25.
- DIAS, V.S., BROSSARD, M. & LOPES ASSAD, M.L. 1997. Macrofauna edáfica invertebrada em áreas de vegetação nativa da região de Cerrado. In Laércio leonel L.C.H.S. Contribuição ao conhecimento ecológico do Cerrado. *Dept. Ecologia Universidade de Brasília*, pp. 168-173.
- DJEGUI, N. Matière organique et azote dans les sols cultivés sur terres de Barre (Bénin). Thèse, INP de Toulouse, 190 p.
- DJEGUI, N., BOISSEZON, P.de., & GAVINELLI, E. 1992. Statut organique d'un sol ferrallitique du Sud-Bénin sous forêt et différents systèmes de cultures. *Cah. Orstom, sér. Pédol.* 27, 2-22.
- DJONDO, M.Y., 1994. Propriétés d'échange ionique des sols ferrallitiques argileux de la Vallée du Niari et sableux du Plateau de Mbé-Batéké au Congo . Application à la correction de leur acidité. Thèse, Université Paris XII-Val de Marne, 258 p.

- ELLIOT, E.T. & CAMBARDELLA, C.A. 1991. Physical separation of soil organic matter. *Agric. Ecosystems Environ*, 34, 407-419.
- FALLAVIER, P., BABRE, D., & BREYSSE, M. 1985. Détermination de la capacité d'échange des sols tropicaux acides. *L'Agron. Trop.* 40, 298-308.
- FEIGL, B.L., MELILLO, J. & CERRI, C.C. 1995. Changes in the origin and quality of soil organic matter after pasture introduction in Rondonia (Brazil). *Plant and Soil*. 175, 21-29.
- FELLER, C. & BEARE, M.H. 1997. Physical control of soil organic matter dynamic in the tropics, *Geoderma*, 79, 69-116.
- FELLER, C. 1993. Organic inputs, soil organic matter and functional soil organic compartments in low activity clay soils in tropical zones. p. 77-88. In K : K. Mulongoy & R. Merckx (ed.) *Soil organic matter dynamics and sustainability of tropical agriculture*, J. Wiley-Sayce, Chichester.
- FELLER, C. 1995. La matière organique dans les sols tropicaux à argile 1 : 1 recherche de compartiments organiques fonctionnels. Une approche granulométrique. Coll. TDM-ORSTOM, n° 144, 247 p. + Annexes 236 p.
- FELLER, C., ALBRECHT, A. & TESSIER, D. 1996. Aggregation and organic matter storage in kaolinitic and smectitic tropical soils. In Carter M.R., and Stewart B.A. (eds), Structure and organic matter storage in agricultural soils. *Advances in Soil Science*, Lewis, New York, pp. 309-359.
- FELLER, C., BURTIN, G. GERARD, B & BALESSENT, J. 1991b. Utilisation des résines sodiques et des ultrasons dans le fractionnement granulométrique de la matière organique des sols. Intérêt et limites. *Science du sol* 29 : 77-94.
- FREITAS, P.L. de., BLANCANEUX, Ph., GAVINELLI, E., LARRE-LARROUY, M.C. & FELLER, C. 1997. Effet du mode de gestion des terres sur le niveau et la nature du stock organique des sols des Cerrados du Brésil. *Pesq. Agropec. Bras.* (sous presse).
- GAVINELLI, E., FELLER, C., LARRE-LARROUY, M.C., BACYE, B., DJEGUI, N. & NZILLA, J.de D. 1995. A Routine method to study soil organic matter by particle-size fractionation: examples for tropical soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 26, 1749-1760.
- HAYNES, R. J. & SWIFT, R. S. 1990. Stability of soil aggregates in relation to organic constituents and soil water content. *Journal of Soil Science*, 41, 73 - 83.

- HAYNES, R.J. & FRANCIS, G.S. 1993. Changes in microbial biomass C, soil carbohydrate composition and aggregate stability induced by growth of selected crop and forage species under field conditions. *J. Soil Sci.* 44, 665-675.
- KEMPER, W.D. & ROSENAU, R.C. 1986. Aggregate stability and size distribution. in : "Methods of soil analysis. Part. I : Physical and mineralogical methods." A. KLUTE (ed). *Second edition*. pp. 425-442.
- KOUAKOUA, E., SALA, G.H., BARTHES, B., LARRE-LARROUY, M.C., ALBRECHT, A. & FELLER, C. 1997. La matière organique soluble à l'eau chaude et la stabilité de l'agrégation. Aspects méthodologiques et application à des sols ferrallitiques du Congo. *European J. Soil Sci.* 48, 239-247.
- LEINWEBER, P., SCHULTEN, H-R. & KÖRSCHENS, M. 1995. Hot water extracted organic matter : chemical composition and temporal variations in a long-term field experiment. *Biol. Fert. Soils*, 20, 17-23.
- LESPOCH, I.F., MENK, J.R.F., OLIVEIRA, J.B. de. 1994. Carbon storage and other properties of soils under agriculture and natural vegetation in São Paulo State, Brazil. *Soil Use and Management*, 10, 34-42. 1994.
- MAPANGUI, A. 1992. Etude de l'organisation et du comportement des sols ferrallitiques argileux de la Vallée du Niari (Congo). Conséquences sur l'évolution physique sous culture de manioc en mécanisé depuis 15 ans. Thèse Doct. Univ. Paris VI, 246 p.
- MARTIN, A., MARIOTTI, A., BALESSENT, 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.* 3, 33-41.
- MARTIN, G. 1963. Dégradation de la structure des sols sous culture mécanisée dans la Vallée du Niari. *Cah. Orstom, Sér. Pédol.* 8-14.
- NZILA, J. de D. 1992. Etude des transformations structurales et physico-chimiques d'un sol ferrallitique acide de la Vallée du Niari (Congo) soumis à la pratique de l'écobuage. Thèse, Université Paris XII-val de Marne, 190 p.
- ROUILLER, J., SOUCHIER, B., BRUCKERT, S., FELLER, C., TOUTAIN, F & VEDY, J.C. 1994. Méthodes d'analyses des sols. In: *Pédologie 2. Constituants et propriétés du sol. Chap. XXXI*, 2nd edn (ed.M. Bonneau & B. Souchier), pp. 623-631. Masson, Paris.
- SKJEMSTAD, J.O., LE FEUVRE, R.P. & PREBBLE, R.E. 1990. Turnover of soil organic matter under pasture as determined by ^{13}C natural abundance. *Austr. J. Soil Res.* 30, 267-276.

- TAVARES FILHO, J. 1995. Organisation et comportement de Latosols du Parana (Brésil). Influence de leur mise en culture. Thèse, Université de Nancy I, 229 p.
- VITERRELLO, V.A., CERRI, C.C. & ANDREUX, F., FELLER & VICTORIA, R.L. 1989. Organic matter and natural carbon-13 distribution in forested and cultivated oxisols. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53, 773-778.

Deuxième partie :

**RECHERCHE DES COMPARTIMENTS
ORGANIQUE AGREGEANTS**

Après la présentation des différentes situations, des caractéristiques générales des sols de l'influence du mode de gestion des terres sur la MO des horizons de surface, la deuxième partie sera consacrée à la recherche des compartiments organiques agrégeants. Cette partie comporte deux chapitres qui seront présentés sous forme d'articles.

Le chapitre III sera consacré à l'étude de la nature de la MO soluble à l'eau et à ses relations avec la stabilité de l'agrégation des sols.

Dans le chapitre IV, on s'intéressera aux relations entre les MO associées aux différentes fractions granulométriques et la stabilité de l'agrégation .

CHAPITRE III :

**Matière organique soluble à l'eau chaude et stabilité
de l'agrégation de sols ferrallitiques argileux**

E. KOUAKOUA¹, M C. LARRE-LARROUY¹, P. L de FREITAS², C. NEVES³, B. BARTHES¹,
G. H. SALA¹ & C. FELLER¹

¹Laboratoire d'étude du Comportement des Sols Cultivés (LCSC), ORSTOM, B.P. 5045,
34032 Montpellier Cedex, FRANCE ; ²EMBRAPA / CNPS, Rua Jardin Botânico, 1024,
22460-000 Rio de Janeiro, BRESIL ; ³Université Estadual de Londrina, Departamento de
Agronomia, C.P. 6001, CEP 86051, Londrina, BRESIL

Version provisoire pour article à soumettre à Journal Canadien de Science du Sol

Résumé

La matière organique (MO) a souvent un rôle important dans la stabilité structurale des sols.

Ce travail a pour objectif d'apprécier la nature de la MO soluble à l'eau chaude et son rôle sur la stabilité de l'agrégation d'horizons 0-10 cm de sols ferrallitiques argileux du Congo, du Brésil et de la Martinique. Les taux de macroagrégats ($> 200 \mu\text{m}$) stables à l'eau avant (AS) ou après extraction à l'eau chaude (ASe) sont comparés pour ces sols. Les teneurs en carbone organique total (Ct), en carbone organique solubilisé à l'eau chaude (Cs), en sucres totaux des sols (Cst) et en sucres solubilisés à l'eau chaude (Css) sont déterminées sur chaque échantillon de sol.

Des corrélations très significatives existent dans ces sols entre AS et Ct, Cs, Cst. L'analyse directe des effets des MO solubles à l'eau chaude est faite par la comparaison de AS et ASe. Ceux-ci n'étant pas significativement différents, on en déduit que, malgré l'existence de relations statistiques hautement significatives, la MO soluble à l'eau chaude n'a pas un rôle essentiel dans la stabilité de l'agrégation de ces sols.

Par ailleurs, la MO soluble à l'eau chaude est plus riche en sucre que le sol total. Les rapports [(galactose + mannose)/(arabinose + xylose)] élevés des sucres totaux et des sucres solubilisés à l'eau chaude indiquent qu'une fraction importante de ces sucres est d'origine microbienne. On n'observe pas de différence systématique de composition entre les sucres solubles et les sucres totaux.

Introduction

Les changements observés dans les sols après le défrichement et la mise en culture en zone intertropicale conduisent souvent à une diminution de la teneur en matière organique (MO) et à une dégradation de la structure (COMBEAU, 1960 ; MARTIN, 1963 ; MAPANGUI, 1992 ; DUTARTRE, 1993 ; FELLER *et al.*, 1996). Dans les études consacrées à la stabilité structurale, les auteurs s'interrogent généralement sur la nature des compartiments organiques impliqués dans cette dégradation, sans toutefois apporter de réponses satisfaisantes.

En effet, il est reconnu depuis longtemps, au moins pour les sols des zones tempérées, que les polysaccharides, qui constituent de 5 à 25 % de la MO du sol (OADES, 1967 ; CHESHIRE, 1979) sont en partie responsables de la stabilité de l'agrégation (RENNIE *et al.*, 1954 ; CHESTERS *et al.*, 1957). Des corrélations significatives (ANGERS & MEHUYS, 1989 ; ANGERS *et al.*, 1993b) ou non (CARTER *et al.*, 1994) existent entre les teneurs en carbohydrates totaux et la stabilité de l'agrégation du sol. Par ailleurs, la suppression sélective des glucides par l'anion périodate provoque une diminution de la stabilité de l'agrégation à l'eau (CHESHIRE *et al.*, 1983, 1984 ; ANGERS & MEHUYS, 1989). HARRIS *et al.* (1966) montrent que l'apport de polysaccharides microbiens au sol améliore cette stabilité. Par ailleurs, en étudiant l'amélioration à court terme de la stabilité de l'agrégation sous pâturage pour des sols de Nouvelle-Zélande, HAYNES & SWIFT (1990) puis HAYNES *et al.* (1991) indiquent que celle-ci est mieux corrélée avec la teneur en carbohydrates solubles à l'eau chaude qu'avec celles en carbone organique total, en carbone hydrolysable par l'acide chlorhydrique ou en carbohydrates extractibles par la soude. De même, GIJSMAN & THOMAS (1995) montrent que la stabilité de l'agrégation d'oxisols de Colombie est positivement corrélée avec la teneur en carbohydrates solubles à l'eau chaude.

L'objectif de ce travail est donc d'analyser le rôle de la MO soluble à l'eau chaude sur la stabilité structurale, en l'appliquant à des situations de sols ferrallitiques argileux du Congo, du Brésil et de la Martinique.

Matériels et méthodes

Présentation des situations

L'étude porte sur une gamme d'échantillons de surface (0-10 cm) de sols ferrallitiques argileux. Trois zones d'étude ont été choisies, dont les caractéristiques pédologiques sont présentées dans le Tableau III.1.

1 - La première zone comporte six parcelles sur sols ferrallitiques fortement désaturés (oxisols) argileux de la Vallée du Niari au Congo (KOUAKOUA *et al.*, 1997) :

a) à Loudima (situation nommée Congo-L) : une savane-jachère (LS0) de plus de 20 ans faisant suite à des cultures diverses ; une jachère naturelle de 4 ans après plusieurs années de manioc (LJ) ; une parcelle sous culture de manioc depuis 20 ans (LM) ;

b) à Nkayi (situation proche de Loudima, également notée Congo-L), une parcelle sous culture intensive et mécanisée de canne à sucre depuis 15 ans (LC) ;

c) à Mantsoumba (situation nommée Congo-M), une savane naturelle (MS) et une parcelle sous culture intensive et mécanisée de manioc depuis 17 ans (MM).

2 - La seconde zone regroupe six parcelles de sols ferrallitiques fortement désaturés (latossols) qui sont répartis dans deux Etats au Brésil : le Goiás (dans la région de Goiânia) et le Paraná (dans la région de Londrina) :

a) à Goiânia (situations nommées Brésil-G), trois parcelles sont étudiées (FREITAS *et al.*, 1997) : (i) une savane arbustive à arborée (CER), nommée "campo-cerrado", et présentant un caractère "anthropisé" dû au défrichement sélectif de touffes de graminées et à l'introduction de bovins durant la saison sèche ; (ii) une parcelle sous pâturage artificiel de longue durée (PAL), mis en place depuis plus de 15 ans, replanté en *Brachiaria brizanthae* depuis cinq ans avec labour (charrue à socs) et fertilisation ; ce pâturage est considéré comme peu "dégradé" selon la terminologie brésilienne ; (iii) une parcelle sous rotation de culture conventionnelle maïs/haricot depuis cinq ans (CCL) avec un travail du sol sur 15 cm, suivi d'un double passage de pulvérisateur à disque niveleur (5 à 10 cm), avec traitement par un herbicide non sélectif "trifurline" et enfouissement des résidus de récolte ;

b) à Londrina (situation nommée Brésil L), trois parcelles sont retenues (NEVES, non publié) : (i) une parcelle sous forêt naturelle (FN) caractéristique de l'écosystème "floresta tropical subcaducifolia" ; (ii) une parcelle cultivée en avoine depuis plus de 20 ans (CA) avec un travail du sol ; (iii) une parcelle dans un verger de *Citrus* de 10 ans, avec couverture de légumineuse (CL) à *Arrachis prostrata* disposée en bandes entre les arbres fruitiers. Avant

l'installation du verger, la parcelle CL avait été cultivée en manioc. Les prélèvements de sols y sont effectués sous légumineuse. Aussi, les échantillons CL permettent donc d'étudier l'effet d'une légumineuse de couverture sur les propriétés d'un sol après culture de manioc.

3 - Enfin, la troisième zone concerne un sol faiblement ferrallitique argileux de la Martinique, nommé " ferrisol " par COLMET-DAAGE & LAGACHE (1965) et localisé dans une plantation à Sainte Marie. La parcelle est sous culture de canne à sucre depuis 20 ans (T).

Les principales caractéristiques (Tableau III.1) des horizons de surface des différentes parcelles peuvent être résumées ainsi : les sols sont très acides au Congo-M, acides au Congo-L, Brésil-G et acides à neutres au Brésil-L. La teneur en fer est plus élevée dans les sols du Brésil-L que dans ceux du Brésil-G, Congo-L et Congo-M. L'argile minéralogique prédominante est la kaolinite associée à la gœthite au Congo, à l'hématite, à la gibbsite et à la gœthite au Brésil et à l'halloysite à la Martinique. Enfin, cette collection d'échantillons permet, pour ces sols argileux, de couvrir une large gamme de teneur en C total dans les horizons 0-10 cm (17,7 à 42,5 g kg⁻¹ sol).

Analyses physico-chimiques

L'analyse granulométrique est effectuée par la méthode de la pipette de Robinson.

Les minéraux phyllosilicatés et les oxyhydroxydes cristallisés sont identifiés par diffractométrie rayons X (DRX) sur un dépôt orienté provenant d'une suspension d'argile placée sur une lame de verre préalablement dégraissée. L'analyse est faite à l'aide d'un diffractomètre *Siemens D 500* informatisé.

Le carbone total est dosé par combustion voie sèche à l'auto-analyseur CHN (type CHN 600 LECO CORPORATION). Le carbone solubilisé par l'extraction à l'eau chaude est dosé, après refroidissement, sur le filtrat obtenu par centrifugation (4000 tours/min pendant 30 min) et filtration. Les teneurs en C soluble (Cs) des extraits eau chaude sont mesurées par analyseur TOC 5000 (marque Shimadzu).

Les formes cristallisées du fer et de l'aluminium sont extraites par le réactif CBD de Mehra-Jackson (citrate-bicarbonate-dithionite de sodium) selon le protocole décrit par ROUILLER *et al.* (1994).

Les capacités d'échange cationique et les teneurs en bases échangeables sont déterminées au pH du sol par la méthode au chlorure de cobaltihexamine (FALLAVIER *et al.*, 1985).

Tableau III.1 - Quelques caractéristiques générales des échantillons de sols de surface (0-10 cm) étudiés

Zone d'étude	Situation	Symbole	Argile	Limon	Sable	Minéralogie	Ct	pH eau	CEC	BE	Fe	Al
			%				g kg ⁻¹		cmol (+) /kg	% (CBD)		
Congo-L	savane arbustive	LSO	76,8	9,2	9,6	k+g	35,0	5,0	3,6	1,8	3,0	0,6
	manioc continu (20 ans)	LM	65,8	19,9	14,3	*	21,8	6,0	5,3	4,8	3,6	0,7
	jachère naturelle (4 ans)	LJ	59,0	27,0	14,0	*	36,4	5,5	9,3	9,1	3,2	0,8
Congo-M	canne à sucre continu (15 ans)	LC	78,0	12,0	10,0	*	27,0	4,3	4,6	3,8	1,9	0,5
	savane arbustive non dégradée	MS	38,2	32,3	29,5	*	42,5	5,0	7,6	5,1	3,4	0,7
	manioc continu (17 ans)	MM	59,8	21,5	13,7	*	18,0	4,4	4,6	2,9	1,2	0,2
Brésil-G	savane arborée dégradée	CER	46,0	20,0	34,0	k+hm+gb+g	23,8	5,5	1,4	0,8	3,5	0,5
	rotation maïs/haricot	CCL	50,0	15,0	35,0	*	21,4	5,2	2,4	2,5	3,9	0,5
	prairie plantée (15 ans)	PAL	36,0	16,0	48,0	*	22,0	5,9	2,5	2,6	3	0,5
Brésil-L	forêt dense	FN	80,0	16,0	4,0	*	31,9	6,8	nd	nd	8,7	0,5
	avoine continue (20 ans)	CA	70,7	19,8	9,6	*	17,7	5,7	nd	nd	7,1	0,4
Martinique	couverture de légumineuses (10 ans)	CL	68,7	21,7	9,6	*	24,5	5,9	nd	nd	7,2	0,5
	canne à sucre continue (20 ans)	T	49,8	20,6	21,1	k+h	27,0	5,4	11,5	10,8	4,6	nd

* k = kaolinite, g = goethite, gb = gibbsite, hm = hématite, h = halloysite, nd = non déterminé

Les mesures de pH à l'eau sont effectuées en suspension avec un rapport sol/solution de 1/2,5.

Extraction et dosage des sucres.

Les sucres sont extraits par deux hydrolyses successives (H_2SO_4), suivant la technique préconisée par OADES *et al.* (1970) ; parmi les différentes méthodes d'extraction, celle-ci offre l'avantage d'extraire le maximum de sucres monomères tout en limitant leur dégradation. Les sucres extraits sont dosés par chromatographie en phase gazeuse (CPG) après silylation (LARRE-LARROUY & FELLER, 1997). La séparation est effectuée sur un chromatographe muni d'un injecteur split-splitless et d'un détecteur à ionisation de flamme, équipé d'une colonne capillaire OV1. Les conditions opératoires sont les suivantes : température de l'injecteur 265°C, température du détecteur 250°C, température de la colonne programmée de 170°C à 230°C, à raison de 4°C/min (cf. annexe IV). Le rapport $r = (\text{Mannose} + \text{Galactose}) / (\text{Arabinose} + \text{Xylose})$ proposé par OADES (1984) est calculé pour évaluer l'origine plutôt végétale ($r < 1$) ou microbienne ($r > 1$) des sucres.

Mesure de la stabilité structurale à l'eau

La détermination de la stabilité des agrégats dans l'eau, adaptée de KEMPER & ROSENAU (1986), suit la méthodologie présentée par KOUAKOUA *et al.* (1997, annexe III). 4 g d'échantillons de sol séché à l'air et tamisé à 2 mm sont soumis à une humectation par immersion pendant 30 min. puis tamisés dans l'eau au moyen d'un agitateur vertical à mouvement alternatif (1,3 cm d'amplitude verticale, 35 cycles par min) pendant 6 min. La fraction restante sur le tamis représente la somme des macroagrégats stables à l'eau (AS > 200 μm) et des sables grossiers (SG). Sur la fraction ayant traversé le tamis (< 200 μm), on détermine par la méthode à la pipette Robinson la fraction " argile + limon fin " dispersée (A+Lf)_d (< 20 μm). La fraction > 200 μm est ensuite totalement dispersée par la soude (NaOH 0,05 M) pour déterminer le taux de macroagrégats stables à l'eau (AS) [AS = fraction > 200 μm - sables grossiers]. Tous les résultats sont exprimés en g .kg⁻¹ du sol séché à 105 °C.

Traitement à l'eau chaude (KOUAKOUA et al., 1997)

4 g d'échantillon séché à l'air et tamisé à 2 mm sont directement pesés sur un tamis de maille 200 μm , et le tamis est immergé dans un bécher contenant 100 ml d'eau déminéralisée. L'ensemble est placé dans une étuve à 90°C sous pression atmosphérique pendant environ 1 heure et 40 min (soit 40 min de montée en température et 1 heure à 90°C). Après refroidissement, les macroagrégats stables obtenus après traitement à l'eau chaude (ASe) sont déterminés comme précédemment. La fraction argile + limons fins sera nommée (A + Lf)de.

Précision des mesures

Les déterminations des taux de macroagrégats stables à l'eau, de C total et de C soluble à l'eau chaude sont faites à partir de 3 répétitions au moins et celles de C des sucres totaux et des extraits eau chaude des sols à partir de 2 répétitions. Les intervalles de confiance sont calculés au seuil de 5 %. Les études de comparaison de moyenne sont faites à l'aide de la méthode des plus petites différences significatives au seuil de 5 % (least significant differences : LSD).

Résultats

Stabilité des agrégats à l'eau, mode de gestion des terres et MO des sols.

Les résultats sont présentés au Tableau III.2 et sur la figure III.1.

Au Congo, les taux de macroagrégats stables (AS) à l'eau des horizons 0-10 cm sont significativement plus élevés sous savane (LS0 et MS) (669 et 746 $\text{g kg}^{-1}\text{sol}$) que sous culture de manioc (LM et MM) (571 et 585 $\text{g kg}^{-1}\text{sol}$) alors que ceux sous jachère LJ ou sous canne à sucre LC sont intermédiaires et peu différents entre eux (621 et 651 $\text{g kg}^{-1}\text{sol}$).

Au Brésil : à Goiânia (Brésil-G), les taux de AS sont significativement plus élevés sous cerrado CER (615 $\text{g kg}^{-1}\text{sol}$) et sous pâturage PAL (623 $\text{g kg}^{-1}\text{sol}$) que sous rotation maïs-haricot (541 $\text{g kg}^{-1}\text{sol}$) ; à Londrina (Brésil), ils sont significativement plus élevés sous forêt FN (752 $\text{g kg}^{-1}\text{sol}$) que sous culture d'avoine CA (551 $\text{g kg}^{-1}\text{sol}$) ; la parcelle sous couverture légumineuse CL présente un taux de AS intermédiaire (639 $\text{g kg}^{-1}\text{sol}$).

Enfin à la **Martinique**, le taux de AS (640 $\text{g kg}^{-1}\text{sol}$) est situé dans l'étendue de ceux des autres situations (541 - 742 $\text{g kg}^{-1}\text{sol}$).

Tableau III.2 - Teneurs en carbone total (Ct), en carbone soluble à l'eau chaude (Cs), en macroagrégats stables à l'eau (AS) et après traitement à l'eau chaude (ASe), et en éléments fins dispersés à l'eau (A + Lf)d et après traitement à l'eau chaude (A + Lf)de

Zone d'étude	Echantillons	Ct	Cs	AS	(A + Lf)d	ASe	(A + Lf)de
		g/kg sol					
Congo-L	LS0	35,0	0,9	669 ± 15	55 ± 2	667 ± 58	56 ± 15
	LJ	36,4	0,4	621 ± 45	41 ± 4	582 ± 27	81 ± 4
	LM	21,8	0,5	571 ± 27	48 ± 9	nd	nd
	LC	27,0	0,8	651 ± 44	66 ± 6	599 ± 43	43 ± 8
Congo-M	MS	42,5	0,9	746 ± 26	7 ± 1	754 ± 23	11 ± 2
	MM	18,0	0,6	585 ± 57	17 ± 3	599 ± 27	25 ± 13
Brésil-G	CER	23,8	0,6	615 ± 12	2 ± 0	621 ± 28	12 ± 1
	PAL	22,0	0,5	623 ± 34	8 ± 1	652 ± 23	10 ± 2
	CCL	21,4	0,4	541 ± 34	1 ± 0	547 ± 32	15 ± 2
Brésil-L	FN	31,9	0,9	752 ± 67	12 ± nd	793 ± 46	14 ± nd
	CA	17,7	0,3	551 ± 61	23 ± nd	548 ± 58	26 ± nd
	CL	24,5	0,4	639 ± 29	30 ± nd	663 ± 65	35 ± nd
Martinique	T	27,0	0,8	640 ± 34	55 ± 5	595 ± 50	66 ± 12

* 3 à 4 répétitions par échantillon, m = moyenne, i.c. = intervalle de confiance à 5 %,
nd = non déterminé.

Figure III.1 - Taux des macroagrégats stables à l'eau (AS) et après traitement à l'eau chaude (ASe)

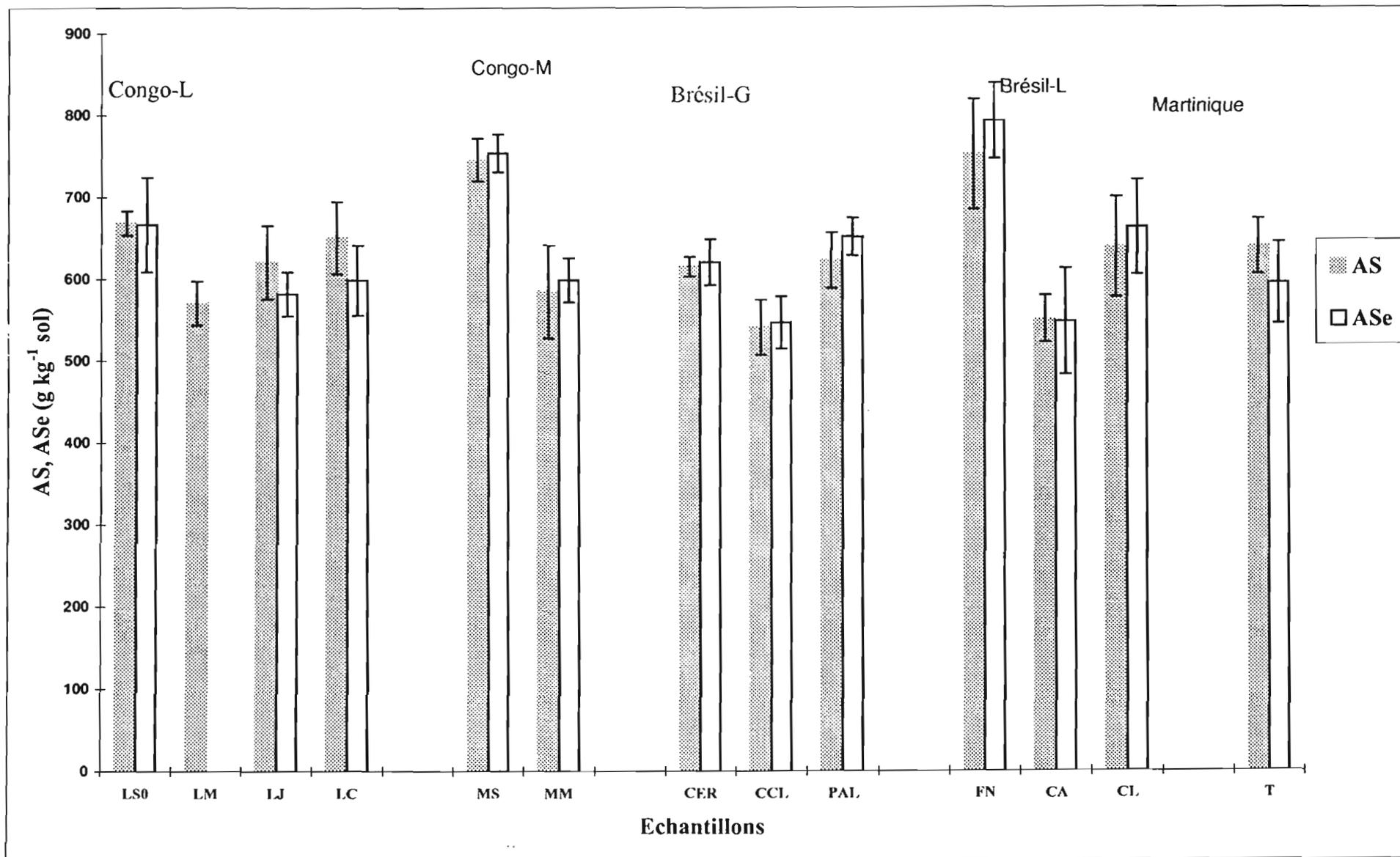
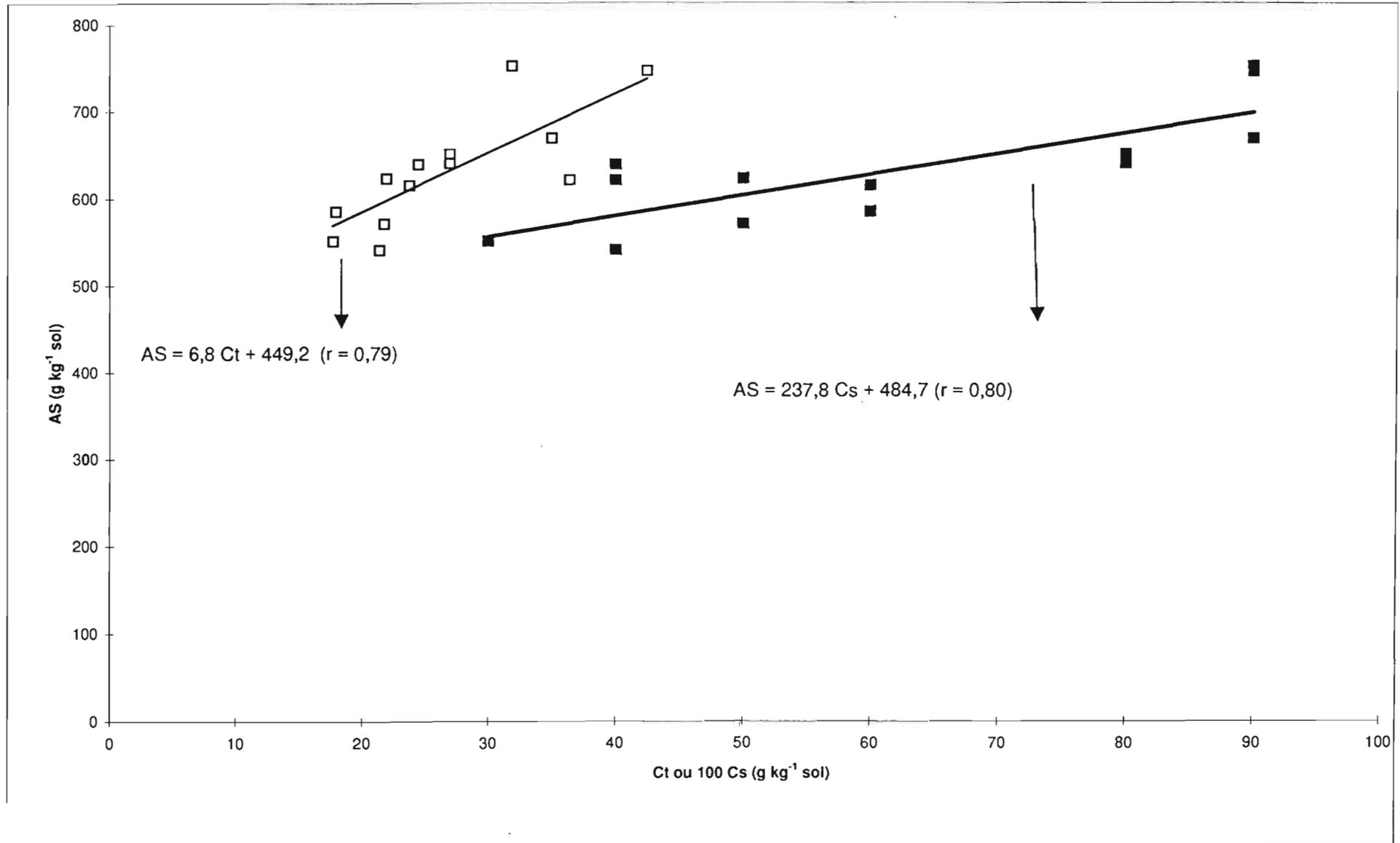


Figure III.2 - Relations entre le taux de macroagrégats stables à l'eau (AS) et la teneur en carbone total (Ct) ou soluble à l'eau chaude (Cs)



Tous échantillons confondus, le taux d'éléments fins dispersés $(A + Lf)_d$ est faible variant de 7 à 66 g kg^{-1} sol (Tableau III.2), alors que l'analyse mécanique révèle des teneurs argile + limon fin totaux $(A + Lf)_t$ d'environ 800 g kg^{-1} sol, soit un indice de dispersion $D = (A + Lf)_d / (A + Lf)_t$ inférieur à 0,084 (échantillon LC au Congo-L). Pour ces sols ferrallitiques argileux, le processus de désagrégation est donc dominé beaucoup plus par le phénomène d'éclatement que par le phénomène de dispersion.

Tous échantillons confondus, le taux de AS est significativement corrélé ($n=13$) au carbone total C_t ($r = 0,79$; $p < 0,01$) et au carbone soluble à l'eau chaude C_s ($r = 0,80$; $p < 0,01$) (figure III.2). D'autres paramètres ont été également pris en considération : teneurs en calcium, magnésium, potassium, sodium, manganèse et protons échangeables, aluminium échangeable, libre et amorphe, fer libre et amorphe, somme des bases échangeables, capacité d'échange cationique, taux d'argile, somme carbone + fer libre. Au seuil de 5 %, aucun de ces paramètres n'est corrélé avec AS.

Partant des équations mentionnées sur la figure III 2, ayant comme formule $y = ax + b$, on constate que les deux équations ont des valeurs élevées en b (449 et 485) par rapport aux valeurs de AS qui sont comprises entre 541 et 752. La stabilité de ces sols n'est donc qu'expliquée à 35-41 % par C_t ou C_s . Des constituants minéraux interviennent donc dans la stabilité « naturelle » de ces sols.

Enfin, il n'y a pas de corrélation significative entre $(A + Lf)_d$ et C_t ou C_s (r respectivement égaux à 0,22 et 0,10) et les valeurs obtenues après extraction à l'eau chaude $(A + Lf)_d$ ne sont guère supérieures à celles obtenues avant $(A + Lf)_d$.

Composition en sucres totaux des sols et des extraits à l'eau chaude

Les valeurs du carbone des sucres totaux des sols (C_{st}) et des sucres solubles à l'eau chaude (C_{ss}) étant obtenues par sommation des valeurs des sucres individuels, il faut être prudent dans l'interprétation des valeurs de C_{st} et C_{ss} .

Sucres totaux des sols

Le carbone des sucres totaux des sols est très variable et compris entre 376 et 4337 $\mu\text{g g}^{-1}$ (Tableau III.3). Il existe une corrélation significative et positive entre Ct et Cst ($Ct = 89,7 Cst + 939,8$; $r = 0,70$; $p > 0,01$; $n = 13$). Globalement, les Cst varient dans le sens Martinique \ll Congo-L \leq Brésil-G $<$ Brésil-L $<$ Congo-M.

Le défrichage des savanes ou forêt et la mise en culture continue (comparaisons LS0/LM, MS/MM, CER/CCL, FN/CA) conduisent systématiquement à une diminution forte de teneurs absolues en Cst ($\mu\text{g/g}$ sol). Les autres traitements présentent des valeurs intermédiaires.

Les compositions en sucres dominants varient dans le sens suivant.

Congo-L : $Gl > Ri \geq Ma > Ga > A \cong X$

Congo-M : $Gl > Ma > Ri > A \cong X > Ga$

Brésil-G : $Gl > Ri \cong Ma > Ga > X > A$

Brésil-L : $Gl > Ma > Ri > A \cong X > Ga$

Martinique : $Gl > Ma > Ri > Ga > X > A$

Le glucose est toujours le sucre dominant. Le ribose et le mannose ont toujours des valeurs relativement élevées. Le galactose, le xylose et l'arabinose ont des valeurs plus faibles. Les autres sucres (rhamnose, fucose et fructose), les sucres aminés ($Ga-NH_2$, $Gl-NH_2$) et les acides uroniques ($Ga-AU$, $Gl-AU$) sont généralement beaucoup faiblement représentés. La richesse en sucres aminés des échantillons MS, FN et CL est à noter, de même que celle en acides uroniques. Le rapport $r = (Ma + Ga)/(A + X)$, utilisé généralement comme indicateur de l'origine végétale ou microbienne des sucres, est peu variable au sein de chaque situation. Il montre des valeurs plus faibles ($\leq 1,50$) et pour la situation du Brésil-G ($> 1,95$) que pour les autres situations.

Sucres extraits à l'eau chaude

Le carbone des sucres solubilisés à l'eau chaude (Css) est compris entre 47 et 132 $\mu\text{g g}^{-1}$ sol (Tableau III.4). Il représente de 2,5 à 13,3 % du carbone des sucres totaux (excepté pour l'échantillon T avec 35,1 %) Il constitue de 9,3 à 29,3 % de Cs alors que Cst ne représente que 1,4 à 10,2 % de Ct. L'ordre de variation de Css, différent de Cst, est le suivant : Brésil-L \leq Congo-L $<$ Congo-M \leq Brésil-G $<$ Martinique. A ce sujet, il faut toutefois signaler

Tableau III.3 - Sucres simples, sucres totaux (St), carbone des sucres totaux (Cst et Cst %) et rapport $r = (Ma + Ga) / (A + X)$ après deux hydrolyses acides des sols étudiés

Echantillons	(µg/g sol)															St	Cst	Cst (% Ct sol)	r
	A	Rh	Ri	Fu	X	Ma	Fr	Ga-NH2	Ga	GI-NH2	GI	Ga-AU	GI-AU						
LSO	150	96	591	n.i.	140	540	n.i.	n.i.	245	n.i.	1161	116	64	3104	1242	3,55	2,70		
LM	86	42	351	n.i.	70	280	26	n.i.	145	26	517	32	18	1594	638	2,93	2,72		
LJ	189	128	970	90	269	824	39	n.i.	344	47	1484	74	95	4552	1821	5,00	2,55		
LC	138	102	721	n.i.	188	578	n.i.	n.i.	249	n.i.	1207	92	87	3362	1345	4,98	2,53		
MS	369	118	382	73	456	1714	n.i.	244	308	997	4709	196	1608	11174	4337	10,20	2,45		
MM	236	101	310	33	230	736	n.i.	53	175	120	1470	n.i.	127	3591	1427	7,93	1,95		
CER	114	98	578	n.i.	187	616	45	n.i.	239	39	1259	46	55	3277	1311	5,51	2,85		
PAL	94	93	500	n.i.	174	486	46	n.i.	164	n.i.	816	18	17	2408	963	4,38	2,43		
CCL	92	80	382	n.i.	142	446	23	n.i.	170	21	829	n.i.	15	2201	880	4,11	2,63		
FN	368	187	461	48	370	781	n.i.	123	250	284	1844	45	110	4871	1925	7,86	1,40		
CL	319	178	452	15	293	627	n.i.	103	194	259	1667	n.i.	61	4168	1649	5,17	1,34		
CA	215	114	261	n.i.	247	536	n.i.	n.i.	156	159	1131	n.i.	81	3014	1190	6,72	1,50		
T	31	31	135	n.i.	59	146	30	n.i.	72	n.i.	435	n.i.	n.i.	940	376	1,39	2,42		

* n.i = non identifié; A, arabinose; Rh, rhamnose; Ri, ribose; Fu, fucose; X, xylose; Ma, mannose; Fr, fructose; Ga-NH2, galactosamine; Ga, galactose; GI-NH2, glucosamine; GI, glucose; Ga-AU, acide galacturonique; GI-AU, acide glucuronique.

un problème méthodologique. Dans le cas du Congo-M et du Brésil-L, le séchage a été fait par lyophilisation et s'est accompagné de pertes. Il est donc difficile de comparer les valeurs absolues de *Css*, d'une situation à l'autre.

La mise en culture intensive s'accompagne d'une diminution des teneurs absolues en *Css* pour les sols de Congo-M, Brésil-L et Congo-L sous manioc. Par contre, elle a tendance à provoquer une augmentation des teneurs absolues en *Css*, faible pour les sols du Brésil-G et plus nette sous canne à sucre au Congo-L. Les traitements jachère LJ, pâturage de longue durée PAL et couverture de légumineuse CL présentent des teneurs en *Css* intermédiaires.

Les compositions en sucres solubles dominants varient dans le sens suivant :

Congo-L : $Gl > Ma \cong Ri > Ga > X \geq A$

Congo-M : $Gl > Ma$

Brésil-G : $Gl > Ma \cong Ri > X \cong Ga > A$

Brésil-L : $Gl > Ma$

Martinique : $Ri \geq Gl > Ma > X > Ga \geq A$

Le glucose est généralement le sucre dominant suivi du mannose et du ribose (sauf au Congo-M et Brésil-L où il est non déterminable). Les teneurs en galactosamine, le fucose, le fructose, la glucosamine, les acides galacturonique et glucuronique sont très faibles à non identifiables. Les quatre autres sucres (galactose, xylose, arabinose et rhamnose) présentent, soit des valeurs intermédiaires, soit sont non identifiables pour les situations du Congo-M et du Brésil-L, le rapport $r = (Ma + Ga)/(A + X)$ ne peut pas être déterminé pour ces situations. Quand r peut être calculé, il présente des valeurs élevées à très élevées (2,04 à 4,00) pour la situation du Congo-L et moyennes à élevées pour les situations du Brésil-G et de la Martinique (1,36 à 2,60). La mise en culture intensive des savanes ou de la forêt s'accompagne d'une forte diminution des teneurs en sucres solubilisés à l'eau chaude des échantillons de surface. Les rapports r des échantillons sous végétation naturelle (LS0, CER) sont plus élevés que ceux des échantillons sous cultures intensives (LM, CCL). Les échantillons sous jachère LJ et sous pâturage longue durée PAL ont respectivement des valeurs r plus faible (3,32) et plus élevée (2,60) que celui des végétations naturelles correspondantes.

Enfin, il n'apparaît pas de variation systématique entre les valeurs de r pour les sucres totaux et les sucres solubles.

Tableau III.4 - Sucres simples et totaux (Ss) solubilisés à l'eau chaude, carbone des sucres solubles (C_{ss} et C_{ss} %) et rapport $r = (Ma + Ga) / (A + X)$ après deux hydrolyses acides des sols étudiés

Echantillons	A	Rh	Ri	Fu	X	Ma	Fr	Ga-NH ₂	Ga	GI-NH ₂	GI	Ga-AU	GI-AU	Ss	C _{ss}	C _{ss} (% Cs sol)	r
(µg/g sol)																	
LSO	6	5	n.i.	n.i.	6	30	n.i.	n.i.	17	n.i.	149	n.i.	n.i.	212	85	9,32	4,00
LM	3	3	8	n.i.	3	14	n.i.	n.i.	7	n.i.	80	n.i.	n.i.	118	47	9,44	3,43
LJ	4	4	12	n.i.	4	17	n.i.	n.i.	9	n.i.	100	7	n.i.	158	63	15,22	3,32
LC	6	8	43	n.i.	15	30	n.i.	n.i.	14	n.i.	131	9	n.i.	255	102	12,77	2,04
MS	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	34	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	251	n.i.	n.i.	285	114	12,68	n.i.
MM	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	11	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	80	n.i.	n.i.	91	36	6,07	n.i.
CER	7	8	31	n.i.	17	34	n.i.	n.i.	15	n.i.	150	n.i.	n.i.	262	105	17,48	2,02
PAL	5	9	32	n.i.	15	37	4	n.i.	17	n.i.	147	n.i.	n.i.	267	107	21,37	2,60
CCL	14	14	79	n.i.	19	30	n.i.	n.i.	15	n.i.	121	n.i.	n.i.	293	117	29,28	1,36
FN	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	29	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	201	n.i.	n.i.	230	92	10,21	n.i.
CL	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	10	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	108	n.i.	n.i.	118	47	11,83	n.i.
CA	n.i.	n.i.	n.i.	71	n.i.	n.i.	71	28	9,45	n.i.							
T	15	16	74	n.i.	35	45	5	n.i.	25	n.i.	71	n.i.	n.i.	330	132	9,45	1,40

* n.i = non identifié; A, arabinose; Rh, rhamnose; Ri, ribose; Fu, fucose; X, xylose; Ma, mannose; Fr, fructose; Ga-NH₂, galactosamine; Ga, galactose; GI-NH₂, glucosamine; GI, glucose; Ga-AU, acide galacturonique; GI-AU, acide glucuronique.

Stabilité des agrégats après extraction à l'eau chaude

Afin de déterminer directement l'effet de l'extraction à l'eau chaude sur la stabilité de l'agrégation, le taux des macroagrégats stables à l'eau avant (AS) et après (ASe) extraction à l'eau chaude a été mesuré pour chaque échantillon. La comparaison des moyennes (figure III.1) montre que AS et ASe ne sont pas significativement différents (au seuil de 5 %).

Le taux des macroagrégats stables à l'eau AS est significativement corrélé ($r = 0,66$; $p < 0,02$) aux teneurs absolues en carbone des sucres totaux (Cst). Le coefficient de corrélation est toutefois inférieur à celui obtenu avec Ct ($r = 0,79$; $n = 13$; $p < 0,01$) ou Cs ($r = 0,80$; $n = 13$; $p < 0,01$). Enfin, AS n'est pas significativement corrélé, au seuil de 5 %, aux teneurs absolues en carbone des sucres solubles à l'eau chaude (Css).

Discussion

Sucres totaux des sols et sucres solubles à l'eau chaude

Sucres totaux des sols

La mise en culture continue (manioc, maïs/haricot ou avoine) après défrichement de savane ou forêt conduit à une diminution des teneurs en carbone des sucres totaux des sols. Des tendances similaires sont rapportées pour des sols tempérés (OADES, 1967 ; ARSHAD *et al.*, 1990 ; DALAL & HENRY, 1988 ; DORMAAR, 1984). En revanche, les restitutions herbacées semblent être en partie responsables de quelques augmentations des teneurs en sucres totaux sous jachère et sous canne à sucre au Congo-L, et sous couverture légumineuse au Brésil-L.

Les rapports r des sucres totaux apparaissent plus faibles dans les sols du Brésil-L (plus riches en fer) que dans ceux des autres sites. Mais en l'absence d'analyse de la composition en sucres des restitutions organiques, il est difficile de proposer des explications à cette observation.

Il n'y a pas de variation systématique du rapport r des sucres totaux avec la mise en culture. Par contre, les sols correspondant aux restitutions herbacées (LJ, PAL et CL) présentent en général des rapports r plus faibles que ceux des sols sous culture continue correspondant (LM, CCL et CA). Ceci indiquerait une proportion plus importante des sucres d'origine végétale. On peut expliquer ce résultat par une participation relative plus forte des MO

sous forme de débris végétaux (fraction 50-2000 μm) dans les échantillons LJ, PAL et CL par rapport à LM, CCL et CA (cf. Chapitre II).

Sucres solubles à l'eau chaude

L'extraction à l'eau chaude des sucres des sols a fait l'objet de diverses études (CHESHIRE, 1979 ; METZGER *et al.*, 1987 ; KINSBURSKY *et al.*, 1989 ; ANGERS *et al.*, 1993 ; HAYNES & SWIFT, 1990 ; HAYNES *et al.*, 1991 ; GIJSMAN & THOMAS, 1995). Plusieurs auteurs signalent des rapports r sur sucres extraits à l'eau chaude supérieurs à 1 (de 1,0 à 1,6) (BALL *et al.*, 1996) ou supérieurs à 2 (de 2,1 à 2,3) (HAYNES & FRANCIS, 1993). Ils supposent que ces sucres sont essentiellement issus de la décomposition de polysaccharides microbiens exocellulaires impliqués dans la stabilité des agrégats. Ces observations sont à rapprocher des résultats aussi obtenus par FELLER *et al.* (1991) sur des sols ferrallitiques, qui associent l'extraction à l'eau chaude et l'observation en microscopie électronique (après marquage métallique de la matière organique) des fractions argileuses : ces fractions apparaissent riches en MO amorphe, avec une morphologie typique d'exsudats racinaires et ou microbiens ; l'extrait est caractérisé par une forte teneur en carbone hydrolysable (HCl) et par un rapport xylose/mannose très faible ($< 0,1$), ce qui témoignerait d'une origine essentiellement microbienne.

Dans notre étude, les rapports r des sucres solubles comme ceux des sucres totaux sont élevés ($> 1,3$), reflétant un processus de néosynthèse microbienne plutôt qu'un héritage végétal. Ces fortes valeurs de r tiennent au fait que les MO associées aux argiles sont dominantes dans ces sols (cf. chapitre II) et que ce type de MO est fortement enrichie en sucres d'origine microbienne (FELLER *et al.*, 1991 ; FELLER & BEARE, 1997). Ceci est aussi confirmé par la prédominance dans ces sols du mannose et du ribose d'origine principalement microbienne (DECAU, 1968 ; CHESHIRE, 1979). Toutefois, il n'apparaît pas de différence systématique ici entre le rapport r des sucres solubles et celui des sucres totaux des sols.

Les données sont trop peu nombreuses pour analyser les variations des rapports r des sucres solubles selon le mode de gestion des terres.

Effet du mode de gestion des terres et de la MO de sols sur le taux de macroagrégats stables

Les sols étudiés ont une stabilité structurale élevée. La désagrégation dans l'eau est due essentiellement aux phénomènes d'éclatement, les phénomènes de dispersion apparaissant très faibles comme l'indiquent les valeurs basses de $(A + L_f)_d$.

L'analyse de l'équation de régression $AS = a C_t + b$ fait apparaître pour ces sols ferrallitiques un terme constant (b) élevé. La MO n'est donc pas le seul facteur explicatif de l'agrégation, puisqu'environ 60 à 75 % de la stabilité naturelle de l'agrégation sont contrôlés par d'autres paramètres. Il semble alors raisonnable de penser aux fortes teneurs en argile et en oxydes de fer (OADES & WATERS, 1991). Ainsi, si on compare des échantillons à teneur équivalente en C (LS0 et FN ou LM et CL) mais différant par la teneur en fer-CBD (3,0 et 8,7 % ou 5,6 et 7,2 % respectivement), on note des différences notables des taux de macroagrégats stables (66,9 % et 75,2 % ou 57,1 et 63,9 %). Toutefois, l'absence de relations significatives entre AS et de nombreux paramètres physico-chimiques (cations échangeables, teneur en argile, forme de fer) pour les échantillons étudiés montre que l'effet du mode de gestion des terres sur la stabilité structurale est probablement dû pour l'essentiel aux modifications des teneurs en MO et non pas à celles des autres paramètres cités.

Les sols sous savane et sous forêt ont des taux de AS à l'eau significativement plus élevés que ceux des sols sous culture de longue durée (manioc, maïs/haricot et avoine). Ceci est en accord avec les résultats de nombreux travaux sur des sols tropicaux mettant en oeuvre d'autres méthodes d'étude de la stabilité structurale (COMBEAU *et al.* 1961 ; THOMANN, 1963 ; MARTIN, 1963 ; DUTARTRE *et al.* 1993 ; FELLER *et al.* 1996). Pour des sols tempérés, BALDOCK & KAY (1987) et ANGERS & MEHUYS (1990) mettent aussi en évidence une diminution de la stabilité de l'agrégation à l'eau des sols sous culture continue en maïs, par rapport aux sols sous prairie de graminées ou sous culture de légumineuse.

Après culture, la mise en jachère, la mise en place d'une couverture de légumineuse et l'installation d'un pâturage de longue durée sur ces sols ferrallitiques argileux, permettent d'améliorer la stabilité de l'agrégation. Ceci confirme les données anciennes de MOREL & QUANTIN (1972) pour des sols de République Centrafricaine. Il faut noter aussi l'effet sensiblement positif des cultures de canne à sucre (Congo LC).

L'influence du carbone soluble à l'eau chaude C_s sur AS est étudiée statistiquement sur l'ensemble des échantillons ($n = 13$) : le taux de macroagrégats stables à l'eau AS est fortement et positivement corrélé ($p < 0,01$) à C_s ($r = 0,80$). Cette valeur de r est identique à

celle obtenue avec Ct ($r = 0,79$). Sur ces bases statistiques, on pourrait penser à un rôle important des MO solubles dans l'agrégation, d'autant que ces MO apparaissent relativement riches en sucres. C'est sur la base de relations statistiques que divers auteurs (HAYNES & SWIFT, 1990 ; HAYNES *et al.*, 1991 ; ANGERS *et al.*, 1993b) ont proposé d'attribuer un rôle important aux constituants polysaccharidiques solubles à l'eau chaude, mais sans en faire la démonstration directe. Or le contrôle direct de ce rôle (comparaison des agrégats stables avant AS et après ASe extraction eau chaude) montre que, malgré l'existence de ces relations statistiques significatives, la MO soluble à l'eau chaude ne peut être considérée comme un facteur primordial de la stabilité de l'agrégation de ces sols ferrallitiques argileux.

Les résultats de ce travail, confrontés à ceux de la littérature, montrent la nécessité de tester directement le rôle des facteurs supposés intervenir dans la stabilité de l'agrégation. Cette étude est envisagée en particulier avec des sols tropicaux à faible stabilité structurale.

Références bibliographiques

- ALBRECHT, A., RANGON, L. & BARRET, P. 1992. Effet de la matière organique sur la stabilité structurale et la détachabilité d'un vertisol et d'un ferrisol (la Martinique). *Cah. Orstom, sér. Pédol.* 27, 121-133.
- ANGERS, D.A. & MEHUYS, G.R. 1989. Effets of cropping on carbohydrate content and water stable aggregation of a clay soil. *Can. J. Soil. Sci.* 69, 373-380.
- ANGERS, D.A. & MEHUYS, G.R. 1990. Barley and alfalfa cropping effects on carbohydrate contents of a clay soil and its size fractions. *Soil Biol. Biochem.* 22, 285-288.
- ANGERS, D.A., SAMSON, N. & LEGERE, A. 1993b. Early changes in water-stable aggregation induced by rotation and tillage in a soil under barley production. *Can. J. Soil Sci.* 73, 51-59.
- BALDOCK, J.A. & KAY, B.D. 1987. Influence of cropping history and chemical treatments on the water-stable aggregation of a silt loam soil. *Can. J. Soil. Sci.* 67, 501-511.
- BALL, B.C., CHESHIRE, M.V., ROBERSTON, E.A.G. & HUNTER, E.A. 1996. Carbohydrate composition in relation to structural stability, compactibility and plasticity of two soils in a long-term experiment. *Soil and Tillage Research*, 39, 143-160.

- CARTER, M.R., ANGERS, D.A., & KUNELIUS, H.T. 1994. Soil structural form and stability, and organic matter under cool-season perennial grasses. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58, 1194-1199.
- CHESHIRE, M. V. & MUNDIE C. M. 1981. The distribution of labelled sugars in soil particle size fractions as a means of distinguishing plant and microbial carbohydrate residues. *J. Soil Sci.* 32, 605-618.
- CHESHIRE, M.V. 1979. Nature and origin of carbohydrates in soils. *Academic Press*, London, 216 p.
- CHESHIRE, M.V., SPARLING, G.P., & MUNDIE, C.M. 1983. Effet of periodate treatment of soil on carbohydrate constituents and soil aggregation. *J. Soil Sci.* 34, 105-112.
- CHESHIRE, M.V., SPARLING, G.P., & MUNDIE, C.M. 1984. Influence of soil type, crop and air drying on residual carbohydrate content and aggregate stability after treatment with periodate and tetraborate. *Plant Soil*, 76, 336-347.
- CHESTERS, G., ATTOE, O.J. & ALLEN, O.N. 1957. Soil aggregation in relation to various soil constituents. *Soil Sci. Soc. Am. Pro.* 21, 272-277.
- COLMET-DAAGE, F. & LAGACHE, P., 1965. Caractéristiques de quelques groupes de sols dérivés de roches volcaniques aux antilles françaises. *Cahiers ORSTOM, série Pédologie*, 3, 91-121.
- COMBEAU, A. 1960. Quelques facteurs de la variation de l'indice structurale dans certains sols ferrallitiques. *C. R. Académ. Agric. France*, pp. 9-115.
- COMBEAU, A., OLLAT, C. & QUANTIN, P. 1961. Observations sur certaines caractéristiques des sols ferrallitiques. Relations entre les rendements et les résultats d'analyse des sols. *Fertilité*, 13, 27-40.
- DALAL C. & HENRY, R.J. 1988 Cultivation effects on carbohydrate contents of soil fractions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52, 1365-1365.
- DECAU, J. 1968. Les polysaccharides du sol : origine, évolution et rôle. *Ann. Agron.* 19 (1), 65-82.
- DORMAAR J.F., 1984. Monosaccharides in hydrolysates of water-stable aggregates after 67 years of cropping to spring wheat as determined by capillary gas chromatography. *Can. J. Soil Sci.*, 64, 647-656.
- DUTARTRE, P. 1993. Horizons de surface de sols ferrugineux tropicaux cultivés d'Afrique de l'Ouest (Burkina Faso et Mali). Etude des microstructures par l'approche fractale. Thèse, Univ. Nancy I. 153 p.

- DUTARTRE, P., BARTOLI, F., ANDREUX, F. & PORTAL, J. M. 1993. Influence of content and nature of organic matter on the structure of some sandy soils from West africa. *Geoderma* 56, 459-478.
- FALLAVIER, P., BABRE, D., & BREYSSE, M. 1985. Détermination de la capacité d'échange des sols tropicaux acides. *L'Agron. Trop.* 40(4), 298-308.
- FELLER, C. 1995. La matière organique dans les sols tropicaux à argile 1 : 1 recherche de compartiments organiques fonctionnels. *Une approche granulométrique. Coll. TDM-ORSTOM*, n° 144, 247 p. + Annexes 236 p.
- FELLER, C., ALBRECHT, A. & TESSIER, D. 1996. Aggregation and organic matter storage in kaolinitic and smectitic tropical soils. In Carter M.R., and Stewart B.A. (eds), Structure and organic matter storage in agricultural soils. *Advances in Soil Science*, Lewis, New York, pp. 309-359.
- FELLER, C., FRANÇOIS, C., VILLEMIN, G., PORTAL, J.M., TOUTAIN, F. & MOREL, J.L. 1991a. Nature des matière organiques associées aux fractions argileuses d'un sol ferrallitique. *C.R. Acad. Sci. Paris, t. 312, Série II*, p. 1491-1497.
- FREITAS, P.L. de., BLANCANEUX, Ph., GAVINELLI, E., LARRE-LARROUY, M.C. & FELLER, C. 1997. Effet du mode de gestion des terres sur le niveau et la nature du stock organique des sols des Cerrados du Brésil. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, (sous presse).
- GIJSMAN, A.J & THOMAS, R.J. 1995. Aggregate size distribution and stability of an oxisol under legumes-based and pure grass pastures in eastern Columbian savannas. *Australian Journal of Soil Research*, 33, 153-165.
- HARRIS, R.F., CHESTERS, G. & ALLEN, O.N. 1966. Dynamics of soil aggregation. *Adv.Agron.* 18, 107-169.
- HAYNES, R.J. & SWIFT, R.S. 1990. Stability of soil aggregates in relation to organic constituents and soil water content. *Journal of Soil Science*, 41, 73-83.
- HAYNES, R.J. & FRANCIS, G.S. 1993. Changes in microbial biomass C, soil carbohydrate composition and aggregate stability induced by growth of selected crop and forage species under field conditions. *Journal of Soil Science*, 44, 665-675.
- HAYNES, R.J., SWIFT R.S., & STEPHEN R.C. 1991. Influence of mixed cropping rotations (pasture-arable) on organic matter content, water stable aggregation and clod porosity in a group of soils. *Soil and Tillage Research*, 19, 77-87.

- KEMPER, W.D. & ROSENAU, R.C. 1986. Aggregate stability and size distribution. in : "Methods of soil analysis. Part. I : Physical and mineralogical methods." A. KLUTE (ed). *Second edition*. pp. 425-442.
- KINSBURSKY, R. S., LEVANON, D. & YARON, B. 1989. Role of fungi in stabilizing aggregates of sewage sludge amended soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53, 1086-1091.
- KOUAKOUA, E., SALA, G.H., BARTHES, B., LARRE-LARROUY, M.C., ALBRECHT, A. & FELLER, C. 1997. La matière organique soluble à l'eau chaude et la stabilité de l'agrégation. Aspects méthodologiques et application à des sols ferrallitiques du Congo. *European J. Soil Sci.* 48, 239-247.
- LARRE-LARROUY, M. C. and FELLER, C. 1997. Determination of carbohydrates in two ferrallitic soils : Analysis by capillary gas chromatography after derivatization by silylation. *Soil Biology and Biochemistry*, 29, 9/10, pp.1585-1589.
- LEINWEBER, P., SCHULTEN, H-R. & KÖRSCHENS, M. 1995. Hot water extracted organic matter : chemical composition and temporal variations in a long-term field experiment. *Biology and Fertility of Soils*, 20, 17-23.
- LESPSCH, I.F., MENK, J.R.F., OLIVEIRA, J.B. de. 1994. Carbon storage and other properties of soils under agriculture and natural vegetation in São Paulo State, Brazil. *Soil Use and Management*, 10, 34-42.
- MAPANGUI, A. 1992. Etude de l'organisation et du comportement des sols ferrallitiques argileux de la Vallée du Niari (Congo). Conséquences sur l'évolution physique sous culture de manioc en mécanisé depuis 15 ans. Thèse, Univ. Paris VI, 246 p.
- MARTIN, G. 1963. Dégradation de la structure des sols sous culture mécanisée dans la Vallée du Niari. *Cah. Orstom, Sér. Pédol.* 2, 8-14.
- METZGER, L., LEVANON, D. & MINGELGRIN. 1987. The effect of sewage sludge on soil structure stability : Microbiological Aspects. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51, 346-351.
- MOREL, R. and QUANTIN, P. 1972. Observations sur l'évolution à long terme de la fertilité des sols cultivés à Grimari (République Centrafricaine). *L'Agronomie Tropicale*, 27, 667-739.
- OADES, J. M. & WATERS, A. G. 1991. Aggregate hierarchy in soils. *Australian Journal of Soil Research*, 29, 815-828.
- OADES, J.M. 1984. Soil organic matter and structural stability : mechanisms and implications for management. *Plant and Soil*, 76, pp319-337.
- OADES, J.M. 1967. Carbohydrates in some Australian soils. *Austral. J. Soil Res.* 5, 103-115.

- OADES, J.M., KIRKMAN, M.A. & WAGNER, G.H. 1970. The use of gas-liquid chromatography for the determination of sugars extracted from soils by sulfuric acid. *Soil Science Society of America Proceedings*, 34, 230-235.
- RENNIE, D.A., TRUOG, E. & ALLEN, O.N. 1954. Soil aggregation as affected by microbial gums, level of fertility and kind of crop. *Soil Sci.Soc. Am. Proc.* 18, 339-403.
- ROUILLER, J., SOUCHIER, B., BRUCKERT, S., FELLER, C., TOUTAIN, F & VEDY, J.C. 1994. Méthodes d'analyses des sols. *In: Pédologie 2. Constituants et propriétés du sol. Chap. XXXI*, 2nd edn (ed.M. Bonneau & B. Souchier), pp. 623-631. Masson, Paris.
- THOMANN, C. 1963. Quelques observations sur l'extraction de l'humus dans les sols. Méthode au pyrophosphate de sodium. *Cah. ORSTOM, série Pédol.* 3, 43-72.

CHAPITRE IV :

Effet de la matière organique associée aux fractions granulométriques sur la stabilité de l'agrégation de sols ferrallitiques argileux

E. KOUAKOUA¹, P. L. de FREITAS², C. NEVES³, G. H. SALA¹ & C. FELLER¹

¹Laboratoire d'étude du Comportement des Sols Cultivés (LCSC), ORSTOM, B.P. 5045, 34032 Montpellier Cedex, France ; ²EMBRAPA / CNPS, Rua Jardin Botânico, 1024, 22460-000 Rio de Janeiro, Brésil ; ³Université Estadual de Londrina, Departamento de Agronomia, C.P. 6001, CEP 86051, Londrina, PR Brésil

Version provisoire pour article à soumettre à Journal Canadien de Science du Sol

Résumé

La matière organique (MO) des sols (MOS) joue un rôle majeur dans la stabilité structurale des horizons de surface des sols ferrallitiques. Or des travaux de plus en plus nombreux sur la caractérisation de la MOS mettent en oeuvre des fractionnements granulométriques. Il n'existe pratiquement pas de travaux sur le rôle de ces fractions dans la stabilité de l'agrégation.

L'objet de ce travail est donc d'évaluer ce rôle à partir d'une collection d'échantillons provenant de sols ferrallitiques argileux du Congo, du Brésil et de la Martinique.

Trois fractions organiques et organo-minérales ont été retenues : la fraction sableuse (50-2000 μm) dominée par des débris végétaux, la fraction limoneuse (2 -50 μm) et la fraction argileuse (0-2 μm). La stabilité structurale a été estimée par le taux de macroagrégats stables à l'eau (AS).

Il est montré que :

- les variations relatives et absolues les plus importantes, selon le mode de gestion des terres, des contenus en carbone des fractions granulométriques de la MO sont généralement observées pour les fractions sableuses,

- seuls les contenus en C de la fraction 50-2000 μm sont significativement corrélés au taux de macroagrégats stables AS.

Il reste toutefois à évaluer directement, et non uniquement statistiquement, le rôle joué par les MO associées aux sables dans la stabilité de l'agrégation de ces sols.

Introduction

L'importance de la matière organique (MO) des sols (MOS) dans la stabilité de l'agrégation des sols tropicaux a été maintes fois soulignée (COMBEAU & QUANTIN, 1964 ; COMBEAU & MONNIER, 1961 ; MARTIN, 1963 ; DUTARTRE *et al.*, 1993 ; FELLER *et al.*, 1996). Une précédente étude (KOUAKOUA *et al.*, 1997) et les résultats présentés par KOUAKOUA *et al.* (article en préparation ; cf. du chapitre III) ont montré que : (i) la stabilité de l'agrégation des sols ferrallitiques argileux est fortement liée aux teneurs en MO ; (ii) les situations sous cultures longue durée conduisent à une dégradation structurale importante marquée par des taux de macroagrégats stables à l'eau plus faibles que ceux des sols sous savane ou forêt.

Dans les études antérieures sur les relations entre MOS et stabilité de l'agrégation, on a souvent accordé un rôle essentiel au carbone total et aux polysaccharides, et plus récemment, aux polysaccharides solubles à l'eau chaude. Or, depuis de nombreuses années, la caractérisation de la MOS met de plus en plus en oeuvre des fractionnements physiques, densimétriques ou granulométriques (CHRISTENSEN, 1992 ; FELLER, 1997). Mais cette démarche a été rarement appliquée à l'étude des propriétés physiques de sols. Plus récemment on voit se développer les fractionnements granulométriques ou densimétriques pour la caractérisation des agrégats (PUGET *et al.*, 1996 ; GOLCHIN *et al.*, 1994, 1995). Il devient donc intéressant de pouvoir tester l'effet des MO des fractions granulométriques sur la stabilité de l'agrégation de ces sols.

L'objectif de ce travail est d'abord de caractériser les MO associées aux différentes fractions granulométriques du sol, puis d'évaluer leur impact sur la stabilité de l'agrégation dans le cas d'horizons de surface de sols ferrallitiques argileux (Congo, au Brésil et à la Martinique) soumis à différents modes de gestion.

Matériels et Méthodes

Echantillons étudiés

L'étude porte sur une gamme d'échantillons de surface (0-10 cm) de sols ferrallitiques argileux (oxisols). Trois zones d'étude ont été choisies dont les caractéristiques pédologiques sont présentées dans le Tableau IV.1.

1 - La première zone comporte six parcelles de sols ferrallitiques fortement désaturés (oxisols) argileux de la Vallée du Niari au Congo (KOUAKOUA *et al.*, 1997) :

a) à Loudima (situation nommée Congo-L) : une savane-jachère (LS0) de plus de 20 ans faisant suite à des cultures diverses ; une jachère naturelle de 4 ans après plusieurs années de manioc (LJ) ; une parcelle sous culture de manioc depuis 20 ans (LM) ;

b) à Nkayi (proche de Loudima), une parcelle sous culture intensive et mécanisée de canne à sucre depuis 15 ans (LC) ;

c) à Mantsoumba (situation nommée Congo-M), une savane naturelle (MS) et une parcelle sous culture intensive et mécanisée de manioc depuis 17 ans (MM).

2 - La seconde zone regroupe six parcelles de sols ferrallitiques fortement désaturés (latossols) qui sont répartis dans deux Etats au Brésil : le Goiás (dans la région de Goiânia) et le Paraná (dans la région de Londrina) :

a) à Goiânia (situations nommées Brésil-G), trois parcelles sont étudiées (FREITAS *et al.*, 1997) : (i) une savane arbustive à arborée (CER), nommée “ campo-cerrado ” et présentant un caractère “anthropisé” dû au défrichement sélectif de touffes de graminées et à l’introduction de bovins durant la saison sèche ; (ii) une parcelle sous pâturage artificiel de longue durée (PAL), mis en place depuis plus de 15 ans, replanté en *Brachiaria brizanthae* depuis cinq ans avec labour (charrue à socs) et fertilisation ; ce pâturage est considéré comme peu “ dégradé ” selon la terminologie brésilienne ; (iii) une parcelle sous rotation de culture conventionnelle maïs/haricot depuis cinq ans (CCL) avec un travail du sol sur 15 cm, suivi d’un double passage de pulvérisateur à disque niveleur (5 à 10 cm), avec traitement par un herbicide non sélectif “trifuraline” et enfouissement des résidus de récolte ;

b) à Londrina (situation nommée BrésilL), trois parcelles sont retenues (C. NEVES, thèse en cours) : (i) une parcelle sous forêt naturelle (FN) caractéristique de l’écosystème “flore sttropical subcaducifolia” ; (ii) une parcelle cultivée en avoine depuis plus de 20 ans (CA) avec un travail du sol ; (iii) une parcelle dans un verger de *Citrus* de 10 ans, avec couverture de légumineuse (CL) à *Arrachis prostrata* disposée en bandes entre les arbres fruitiers. Avant l’installation du verger, la parcelle CL avait été cultivée en manioc. Les prélèvements de sols y sont effectués sous légumineuse. Aussi, pour les échantillons CL, tout se passe comme si on étudiait l’effet d’une légumineuse de couverture sur les propriétés d’un sol après culture de manioc.

3 - Enfin, la troisième zone concerne un sol faiblement ferrallitique argileux de la Martinique, nommé " ferrisol " par COLMET-DAAGE & LAGACHE (1965) et localisé dans une plantation à Sainte Marie. La parcelle est sous culture de canne à sucre depuis 20 ans (T).

Les principales caractéristiques (Tableau IV.1) des horizons de surface des différentes parcelles peuvent être résumées ainsi : les sols sont très acides au Congo-M, acides au Congo-L et Brésil-G et acides à neutres au Brésil-L. La teneur en fer est plus élevée dans les sols du Brésil-L que dans ceux du Brésil-G, Congo-L et Congo-M. L'argile minéralogique prédominante est la kaolinite associée à la goëthite au Congo, à l'hématite, la gibbsite et à la goëthite au Brésil et à l'halloysite à la Martinique. Enfin, cette collection d'échantillons permet, pour ces sols argileux, de couvrir une large gamme de teneur en C total des horizons 0-10 cm (17,7 à 42,5 g kg⁻¹ sol).

Les teneurs en carbone et en azote des sols et des fractions granulométriques ont été déterminées par combustion voie sèche à l'auto-analysateur CHN (600LECO). La capacité d'échange cationique (CEC) et les cations échangeables (BE) ont été déterminés au pH du sol par la méthode au chlorure de cobaltihexamine (FALLAVIER *et al.*, 1985) pour les sols du Congo, de la Martinique et du Brésil-G. En ce qui concerne les sols du Brésil-Londrina, les cations échangeables (Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺) sont déterminés avec le KCl au pH du sol. Le pH est mesuré dans une suspension terre/eau de 1/2,5. L'analyse granulométrique a été effectuée par la méthode à la pipette de Robinson. Les formes cristallisées du fer et de l'aluminium sont extraites par le réactif CBD de Mehra-Jackson (citrate-bicarbonate-dithionite de sodium) selon le protocole décrit par ROUILLER *et al.* (1994). Il y a trois répétitions par échantillons.

Fractionnement granulométrique de la MO

La méthode utilisée est décrite par GAVINELLI *et al.* (1995) et s'inspire de celle proposée par FELLER *et al.* (1991). Comme pour de nombreuses méthodes décrites dans la littérature (ELLIOT & CAMBARDELLA, 1991 ; CHRISTENSEN, 1992), la méthode développée ici vise à une dispersion maximum du sol tout en limitant l'altération des MO. Aussi elle en diffère par le mode d'application des ultrasons. Il a en effet été montré (BALESDENT *et al.*, 1991) que les ultrasons appliqués sur le sol total présentaient le risque important de diviser les débris végétaux de taille > 50 µm et donc de transférer artificiellement des quantités importantes de MO dans les fractions fines < 20 µm. Les ultrasons ne sont donc appliqués ici

Tableau IV.1 - Quelques caractéristiques générales des échantillons de sols de surface (0-10 cm) étudiés .

Zone d'étude	Situation	Symbole	Argile	Limon	Sable	Minéralogie	Ct	pH eau	CEC	BE	Fe	Al
			%				g kg ⁻¹		cmol (+) /kg	% (CBD)		
Congo-L	savane arbustive	LSO	76,8	9,2	9,6	k+g	35,0	5,0	3,6	1,8	3,0	0,6
	manioc continu (20 ans)	LM	65,8	19,9	14,3	*	21,8	6,0	5,3	4,8	3,6	0,7
	jachère naturelle (4 ans)	LJ	59,0	27,0	14,0	*	36,4	5,5	9,3	9,1	3,2	0,8
Congo-M	canne à sucre continu (15 ans)	LC	78,0	12,0	10,0	*	27,0	4,3	4,6	3,8	1,9	0,5
	savane arbustive non dégradée	MS	38,2	32,3	29,5	*	42,5	5,0	7,6	5,1	3,4	0,7
	manioc continu (17 ans)	MM	59,8	21,5	13,7	*	18,0	4,4	4,6	2,9	1,2	0,2
Brésil-G	savane arborée dégradée	CER	46,0	20,0	34,0	k+hm+gb+g	23,8	5,5	1,4	0,8	3,5	0,5
	rotation maïs/haricot	CCL	50,0	15,0	35,0	*	21,4	5,2	2,4	2,5	3,9	0,5
	prairie plantée (15 ans)	PAL	36,0	16,0	48,0	*	22,0	5,9	2,5	2,6	3	0,5
Brésil-L	forêt dense	FN	80,0	16,0	4,0	*	31,9	6,8	nd	nd	8,7	0,5
	avoine continue (20 ans)	CA	70,7	19,8	9,6	*	17,7	5,7	nd	nd	7,1	0,4
	couverture de légumineuses (10 ans)	CL	68,7	21,7	9,6	*	24,5	5,9	nd	nd	7,2	0,5
Martinique	canne à sucre continue (20 ans)	T	49,8	20,6	21,1	k+h	27,0	5,4	11,5	10,8	4,6	nd

* k = kaolinite, g = goethite, gb = gibbsite, hm = hématite, h = halloysite, nd = non déterminé

que sur les fractions inférieures à 50 μm . La dispersion des agrégats de taille > 50 μm est assurée par l'addition d'un dispersant chimique, l'hexamétaphosphate de sodium (HMP).

La méthode est décrite en annexe I. En résumé, on opère de la façon suivante :

- agitation (2 heures) du sol dans l'eau (200 ml) en présence de HMP et 3 billes de verre (diamètre 1cm),
- tamisages à 200 μm et 50 μm ,
- ultrasonication (10 mn à 100 Joules ml^{-1}) de la suspension 0-50 μm ,
- tamisage à 20 μm ,
- puis séparation par sédimentation et centrifugation répétées des fractions 0-2 et 2-20 μm .

Les résultats de C et N des fractions seront exprimés en « teneurs » (g kg^{-1} fraction ou en « contenu » (g kg^{-1} sol).

Mesure de la stabilité structurale à l'eau

La détermination de la stabilité des agrégats dans l'eau adaptée de KEMPER & ROSENAU (1986) suit la méthodologie présentée par KOUAKOUA *et al.* (1997). 4 g d'échantillons de sol séchés à l'air et tamisés à 2 mm sont soumis à une humectation par immersion pendant 30 min. puis tamisés dans l'eau au moyen d'un agitateur vertical à mouvement alternatif (1,3 cm d'amplitude verticale, 35 cycles par min) pendant 6 min. La fraction restante sur le tamis représente la somme des macroagrégats stables à l'eau (AS > 200 μm) et les sables grossiers (SG). Sur la fraction ayant traversé le tamis, on détermine la fraction " argile + limon fin " dispersée (A+Lf)_d. La fraction > 200 μm (AS +SG) est ensuite totalement dispersée par la soude (NaOH 0,05 M), pour déterminer le taux des macroagrégats stables à l'eau (AS) [AS = fraction > 200 μm - sables grossiers]. Tous les résultats sont exprimés en g kg^{-1} du sol séché à 105 °C.

Résultats

Carbone total et mode de gestion des terres

L'examen du Tableau IV.1. montre que, à l'exception des échantillons de Brésil-G, les teneurs en C total (Ct, g kg^{-1} sol) des horizons de surface des sols sous cultures continues

diminuent de 23,2 à 57,6 % par rapport à celles des sols sous savanes ou forêt. Les teneurs en C des échantillons de Brésil-G sont relativement voisines et comprises entre 21,4 et 23,8 g kg⁻¹ sol.

Fractionnement granulométrique de la MO

L'objectif de cet article étant essentiellement d'analyser le rôle possible des teneurs et contenus en C des fractions sur la stabilité de l'agrégation, il ne sera pas développé ici ce qui concerne l'azote des fractions, ni décrit de manière détaillée l'effet du mode de gestion des terres sur les teneurs et contenus en C des fractions. Ceci a été fait dans l'article KOUAKOUA *et al.* (en préparation, chapitre II de cette thèse).

Bilan en masse et carbone

Les bilans du fractionnement (Tableau IV.2a,b) sont appréciés par les masses et contenus en carbone du sol fractionné (SF) avec ceux du sol non fractionné (SNF). Les résultats sont exprimés en % (ligne SF % SNF). Pour la fraction hydrosoluble (w), seul le carbone a été dosé.

Bilans de masse. Sur l'ensemble des échantillons fractionnés, ils varient de 93,4 à 100,3 % (moyenne : 96,8 %).

De manière globale, à l'exception des échantillons LS0 et T on peut considérer les bilans de masse et de C comme satisfaisants.

Répartition du carbone dans les fractions granulométriques selon le mode de gestion des terres

Les contenus en carbone organique des fractions (g C fraction kg⁻¹ sol) sont détaillés aux Tableaux IV.2a,b et illustrés par les figures IV.1 et IV.3.

Pour la majorité des échantillons, on note une augmentation des contenus en C (g kg⁻¹ sol) avec la diminution de la taille des fractions.

Tableau IV.2a - Caractéristiques des fractions granulométriques de la matière organique du sol et résultats des stabilities de l'agrégation

Situation Echantillon	Fraction μm	Masse des fractions (% SNF)	teneurs et contenus en carbone				Rapport C/N	AS (A + Lf)d	
			g kg^{-1} frac.	g kg^{-1} sol	% C-SF			g kg^{-1} sol	
Congo-L LS0	50-2000	10,9	49,91	5,44	16,86	24,7	669 ± 15	55 ± 2	
	2-50	12,5	51,92	6,49	20,12	14,4			
	0 - 2	76,5	23,50	17,97	55,71	9,8			
	w			2,36	7,32				
	SF			32,26	100,01				
	SNF			35,00					
	SF % SNF	99,9		92,18					
LJ	50-2000	18,2	34,23	6,23	16,78	29,8	621 ± 45	41 ± 4	
	2-50	18,6	69,52	12,93	34,83	14,2			
	0 - 2	62,4	26,20	16,35	44,05	9,9			
	w			1,61	4,34				
	SF			37,12	100,00				
	SNF			36,40					
	SF % SNF	99,2		101,98					
LM	50-2000	16,7	16,77	2,80	12,36	21,5	571 ± 27	48 ± 9	
	2-50	17,5	36,11	6,32	27,90	15,0			
	0 - 2	66,1	16,89	11,16	49,27	10,2			
	w			2,37	10,46				
	SF			22,65	100,00				
	SNF			21,80					
	SF % SNF	100,3		103,90					
LC	50-2000	11,8	28,22	3,33	11,91	25,4	651 ± 44	66 ± 6	
	2-50	13,5	48,00	6,48	23,17	13,5			
	0 - 2	75,7	19,50	14,76	52,77	9,9			
	w			3,40	12,16				
	SF			27,97	100,00				
	SNF			27,00					
	SF % SNF	101,0		103,59					
Congo-M MS	50-2000	28,9	51,00	14,74	35,10	26,3	746 ± 26	7 ± 1	
	2-50	28,0	43,50	12,18	29,00	19,7			
	0 - 2	41,6	30,00	12,48	29,71	9,1			
	w			2,60	6,19				
	SF			42,00	100,00				
	SNF			42,50					
	SF % SNF	98,5		98,82					
MM	50-2000	14,6	23,63	3,45	16,48	20,4	585 ± 57	17 ± 3	
	2-50	22,4	17,54	3,93	18,78	19,7			
	0 - 2	61,2	18,00	11,02	52,63	10,6			
	W			2,53	12,09				
	SF			20,93	99,98				
	SNF			18,00					
	SF % SNF	98,2		116,26					

* W = fraction hydrosoluble, SF = sol fractionné, SNF = sol non fractionné, AS = taux de macroagrégats stable à l'eau, (A + Lf)d = taux d'éléments dispersés argile + limon fin*, m = moyenne, ic = intervalle de confiance à 5 %, nd = non déterminé.

Tableau IV.2b - Caractéristiques des fractions granulométriques de la matière organique du sol et résultats des stabilities de l'agrégation

Situation	Echantillon	Fraction µm	Masse des fractions (% SNF)	Teneurs et contenus en carbone			Rapport		AS g kg ⁻¹ sol	(A + L) d
				g kg ⁻¹ frac.	g kg ⁻¹ sol	% C-SF	C/N			
Brésil-G	CER	50-2000	46,7	9,91	4,63	20,03	16,5	615 ± 12	2 ± 0	
		2-50	14,0	38,36	5,37	23,23	26,8			
		0 - 2	39,2	28,70	11,25	48,66	12,9			
		w			1,87	8,09				
		SF			23,12	100,00				
		SNF			23,80					
		SF % SNF	99,9		97,14					
PAL		50-2000	44,3	6,09	2,70	12,58	16,0	623 ± 34	8 ± 1	
		2-50	20,1	32,49	6,53	30,41	17,7			
		0 - 2	35,6	29,80	10,61	49,41	12,6			
		w			1,63	7,59				
		SF			21,47	99,99				
		SNF			22,00					
		SF % SNF	100,0		97,59					
CCL		50-2000	35,5	5,94	2,11	10,00	15,2	541 ± 34	1 ± 0	
		2-50	29,3	30,10	8,82	41,80	15,2			
		0 - 2	35,3	25,00	8,83	41,82	12,8			
		w			1,34	6,35				
		SF			21,10	99,98				
		SNF			21,40					
		SF % SNF	100,1		98,57					
Brésil-L	FN	50-2000	14,0	49,86	6,98	23,50	11,3	752 ± 67	12 ± nd	
		2-50	22,2	35,05	7,78	26,20	10,2			
		0 - 2	57,2	18,00	10,28	34,61	9,4			
		w			4,66	15,69				
		SF			29,70	100,00				
		SNF			31,90					
		SF % SNF	93,4		93,10					
CL		50-2000	10,3	27,48	2,83	12,16	14,2	639 ± 29	30 ± nd	
		2-50	20,1	33,03	6,64	28,53	10,7			
		0 - 2	66,4	14,50	9,65	41,47	8,5			
		w			4,15	17,83				
		SF			23,27	100,00				
		SNF			24,50					
		SF % SNF	96,8		94,98					
CA		50-2000	7,1	30,28	2,15	11,76	15,4	551 ± 61	23 ± nd	
		2-50	23,3	23,18	5,40	29,54	11,3			
		0 - 2	67,2	11,90	8,02	43,87	8,9			
		w			2,71	14,82				
		SF			18,28	100,00				
		SNF			17,70					
		SF % SNF	97,6		103,28					
Martinique	T	50-2000	18,80	9,84	1,85	9,41	22,49	640 ± 34	55 ± 5	
		2-50	24,80	26,05	6,46	32,84	14,48			
		0 - 2	49,30	22,92	11,30	57,45	9,36			
		H2O	4,40							
		w								
		SF			19,61	99,69				
		SNF			27,00					
SF % SNF	97,30		72,63							

Fractions 50-2000 μm .

A l'exception de l'échantillon MS (Congo-M), les contenus en carbone sont les plus faibles des trois fractions étudiées et varient entre 1,80 et 7,0 g kg⁻¹ sol. La diminution avec la mise en culture (LS0/LM, MS/MM, CER/CCL, FN/CA) du contenu en C de cette fraction (figure IV.1) est comprise entre 41 et 77 % du C initial (figure IV.3a). La remise en jachère (LM/LJ), en prairie pâturée (CCL/PAL) ou en couverture de légumineuse (CA/CL) derrière culture conduit à une forte (LJ) ou faible (PAL, CL) augmentation des contenus en C par rapport à la situation cultivée (figure IV.1).

Fractions 2-50 μm .

A l'exception de la situation Brésil-G, on note, selon le mode de gestion des terres, pour les situations Congo-L, Congo-M et Brésil-L, des sens de variation identiques à ceux de la fraction sableuse, mais avec des amplitudes différentes.

Fractions 0 - 2 μm .

A l'exception de l'échantillon MS (Congo-M), les contenus en C des fractions argileuses de ces sols sont les plus élevés des trois fractions étudiées. Tous échantillons confondus, ils varient entre 8 et 18 g kg⁻¹ sol (figure IV.1). Le sens de variation des contenus en C selon le mode de gestion des terres est identique à celui des fractions sableuses mais avec des amplitudes différentes. En particulier, les diminutions relatives avec la mise en culture continue (figure IV.3a) sont nettement plus faibles (de 11,7 à 37,8 % du C initial) que pour les fractions sableuses (de 41 à 77 %).

Rapport C/N.

Dans tous les sols (Tableau IV.2a,b), la fraction argileuse (0-2 μm) présente les rapports C/N les plus faibles des trois fractions étudiées (8,5 à 12,9) ; ceux-ci augmentent généralement avec la taille moyenne des fractions. Toutefois, la situation Brésil-G fait plus ou moins exception avec un rapport C/N de la fraction limoneuse (2-50 μm) supérieur (CER) ou égal (PAL et CCL) à celui de la fraction sableuse.

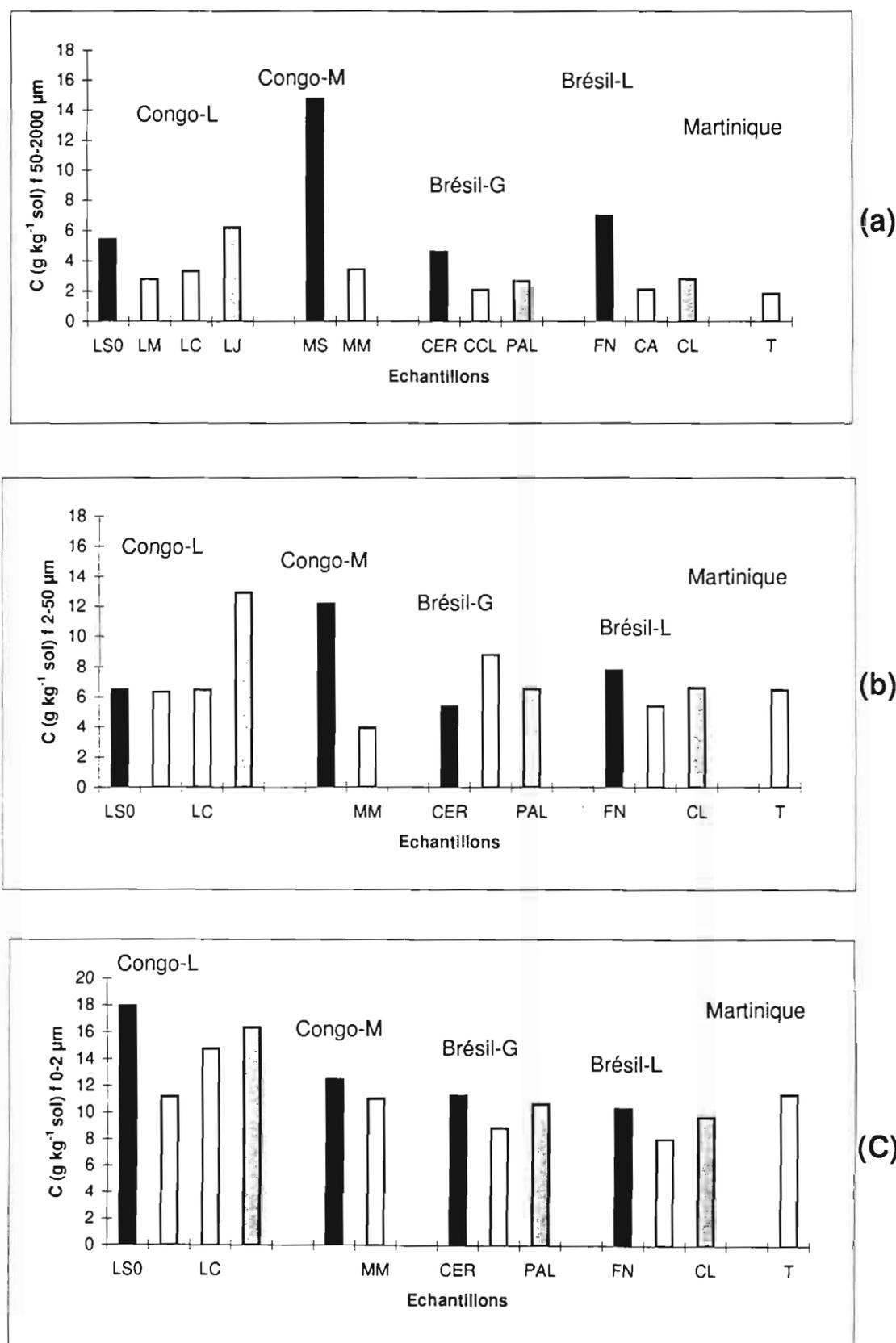
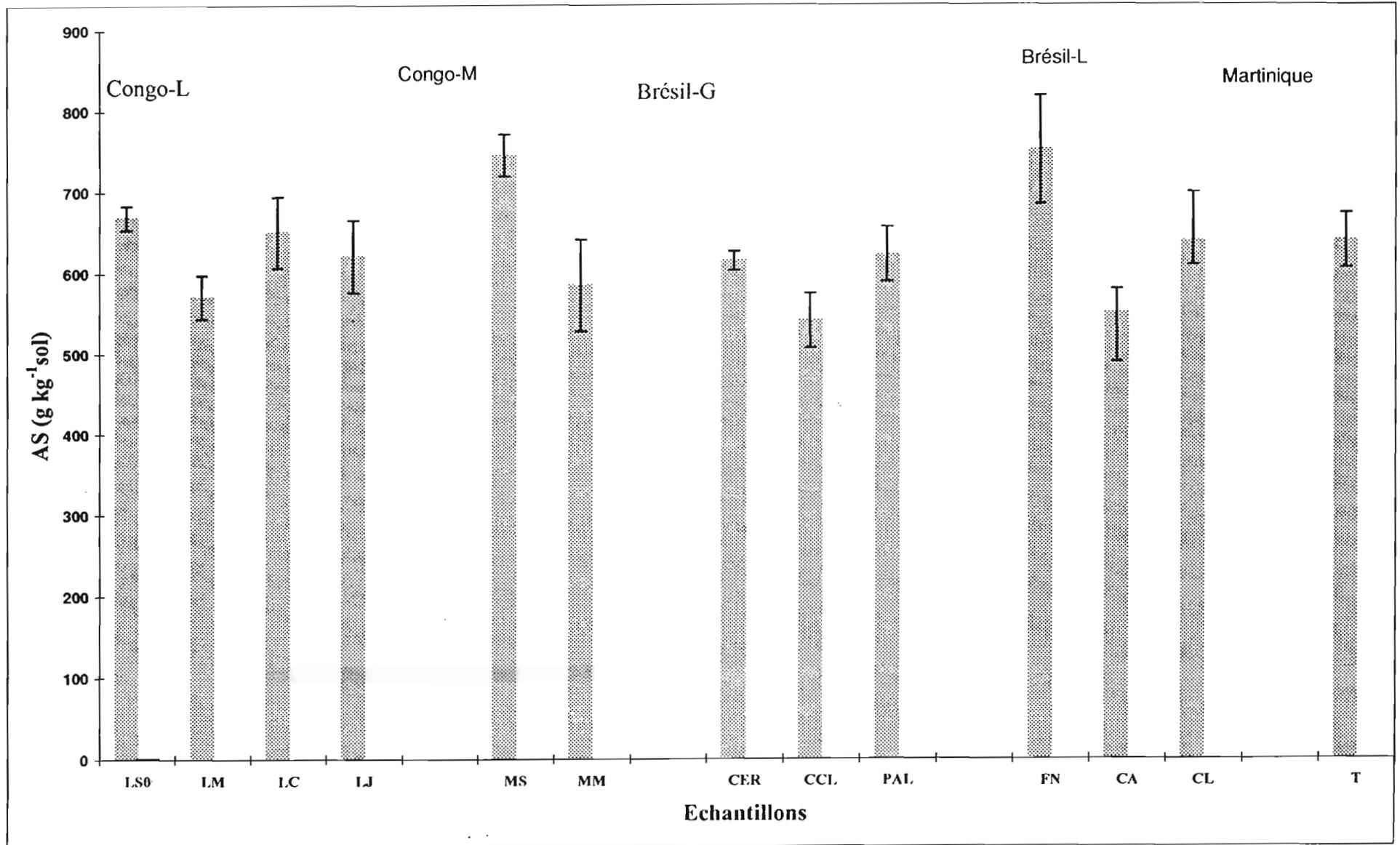


Figure IV.1 - Contenus en carbone organique des fractions sableuses (a), limoneuses (b) et argileuses (c) en fonction du mode de gestion des terres

Figure IV.2 - Variations des taux de macroagrégats stables à l'eau (AS) des sols étudiés



Variations de taux des macroagrégats stables à l'eau selon le mode de gestion des terres

Les résultats sont présentés dans les Tableaux IV.2a,b et illustrés par la figure IV.2. Les taux de macroagrégats stables à l'eau des horizons 0-10 cm sont significativement plus élevés dans les parcelles sous savane (LS0, MS, CER) ou forêt (FN) que sous culture intensive de manioc (LM, MM), sous rotation maïs/haricot (CCL) et sous avoine (CA). La jachère (LJ), le pâturage (PAL) et le verger associé au légumineuse présentent des taux de macroagrégats stables intermédiaires, voire égaux (PAL) à ceux sous végétation naturelle. Enfin, pour la parcelle canne à sucre à la Martinique, le taux d'AS ($640 \text{ g kg}^{-1} \text{ sol}$) est compris dans l'étendue des variations des autres situations ($541 - 742 \text{ g kg}^{-1} \text{ sol}$).

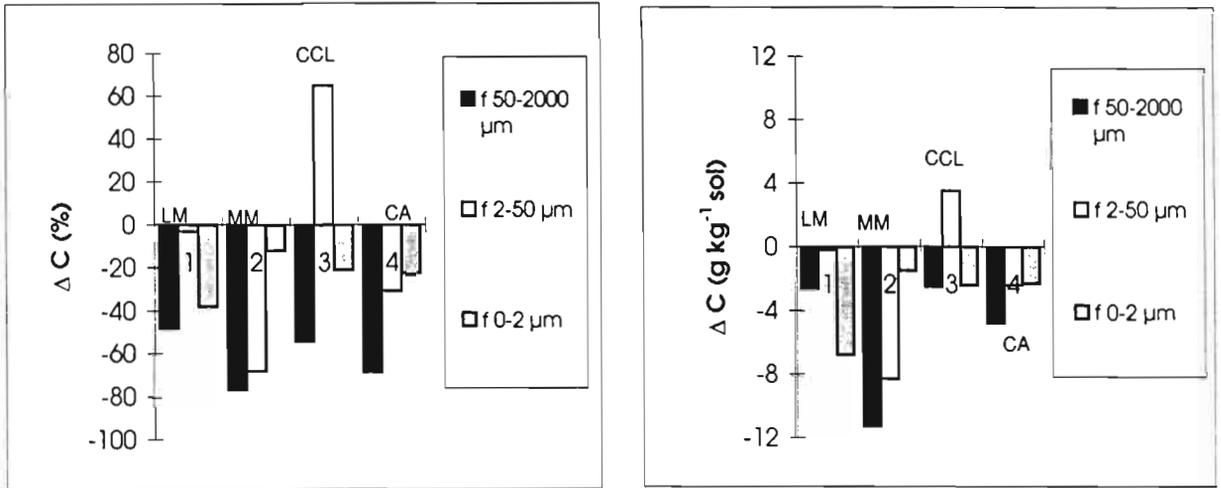
Tous échantillons confondus, le taux d'éléments dispersés ($A + L_f$)_d au cours du test de stabilité structurale est faible, variant de 7 à $66 \text{ g kg}^{-1} \text{ sol}$ (Tableau IV.2a,b), alors que l'analyse mécanique révèle des teneurs en argile + limon fin totaux ($A + L_f$)_t d'environ $800 \text{ g kg}^{-1} \text{ sol}$, soit un indice de dispersion $D = (A + L_f)_d / (A + L_f)_t$ inférieur à 0,084 (échantillon LC de la situation Congo-L). Pour ces sols ferrallitiques argileux, le processus de désagrégation est donc dominé beaucoup plus par le phénomène d'éclatement que par le phénomène de dispersion.

Relations statistiques entre contenus en carbone des fractions granulométriques et taux de macroagrégats stables des sols.

Dans les études antérieures sur la MOS comme déterminant de la stabilité de l'agrégation, on a souvent accordé un rôle essentiel au carbone total, aux polysaccharides, et plus récemment, aux polysaccharides solubles à l'eau chaude. Rappelons que, pour ces mêmes échantillons (KOUAKOUA *et al.*, en préparation et chapitre III de cette thèse) :

- (i) il existe une relation hautement significative entre le taux de macroagrégats stables à l'eau AS et le carbone total C_t ($r = 0,79$) ou le carbone soluble à l'eau chaude C_s ($r = 0,80$),
- ii) il existe une relation significative entre le taux de AS et le contenu en carbone des sucres totaux C_{st} ($r = 0,66$),
- (iii) il n'existe pas de relation significative avec le contenu en carbone des sucres solubles à l'eau chaude (C_{ss}),

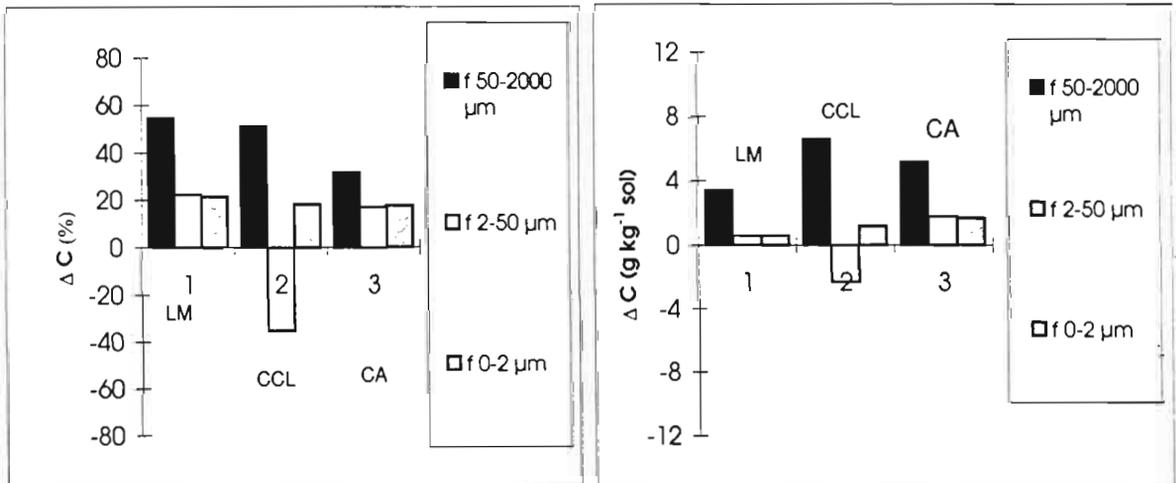
Défrichement et mise en culture : (comparaison LM/LS0, MM/MS, CCL/CER, CA/FN)



(a)

(b)

Reconstitution : comparaison (LJ/LM, PAL/CCL, CL/CA)



(c)

(d)

Figure IV.3 - Effets de mode de gestion des terres sur les variations relatives ΔC (%) et absolues ΔC (g/kg sol) du contenu en C de chaque fraction par rapport au contenu initial avec : ΔC % = $(C_{\text{final}} - C_{\text{initial}}/C_{\text{initial}}) * 100$ et ΔC (g/kg sol) = $C_{\text{final}} - C_{\text{initial}}$

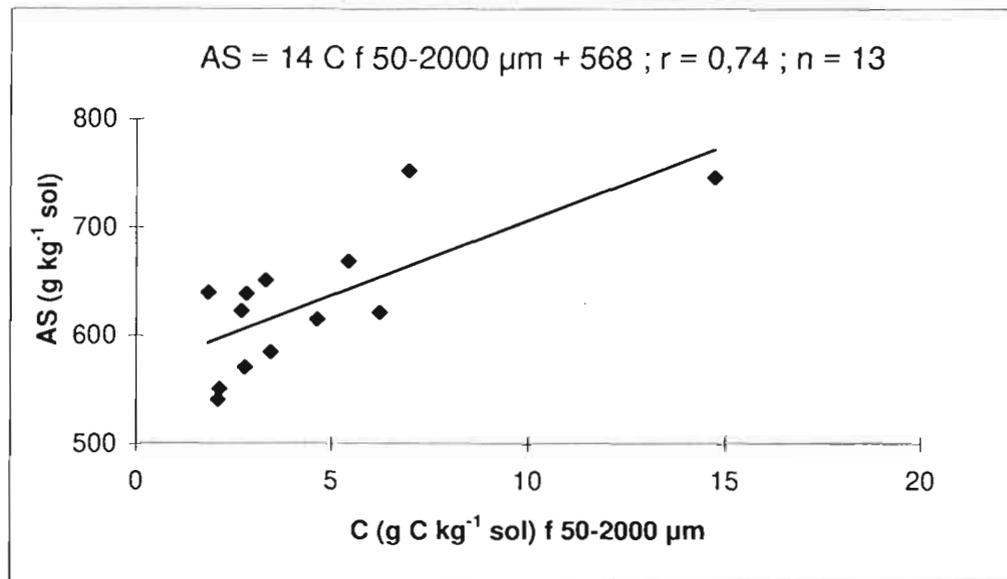


Figure IV.4 - Relation entre taux de macroagrégats stables à l'eau et contenus en carbone de la fraction sableuse "débris végétaux" (50-2000 μm)

(iiii) il n'existe pas de relation significative entre Ct, Cst et Cs avec le taux d'éléments dispersés (A + Lf)d.

Cette approche statistique a été aussi appliquée au contenu en carbone des fractions granulométriques (sables, limons, argiles) de ces sols.

Les résultats montrent que seuls les teneurs et contenus en C de la fraction sableuse (50-2000 μm) présentent des corrélations significatives et positives avec le taux de macroagrégats stables à l'eau ($n = 13$, r respectivement égaux à 0,70 et 0,74, $p < 0,01$). L'équation de régression linéaire pour les contenus (figure IV.4) est la suivante :

$$AS = 13,8 \text{ Cf}_{50-2000 \mu\text{m}} + 568.$$

Cette corrélation hautement significative est due à la fois aux sables grossiers 200-2000 μm ($r = 0,73$) et aux sables fins 50-200 μm ($r = 0,72$).

Discussion

Effet du mode de gestion des terres sur les teneurs en carbone total

Cet aspect a été discuté en détail dans l'article KOUAKOUA *et al.*, (en préparation, chapitre II de cette thèse) et nous n'en rappellerons ici que les points principaux :

- sur l'ensemble des sols cultivés, à l'exception des sols de Goiânia, comme de nombreux auteurs des teneurs en Ct par rapport aux parcelles sous savane ou sous forêt.
- une augmentation des teneurs en Ct des horizons de surface des sols après culture est possible par les différentes alternatives testées ici : 4 ans de jachère naturelle au Congo-L, 10 ans de couverture de légumineuse herbacée associée à un verger, au Brésil-L. Des tendances identiques ont été observées par BOYER (1982) & FELLER (1995) pour les jachères et par AZONTONDE (1993) pour les couvertures de légumineuses.
- la canne à sucre (Congo-L), comparée aux autres cultures testées, semble exercer un effet plutôt positif sur les teneurs en Ct,
- les différences non significatives entre parcelles de la situation Brésil-G pour des teneurs en Ct s'expliquent bien par l'histoire des parcelles (cf. chapitre II, FREITAS *et al.*, 1997) et des tendances similaires ont été observées pour les mêmes sols de la région des Cerrados par LEPSCH *et al.* (1994).

Effet du mode de gestion des terres sur les contenus en C des différentes fractions granulométriques

On distinguera les variations liées au défrichage et à la mise en culture continue de l'effet améliorant des jachères, prairie et couverture de légumineuse après culture.

Pour chaque fraction, les résultats sont schématisés sur la figure IV.3, soit, en variations relatives du contenu en carbone $\Delta C \%$ [$\Delta C \% = (C_{\text{final}} - C_{\text{initial}}/C_{\text{final}}) * 100$], soit en variations absolues ΔC [$\Delta C = (C_{\text{final}} - C_{\text{initial}})$ en g kg^{-1} sol].

Le défrichage et la mise en culture continue conduisent (figure IV.3a) pour toutes les situations à des diminutions relatives ($\Delta C \%$) importantes des fractions 50-2000 μm et plus faibles des fractions 2-50 μm (exception Congo-M) et 0-2 μm . Ces fortes diminutions observées pour les fractions sableuses peuvent être attribuées à la fois à des niveaux de restitutions plus faibles sous cultures et à une dynamique rapide de ces fractions (CERRI *et al.*, 1985 ; BALESSENT *et al.*, 1987 ; MARTIN *et al.* 1990 ; DESJARDINS *et al.*, 1994 ; FELLER & BEARE, 1997), celle-ci étant accélérée avec le travail du sol (BALESSENT *et al.*, 1988 ; FELLER & BEARE, 1997) par destruction des agrégats.

Ces fortes variations relatives sont en accord avec les données disponibles dans la littérature concernant le turnover des MO des fractions granulométriques de sols tropicaux à argile 1:1, étudié à l'aide de l'isotope C13 en abondance naturelle. FELLER (1995) indique des taux de renouvellement du carbone deux fois plus élevés pour les fractions sableuses que pour les fractions argileuses.

Toutefois, l'analyse des variations absolues de ΔC (figure IV.3b) montre que ΔC ne suit pas de variations systématiques selon les fractions : valeurs de ΔC de la fraction sableuse plus fortes (LM) ou plus faibles (MM, CA) que celui de la fraction argileuse.

Au vu de ces seuls résultats, il ne semble donc pas se dégager de lois générales pour ces sols argileux de l'évolution des contenus en C des fractions avec la mise en culture, d'autant qu'il est toujours difficile d'estimer dans les parcelles cultivées, pour les pertes de C de la fraction 0-2 μm , la part des pertes par minéralisation et celle des pertes par érosion sélective en nappe.

Des restitutions après culture, par des couvertures herbacées provenant de jachère (LJ), prairie (PAL) ou légumineuse (CL), permettent une amélioration des contenus en C des sols (figure IV.1). Les variations relatives $\Delta C \%$ (figure IV.3c) et absolues ΔC (figure IV.3d)

portent aussi sur toutes les fractions, mais avec des valeurs plus élevées pour les fractions sableuses que pour les fractions limoneuses et argileuses.

En conclusion, aussi bien les pertes (après mise en culture) que les gains (après mise en jachère etc...) relatifs et absolus de carbone des sols argileux étudiés concernent souvent l'ensemble des fractions. Dans tous les cas, les fractions sableuses présentent les variations relatives ΔC % les plus fortes. Les variations absolues de la fraction sableuse sont aussi les plus fortes au cours de la reconstitution mais il est difficile, pour la mise en culture, de mettre en évidence des variations ΔC systématiques des différentes fractions.

Dans l'ensemble, le schéma proposé par FELLER & BEARE, (1997) pour les sols argileux (fortes variations des fractions argileuses) n'est pas toujours retrouvé.

Effet du mode de gestion des terres sur la stabilité de l'agrégation

L'ensemble des résultats confirme la baisse de taux de macroagrégats stables avec la mise en culture. Ceci est en accord avec les résultats de nombreux travaux sur des sols tropicaux mettant en oeuvre d'autres méthodes d'étude de la stabilité structurale (COMBEAU *et al.*, 1961 ; MARTIN, 1963 ; DUTARTRE *et al.*, 1993 ; FELLER *et al.*, 1996).

La mise en jachère, la mise en place d'une couverture légumineuse et l'installation d'un pâturage longue durée après culture sur ces sols ferrallitiques argileux, permettent d'améliorer la stabilité de l'agrégation à l'eau. Ceci confirme les données anciennes de MOREL & QUANTIN (1972) pour des sols de République Centrafricaine. A noter aussi l'effet sensiblement positif des cultures de canne à sucre (Congo-LC et Martinique T).

D'une façon générale, les cultures de longue durée de manioc, de maïs/haricot et d'avoine apparaissent "dégradantes" vis à vis de la stabilité de la structure.

Effet des MO associées aux fractions granulométriques sur la stabilité de l'agrégation des sols

On a vu que les sols étudiés ici ont des teneurs faibles en éléments dispersés (A + Lf)d. Ceci montre que le processus de désagrégation est dû pour l'essentiel aux phénomènes d'éclatement et peu aux processus de dispersion (GIJSMAN & THOMAS, 1995).

L'importance du rôle joué par la MO dans la stabilité de l'agrégation de sols est bien documentée (FELLER *et al.*, 1996). Mais la contribution relative des différentes formes de MO

n'est pas encore complètement élucidée. Il a été montré pour ces mêmes échantillons que : (i) le carbone total Ct, le carbone des sucres totaux Cst et le carbone soluble à l'eau chaude Cs sont hautement significativement ou significativement corrélés avec le taux de macroagrégats stables à l'eau AS (r respectivement égaux à 0,79, 0,66 et 0,80 pour $n = 13$).

Les régressions linéaires réalisées entre le taux des macroagrégats stables et le carbone organique des différentes fractions granulométriques visent à tenter d'identifier une fraction agrégeante. Seules les fractions sableuses ont des contenus en C corrélées au seuil de 5 % ($r = 0,74$, $n = 13$) aux taux de macroagrégats stables à l'eau (figure IV.4), aucune relation significative n'étant observée pour les fractions limoneuses et argileuses. Cet effet des MO des fractions sableuses confirmerait le modèle conceptuel de TISDALL & OADES (1982).

Ce travail ne concerne que des sols à argile 1:1 dominés par le phénomène d'éclatement et il serait intéressant d'établir des comparaisons avec d'autres sols argileux mais sensibles aux phénomènes de dispersion. C'est le cas des vertisols de la Martinique pour lesquels des processus de dispersion existent à côté de processus d'éclatement, du fait d'un complexe d'échange riche en Mg et Na échangeables (ALBRECHT *et al.*, 1992). Les résultats obtenus par ALBRECHT (1996) montrent que ; (i) la corrélation entre la fraction 200-2000 μm (« débris végétaux grossiers ») et le taux de macroagrégats stables est relativement faible dans des systèmes où l'on pourrait s'attendre pourtant (prairie artificielles intensifiées à fortes restitutions racinaires) à un rôle majeur de cette fraction, (ii) il n'y a pas de corrélation significative entre AS et les MO de tailles 2-200 μm , (iii) l'essentiel de la stabilité des macroagrégats est expliqué par les MO associées à la fraction argileuse. Cet ensemble de résultats (sols ferrallitiques et vertisols) semblent ainsi montrer que pour les sols argileux dont le processus de dégradation est dominé par le phénomène d'éclatement (sols ferrallitiques), ce sont les MO associées aux fractions sableuses qui jouent un rôle important, alors que dans les sols argileux facilement dispersables (vertisols) ce sont les MO associées aux argiles qui contrôleraient le phénomène de dispersion.

Toutefois, comme l'ont montré KOUAKOUA *et al.* (en préparation, chapitre III de cette thèse) pour les MO solubles à l'eau chaude, l'existence de relations statistiques significatives est nécessaire mais non suffisante pour conclure à un effet causal d'une fraction sur la stabilité de l'agrégation. Aussi, ces résultats sont à considérer avec prudence tant que des mesures directes de l'effet des différentes fractions sur la stabilité de l'agrégation n'ont pas été effectuées .

Références bibliographiques

- ALBRECHT, A., RANGON, L. & 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.*, 27, 121-133 p.
- ALBRECHT, A. 1996. Le fractionnement granulométrique de la matière organique appliqué à la recherche de compartiments organiques agrégeants. Le cas d'un vertisol sous prairie à la Martinique. AFES, 5e Journée Nationales de l'étude des Sols. Rennes, 23-25 Avril.
- ANGERS, D.A., SAMSON, N. & LEGERE, A. 1993b. Early changes in water-stable aggregation induced by rotation and tillage in a soil under barley production. *Can. J. Soil Sci.* 73, 51-59.
- AZONTONDE, A. 1993. Dégradation et restauration des terres de barre (sols ferrallitiques faiblement désaturés argilo-sableux) au Bénin. *Cah. Orstom, sér. Pédol.* 28, 217-226.
- BALESDENT, J. WAGNER, G.H. & MARIOTTI, A. 1988. Soil organic matter turnover in long-term field experiments as revealed by the carbon-13 natural abundance. *Soil Sci. Am. J.*, 52, 118-124.
- BALESDENT, J., MARIOTTI, A. & GUILLET, B. 1987. Natural ^{13}C abundance as a tracer for soil organic matter dynamics studies. *Soil Biol. Biochem.* 19, 25-30.
- BALL, B.C., CHESHIRE, M.V., ROBERSTON, E.A.G. & HUNTER, E.A. 1996. carbohydrate composition in relation to structural stability, compactibility and plasticity of two soils in a long-term experiment. *Soil and Tillage Research*, 39, 143-160.
- BOYER, J. 1982. Les sols ferrallitiques. *ORSTOM*, Paris, Tome X, 384 p.
- CERRI, C.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, série II, 423-428.
- CHRISTENSEN, B.T. 1992. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. *Advances in Soil Sciences*, 20, 1-90.
- COLMET-DAAGE, F. & LAGACHE, P., 1965. Caractéristiques de quelques groupes de sols dérivés de roches volcaniques aux antilles françaises. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.* 3, 91-121.

- COMBEAU, A. & QUANTIN P. 1964. Observations sur les relations entre stabilité structurale et matière organique dans quelques sols d'Afrique Centrale. *Cah. Orstom, Sér. Pédol.* 1, 3-12.
- COMBEAU, A & MONIER G. 1961. Méthode d'étude de la stabilité structurale. Application aux sols tropicaux, *Sols Africains*, VI, I, 5-62.
- DUTARTRE, P., BARTOLI, F., ANDREUX, F., PORTAL, J. M. & ANGE, A. 1993. Influence of content and nature of organic matter on the structure of some sandy soils from West-Africa. *Geoderma*, 56, 459-478.
- FALLAVIER, P., BABRE, D., & BREYSSE, M. 1985. Détermination de la capacité d'échange des sols tropicaux acides. *L'Agron. Trop.* 40, 298-308.
- FELLER, C. & BEARE, M.H. 1997. Physical control of soil organic matter dynamic in the tropics. *Geoderma*, 79, 69-116.
- FELLER, C. 1995. La matière organique dans les sols tropicaux à argile 1 : 1 recherche de compartiments organiques fonctionnels. Une approche granulométrique. *Coll. TDM-ORSTOM*, n° 144, 247 p. + Annexes 236 p.
- FELLER, C. 1997. The concept of soil humus in the past three centuries. *Advances in GeoEcology*, 29, 15-46.
- FELLER, C., ALBRECHT, A. & TESSIER, D. 1996. Aggregation and organic matter storage in kaolinitic and smectitic tropical soils. In Carter M.R., and Stewart B.A. (eds), Structure and organic matter storage in agricultural soils. *Advances in Soil Science*, Lewis, New York, pp. 309-359.
- FELLER, C., BURTIN, G. GERARD, B & BALESDENT, J. 1991. Utilisation des résines sodiques et des ultrasons dans le fractionnement granulométrique de la matière organique des sols. Intérêt et limites. *Science du sol*, 29, 77-94.
- FREITAS, P.L. de., BLANCANEUX, Ph., GAVINELLI, E., LARRE-LARROUY, M.C. & FELLER, C. 1997. Effet du mode de gestion des terres sur le niveau et la nature du stock organique des sols des Cerrados du Brésil. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, (sous presse).
- GAVINELLI, E., FELLER, C., LARRE-LARROUY, M.C., BACYE, B., DJEGUI, N. & NZILLA, J.de D. 1995. A routine method to study soil organic matter by particle-size fractionation: examples for tropical soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 26, 1749-1760.

- GIJSMAN, A.J & THOMAS, R.J. 1995. Aggregate size distribution and stability of an oxisol under legumes-based and pure grass pastures in eastern Columbian savannas. *Austr. J. Soil Res.* 33, 153-165.
- GOLCHIN, A., CLARKE, P., OADES, J.M. & SKJEMSTAD, J.O. 1995a. The effects of cultivation on the composition of organic matter and structural stability of soils. *Austr. J. Soil Res.* 33, 975-993.
- GOLCHIN, A., OADES, J.M., SKJEMSTAD, J.O. & CLARKE, P. 1994. Soil structure and carbon cycling. *Austr. J. Soil Res.* 32, 143-1068.
- GOLCHIN, A., OADES, J.M., SKJEMSTAD, J.O. & CLARKE, P. 1994. Study of free and occluded particulate organic matter in soils by soil state ^{13}C CP/MAS NMR spectroscopy and scanning electron microscopie. *Austr. J. Soil Res.* 32, 285-309.
- GOLCHIN, A., OADES, J.M., SKJEMSTAD, J.O. & CLARKE, P. 1995b. Structural and dynamic properties of soil organic matter as reflected by ^{13}C natural abundance, pyrolysis mass spectrometry and solid-state ^{13}C NMR spectroscopy in density fractions of an oxisol under forest and pasture. *Austr. J. Soil Res.* 33, 59-76.
- HAYNES, R.J., SWIFT R.S., & STEPHEN R.C. 1991. Influence of mixed cropping rotations (pasture-arable) on organic matter content, water stable aggregation and clod porosity in a group of soils. *Soil and Tillage Res.* 19, 77-87.
- KEMPER, W.D. & ROSENAU, R.C. 1986. Aggregate stability and size distribution. in : "Methods of soil analysis. Part. I : Physical and mineralogical methods." A. KLUTE (ed). *Second edition.* pp. 425-442.
- KOUAKOUA, E., SALA, G.H., BARTHES, B., LARRE-LARROUY, M.C., ALBRECHT, A. & FELLER, C. 1997. La matière organique soluble à l'eau chaude et la stabilité de l'agrégation. Aspects méthodologiques et application à des sols ferrallitiques du Congo. *European J. Soil Sci.* 48, 239-247.
- LEPSCH, I.F., MENK, J.R.F., OLIVEIRA, J.B. de. 1994. Carbon storage and other properties of soils under agriculture and natural vegetation in São Paulo State, Brazil. *Soil Use and Management*, 10, 34-42.
- MARTIN, G. 1963. Dégradation de la structure des sols sous culture mécanisée dans la Vallée du Niari. *Cah. Orstom, Sér. Pédol.* 2, 8-14.
- PUGET, P., BESNARD, E. & CHENU, C. 1996. Une méthode de fractionnement des matières organiques particulières des sols en fonction de leur localisation dans les agrégats. *C.s R. Acad. Sci. Paris*, t.322 série IIa, 965-972.

- ROUILLER, J., SOUCHIER, B., BRUCKERT, S., FELLER, C., TOUTAIN, F & VEDY, J.C. 1994. Méthodes d'analyses des sols. *In* : Pédologie 2. *Constituants et propriétés du sol*. Chap. XXXI, 2nd edn (ed.M. Bonneau & B. Souchier), pp. 623-631. Masson, Paris.
- TISDALL, J.M. & OADES, J.M., 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science*, 33, 141-163.

CONCLUSIONS GENERALES

En milieu tropical, on assiste généralement après défrichage et mise en culture à une dégradation de nombreuses propriétés des sols, et en particulier des propriétés physiques, avec des accroissements du ruissellement, de l'érodibilité, de la compaction, etc. Ces propriétés sont toutes plus ou moins dépendantes de la stabilité de l'agrégation (AS) des horizons de surface. Parallèlement, on note aussi : (i) avec la mise en culture, une forte diminution des teneurs en matière organique (MO) des sols (MOS), (ii) de fortes corrélations entre teneurs en MOS et stabilité de l'agrégation des horizons de surface. Aussi apparaît-il essentiel de mieux comprendre les interactions entre MOS et stabilité de l'agrégation. C'était l'objet de cette thèse.

Dans ce travail, nous nous sommes essentiellement intéressés aux sols ferrallitiques argileux, bien drainés, profonds des tropiques humides. Nous avons sélectionné des situations agro-pédologiques du Congo, du Brésil et de la Martinique qui nous paraissent représentatives du milieu par leur minéralogie et leur mode de gestion des terres, et qui couvrent une large gamme de ces aspects.

Nous nous sommes d'abord attachés à caractériser la MOS de parcelles soumises à différents modes de gestion. Des mesures des teneurs en carbone total (Ct), soluble à l'eau chaude (Cs), des sucres totaux des sols (Cst), des sucres solubles à l'eau chaude (C_{ss}) et des fractions granulométriques (sables, limons et argiles) ont permis de préciser les variations de teneurs et de qualité de la MO d'horizons de surface de sols sous différentes végétations naturelles ou cultivées.

Il faut rappeler que ce type de données sur la MO des sols ferrallitiques argileux est encore très peu disponible. Puis, nous avons tenté de relier ces variations à celles observées pour la stabilité de l'agrégation, soit, par une approche statistique, soit, dans un cas (extraction eau chaude), par une approche d'expérimentation directe.

Effet du mode de gestion des terres sur les variations quantitatives et qualitatives de la MO des horizons de surface

L'étude des profils de carbone a confirmé la diminution importante des teneurs en carbone total dans les sols cultivés par rapport aux sols sous végétation naturelle (savane ou forêt). Cette diminution de la matière organique est surtout sensible dans les horizons de surface. Cependant, la situation Brésil-G apparaît particulière avec de faibles diminutions des

teneurs en carbone total après mise en culture des sols de savane. Ceci a été expliqué en partie par « l'histoire culturelle » des parcelles, mais on pourrait aussi envisager une composante pédologique spécifique à ce type de situation puisque d'autres auteurs (LEPSCH *et al.*, 1994) rapportent le même phénomène pour le même type de sol dans la région des Cerrados. Des recherches supplémentaires sont donc nécessaires pour éclairer ce point, même si les résultats très récents de BROSSARD *et al.* (1997) semblent bien confirmer l'hypothèse de l'« histoire culturelle ».

Le fractionnement granulométrique de la MOS de la couche 0-10 cm où les effets du mode de gestion des terres sont les plus marqués, conduit à séparer la matière organique en trois principales fractions organiques et organo-minérales :

- la MO associée à la fraction sableuse (2000-50 μm), formée essentiellement de débris végétaux plus ou moins décomposés, avec un rapport C/N généralement élevé (de 15 à 30).

- la MO associée à la fraction limoneuse (50-2 μm), formé d'un complexe associant débris végétaux et fongiques fortement décomposés et microagrégats organo-limono-argileux, avec, ici, un rapport C/N variable et pouvant être aussi relativement élevé (de 14 à 27)

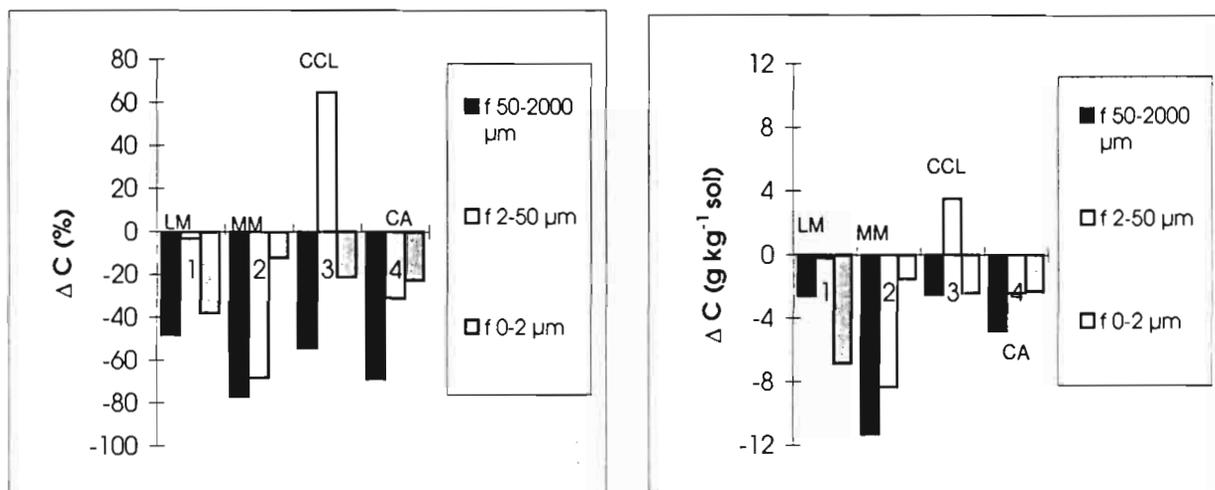
- la MO associée à la fraction argileuse (2-0 μm), dominée par des MO amorphes, caractérisée par un rapport C/N faible et peu variable (de 8 à 13).

Tous échantillons confondus, les contenus en C augmentent quand on passe des fractions sableuses aux fractions argileuses.

Toutes les fractions sont concernées par les variations des contenus en carbone, mais avec des amplitudes variables selon la fraction, le type de sol et le mode de gestion. On peut schématiser ces variations de la manière suivante (figure V.1) :

b) les autres modes de gestion des terres tels que la jachère de 4 ans, des prairies plantées, des couvertures de légumineuses herbacées après culture de longue durée, ou encore une culture de canne à sucre, qui correspondent toutes à des restitutions importantes et essentiellement herbacées, ont conduit, à l'exception de la situation Brésil-G, à des résultats intermédiaires entre végétation naturelle et culture annuelle de longue durée. Les augmentations relatives après culture continue des teneurs en C ($\Delta\text{C} \%$) sont plus fortes pour la fraction sableuse que pour les fractions limoneuse ou argileuse (figure V.1c). Les variations absolues (ΔC) ($\text{g C kg}^{-1} \text{ sol}$) sont aussi très variables (de -3 à 7 $\text{g C kg}^{-1} \text{ sol}$) et les valeurs les plus fortes sont systématiquement observées pour la fraction sableuse (figure V.1d).

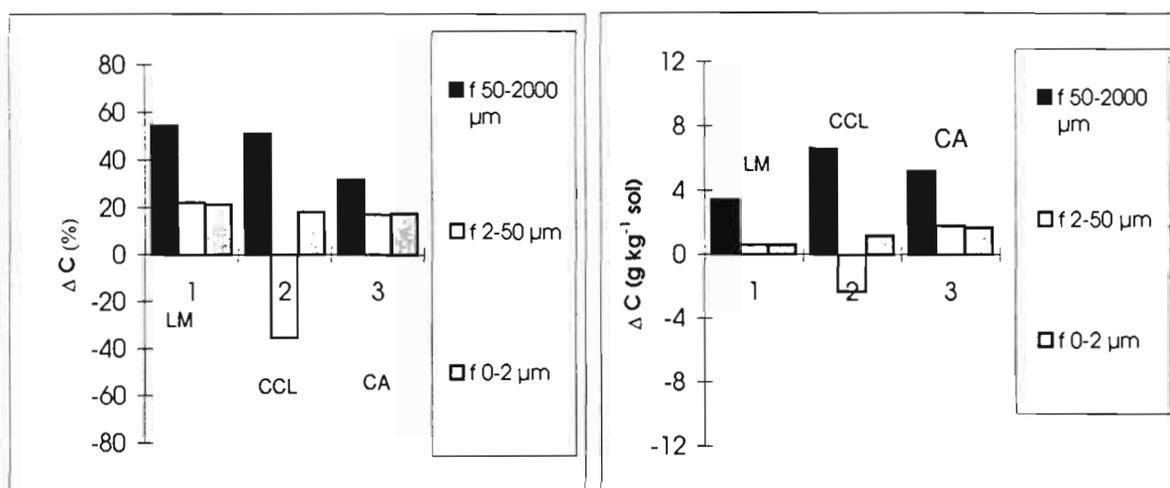
Défrichement et mise en culture : (comparaison LM/LS0, MM/MS, CCL/CER, CA/FN)



(a)

(b)

Reconstitution : comparaison (LJ/LM, PAL/CCL, CL/CA)



(c)

(d)

Figure V.1 - Effets de mode de gestion des terres sur les variations relatives ΔC (%) et absolues ΔC (g/kg sol) du contenu en C de chaque fraction par rapport au contenu initial avec : ΔC % = $(C_{\text{final}} - C_{\text{initial}}/C_{\text{initial}}) * 100$ et ΔC (g/kg sol) = $C_{\text{final}} - C_{\text{initial}}$.

Le carbone soluble à l'eau chaude (Cs) dans ces sols représente de 1 à 5 % du carbone total. Ces valeurs sont du même ordre de grandeur que celles citées par FELLER (1995) pour les sols tropicaux et par LEINWEBER *et al.* (1995) pour des sols tempérés. Avec la mise en culture continue, on assiste à une diminution notable des teneurs en carbone soluble à l'eau chaude, en accord aussi avec les travaux précédemment cités.

La composition en sucres, pour ces sols, varie généralement de la manière suivante : le glucose est le sucre dominant, le mannose et le ribose ont des valeurs élevées. Le galactose, le xylose et l'arabinose ont des valeurs plus faibles ou non identifiables, les autres sucres (rhamnose, fucose et fructose), les sucres aminés (Ga-NH₂, Gl-NH₂) et les acides uroniques (Ga-AU, Gl-AU) sont généralement beaucoup plus faiblement représentés ou non identifiables. Il faut noter aussi les fortes teneurs en ribose, considéré comme un sucre d'origine microbienne (DECAU, 1968 ; CHESHIRE, 1979), alors que des données de la littérature (CHESHIRE, 1979) le présentent comme un sucre mineur. Que l'on considère les sucres totaux ou les sucres solubles (HAYNES & FRANCIS, 1993 ; BALL *et al.*, 1996), on constate que les rapports $r = (\text{Mannose} + \text{Galactose}) / (\text{Arabinose} + \text{Xylose})$ ont des valeurs supérieures à 1,3. Ceci met bien en évidence l'importance de la MO d'origine microbienne dans ces sols argileux.

Pour chaque situation, la mise en culture conduit à une forte diminution des teneurs absolues en carbone des sucres totaux des sols. Ceci rejoint les observations de différents auteurs : (OADES, 1967 ; ARSHAD *et al.*, 1990 ; DALAL & HENRY 1988). Toutefois, les sols correspondant aux restitutions herbacées (LJ, PAL, CL) présentent en général des rapports r en sucres totaux plus faibles que ceux des sols correspondants sous culture continue (LM,CCL,CA). Ceci indiquerait, pour des parcelles LJ, PAL et CL, une proportion plus importante des sucres d'origine végétale, ce qui est en accord avec les valeurs relatives plus fortes des contenus en C des fractions « végétales » 50-2000 µm.

Effet des caractéristiques du sol sur la stabilité de l'agrégation : analyse en composantes principales

Une Analyse en Composantes Principales (ACP) a été réalisée sur 13 échantillons (ou individus) caractérisés par 17 paramètres (ou variables). L'ACP consiste à transformer par combinaison linéaire ces variables initiales en variables synthétiques indépendantes qui maximisent la variance des individus (PHILIPPEAU, 1986). La variable synthétique dont la

variance est la plus élevée est appelée axe 1 ou F1, celle qui vient ensuite est appelée axe 2 ou F2, etc.

Dans notre cas, la variance de F1 représente 32 % de la variance totale des individus, F2 en représente 25 % et F3, 15 %, soit 72 % pour les trois premiers axes.

Les projections des variables dans les plans F1 - F2 et F1 - F3 sont présentées dans les figures V.2 et V.3. Elles montrent :

- une faible discrimination sur l'axe F1, du fait des corrélations nombreuses existant entre variables ; les variables qui contribuent le plus à cet axe sont Ct, AS et Ca^{2+} (> 10 %) ;

- une forte discrimination sur l'axe F2 entre deux groupes de variables : le premier groupe est constitué par les formes du carbone (Ct, Cs, Cst, Css, Cf 50-2000, Cf 2-50, Cf 0-2 μm) et AS, significativement corrélées au Ct à l'exception de Css) ; le second groupe est constitué par le fer libre (fer-CBD), les bases échangeables (BE), la capacité d'échange cationique (CEC), le pH eau, le Ca^{2+} et le Mg^{2+} échangeables, corrélées deux à deux ; aucune variable du premier groupe n'est corrélée à une variable du second groupe ;

- une forte discrimination sur l'axe F3 entre argile, d'une part, limons et sables, d'autre part.

L'absence de corrélation entre variables du premier groupe («organiques») et du second groupe («minérales») (Figure V.2) et l'existence de fortes corrélations entre variables du premier groupe conduisent à privilégier l'étude des relations entre les formes de MO et la stabilité de l'agrégation.

Effet du mode de gestion des terres sur la stabilité de l'agrégation

La stabilité de l'agrégation est évaluée selon une méthode adaptée de celle de KEMPER & ROSENEAU (1986) à partir du taux de macroagrégats stables (AS, g kg^{-1} sol) à l'eau. Les taux de macroagrégats stables (AS) des échantillons considérés sont élevés (> 540 g kg^{-1} sol), comme ceux de sols ferrallitiques étudiés par d'autres auteurs (SOONG, 1980 ; OADES & WATERS, 1991). Les valeurs les plus faibles sont trouvées pour les parcelles sous culture continue de longue durée (manioc, maïs/haricot et avoine). Les autres parcelles (jachère, pâturage et couverture légumineuse), correspondant à des restitutions herbacées importantes, présentent des stabilités moyennes.

Figure V.2 - Représentation des variables par Analyse en Composantes Principales (ACP). Axes factoriels F1 et F2

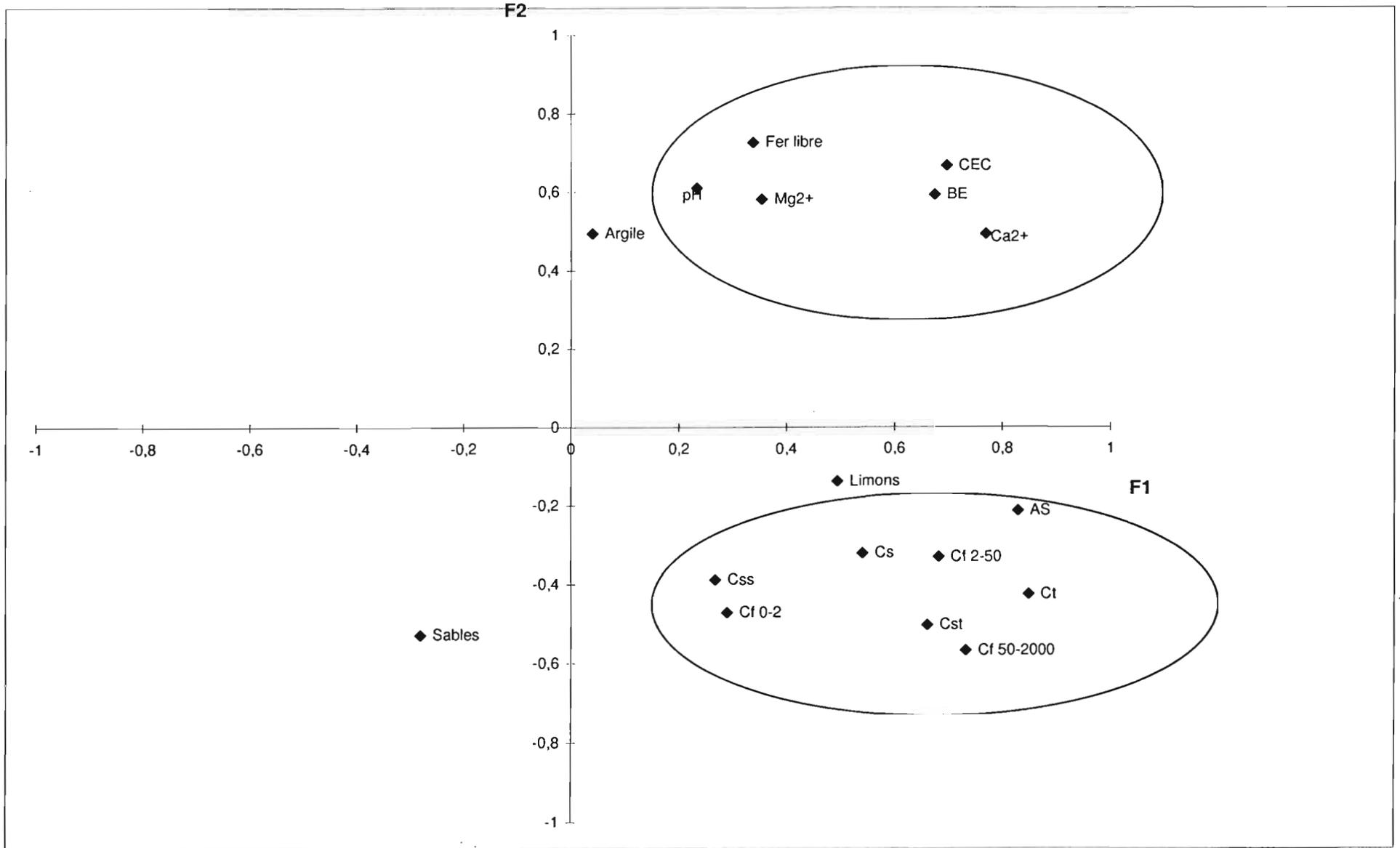
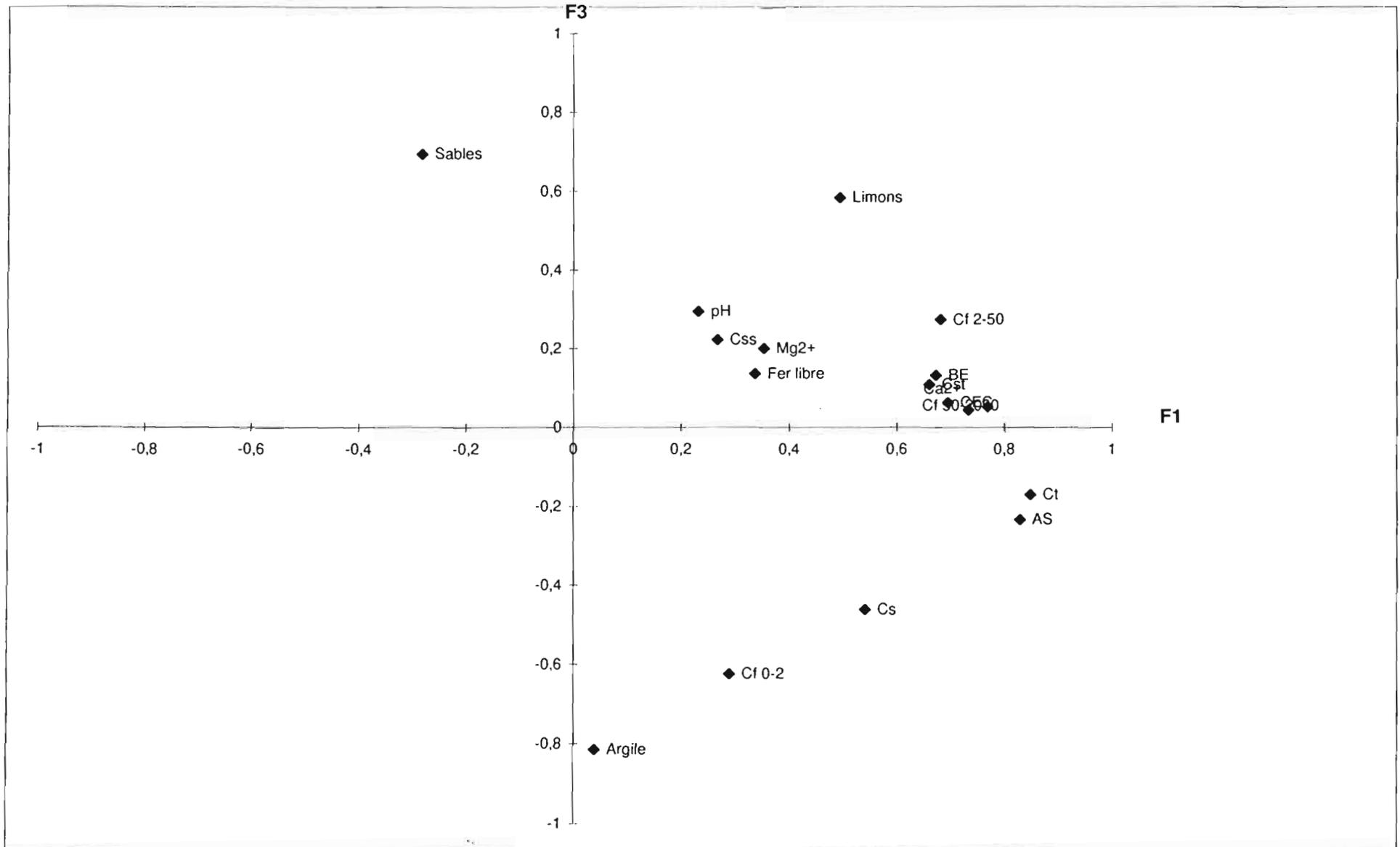


Figure V.3 - Représentation des variables par Analyse en Composantes Principales (ACP). Axes factoriels F2 et F3



Conclusions générales.

On note l'existence de relations hautement significatives entre AS et le carbone total Ct ($n = 13$, $r = 0,79$; $p < 0,01$), entre AS et le carbone soluble à l'eau chaude. Cs ($r = 0,80$; $n = 13$; $p < 0,01$) (figure V.4ab), ce qui justifie aussi l'étude du rôle des MO dans la stabilité de l'agrégation pour cette collection de sols.

Dans les études antérieures sur le rôle de la MO sur la stabilité de l'agrégation de sol, un des paramètres qui a été le plus souvent utilisé pour apprécier la stabilité structurale est celui concernant les polysaccharides. La stabilité de l'agrégation augmente après apport de polysaccharides ou de substrats fermentescibles (RENNIE *et al.*, 1954 ; HARRIS *et al.*, 1966 ; MONNIER, 1965 ; GUCKERT, 1973 ; GUCKERT *et al.*, 1975). Plus récemment, diverses recherches ont été développées sur les polysaccharides solubles à l'eau chaude (HAYNES & SWIFT, 1990 ; HAYNES *et al.*, 1991 ; ANGERS *et al.*, 1993b ; GIJSMAN & THOMAS, 1995 ; BALL *et al.*, 1996). Ce sont ces données qui ont conduit à l'étude des sucres totaux, des sucres solubles à l'eau chaude et des fractions granulométriques de la MO dans ce travail.

On a ainsi pu montrer que le taux de macroagrégats stables à l'eau (AS) est significativement corrélé (figure V.4c) au contenu en C des sucres totaux (Cst). Toutefois, cette relation est moins forte que celle avec le carbone total (figure V.4a).

Le taux de macroagrégats stables à l'eau (AS) est hautement significativement corrélé avec la teneur en carbone soluble à l'eau chaude (Cs), avec un coefficient de corrélation aussi élevé que celui obtenu avec le carbone total (Ct) (figure V.4ab). Ceci laisse supposer un rôle important de cette fraction soluble comme HAYNES & SWIFT (1990) l'ont observé pour les carbohydrates solubles à l'eau chaude. Ces derniers auteurs n'ont toutefois pas testé l'effet direct des carbohydrates solubles sur la stabilité de l'agrégation. Par contre, nous avons testé l'effet du C soluble à l'eau chaude en comparant la stabilité de l'agrégation des échantillons avant (AS) et après (ASe) extraction à l'eau chaude.

Nous avons pu ainsi montrer que malgré l'existence de relations statistiques significatives entre AS et Cs, le carbone soluble Cs ne semble pas intervenir dans la stabilité de l'agrégation de ces sols (figure V.4e) puisqu'il n'y a pas de différences significatives entre AS et ASe. La seule existence de relations statistiques est donc insuffisante pour identifier des compartiments agrégeants.

Ce type d'approche statistique a tout de même été appliqué aussi au contenu en carbone des fractions granulométriques des sols. Seule la fraction de MO associée aux fractions sableuses (débris végétaux) montre une corrélation significative avec la stabilité de

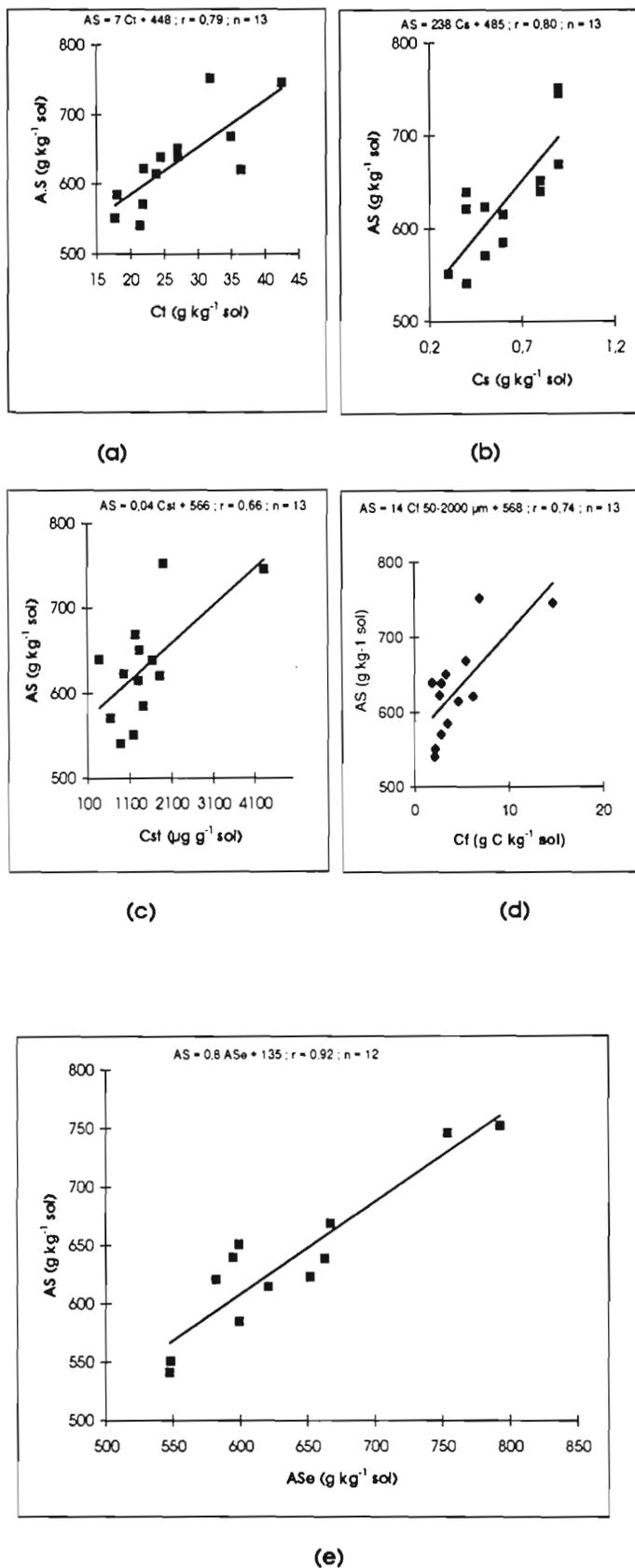


Figure V.4 - Relations entre Taux en macroagrégats stables à l'eau AS et contenus en carbone total Cl (a), carbone soluble à l'eau chaude Cs (b), carbone des sucres totaux Cst (c), carbone de la fraction 50-2000 μm (d) et taux en macroagrégats stables après traitement à l'eau chaude ASe (e)

l'agrégation (figure V.4d). Compte-tenu des observations ci-dessus, on ne peut toutefois conclure définitivement à un effet réel et direct de cette fraction sur l'agrégation.

A cet égard, ce travail n'aura pas permis d'identifier avec certitude une fraction organique agrégante dans ces sols ferrallitiques argileux. Il aura toutefois conduit à montrer que les MO solubles à l'eau chaude ne le sont probablement pas, et que dans ces sols à argile 1:1 où le processus de désagrégation est dominé par le phénomène d'éclatement, les MO associées aux fractions sableuses pourraient éventuellement jouer un rôle important dans la stabilité structurale.

En conclusion, ce travail aura permis :

- de confirmer les fortes stabilités des sols ferrallitiques argileux mais les teneurs en fer total, CBD ou Tamm, ou encore les formes du fer (goethite ou hématite) n'ont pas d'effet sur les variations, liées au modes de gestion des terres, des taux de macroagrégats stables à l'eau,

- de préciser la composition de la MOS, et sa variation selon le mode de gestion des terres, pour des sols ferrallitiques argileux tropicaux, tant du point de vue des compartiments granulométriques que des formes solubles et polysaccharidiques. Peu de données sont actuellement disponibles pour ce type de sol,

- d'évaluer le rôle de ces fractions dans la stabilité de l'agrégation. Le choix des compartiments était guidé, d'une part par des résultats statistiques publiés dans la littérature sur les fractions solubles à l'eau chaude, d'autre part pour les fractions granulométriques, par l'intérêt grandissant que représente cette approche pour les études de la MOS :

- * concernant la MO soluble à l'eau chaude, il est clair que son rôle n'est pas majeur dans la stabilité de l'agrégation de ces sols, même si une approche uniquement statistique conduirait à une interprétation inverse,

- * concernant les fractions granulométriques de la MO, seule la fraction " débris végétaux " (taille supérieure à 50 μm) pourrait participer à la stabilité de l'agrégation dans ces sols. Il reste toutefois à en faire la démonstration directe.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

- ACTION, C.J., RENNIE, D.A. & PAUL, E.A. 1963. The relationship of polysacchides to soil aggregation. *Can. J. Soil Sci.* 43, 201-209.
- ADAMOLI, J., MACEDO, J., AZEVEDO, L. & MADEIRA NETTO, J.S. 1986. Caracterização da região dos cerrados. In : Goedert, W.J. Sols dos Cerrados : Tecnologias e estratégias de manejo, Brasília : EMBRAPA/CPAC, 33-74.
- ALBRECHT, A. 1996. Le fractionnement granulométrique de la matière organique appliqué à la recherche de compartiments organiques agrégeants. Le cas d'un vertisol sous prairie à la Martinique. AFES, 5e Journée Nationales de l'étude des Sols. Rennes, 23-25 Avril.
- ALBRECHT, A., RANGON, L. & BARRET, P. 1992. Effet de la matière organique sur la stabilité structurale et la détachabilité d'un vertisol et d'un ferrisol (la Martinique). *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, vol. XXVII, n° 1, 121 - 133.
- ANGERS, D.A. & MEHUYS, G.R. 1989. Effets of cropping on carbohydrate content and water stable aggregation of a clay soil. *Can. J. Soil. Sci.* 69, 373-380.
- ANGERS, D.A. & MEHUYS, G.R. 1990. Barley and Alfalfa cropping effects on carbohydrate contents of a clay soil and its size fractions. *Soil Biol. Biochem.* 22, 285-288.
- ANGERS, D.A., BISSONNETTE, N., LEGERE, A. & SAMSON, N. 1993a. Microbial and biochemical changes induced by rotation and tillage in a soil under barley production. *Can. J. Soil. Sci.* 73, 39-50.
- ANGERS, D.A., SAMSON, N. & LEGERE, A. 1993b. Early changes in water-stable aggregation induced by rotation and tillage in a soil under barley production. *Can. J. Soil Sci.* 73, 51-59.
- ARRIGO, N.M., PALMA, R.M., CONTI, M.E. & COSTANTINI, A.O. 1993. Cropping rotations : effect on aggregate stability and biological activity. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 24(17&18), 2441-2453.
- ARSHAD, M.A., SHNITZER, M., ANGERS, D.A and RIPMEESTER, J.A. 1990. Effects of no-till on the quality of soil organic matter. *Soil Biol. Biochem.* 22, 595-599.
- ATLAS des Départements français d'Outre-Mer. 2. Martinique, 1977. CNRS-IGN (Eds), Paris.
- AUBREVILLE, A. 1949. Climats, forêts et désertification de l'Afrique tropicale. *Paris, Larose*, 351 p.
- AZONTONDE, A. 1993. Dégradation et restauration des terres de barre (sols ferrallitiques faiblement désaturés argilo-sableux) au Bénin. *Cah. Orstom, série Pédol.*, vol. XXVIII, n°2, 217-226.

- BACYE, B. 1993. Influence des systèmes de culture sur l'évolution du statut organique et minéral des sols ferrugineux et hydromorphes de la zone Soudano-Sahélienne (Province du Yatenga, Burkina Faso). Thèse, Université de Aix-Marseille III), 243 p.
- BALDOCK, J.A. & KAY, B.D. 1987. Influence of cropping history and chemical treatments on the water-stable aggregation of a silt loam soil. *Can. J. Soil. Sci.* 67, 501-511.
- BALESDENT, J. WAGNER, G.H. & MARIOTTI, A. 1988. Soil organic matter turnover in long-term field experiments as revealed by the carbon-13 natural abundance. *Soil Sci. Am. J.*, 52, 118-124.
- BALESDENT, J., MARIOTTI, A. & GUILLET, B. 1987. Natural ^{13}C abundance as a tracer for soil organic matter dynamics studies. *Soil Biol. Biochem.*, 19, 25-30.
- BALESDENT, J., PETRAUD, J.P. & FELLER, C. 1991. Effet des ultrasons sur la distribution granulométrique des matières organiques des sols. *Science du sol*, 29, 95-106.
- BALL, B.C., CHESHIRE, M.V., ROBERTSON, E.A.G. & HUNTER, E. A. 1996. Carbohydrate composition in relation to structural stability, compactibility and plasticity of two soils in a long-term experiment. *Soil & Tillage Research*. 39, 143-160.
- BARTHES, B. & NYETE, B. 1993. Comparaison entre systèmes de culture à base du manioc dans le Niari (Congo) : synthèse des travaux sur le site IBRAM de Loudima. *IBRAM, Bangkok*, 15 p.
- BEARE, H.M. and BRUCE, R.R. 1993. A comparaison of methods for measuring water stable aggregates : implications for determining enviromental effects on soil structure. *Geoderma*, 56. 87-104.
- BLANCANEUX, Ph., FREITAS, P.L. de., AMBILE, R.F & CARVALHO, A. de. 1993. Le semis direct comme pratique de conservation des sols des Cerrados du Brésil. *Cahiers ORSTOM, série Pédologie, Spécial Erosion*, vol. XXVIII, n°2. 253-275.
- BLIC, Ph. de. & FARDOUX, J. Recherche d'une méthode de dissociation des agrégats constituant la macrostructure du sol. *Cah. Orstom, sér; Pédol.* 3, 251-258.
- BOCQUIER, G. & GUILLEMIN, R. 1959. Aperçu sur les principales formations pédologiques de la République du Congo. Haut-Commissariat général, IEC, Orstom, 139 p. In : Guillemin, R. (1959). les facteurs physiques conditionnant la production agricole de la République du Congo-Brazzaville. Commissariat au plan, Brazzaville, 244 p.
- BOISSEZON, P. de 1973. «La matière organique des sols ferrallitiques», in Les sols ferrallitiques, tome IV, la matière organique et la vie dans les sols ferrallitiques. p.9-66. *ORSTOM* (Paris), Série Initiation - Documentation technique.

- BOYER, J. 1982. Les sols ferrallitiques. *ORSTOM*, Paris, Tome X, 384 p.
- BRAZIL, 1983. Projeto RADAMBRASIL-Folha SE 22 Goiânia. Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, Ministério das Minas e Energia, 768 p.
- BROSSARD, M., LOPES ASSAD, M.L., CHAPUIS, L. & BARCELLOS, A.O. 1997. Estoques de carbono em solos diferentes fitofisionomias de Cerrados. In Laércio Leonel L.C.H.S. Contribuição ao conhecimento ecológico do Cerrado. *Dept. Ecologia Universidade de Brasília*, pp. 272-277.
- C.P.C.S. 1967. Classification des sols. Commission de Pédologie et de classement des sols. *ENSA-Grignon*.
- CAPRIEL, P., BECK, T., BORCHAT, H. & HÄRTER, P. 1990. Relationship between soil aliphatic fraction extracted with supercritical hexane, soil microbial biomass and soil aggregate stability. *Soil Science Society of America Journal*, 54, 415-420.
- CARTER, M.R., ANGERS, D.A., & KUNELIUS, H.T. 1994. Soil structural form and stability, and organic matter under cool-season perennial grasses. *Soil Sci.Soc.Am.J.* 58, 1194-1199.
- CERRI, C.C., FELLER, C., BALESSENT, 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, série II : 423-428.
- CHANEY, K. & SWIFT, R.S. 1984. The influence of organic matter on aggregate stability in some British soils. *Journal of Soil Science*, 35, 223-230.
- CHENU, C. 1989. Influence of a fungal polysaccharide, scleroglucan, on clay microstructures. *Soil Biol. Biolchem.* 21: 299-305.
- CHESHIRE, M.V. & MUNDIE, C.M. 1981. The distribution of labelled sugars in soil particle size fractions as a means of distinguishing plant and microbial carbohydrate residues. *J. Soil Sci.* 32 : 605-618.
- CHESHIRE, M.V. 1979. Nature and origin of carbohydrates in soils. Academic Press, London, 216 p.
- CHESHIRE, M.V., SPARLING, G.P., & MUNDIE, C.M. 1983. Effect of periodate treatment of soil on carbohydrate constituents and soil aggregation. *J. Soil Sci.* 34, 105-112.
- CHESHIRE, M.V., SPARLING, G.P., & MUNDIE, C.M. 1984. Influence of soil type, crop and air drying on residual carbohydrate content and aggregate stability after treatment with periodate and tetraborate. *Plant Soil* 76, 336-347.

- CHESTERS, G., ATTOE, O.J. & ALLEN, O.N. 1957. Soil aggregation in relation to various soil constituents. *Soil Sci. Soc. Am. Pro.* 21, 272-277.
- CHEVIGNARD, T., FELLER, C., ANDREUX, F. & QUANTIN, P. 1987. Le « remodelage » des terres en Martinique. Modification des propriétés de « ferrisols » et d'andosols cultivés en canne à sucre. *Cah. Orstom, sér. Pédol.* 23, 223-236.
- CHRISTENSEN, B.T. 1992. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. *Advances in Soil Sciences*, 20, 1-90.
- COLMET-DAAGE, F. & LAGACHE, P., 1965. Caractéristiques de quelques groupes de sols dérivés de roches volcaniques aux antilles françaises. *Cahiers ORSTOM, série Pédologie*, 3 : 91-121.
- COMBEAU, A. 1960. Quelques facteurs de la variation de l'indice structurale dans certains sols ferrallitiques. *C. R. Acad. Agric. Fr.* pp. 109-115.
- COMBEAU, A. & QUANTIN P. 1964. Observations sur les relations entre stabilité structurale et matière organique dans quelques sols d'Afrique Centrale. *Cahiers ORSTOM, Sér. Pédol.* I. 3-12.
- COMBEAU, A & MONIER G. 1961. Méthode d'étude de la stabilité structurale. Application aux sols tropicaux, *Sols Afriacains*, VI, I : 5-62.
- COMBEAU, A., OLLAT, C. & QUANTIN, P. 1961. Observations sur certaines caractéristiques des sols ferrallitiques. Relations entre les rendements et les résultats d'analyse des sols. *Fertilité.* 13. 27-40.
- CONCARET, J. 1967. Etude des mécanismes de la destruction des agrégats de terre au contact des solutions aqueuses. *Ann. Agron.* 18, 65-90.
- CORREA, J.C. & REICHARDT, K. 1995. Efeito do tempo de uso das pastagens sobre as propriedades de um latossolo amarelo da Amazonia Central. *Pesq. Agropec. Bras.* 30: 107-114.
- DADET, P. 1969. Notice explicative de la carte géologique de la République du Congo-Brazzaville au 1/500.000 (zone comprise entre les parallèles 2° et 5° Sud). Mémoire du BRGM, n°70, 103 p. + 1 carte hors texte.
- DALAL, R.C. and HENRY, R.J. 1988. Cultivation effects on carbohydrate contents of soil and fractions. *Soil Science Society of America Journal* 52, 1361-1365.
- DECAU, J. 1968. Les polysaccharides du sol : origine, évolution et rôle. *Ann. Agron.* 19 (1), 65-82.

- DESJARDINS, T., ANDREUX, F., VOLKOFF, B & CERRI, C.C. 1994. Organic carbon and ^{13}C contents in soils and soil size-fractions, and their changes due to deforestation and pasture intallation in eastern Amazonie. *Geoderma*, 61 : 19-25.
- DIAS, V.S., BROSSARD, M. & LOPES ASSAD, M.L. 1997. Macrofauna edafica invertebrada em áreas de vegetação nativa da região de Cerrado. In Laércio leonel L.C.H.S. Contribuição ao conhecimento ecológico do Cerrado. *Dept. Ecologia Universidade de Brasília*, pp. 168-173.
- DICKSON, E.L., RASIAH, V. & GROENEVELT, P.H., 1991. Comparaison four prewetting techniques in wet aggregate stability determination. *Can. J. Soil Sci.*, 71. 67-72.
- DJEGUI, N. 1992. Matière organique et azote dans les sols cultivés sur terres de Barre (Bénin). Thèse, INP de Toulouse, 190 p.
- DJEGUI, N., BOISSEZON, P.de., & GAVINELLI, E. 1992. Statut organique d'un sol ferrallitique du Sud-Bénin sous forêt et différents systèmes de cultures. *Cah. ORSTOM, série Pédol.*, vol. XXVII, n°1: 2-22.
- DJONDO, M.Y., 1994. Propriétés d'échange ionique des sols ferrallitiques argileux de la Vallée du Niari et sableux du Plateau de Mbé-Batéké au Congo . Application à la correction de leur acidité. *Thèse, Université Paris XII-Val de Marne*, 258 p.
- DORMAAR, J.F. 1984. Monosaccharides in hydrolysates of water-stable aggregates after 67 years of cropping to spring wheat as determined by capillary gas chromatography. *Canadian Journal of Soil Science* 64, 647-656.
- DUTARTRE, P. 1993. Horizons de surface de sols ferrugineux tropicaux cultivés d'Afrique de l'Ouest (Burkina Faso et Mali). Etude des microstructures par l'approche fractale. *Thèse, Univ. Nancy I*. p. 153.
- DUTARTRE, P., BARTOLI, F., ANDREUX, F., PORTAL, J. M. & ANGE, A. 1993. Influence of content and nature of organic matter on the structure of some sandy soils from West-Africa. *Geoderma*, 56, 459-478.
- DUVAL, M., ANGERS, D.A. & LAVERDIERE, M.R. 1993. Revue de quelques facteurs régissant l'état et la stabilité de la structure du sol. *Agrosol* VI (2) 44-51 p.
- ELLIOT, E.T. & CAMBARDELLA, C.A. 1991. Physical separation of soil organic matter. *Agric. Ecosystems Environ*, 34, 407-419.
- ELLIOT, E.T. 1986. Aggregate structure and carbon, nitrogen, and phosphorus in native and cultivated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50, 627-633.

- ELUSTONDO, J., ANGERS, D.A., LAVERDIERE, M.R. & N'DAYEGAMIYE, A. 1990. Etude comparative de l'agrégation et de la matière organique associée aux fractions granulométriques de sept sols sous culture de maïs ou en prairie. *Can. J. Soil Sci.* 70, 395-402.
- EMPRAPA, 1972. Serviço de levantamento de solos : Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná. Curitiba, EMPRAPA-SNLCS / DNPEA / DPP / CERENA / IBC (Boletim Técnico, 39).
- EMPRAPA/SNLCS, 1992/1993. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)/serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos - SNLCS, DELINEAMENTO MACROAGROECOLOGICO DO BRAZIL, escala 1 : 5.000.000.
- FALLAVIER, P., BABRE, D., & BREYSSE, M. 1985. Détermination de la capacité d'échange des sols tropicaux acides. *L'Agron. Trop.* 40(4), 298-308.
- FAO / UNESCO, 1976. Carte mondiale des sols, 1 : 5000 000. Vol. VI : Afrique. Paris, 307 p.
- FASOLO, P.J. 1978. Mineralogical identification of four igneous extrusive rock derived Oxisols from State of Parana, Brazil. *M.S. thesis, Purdue University.*
- FAUCK, R., MOUREAUX, C. & THOMANN, C. 1969. Bilan de l'évolution des sols de Séfa (Casamance, Sénégal) après quinze années de culture continue. *L'Agron. Trop.*, 29, 1228-1248.
- FEIGL, B.L., MELILLO, J. & CERRI, C.C. 1995. Changes in the origin and quality of soil organic matter after pasture introduction in Rondonia (Brazil). *Plant and Soil.* 175, 21-29.
- FELLER, C. & BEARE, M.H. 1997. Physical control of soil organic matter dynamic in the tropics, *Geoderma*, 79, 69-116.
- FELLER, C. 1997. The concept of soil humus in the past three centuries. *Advances in GeoEcology*, 29, 15-46.
- FELLER, C. 1993. Organic inputs, soil organic matter and functional soil organic compartments in low activity clay soils in tropical zones. p. 77-88. In K : K. Mulongoy & R. Merckx (ed.) *Soil organic matter dynamics and sustainability of tropical agriculture.* J. Wiley-Sayce, Chichester, 77-88.
- FELLER, C. 1995. La matière organique dans les sols tropicaux à argile 1 : 1 recherche de compartiments organiques fonctionnels. *Une approche granulométrique. Coll. TDM-ORSTOM*, n° 144, 247 p. + Annexes 236 p.

- FELLER, C., ALBRECHT, A. & TESSIER, D. 1996. Aggregation and organic matter storage in kaolinitic and smectitic tropical soils. In Carter M.R., and Stewart B.A. (eds), Structure and organic matter storage in agricultural soils. *Advances in Soil Science*, Lewis, New York, pp. 309-359.
- FELLER, C., BURTIN, G. GERARD, B & BALESSENT, J. 1991b. Utilisation des résines sodiques et des ultrasons dans le fractionnement granulométrique de la matière organique des sols. Intérêt et limites. *Science sol* 29, 77-94.
- FELLER, C., FRANÇOIS, C., VILLEMEN, 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*, p. 1491-1497.
- FORTUN, A., BENAYAS, J. and FORTUN, C. 1990. The effects of fulvic and humic acids on soil aggregation : a micro-morphological study. *Journal of soil Science* 41, 563-572.
- FREITAS, P.L. de., 1994 - Aspectos físicos e biológicos do solo. In Landers, J.N. (ed.). *Fasciculos sobre experiências em plantio direto nos Cerrados*. Uberlândia, A. P. D. C., Cap. IX.
- FREITAS, P.L. de., BLANCANEUX, Ph., GAVINELLI, E., LARRE-LARROUY, M.C. & FELLER, C. 1997. Effet du mode de gestion des terres sur le niveau et la nature du stock organique des sols des Cerrados du Brésil. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* (sous presse).
- FREITAS, P.L. de., BLANCANEUX, Ph., MOREAU, R. 1995. Caractérisation des sols des Cerrados Brésiliens (Savanes) sous différents systèmes de gestion dans le cadre de l'analyse morfo-structurale. ORSTOM-Montpellier, 3e réunion gp. Structure et fertilité des sols tropicaux. p. 6-23.
- FREITAS, P.L., BLANCANEUX, Ph. & MOREAU, R. 1996. A análise morfo-estrutural como uma ferramenta para a avaliação da sustentabilidade de sistemas agrossilvipastoris nos Cerrados. In : *VIII Simposio Sobre o Cerrado, Brasilia, DF, Brasil*, 1996.
- GAVINELLI, E., FELLER, C., LARRE-LARROUY, M.C., BACYE, B., DJEGUI, N. & NZILLA, J.de D. 1995. A Routine method to study soil organic matter by particle-size fractionation: examples for tropical soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 26(11&12), 1749-1760.
- GIJSMAN, A.J & THOMAS, R.J. 1995. Aggregate size distribution and stability of an oxisol under legumes-based and pure grass pastures in eastern Columbian savannas. *Austr. J. of Soil Res.* 33, 153 - 165.

- GIOVANNINI, G. & SEQUI, P. 1976a. Iron and aluminium as cementing substances of soil aggregates. 1-Acetylacetone in benzene as an extractant of fractions of soil iron and aluminium. *Journal of Soil Science*, 27, 148-153.
- GIOVANNINI, G. & SEQUI, P. 1976b. Iron and aluminium as cementing substances of soil aggregates. 2-Changes in stability of soil aggregates following extraction of iron and aluminium by acetylacetone in a non-polar solvent. *Journal of Soil Science*, 27, 148-153.
- GOLCHIN, A., CLARKE, P., OADES, J.M. & SKJEMSTAD, J.O. 1995a. The effects of cultivation on the composition of organic matter and structural stability of soils. *Austr. J. Soil Res.* 33, 975-993.
- GOLCHIN, A., OADES, J.M., SKJEMSTAD, J.O. & CLARKE, P. 1994. Soil structure and carbon cycling. *Austr. J. Soil Res.* 32, 143-1068.
- GOLCHIN, A., OADES, J.M., SKJEMSTAD, J.O. & CLARKE, P. 1994. Study of free and occluded particulate organic matter in soils by soil state ^{13}C CP/MAS NMR spectroscopy and scanning electron microscopy. *Austr. J. Soil Res.* 32, 285-309.
- GOLCHIN, A., OADES, J.M., SKJEMSTAD, J.O. & CLARKE, P. 1995b. Structural and dynamic properties of soil organic matter as reflected by ^{13}C natural abundance, pyrolysis mass spectrometry and solid-state ^{13}C NMR spectroscopy in density fractions of an oxisol under forest and pasture. *Austr. J. Soil Res.* 33, 59-76.
- GOLDBERG, S., KAPOOR, B.S. & RHOADES, J.D. 1990. Effect of aluminium and iron oxides and organic matter on flocculation and dispersion of arid zone soils. *Soil Science* 150, 588-593.
- GRAS, R. 1974. L'emprisonnement d'air lors de l'humectation des corps poreux. *Sci. Sol.* 1, 49-60.
- GRIFFITHS, E. & BURNS, R.G. 1972. Interaction between phenolic substances and microbial polysaccharides in soil aggregation. *Plant and Soil*, 36, 599-612.
- GUCKERT, A. 1973. Contribution à l'étude des polysaccharides dans les sols et leur rôle dans les mécanismes d'agrégation, *thèse doct. d'état*, Université Nancy I. 124 p.
- GUCKERT, A., BREISCH, H. & REISINGER, O. 1975. Interface sol-racine. Etude au microscope électronique des relations mucigel-argile-microorganismes. *Soil Biol. Biochem.*, 7 : 241-250.

- HAMBLIN, A.P. & GREENLAND, D.J. 1977. Effect of organic constituents and complexed metal ions on aggregate stability of some East Anglian soils. *Journal of Soil Science*, 28, 410-416.
- HARRIS, R.F., CHESTERS, G. & ALLEN, O.N. 1966. Dynamics of soil aggregation. *Adv. Agron.* 18, 107-169.
- HAYES, M.H.B. 1986. Soil organic matter extraction, fractionation, structure and effects on soil structure. Chap. 9. *In* : The role of organic matter in modern agriculture, (eds Y. Chen & Y. Avnimelech), pp. 183-208. Martnus Nighoff publ., Dordrecht, The Netherlands.
- HAYNES, R.J. & FRANCIS, G.S. 1993. Changes in microbial biomass C, soil carbohydrate composition and aggregate stability induced by growth of selected crop and forage species under field conditions. *Journal of Soil Science*, 44, 665-675.
- 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.
- HAYNES, R.J., SWIFT, R.S., & STEPHEN, R.C. 1991. Influence of mixed cropping rotations (pasture - arable) on organic matter content, water stable aggregation and clod porosity in a group of soils. *Soil and Tillage Research*, 19, 77-87.
- HENIN, V. 1938. Etude physico-chimique de la stabilité structurale des terres. Thèse, Université Paris, 70 p.
- JAMET, R., 1975 - Evolution des principales caractéristiques des sols des reboisements de Loudima (Congo). *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, XIII (3/4) : 235-253.
- JASTROW, J.D., BOUTTON, T.W. & MILLER, R.M. 1996. Carbon dynamics of aggregate-associated organic matter estimated by carbon-13 natural abundance. *Soil Sci. Soc. A. J.* 60, 801-807.
- KEMPER, H.T. 1965. Aggregate stability. p. 115-519. *In* : C.A. Black *et al* (ed) Methods of soil analysis. Part 1. Agron. Monogr. 9. ASA, Madison, WI.
- KEMPER, W.D. & ROSENAU, R.C. 1986. Aggregate stability and size distribution. *in* : «Methods of soil analysis. Part. I : Physical and mineralogical methods.» A. KLUTE (ed). *Second edition*. pp. 425-442.
- KEMPER, W.D., & KOCH, E.J. 1966. Aggregate stability of soil from Western U. S. and Canada. USDA Tech. Bull. 1355. U.S. Govt. Printing Office, Washington, DC.

- KEMPER, W.D., ROSENAU, R.C. & DEXTER, A.R. 1987. Cohesion development in disrupted soils as affected by clay and organic matter content and temperature. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51, 860-867.
- KINSBURSKY, R. S., LEVANON, D. & YARON, B. 1989. Role of fungi in stabilizing aggregates of sewage sludge amended soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53, 1086-1091.
- KOECHLIN, J. 1961. La végétation des savanes dans le sud du Congo. *ORSTOM, Paris*, 311 p.
- KONONOVA, M.M. 1966. Soil organic matter. Pergamon Press, London. pp. 257-316.
- KOPPEN, W. 1936. In GRISOLET, P., GUILMET, B. & ARLERY, R. (1962) Climatologie, méthodes et pratiques. Ed. *Gauthier-Villars & Cies*. Paris. pp.297 - 301.
- KOUAKOUA, E., SALA, G.H., BARTHES, B., LARRE-LARROUY, M.C., ALBRECHT, A. & FELLER, C. 1997. La matière organique soluble à l'eau chaude et la stabilité de l'agrégation. Aspects méthodologiques et application à des sols ferrallitiques du Congo. *European J. Soil Sci.* 48, 239-247.
- LARRE-LARROUY, M. C. and FELLER, C. 1997. Determination of carbohydrates in two ferrallitic soils : Analysis by capillary gas chromatography after derivatization by silylation. *Soil Biology and Biochemistry*, 29, pp.1585-1589.
- LE BISSONNAIS, Y. 1988. Comportement d'agrégats terreux soumis à l'action de l'eau : analyse des mécanismes de désagrégation. *Agronomie*, 8, 87-93.
- LE BISSONNAIS, Y. 1989. Analyse des processus de microfissuration des agrégats à l'humectation. *Sc. Sol*, 27, 187-199.
- LE BISSONNAIS, Y. 1995. Mesurer la stabilité structurale des sols pour évaluer leur sensibilité à la battance et à l'érosion. *Etude et Gestion des sols*, 2, 43-55.
- LEINWEBER, P., SCHULTEN, H-R. & KÖRSCHENS, M. 1995. Hot water extracted organic matter : chemical composition and temporal variations in a long-term field experiment. *Biology and Fertility of Soils*, 20, 17-23.
- LESPOCH, I.F., MENK, J.R.F., OLIVEIRA, J.B. de. 1994. Carbon storage and other properties of soils under agriculture and natural vegetation in São Paulo State, Brazil. *Soil Use and Management*, 10, 34-42.
- MAPANGUI, A. 1992. Etude de l'organisation et du comportement des sols ferrallitiques argileux de la Vallée du Niari (Congo). Conséquences sur l'évolution physique sous culture de manioc en mécanisé depuis 15 ans. *Thèse, Univ. Paris VI*, 246 p.

- 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. Biolchem.* 3, 33-41.
- MARTIN, D. & BATILA, G. 1975. Complexe agro - industriel de Mantsouba : étude pédologique de la ferme de Mantsouba. ORSTOM, Brazzaville (Congo), multigr. 40 p.
- MARTIN, G. 1963. Dégradation de la structure des sols sous culture mécanisée dans la Vallée du Niari. *Cah. Orstom, Sér. Pédol.* 8-14.
- MARTIN, G. 1967. Synthèse agropédologique sur les sols de la Vallée du Niari. Evolution des sols sous culture. In *Quinze ans de travaux et de recherches dans les pays de Niari*. Vol. 3, *Orstom*, editeur, 145 p.
- MARTIN, J.P. 1971. Decomposition and binding action of polysaccharides in soil. *Soil Biol. Biolchem.* 3, 33-41.
- METZGER, L., LEVANON, D. & MINGELGRIN. 1987. The effect of sewage sludge on soil structure stability : Microbiological Aspects. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51, 346-351.
- MONNIER, 1965a. Action des matières organiques sur la stabilité structurale des sols. Première partie. *Annales agronomiques*, 16, 327-400.
- MONNIER, J. 1965b. Action des matières organiques sur la stabilité structurale des sols. Deuxième partie. *Annales agronomiques*, 16, 471-534.
- MOREAU, R. 1983. Evolution des sols sous différents modes de mise en culture en Côte d'Ivoire forestière et préforestière. *Cah. Orstom, sér. Pédol.* 20, 311-325.
- MOREL, R. & QUANTIN, P. 1972. Observations sur l'évolution à long terme de la fertilité des sols cultivés à Grimari (République Centrafricaine). *L'Agronomie Tropicale* 27, 667-739.
- MOUTON, J. 1952. Rapport de campagne 1951-1952 de la station agricole de Loudima. *ORSTOM, Loudima*, multigr. 122 p.
- NIMER, E. 1979. Climatologia do Brasil. Rio de Janeiro, IBGE 422 p.
- NZILA, J. D. 1992. La pratique de l'écobuage dans la Vallée du Niari (Congo). Ses conséquences sur l'évolution d'un sol ferrallitique acide. Thèse, Université Paris XII-Val de Marne, 190 p.
- OADES, J. M. & WATERS, A. G. 1991. Aggregate hierarhy in soils. *Australian Journal of Soil Research*, 29, 815-828.

- OADES, J.M. 1967. Carbohydrates in some Australian soils. *Australian Journal of Soil Research* 5, 103- 115.
- OADES, J.M. 1984. Soil organic matter and structural stability : mechanisms and implications for management. *Plant and Soil* 76, pp319-337.
- OADES, J.M., KIRKMAN, M.A. & WAGNER, G.H. 1970. The use of gas-liquid chromatography for the determination of sugars extracted from soils by sulfuric acid. *Soil Science Society of America Proceedings* 34, 230-235.
- PARTON, W.J., SCHIMEL, D.S., COLE, C.V. & OJIMA, D.S. 1987. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in great plains grasslands. *Soil Sci. Soc. A. J.* 51, 1173-1179.
- PHILIPPEAU, G. 1986. Comment interpréter les résultats d'une analyse en composantes principales ? ITCF, Paris, 63 p.
- PICCOLO, A. & MBAGWU, J. S. C. 1990. Effects of different organic waste amendements on soil microaggregates stability and molecular sizes of humic substances. *Plant and Soil*, 123, 27-37.
- PIERI, C. 1989. Fertilité des terres de savanes. Ministères de la Coopération-CIRAD (eds.), Paris, 444 p.
- PUGET, P., BESNARD, E. & CHENU, C. 1996. Une méthode de fractionnement des matières organiques particulières des sols en fonction de leur localisation dans les agrégats. *Compte Rendus de l'Academie des Sciences*, Paris, t.322 série Iia, 965-972.
- REICHERT, J.M. & NORTON, D.L. 1994. Aggregate stability and rain-impacted sheet erosion of air-dried and prewetted clayey surface soils under intense rain. *Soil Science* vol. 158, n°3.
- RENNIE, D.A., TRUOG, E. & ALLEN, O.N. 1954. Soil aggregation as affected by microbial gums, level of fertility and kind of crop. *Soil Sci.Soc. Am. Proc.* 18, 339-403.
- ROCHA, G.C., BARROS, O.N.F. & GUIMARAES, M.F. 1991. Distribuição espacial e características dos solos do campus da Universidade Estadual de Londrina, Pr. *Semina*, 12, 25-37.
- ROOSE, E.J. 1973. Dix sept années de mesures expérimentales de l'érosion et du ruissellement sur un sol ferrallitique sableux de Basse Côte d'Ivoire. Thèse, Univ. Orléans, 297 p.
- ROUILLER, J., SOUCHIER, B., BRUCKERT, S., FELLER, C., TOUTAIN, F & VEDY, J.C. 1994. Méthodes d'analyses des sols. In: Pédologie 2. *Constituants et propriétés du sol. Chap. XXXI*, 2nd edn (ed.M. Bonneau & B. Souchier), pp. 623-631. Masson, Paris.

- SANCHEZ, P.A. & MILLER, R.H. 1986. Organic matter and soil fertility management in acid soils of the tropics. *In* : Trans. 13^{ème} Cong. Sci. Sol, 6, 609-625.
- SANCHEZ, P.A. 1976. Properties and management of soils in the tropics. J. Wiley & Sons, New-York, 618 p.
- SEGALEN, P. 1995. Les sols ferrallitiques et leurs répartition géographique. *ORSTOM*, Tome 1.2.3. Etudes et thèses, 572 p.
- SKJEMSTAD, J.O., LE FEUVRE, R.P. & PREBBLE, R.E. 1990. Turnover of soil organic matter under pasture as determined by ¹³C natural abundance. *Austr. J. Soil Res.* 30, 267-276.
- SOIL CONSERVATION SERVICE, 1975. Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. *U.S. Dept. Agr. Hand book n° 436*, 756 p.
- SOONG, N.K., 1980. Influence of Soil Organic Matter on Aggregation of Soils in Peninsular Malaysia. *J. Rubb. Res. Inst. Malasyia*, 28 (1), 32-46.
- STSC, 1991. Statgraphics version 5, Statistical graphics system. User's manual, by Statistical Graphics Corporation, STSC, Inc., USA.
- TATE, R. L. 1992. Soil organic matter, *Biological and Ecological effects*. *KRIEGEIR PUBLISHING COMPANY*, MALABAR, FLORIDA, 218-238.
- TAVARES FILHO, J. 1995. Organisation et comportement de Latosols du Parana (Brésil). Influence de leur mise en culture. *Thèse, Université Nancy I*, 229 p.
- THOMANN, C. 1963. Quelques observations sur l'extraction de l'humus dans les sols. Méthode au pyrophosphate de sodium. *Cahiers ORSTOM, série Pédologie*, 3, 43-72.
- TISDALL, J.M. & OADES, J.M., 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science*, 33, 141-163.
- VITERRELLO, V.A., CERRI, C.C. & ANDREUX, F., FELLER & VICTORIA, R.L. 1989. Organic matter and natural carbon-13 distribution in forested and cultivated oxisols. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53, 773-778.
- VOLKOFF, B. 1985. Organisations régionales de la couverture pédologique du Brésil. Chronologie des différenciations. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol., V.XXI* (4), 225 - 236.
- WANIEZ, Ph., 1992. Un «espace frontière» brésilien. *Montpellier. Maison de la Géographie, G.I.P (Groupement d'Intérêt Public) RECLUS - ORSTOM*, 344 p.
- WIERZCHOS, J., ASCASO-CIRIA, C.A. & GARCIA-GONZALEZ, M.T. 1992. Changes in microstructure of soils following extraction of organically bonded metals and organic matter. *Journal of Soil Science*, 43, 505-515.

ANNEXES

Annexe I : Méthode de fractionnement granulométrique de la matière organique

La méthode utilisée s'inspire de celle proposée par FELLER (1979 ; 1995) et GAVINELLI *et al.* (1995) pour les sols tropicaux. 20 g d'échantillon sec sont en contact une nuit à 4°C avec 200 ml d'eau déminéralisée et 0,5 g d'hexamétaphosphate de sodium. Ils sont ensuite mis en agitation pendant 2 heures en présence de 3 billes de verres de 1 cm de diamètre dans un agitateur rotatif (50 t/mn). La suspension est ensuite tamisée sous eau, successivement, sur des tamis de 200 et 50 μm . Les fractions restantes sur les tamis sont lavées à l'eau et les eaux de lavage sont jointes à la suspension 0-50 μm . Celle-ci, par volumes de 1 litre, est alors soumise à une ultrasonication pendant 10 min, dans les conditions suivantes : appareil de marque Bioblock-Vibracell, de 600 W de puissance électrique, équipé d'une sonde à tête plane de 13 mm de diamètre. La tête de la sonde est immergée à 2,5 cm sous la surface. La sonification est faite de façon continue à 90 % de la puissance de l'appareil et à 70 % de son cycle actif, ce qui correspond à une énergie d'environ 100 Joules ml^{-1} .

La suspension est alors tamisée à 20 μm , le refus sur le tamis est lavé et la suspension 0-20 μm obtenue est transférée dans des allonges de 1 litre. Les allonges sont systématiquement complétées à 1 litre par l'eau déminéralisée.

Toutes les fractions récupérées (200 - 2000 μm), (50 - 200 μm) et (20 - 50 μm) sont transférées dans des capsules cylindriques émaillées à fond plat de 200 ml ou 500 ml, séchées à 60 °C dans une étuve ventilée jusqu'au poids constant, puis pesées. Cependant, la suspension (0-20 μm) est placée dans une allonge (1000 ml) et ajustée. Elle est agitée par palettes (30 retournements) avant sédimentation, puis siphonnée selon la loi de Stock pour prélever la fraction (0 - 2 μm). Après chaque siphonnage, le culot est remis en suspension. La suspension ainsi obtenue est agitée (30 retournements manuels) avant une nouvelle sédimentation. L'opération est recommencée jusqu'à épuisement.

Les suspensions (0 - 2 μm) issues des différents siphonnages sont systématiquement mises à flocculer par addition de 1 ml/l de suspension d'une solution de chlorure de strontium (SrCl_2) saturé, puis elles sont centrifugées à 3000 t/mn pendant 10 min. le culot est mis à sécher à 60°C, pesé, et représente la fraction (0 - 2 μm).

Le culot de la suspension 0 - 20 μm restant après le dernier siphonnage est également mis à sécher à 60 °C, pesé, et représente la fraction 2 - 20 μm .

Les fractions granulométriques (200 - 2000, 50 - 200, 20 - 50, 2 - 20, 0 - 2 μm) ainsi obtenues, sont systématiquement broyées finement (200 μm) pour les analyses de C et N total des fractions. A noter que les eaux de fractionnement n'ont pas été dosé directement, mais le C soluble à l'eau froide a été déterminé à partir du filtrat recueilli après agitation pendant 2 heures de 20 g de sol sec 0-2 mm dans 200 ml d'eau. Cette fraction soluble est nommée W.

Les teneurs en C et en N des fractions solides et la teneur en C organique de la fraction soluble (W) sont déterminées par analyseur Shimadzu TOC 5000.

Afin de faciliter la présentation des résultats, les teneurs et les contenus des fractions sables (50-2000 μm) et limons (2-50 μm) sont sommées à partir des valeurs obtenues respectivement pour les fractions 200-2000 + 50-200 μm et 20-50 + 2-20 μm . Les résultats détaillés pour toutes les fractions sont reportés dans le Tableau-annexe I.

Echantillon	Fraction	Masse (%)	Teneurs et contenus en carbone			Teneurs et contenus en zote			Rapport C/N
			C (gC/kg)	bC (gC/kg sol)	% total	N (gN/kg) b	N (g N/kgsol)	% total	
LSO	> 200	3,8	76,20	2,89	8,25	2,82	0,11	5,63	27,0
	> 50	7,1	36,10	2,55	7,29	1,57	0,11	5,84	23,0
	> 20	3,3	24,14	0,79	2,27	0,85	0,03	1,48	28,3
	2 - 20	9,2	62,20	5,70	16,28	4,60	0,42	22,18	13,5
	0 - 2	76,5	23,50	17,97	51,35	2,40	1,84	96,61	9,8
	W			2,36	6,74				
	% SF	99,8		32,26	92,19		2,50	131,73	
% SNF			35,00	100,00		1,90	100,00	18,4	
LJ	> 200	3,1	69,00	2,13	5,86	1,52	0,05	2,94	45,4
	> 50	15,1	27,20	4,10	11,27	1,03	0,16	9,71	26,4
	> 20	5,0	29,80	1,48	4,05	1,05	0,05	3,25	28,4
	2 - 20	13,6	84,00	11,45	31,45	6,33	0,86	53,92	13,3
	0 - 2	62,4	26,20	16,35	44,92	2,64	1,65	102,98	9,9
	W			1,61	4,42				
	% SF	99,2		37,12	101,98	12,57	2,76	172,79	
% SNF			36,40	100,00		1,60	100,00	22,8	
LM	> 200	4,0	34,68	1,39	6,38	1,44	0,06	4,44	24,1
	> 50	12,7	11,09	1,41	6,45	0,57	0,07	5,54	19,5
	> 20	6,1	13,41	0,81	3,73	0,50	0,03	2,31	27,0
	2 - 20	11,4	48,24	5,51	25,27	3,45	0,39	30,31	14,0
	0 - 2	66,1	16,89	11,16	51,19	1,65	1,09	83,86	10,2
	W			2,37	10,87				
	% SF	100,2		22,65	103,89		1,64	126,46	
% SNF			21,80	100,00		1,30	100,00	16,8	
MS	> 200	9,3	72,00	6,70	15,76	2,00	0,19	7,75	36,0
	> 50	19,6	41,00	8,04	18,91	1,90	0,37	15,52	21,6
	> 20	6,4	35,00	2,24	5,27	1,30	0,08	3,47	26,9
	2 - 20	21,6	46,00	9,94	23,38	2,10	0,45	18,90	21,9
	0 - 2	41,6	30,00	12,48	29,36	3,30	1,37	57,20	9,1
	W			2,60	6,12				
	% SF	98,5		42,0	98,80		2,47	102,83	
% SNF			42,50	100,00		2,40	100,00	17,7	
MM	> 200	3,2	51,00	1,63	8,66	1,30	0,04	3,20	39,2
	> 50	11,4	16,00	1,82	9,68	1,10	0,13	9,65	14,5
	> 20	6,5	9,00	0,59	3,11	0,50	0,03	2,50	18,0
	2 - 20	15,9	21,00	3,34	17,72	1,20	0,19	14,68	17,5
	0 - 2	61,2	18,00	11,02	58,47	1,90	1,16	89,45	9,5
	W			2,53	13,43				
	% SF	98,2		20,9	111,07		1,55	119,47	
% SNF			18,84	100,00		1,30	100,00	14,5	
CER	> 200	8,1	21,30	1,73	7,63	0,98	0,08	5,29	21,7
	> 50	38,6	7,50	2,90	12,81	0,51	0,20	13,12	14,7
	> 20	6,3	10,80	0,68	3,01	0,51	0,03	2,14	21,2
	2 - 20	7,7	60,90	4,69	20,75	2,16	0,17	11,09	28,2
	0 - 2	39,2	28,70	11,25	49,78	2,22	0,87	58,02	12,9
	W			1,87	8,27				
	% SF	99,9		23,11	102,26		1,34	89,66	
% SNF			22,60	100,00		1,50	100,00	15,1	
PAL	> 200	6,7	22,80	1,53	6,94	0,83	0,06	4,28	27,5
	> 50	37,6	3,10	1,17	5,30	0,29	0,11	8,39	10,7
	> 20	8,0	6,20	0,50	2,25	0,45	0,04	2,77	13,8
	2 - 20	12,1	49,80	6,03	27,39	2,76	0,33	25,69	18,0
	0 - 2	35,6	29,80	10,61	48,22	2,37	0,84	64,90	12,6
	Soluble			1,63	7,41				
	% SF	100,0		21,45	97,52		1,38	106,03	
% SNF			22,00	100,00		1,30	100,00	16,9	
CCL	> 200	4,7	25,30	1,19	5,56	0,90	0,04	2,96	28,1
	> 50	30,8	3,00	0,92	4,32	0,33	0,10	7,11	9,1
	> 20	7,5	7,40	0,56	2,59	0,52	0,04	2,73	14,2
	2 - 20	21,8	37,90	8,26	38,61	2,48	0,54	37,81	15,3
	0 - 2	35,3	25,00	8,83	41,24	1,96	0,69	48,38	12,8
	Soluble			1,34	6,26				
	% SF	100,1		21,10	98,58		1,42	98,98	
% SNF			21,40	100,00		1,43	100,00	15,0	
FN	> 200	2,2	118,10	2,58	8,69	9,49	0,21	15,47	12,4
	> 50	11,8	37,40	4,40	14,82	3,49	0,41	30,51	10,7
	> 20	2,8	27,20	0,75	2,53	2,05	0,06	4,25	13,1
	2 - 20	19,4	4,60	7,03	23,68	4,30	0,83	61,79	8,4
	0 - 2	57,2	18,00	10,28	34,62	1,91	1,09	80,93	9,4
	Soluble			4,66	15,13				
	% SF	93,4		29,70	99,47		2,60	192,94	
% SNF			30,80	100,00		3,07	227,41	10,0	

Tableau -annexe I - Résultats détaillés du fractionnement granulométrique de la MO

Annexe I : Méthode de fractionnement granulométrique de la MO.

CL	> 200	1.2	87.40	1.05	4.86	4.72	0.06	4.05	18.5
	> 50	9.1	19.50	1.77	8.22	1.57	0.14	10.21	12.4
	> 20	3.1	17.20	0.53	2.47	0.53	0.02	1.17	32.5
	2 - 20	17.0	4.40	0.75	3.46	0.37	0.06	4.49	11.9
	0 - 2	66.4	14.50	9.63	44.57	1.72	1.14	81.58	8.4
	Soluble			4.15	19.21				
	% SF	96,8		17,88	82,79		1,42	101,49	
% SNF			22.98	100.00		2.18	155.71	10.5	
CA	> 200	0.7	71.90	0.48	2.22	4.16	0.03	2.06	17.3
	> 50	6.4	26.20	1.66	7.67	1.73	0.11	8.14	15.1
	> 20	3.7	14.40	0.53	2.45	0.93	0.03	2.54	15.5
	2 - 20	19.6	2.90	0.57	2.61	0.22	0.04	3.19	13.2
	0 - 2	67.2	11.90	8.00	36.86	1.34	0.90	66.72	8.9
	Soluble			1.43	6.59				
	% SF	97,5		12,67	58,40		1,12	82,65	
% SNF			17.80	100.00		1.66	122.96	10.7	
T	> 200	8.5	11.23	0.95	3.53	0.41	0.03	1.74	27.4
	> 50	10.3	8.77	0.90	3.35	0.47	0.05	2.42	18.7
	> 20	5.6	27.10	1.51	5.60	1.71	0.10	4.77	15.8
	2 - 20	19.2	25.76	4.95	18.35	1.83	0.35	17.60	14.1
	0 - 2	49.3	22.92	11.30	41.85	2.45	1.21	60.39	9.4
	H ₂ O	4.4							
	0 - 20	68.5	48.7	16.3	60.20	4.3	1.6	77.99	23.4
Soluble									
% SF	97,3		19,62	72,67		1,74	86,92		
% SNF			27.00	100.00		2.00	64.31	13.5	

Tableau -annexe I - Résultats détaillés du fractionnement granulométrique de la MO

Annexe II : Quelques aspects méthodologiques concernant la stabilité structurale

La stabilité structurale des sols est étudiée sur toutes les situations décrites dans le chapitre I. Il s'agit des échantillons argileux provenant du Congo (Mantsoumba, Loudima et NKayi), du Brésil (Goiânia et Londrina) et de la Martinique (Galion). Des échantillons sableux du Congo (Plateau Batéké (Congo-Pb) ont aussi été testés. Pour ce faire, deux méthodes ont été mises en oeuvre, l'une (méthode A) par agitation verticale adaptée de la méthode de KEMPER & ROSENAU (1986), l'autre (méthode B) basée sur des agitations rotatives selon ALBRECHT *et al.* (1992).

Stabilité de l'agrégation à l'eau selon la méthode A

Le protocole utilisé est décrit dans l'article KOUAKOUA *et al.* (1997). Il consiste à tamiser l'échantillon de sol d'abord dans l'eau, ensuite dans un dispersant (soude), pour déterminer le taux des macroagrégats stables. 4 g d'échantillon séché à l'air et tamisé à 2 mm sont directement pesés dans un tamis à maille de 200 μm , puis humectés selon les deux protocoles suivants :

Immersion (im) : l'échantillon dans son tamis est immergé dans 100 ml d'eau déminéralisée pendant 30 min,

Brumisation (br) : l'ensemble échantillon - tamis est soumis à un brouillard fin d'eau déminéralisée, avec appareil de type KEMPER & ROSENAU (1986).

Analyses statistiques : Elles sont effectuées à partir de 3 répétitions au moins. Les intervalles de confiance sont calculées au seuil de 5 %. Les études de comparaison de moyenne et l'analyse des régressions linéaires sont réalisées à l'aide du logiciel Statgraphics (STSC, 1991).

Effet du mode d'humectation sur la stabilité de l'agrégation

Les résultats sont détaillés dans les tableaux-annexe II.1a,b et schématisés sur la figure-annexe II.1. On constate que :

- pour les sols argileux (tous sauf BS et BM), le taux des macroagrégats stables à l'eau obtenus par brumisation (ASbr) sont significativement supérieurs (au seuil de 5 %) à ceux obtenus par immersion (ASim). L'effet de la mise en culture sur AS est significatif pour l'immersion et non significatif pour la brumisation,

- pour les sols sableux (BS et BM), le taux des macroagrégats stables obtenus par brumisation n'est pas significativement différent de ceux obtenus par immersion. L'effet de la mise en culture sur le taux de macroagrégats stables à l'eau est significatif avec la brumisation et non significatif avec l'immersion.

Ces résultats sont en accord avec les travaux d'ELLIOT (1986) : les taux des macroagrégats stables à l'eau sont en relation directe le mode d'humectation. Lors d'une immersion, l'agrégat sec est rapidement humecté, l'eau pénètre et comprime l'air contenu dans les pores ce qui fait éclater cet agrégat (HENIN, 1938 ; MONNIER, 1965 ; KEMPER, 1965 ; CONCARET 1967 ; LE BISSONNAIS, 1988). La technique d'immersion met donc en évidence les phénomènes d'éclatement. Dans le cas de la brumisation, l'eau pénètre lentement dans les pores et l'air peut s'échapper, au moins en partie ayant pour conséquence de diminuer l'importance de l'éclatement des agrégats (CONCARET 1967 ; GRAS, 1979, LE BISSONNAIS, 1989 ; DE BLIC et *al.*, 1991). La désagrégation observée est alors due pour l'essentiel aux phénomènes de dispersion.

La figure-annexe II.1 montre que, pour ces sols argileux très stables, la discrimination est meilleure avec l'immersion qu'avec la brumisation. Par contre, pour les sols sableux, la discrimination est meilleure avec la brumisation qu'avec l'immersion.

Ceci est conforme aux résultats obtenus par LE BISSONNAIS (1995) pour différents sols cultivés de France, d'Afrique et d'Amérique du Sud. DICKSON et *al.* (1991), BEARE & BRUCE (1993) et REICHERT & NORTON (1994) indiquent également que, pour des échantillons séchés à l'air et à teneur en argile relativement élevée, la stabilité de l'agrégation est plus faible par humectation rapide de type «immersion» que par humectation lente de type «brumisation», des résultats inverses étant observés pour des sols à texture plus grossière.

Pour les sols argileux étudiés ici, le prétraitement immersion est le plus discriminant sur les taux des macroagrégats stables selon le mode d'occupation des terres. Par conséquent, ce mode d'humectation a été retenu dans ce travail.

Tableau-Annexe II 1a - Données concernant la stabilité de l'agrégation selon la méthode A

Pays-région	Echant.	Prof. (cm)	Im.	Fractions (μm)	moy.	br	moy.	S.G.
Congo-L.	LS0	0 - 10		> 200	669 ± 15		798 ± 18	38,0
				20 - 200	238 ± 11		133 ± 14	
				0 - 20	55 ± 2		33 ± 1	
	LS15	10 - 20		> 200	605 ± 11		745 ± 1	20,0
				20 - 200	321 ± 6		201 ± 1	
				0 - 20	54 ± 3		27 ± 0	
	LS30	20 - 40		> 200	591 ± 7		736 ± 2	24,0
				20 - 200	365 ± 7		22 ± 2	
				0 - 20	19 ± 4		16 ± 1	
	LS150	140 - 160		> 200	496 ± 16		675 ± 13	28,0
				20 - 200	467 ± 18		287 ± 11	
				0 - 20	9 ± 4		13 ± 1	
	LM	0 - 10		> 200	571 ± 27		nd	27,0
				20 - 200	353 ± 22		nd	
				0 - 20	48 ± 9		nd	
	LJ	0 - 10		> 200	621 ± 45		716 ± 8	29,0
				20 - 200	309 ± 47		20 ± 1	
				0 - 20	41 ± 4		49 ± 4	
LC	0 - 10		> 200	651 ± 44		741 ± 2	25,0	
			20 - 200	258 ± 38		207 ± 16		
			0 - 20	66 ± 6		24 ± 4		
Congo-M	MS	0 - 10		> 200	746 ± 26		800 ± 18	93,0
				20 - 200	154 ± 33		157 ± 11	
				0 - 20	7 ± 1		0 ± 0	
MC	0 - 10		> 200	585 ± 57		799 ± 7	32,0	
			20 - 200	365 ± 55		117 ± 17		
			0 - 20	17 ± 3		9 ± 1		
Congo-Pb.	BS	0 - 10		> 200	305 ± 29		335 ± 22	273,0
				20 - 200	416 ± 29		385 ± 16	
				0 - 20	6 ± 0		4 ± 0	
BM	0 - 10		> 200	279 ± 38		285 ± 18	291,0	
			20 - 200	425 ± 34		422 ± 13		
			0 - 20	6 ± 0		5 ± 0		

* L. = Loudima, M. = Mantsoumba, Pb. = Plateau de Mbé, Echant. = échantillons, Prof. = profondeur, Im. = immersion, moy. = moyenne AS (g/kg) avec intervalle de confiance (i.c.), br. = brumisation, S.G. = sables grossiers

Tableau-Annexe II.1b - Données concernant la stabilité de l'agrégation selon la méthode A pour quelques échantillons de surface (0 - 10 cm).

Pays-région	Echant.	im.	Fractions (μm)	moy.	br.	moy.	S.G.
Brésil-G.	CER		> 200	615 ± 12		720 ± 42	7,0
			20 - 200	313 ± 18		203 ± 43	
			0 - 20	2 ± 1		3 ± 0	
	PAL		> 200	623 ± 34		715 ± 45	9,3
			20 - 200	275 ± 34		203 ± 44	
			0 - 20	8 ± 2		6 ± 1	
	CCL		> 200	541 ± 34		686 ± 6	6,7
			20 - 200	381 ± 1		231 ± 7	
			0 - 20	10 ± 1		9 ± 0	
Brésil-L.	FN		> 200	752 ± 67		nd	4,7
			20 - 200	189 ± 56		nd	
			0 - 20	12 ± 3		nd	
	CL		> 200	638 ± 29		nd	2,3
			20 - 200	308 ± 27		nd	
			0 - 20	30 ± 5		nd	
	CA		> 200	551 ± 61		nd	3,9
			20 - 200	388 ± 35		nd	
			0 - 20	23 ± 10		nd	
Martinique.	T		> 200	640 ± 34		702 ± 12	80,0
			20 - 200	224 ± 22		173 ± 9	
			0 - 20	55 ± 5		44 ± 4	

* G. = Goiãna, L. = Londrina, Echant. = échantillons, im. = immersion, moy. = moyenne AS (g/kg) avec intervalle de confiance (i.c.) à 5 %, br. = brumisation, S.G. = sables grossiers. nd = non déterminé

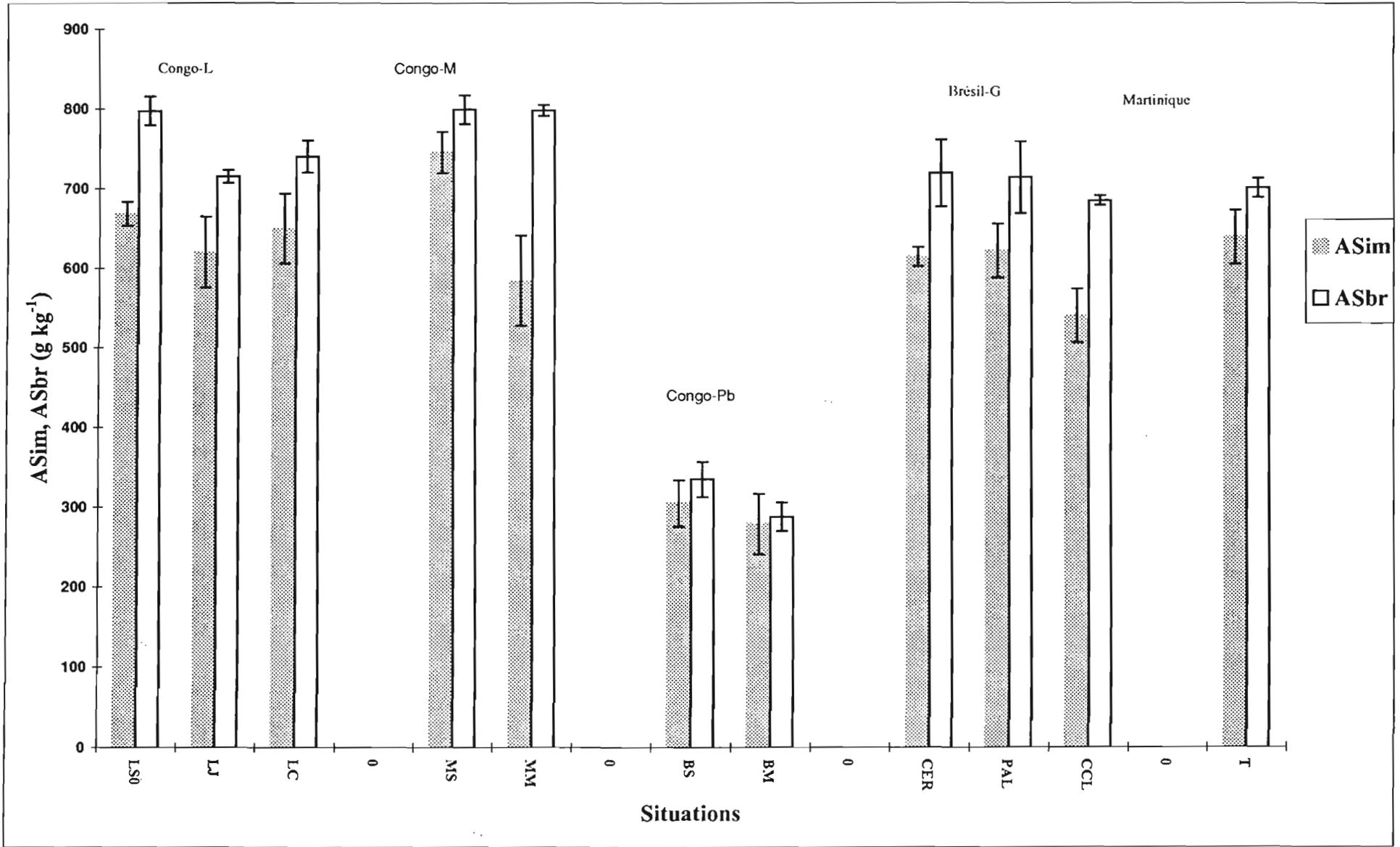


Figure-annexe II.1 - Taux de macroagrégats stables à l'eau par immersion (ASim) et par brumisation (ASbr)

Description la cinétique de désagrégation sous l'eau selon la méthode B

La méthode d'ALBRECHT *et al.* (1992) consiste à suivre la cinétique de désagrégation du sol dans l'eau au cours d'agitations de durées croissantes.

Les échantillons de sols sont séchés à l'air et tamisés à 2 mm (35 g pour chaque agitation). Ils sont d'abord immergés pendant 16 heures dans 200 ml d'eau déminéralisée puis agités (agitateur rotatif à 50 tours min⁻¹) pendant des durées variables : 0 - 0.5 - 1 - 2 - 6 - 12 et 18 heures.

Après agitation, les suspensions obtenues sont tamisées à 200 µm. La fraction > 200 µm obtenue est séchée à l'étuve puis pesée (Ag200).

La distribution des agrégats de taille inférieure à 200 µm est déterminée au granulomètre Laser, ce qui permet d'obtenir les masses des fractions 50 - 200, 20 - 50, 2 - 20 et 0 - 2 µm.

Le taux des macroagrégats stables sous l'eau est défini par la même formule qu'avec la méthode A ($AS = Ag200 - SG$).

Comparaison des différentes approches méthodologiques

Pour des raisons pratiques (limiter le nombre d'échantillons), la comparaison des deux méthodes n'est réalisée que sur les sols du Congo-L (LS0, LM) et du Brésil-G (CER, CCL).

Le Tableau-annexe II.2 et la figure-annexe II.2 résument la comparaison entre la méthode A (0,1A : agitation verticale de 6 min) et la méthode B (0,5 à 18B : agitations rotatives variables de 0 à 18 h). Les résultats obtenus montrent que :

- la méthode B est plus «destructive» en terme de taux des macroagrégats stables que la méthode A pour des durées d'agitations supérieures à 0,5 heure (excepté l'échantillon LS0 à t = 0.5). Le taux des macroagrégats stables diminue d'environ 50 % entre 0,5 heures d'agitation et 18 heures pour les sols ferrallitiques argileux de Congo-L et de Brésil-G,

- toutefois, pour ces durées égales ou supérieures à 0,5 heure, les ordres de stabilité de l'agrégation obtenus par les méthodes A et B restent identiques : pour Congo-L, LS0 est plus stable que LM, pour Brésil-G, CER est plus stable que CCL.

Autrement dit, pour ces sols ferrallitiques argileux très stables du Congo et du Brésil, la méthode A, avec une simple agitation de 6 min, est suffisante pour discriminer l'effet de

différents modes de gestion des terres sur la stabilité de l'agrégation. Elle a donc été retenue de préférence à la méthode B (beaucoup plus longue à mettre en oeuvre) pour cette thèse.

Tableau-Annexe II.2 - Données concernant la comparaison des méthodes A et B : effet de la mise en culture et du mode d'agitation sur le taux de macroagrégats stables (g / kg sol)

Pays/Région	Echantillons	Méthode A	Méthode B					
		0,1 h.	0,5 h.	1 h.	2 h.	6 h.	12 h.	18 h.
Congo-L	LSO	669	732	619	617	339	309	292
	LM	571	531	533	458	320	227	209
Brésil-G	CER	615	527	541	476	370	331	307
	CCL	541	355	372	325	250	259	198

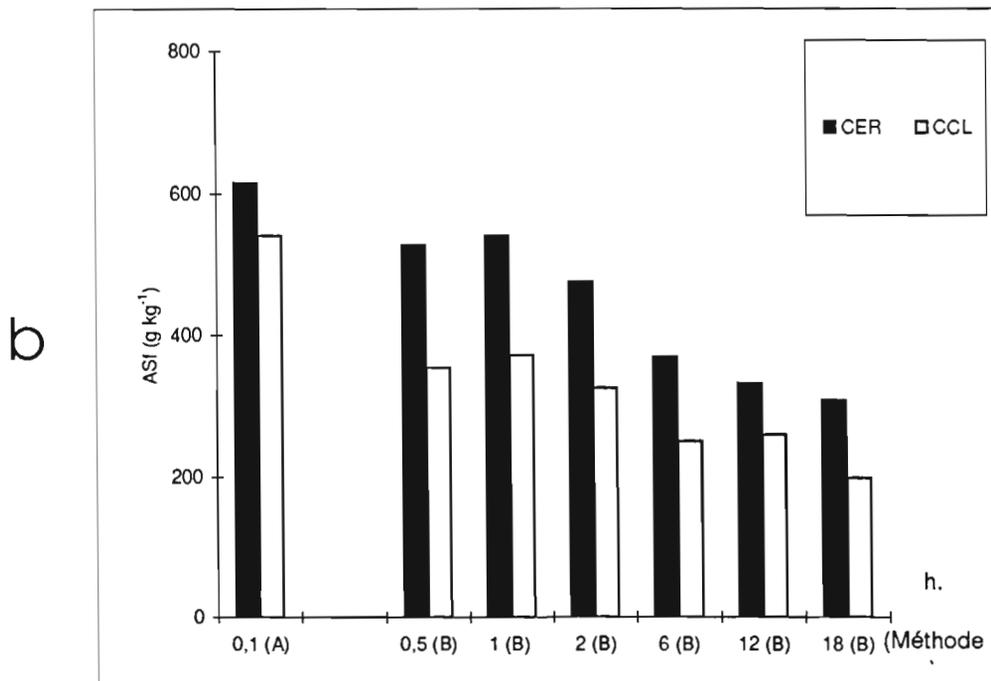
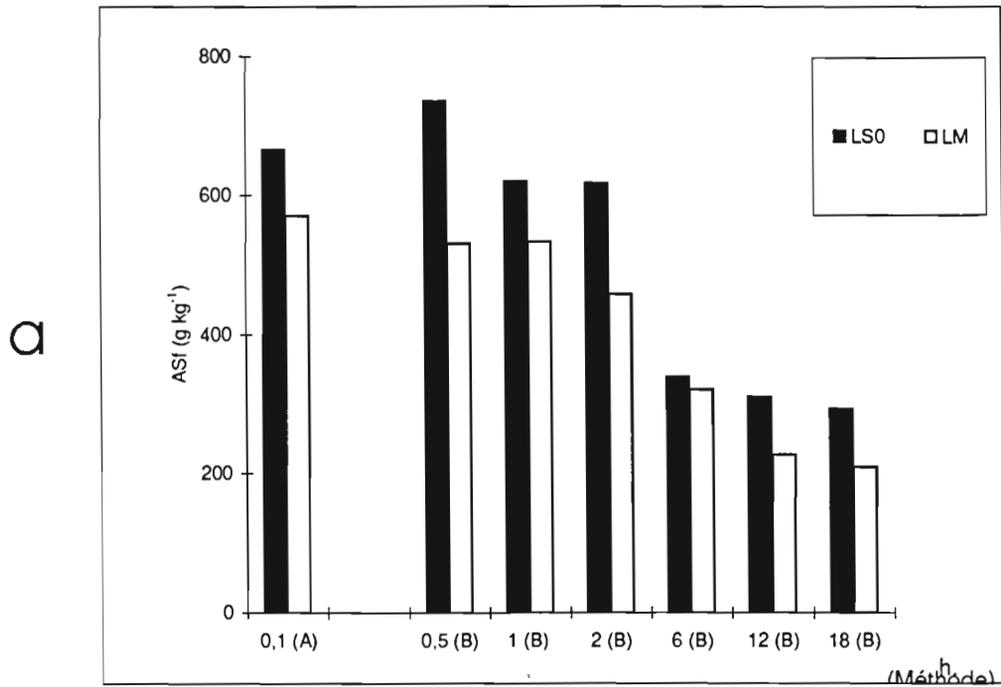


Figure - Annexe II. 2 - Comparaison des méthodes A et B : effet de la durée (h) et du mode d'agitation sur le taux des macroagrégats stables ASf (g kg⁻¹) de sols du Congo (a), du Brésil (b).

Annexe III : Article Kouakoua *et al.* 1997.

La matière organique soluble à l'eau chaude et la stabilité de l'agrégation. Aspects méthodologiques et application à des sols ferrallitiques du Congo

E. KOUAKOUA, G.-H. SALA, B. BARTHÈS, M.-C. LARRE-LARROUY, A. ALBRECHT
& C. FELLER¹

*Laboratoire d'étude du Comportement des Sols Cultivés (LCSC), ORSTOM, BP 5045, 34032
Montpellier Cedex 1, France.*

Article publié dans *European Journal of Soil Science*, 48, 239-247.

Résumé

La stabilité de la structure des horizons de surface et de profondeur de sols ferrallitiques du Congo est étudiée en fonction du mode de gestion des terres et de la teneur en carbone organique total des échantillons. Le rôle du carbone soluble à l'eau chaude dans l'agrégation est apprécié à partir de deux approches expérimentales, impliquant des extractions après chauffage en étuve ou en autoclave. Pour ce faire, des comparaisons sont faites entre les taux des macroagrégats stables (> 200 µm) à l'eau froide et à l'eau chaude.

Les résultats indiquent que les situations culturales étudiées induisent des variations significatives des teneurs en carbone total. Le taux des macroagrégats stables à l'eau froide est très fortement corrélé aux teneurs en carbone total et en carbone solubilisé à l'eau chaude. Toutefois, les taux des macroagrégats stables obtenus avant et après extraction du carbone à l'eau chaude ne sont pas significativement différents, ce qui peut remettre en question les résultats sur la

¹Correspondance : C. Feller. E - mail : feller@orstom.rio.net

fonction agrégeante des matières organiques solubles, déduits des seules approches statistiques.

Hot-water soluble organic matter and aggregate stability. Methodological aspects and application to ferrallitic soils of the Congo

Summary

The structural stability of surface and deeper horizons of ferrallitic soils of the Congo was studied in relation to the land use and the total organic carbon content of the samples. The role of hot-water soluble carbon in aggregation was assessed with two experimental approaches, one by heating in an oven and the other in an autoclave under pressure. The proportion of aggregates ($> 200 \mu\text{m}$) stable in cold water were compared with that of macroaggregates stable in hot water.

Cropping situations under study induced significant variations in total carbon content. Aggregate stability was highly correlated with both soluble and total carbon contents. However, amounts of water-stable aggregates obtained before and after solubilization of organic matter in hot water were not significantly different. This result would infirm the supposed aggregating role of soluble organic matter, inferred from statistical data only.

Introduction

Dans les sols tropicaux, la matière organique joue un rôle essentiel en ce qui concerne la stabilité de l'agrégation, et donc de nombreuses propriétés physiques. C'est ainsi que la dégradation physique des sols, souvent observée après défrichage et mise en culture, est attribuée en grande partie aux diminutions des teneurs en matière organique des horizons de surface (Feller *et al.*, 1996). Toutefois, la stabilité structurale serait liée de façon plus étroite à certaines formes de carbone, en particulier les polysaccharides. En effet, ceux-ci répondent quantitativement plus rapidement aux changements des pratiques agricoles que le carbone total (Angers & Mehuys, 1989 ; Haynes & Swift, 1990 ; Haynes & Francis, 1993 ; Angers *et al.*, 1993 a,b). Les polysaccharides agiraient comme des 'glus' au sein des agrégats de sol

(Cheshire, 1979 ; Tisdall & Oades, 1982), et auraient souvent un caractère transitoire (Monnier, 1965 a, b ; Tisdall & Oades, 1982).

Des travaux récents insistent sur le rôle spécifique que l'on pourrait attribuer aux carbohydrates solubles à l'eau chaude sur la stabilité de la structure (Haynes & Swift, 1990 ; Haynes & Francis, 1993 ; Angers *et al.*, 1993 b ; Gijsman & Thomas, 1995).

Ainsi, Haynes & Swift (1990), Haynes *et al.* (1991), Haynes & Francis (1993) et Angers *et al.* (1993 b) montrent que : (i) la stabilité de l'agrégation est plus fortement corrélée avec la teneur en carbohydrates solubles à l'eau chaude qu'avec celles en carbone organique total (Ct), en carbone acido-hydrolysable (HCl) ou en carbohydrates extractibles par l'acide chlorhydrique ou par la soude ; (ii) même lorsque les sols n'induisent pas de variations significatives des teneurs en carbone total, les variations observées pour les carbohydrates solubles pourraient expliquer les variations de stabilité structurale. Ces auteurs concluent que la fraction de carbohydrates extractibles à l'eau chaude pourrait jouer un rôle important dans la formation des agrégats stables.

Selon Haynes & Swift (1990) ; Haynes *et al.* (1991) ; Angers *et al.* (1993 a, b) ; Haynes & Francis (1993) et Gijsman & Thomas (1995) la fraction de carbohydrates solubles à l'eau chaude représenterait une fraction importante (environ 20 à 60 %) du carbone soluble à l'eau chaude. Ceci incite donc à étudier plus particulièrement le rôle, peu étudié jusqu'à présent, du carbone soluble à l'eau chaude dans la stabilité structurale.

Cette étude est appliquée à des sols argileux tropicaux, et concerne plus particulièrement des sols ferrallitiques de la Vallée du Niari, au Congo. Diverses recherches ont déjà mis en évidence l'effet de la mise en culture de ces sols et des diminutions des stocks organiques qui en résultent sur la diminution de la stabilité structurale (Martin, 1963) et de la porosité (Mapangui, 1992).

L'objectif de ce travail est donc : (i) d'évaluer l'intérêt de divers modes d'extraction du carbone soluble à l'eau chaude pour l'étude de la stabilité structurale, (ii) de tester le rôle de la matière organique soluble à l'eau chaude comme fraction agrégeante.

Matériel et méthodes

Situations étudiées

Les échantillons des sols ferrallitiques argileux (400-700 g kg⁻¹ d'argile dans l'horizon 0-10 cm) fortement désaturés du Congo proviennent de la Vallée du Niari. Pour la comparaison, des échantillons de sols ferrallitiques sableux (< 100 g kg⁻¹ d'argile dans l'horizon 0-10 cm) du Plateau Mbé-Batéké seront également utilisés.

Pour les sols argileux de la Vallée du Niari, six situations ont été sélectionnées sur deux sites :

- à Loudima (L), une savane-jachère de plus de 20 ans sur laquelle quatre prélèvements ont été effectués (LS0 : 0-10 cm, LS15 : 10-20 cm, LS30 : 25-35 cm et LS150 : 150-160 cm de profondeur), une jachère naturelle de 4 ans après culture (LJ : 0-10 cm), une parcelle sous culture intensive et mécanisée de canne à sucre depuis 15 ans (LC : 0-10 cm), une parcelle sous culture de manioc depuis 20 ans (LM : 0-10 cm) ;
- à Mantsoumba (M), une savane-jachère de 17 ans (MS : 0-10 cm), et une parcelle sous culture intensive et mécanisée de manioc depuis 17 ans (MM : 0-10 cm).

Pour les sols sableux du plateau de Mbé-Batéké, deux situations ont été sélectionnées : une savane naturelle (BS : 0-10 cm) et une parcelle sous culture intensive de manioc de 1.5 ans (BM : 0-10 cm).

Les caractéristiques générales des échantillons sont résumées dans le Tableau 1.

Les échantillons sous savane sont pauvres en bases échangeables (0.2 à 1.8 cmol (+) kg⁻¹ sol), mais les valeurs sont plus importantes sous culture ou jachère par suite de l'apport d'amendements calciques. Ces sols présentent des pH acides à faiblement acides (4.3 à 6.0). Les teneurs en C organique total varient de 6 à 36 g kg⁻¹ sol, celles en Fe-CBD de 6 à 36 g kg⁻¹ sol. La teneur en argile + limons fins totaux (0-20 µm) varie de 620 à 850 g kg⁻¹ sol pour les échantillons argileux, elle est de 75 g kg⁻¹ sol pour les échantillons sableux.

Stabilité structurale

Deux méthodes ont été mises en oeuvre, l'une par agitation verticale (méthode A) adaptée de la méthode de Kemper & Rosenau (1986), l'autre (méthode B) basée sur des agitations rotatives selon Albrecht *et al.* (1992).

Méthode A. (a) Protocole sans extraction à l'eau chaude. Quatre grammes d'échantillon séché à l'air et tamisé à 2 mm sont directement pesés dans un tamis à maille 200 μm , puis immergés pendant 30 min dans 100 ml d'eau déminéralisée. Le tamis est ensuite agité dans l'eau pendant 6 minutes au moyen d'un agitateur vertical à mouvement alternatif (1.3 cm d'amplitude verticale, 35 cycles par min), ce qui provoque un tamisage de l'échantillon dans l'eau. La fraction restant sur le tamis (nommée F200) est séchée à l'étuve et pesée : elle représente la fraction "macroagrégats stables (AS) + sables grossiers (SG)". Elle est ensuite tamisée à nouveau pendant 30 min dans NaOH (0.05 M), avec forçage manuel. La nouvelle fraction $> 200 \mu\text{m}$ obtenue après séchage et pesée constitue la "fraction sables grossiers" (SG). Le "taux de macroagrégats stables à l'eau froide" (ASf) est défini par la différence (F200 - SG). Sur le matériau passé à travers le tamis de 200 μm lors du premier tamisage dans l'eau, la teneur en "fraction dispersée" 0-20 μm F_d est déterminée par la méthode de la pipette Robinson (Rouiller *et al.*, 1994). La teneur en agrégats de taille 20-200 μm (Ag20) est calculée par la différence $\text{Ag}20 = 100 - \text{F}200 - F_d$. Tous les résultats pondéraux sont exprimés en g kg^{-1} du sol total séché à 105°C.

(b) Protocole avec extraction à l'eau chaude. Quatre grammes d'échantillon 0-2 mm sont directement pesés dans le tamis, puis immergés dans un bécher contenant 100 ml d'eau déminéralisée. L'ensemble bécher + eau + tamis est ensuite placé, soit à l'étuve à 90°C (pression atmosphérique), soit à l'autoclave à 120°C sous une pression de 100 kPa pendant un temps variable. Après refroidissement, les macroagrégats stables à l'eau chaude après étuve (ASe) ou autoclave (ASa) sont mesurés comme précédemment.

Des résultats préliminaires (non présentés ici) ont montré la nécessité d'éviter, tout au long de l'expérimentation, les transferts de tamis à bécher ou l'inverse, car même avec précaution, ces transferts provoquent des diminutions notables des taux des macroagrégats stables.

Méthode B. Cette méthode est adaptée de Albrecht *et al.* (1992). Les échantillons de sol tamisé à 2 mm (35 g pour chaque agitation) sont d'abord immergés pendant 16 heures dans 200 ml d'eau déminéralisée. Ils sont ensuite agités (agitation rotative à 30 tours/minute) pendant des durées croissantes (0.5 - 1 - 2 - 12 et 18 heures). Les fractions obtenues sont séchées à 40 °C puis pesées.

Analyses physico-chimiques

L'analyse granulométrique est effectuée par la méthode à la pipette de Robinson. Les teneurs totales en carbone (Ct) et azote (Nt) sont mesurées par un auto-analyseur CHN LECO-600. Les sols étant non carbonatés, le carbone total représente le carbone organique. Le carbone solubilisé par l'extraction à l'eau chaude est dosé, après refroidissement, sur le filtrat obtenu après centrifugation à 18 000 g et filtration. Les teneurs en C organique soluble (Cs) des extraits eau chaude sont mesurées par un auto-analyseur Shimadzu TOC 5000.

Le pH-eau est déterminé pour un rapport sol : solution de 1 : 2.5. La capacité d'échange cationique (CEC) et les teneurs en base échangeables (BE) sont déterminées au pH du sol par la méthode au chlorure de cobaltihexamine (Fallavier *et al.*, 1985). La teneur en oxyde de fer cristallisé est déterminée par extraction au réactif CBD de Mehra-Jackson (citrate-bicarbonate-dithionite de sodium) selon le protocole décrit dans Rouiller *et al.* (1994).

Toutes les mesures font l'objet d'au moins trois répétitions.

Résultats méthodologiques

Afin de choisir un protocole général pour la mesure des stabilités structurales et de l'extraction du carbone soluble, quelques recherches méthodologiques ont été effectuées.

Les résultats sont schématisés sur les Fig. 1 et 2a.

Comparaison des méthodes A (agitation 6 min) et B (agitations variables de 0.5 à 18 h) pour la mesure de la stabilité structurale. Pour les trois échantillons LS0, LJ et LM, la Fig. 1

représente les taux des macroagrégats stables à l'eau froide (ASf) en fonction des durées d'agitation. On constate que :

- la méthode B est "plus destructive" que la méthode A pour des durées d'agitation supérieures à 2 h ;
- toutefois, même dans ces conditions plus énergiques ($t \geq 2$ h), l'ordre des échantillons, classés selon leurs stabilités structurales, obtenu par la méthode B reste identique à celui obtenu par la méthode A.

Ainsi, même pour ces sols à forte stabilité structurale, la méthode A est suffisante pour discriminer l'effet des différents modes de gestion des terres sur la stabilité de la structure. Elle sera donc la seule commentée dans la suite de ce travail.

Effet du mode et de la durée de l'extraction à l'eau chaude sur les quantités de carbone solubilisé et le taux des macroagrégats stables .

La Fig. 2a représente les taux de carbone soluble en fonction du temps d'extraction à l'eau chaude, en étuve ou en autoclave, pour l'échantillon LS0. On constate que :

- tant à l'étuve qu'à l'autoclave, les quantités de carbone extrait augmentent avec la durée d'extraction. On notera toutefois qu'à 16 h le C soluble n'a pas encore atteint une valeur maximale. Dans ces conditions, il est difficile de privilégier une durée d'extraction. Les données recueillies dans la littérature (Tableau 2) montrent que les durées et températures d'extraction des matières organiques solubles à l'eau chaude varient selon les auteurs respectivement de 8 à 16 h, et de 80 à 90 °C. Aussi avons nous étudié l'évolution du taux des macroagrégats stables à l'eau chaude en étuve (ASe) et en autoclave (ASa) en fonction des mêmes durées d'extraction (Fig. 2b). On constate que :
- les taux des macroagrégats stables à l'eau chaude en autoclave et en étuve ne sont pas significativement différents (au seuil de 5 %),
- la durée de l'extraction n'a que peu d'effet sur les taux d'agrégats stables AS, alors que le C soluble en autoclave et étuve (Csa et Cse) augmentent continûment (Fig. 2a).

Les quantités croissantes de C soluble extrait ayant peu d'effet sur les stabilités structurales, l'extraction à l'étuve (température 90°C constante) pendant une heure (non comprise la montée en température de l'étuve, qui dure environ 40 min) a donc été choisie pour la suite de ce travail.

En conclusion de cette approche méthodologique, on a choisi la méthode A (0.1 h) pour l'étude de la stabilité structurale et une extraction de 1 h à l'eau chaude en étuve pour l'étude du carbone solubilisé.

Autres résultats

Gestion des terres, matière organique totale et soluble et stabilité de la structure de sols ferrallitiques du Congo.

Effet de la profondeur et du mode de gestion sur la stabilité de la structure. Nous avons évalué les effets de la profondeur du sol prélevé, du mode gestion des terres et des teneurs en carbone total et soluble sur les taux des macroagrégats stables mesurés selon le protocole retenu (méthode A). Les résultats sont détaillés dans le Tableau 3.

Pour les échantillons de surface des sols ferrallitiques argileux de la Vallée du Niari les taux des macroagrégats stables (LS0, MS, LJ, LC, LM, MM) sont importants, compris entre 570 et 750 g kg⁻¹ sol (Fig. 3). Les situations de savane (LS0 et MS) correspondent aux stabilités structurales maximales ; elles sont significativement plus grandes ($P < 0.05$) que celles relevées sous cultures de longue durée de manioc (LM et MM), qui présentent les valeurs minimales. Des taux intermédiaires sont relevés pour la jachère de 4 ans (LJ) et la culture de canne à sucre (LC), mais ils ne diffèrent pas significativement de celui sous savane (LS0). Par ailleurs, les taux des macroagrégats stables AS diminuent de la surface (LS0) à la profondeur (LS150), en relation avec la diminution des teneurs en C total.

Les taux des macroagrégats stables des échantillons sableux (BS et BM) sont nettement plus faibles que ceux des échantillons argileux, et sont compris entre 280 et 310 g kg⁻¹ sol. Ils sont plus élevés sous savane que sous culture, mais la différence n'est pas significative.

Pour les échantillons argileux, les taux d'argile + limons fins dispersés ($< 20 \mu\text{m}$, F_d) sont très faibles, compris entre 7 et 66 g kg⁻¹ sol (Tableau 3), alors que l'analyse mécanique révèle des teneurs en argile et limon fin totaux (F_t) d'environ 800 g kg⁻¹ sol, soit un indice de dispersion $D = F_d / F_t$ inférieur à 0.084 (échantillon LC). Pour les échantillons sableux, les taux d'éléments fins dispersés sont faibles (6 g kg⁻¹ sol) avec $D = 0.08$. Pour ces sols

ferrallitiques à textures contrastées, le processus de désagrégation est donc dominé beaucoup plus par le phénomène d'éclatement que par le phénomène de dispersion.

Relations statistiques entre taux des macroagrégats stables et teneurs en carbone total (Ct) et soluble (Cs). Pour l'ensemble des échantillons argileux (surface et profondeur, $n = 9$), parmi toutes les variables testées (C, F_t , F_d , BE, CEC), le carbone détermine la variation de la stabilité de l'agrégation dans ces sols. Le taux des macroagrégats stables (ASf) est corrélé positivement aux teneurs en Ct ($r = 0.86$) et Cs ($r = 0.88$). Les équations et les droites de regression linéaires sont rapportées sur la Figure 4.

Par ailleurs, le coefficient de corrélation entre le C total (Ct) et le C soluble (Cs) est nettement plus faible ($r = 0.77$) que ceux entre le taux des macroagrégats stables (ASf) et le C total ou le C soluble. Ceci pourrait indiquer que le C soluble intervient sur le taux des macroagrégats stables indépendamment de C total.

Effet de l'extraction à l'eau chaude sur la stabilité de l'agrégation. Afin d'analyser directement le rôle des matières organiques solubles dans la stabilité de l'agrégation, le taux des macroagrégats stables a été mesuré sur l'échantillon de sol après extraction à l'eau chaude. La Fig. 3 montre que l'extraction à l'eau chaude n'induit aucune variation significative des taux de macroagrégats stables, ceux-ci après extraction à l'eau chaude étant peu différent de ceux obtenus après extraction à l'eau froide seule. Quelques variations significatives apparaissent pour les taux d'argile + limons fins F_d (Tableau 3), mais toujours faibles en valeur absolue, et sans qu'une différence systématique puisse être décelée.

Discussion et conclusions

Les sols ferrallitiques argileux du Congo ont une forte stabilité structurale naturelle due à leur teneur assez importante en oxydes de fer, comme cela a été maintes fois signalé pour d'autres sols ferrallitiques (Oades & Waters, 1991). Néanmoins, le mode de gestion des terres exerce un effet sensible sur le niveau de la stabilité structurale des horizons de surface (Martin, 1963), et la méthode de Kemper & Rosenau (1986) utilisée ici, relativement douce, semble suffisamment efficace pour le tester. En effet, elle permet de montrer pour les sols étudiés que : (i) la variation de la stabilité de la structure est liée à la variation de la teneur en carbone du

sol ; (ii) le processus de désagrégation est dû pour l'essentiel aux phénomènes d'éclatement et peu aux processus de dispersion. Ces derniers résultats sont en accord avec ceux de Gijsman & Thomas (1995) pour des oxisols sous pâturages en Colombie.

Comme indiqué dans l'introduction, le débat reste ouvert sur les formes de matière organique intervenant dans la stabilisation de l'agrégation. Compte tenu de divers résultats récents de la littérature, on s'est intéressé plus particulièrement à la matière organique soluble à l'eau chaude, et quelques aspects méthodologiques ont été préalablement étudiés.

Les travaux méthodologiques montrent que les quantités de carbone soluble à l'eau chaude (Cs) dépendent du protocole d'extraction. Pour l'échantillon de savane LS0, C soluble augmente avec la durée d'extraction : de 2.6 à 5.4 % de C total en étuve, de 3.4 à 12.9 % en autoclave. Peu de travaux rapportent des recherches méthodologiques sur les modalités de l'extraction des matières organiques solubles à l'eau chaude, même si cette approche a été utilisée dans des études sur le carbone et l'azote facilement minéralisables (Keeney & Bremner, 1966 ; Jenkinson, 1968 ; Körschens *et al.*, 1984), sur la disponibilité de nutriments minéraux (Füleky & Czinkota, 1993), sur la caractérisation des polysaccharides (Cheshire, 1979) ou sur la recherche de compartiments organiques agrégeants (Haynes & Swift, 1990 ; Haynes *et al.*, 1991 ; Angers *et al.*, 1993 a, b ; Degens *et al.*, 1994). Stephan (1984) & Stephan & Jocteur-Monrozier (1984) ont aussi montré que l'extraction en autoclave sous pression conduit à une solubilisation plus importante du C que celle menée sous pression atmosphérique, et que le taux d'extraction augmente avec la durée de l'extraction. L'extraction sous pression atmosphérique est généralement privilégiée pour les extractions du carbone ou des carbohydrates solubles à l'eau chaude. Pour les sols agricoles des régions tempérées ou froides, les travaux antérieurs rapportent des teneurs relatives en C soluble de 1 à 5 % du carbone total (Feller, 1995 ; Leinweber *et al.*, 1995), de même ordre de grandeur que les valeurs déterminées ici pour des sols tropicaux.

L'étude statistique entre C soluble et macroagrégats stables (ASf) met en évidence une relation hautement significative entre ces deux variables, avec un coefficient de corrélation légèrement supérieur à celui obtenu avec le C total. Ces résultats vont dans le même sens que ceux de Haynes & Swift (1990) ; Haynes *et al.*, (1991) qui, en déterminant les teneurs en carbohydrates solubles à l'eau chaude, trouvent pour des sols de la Nouvelle-Zélande, des corrélations significatives entre la stabilité de l'agrégation et les teneurs en carbone total d'une part, la stabilité de l'agrégation et les carbohydrates solubles d'autre part. Dans d'autres cas, même lorsque des corrélations significatives entre la stabilité de l'agrégation et le carbone

total ne sont pas observées, certains auteurs ont pu mettre en évidence des corrélations significatives entre la stabilité de l'agrégation et les carbohydrates solubles à l'eau chaude (Angers *et al.*, 1993b ; Haynes & Francis, 1993). Les extraits à l'eau chaude étant généralement fortement enrichis en carbohydrates par rapport à la matière organique totale du sol (environ 20 à 60 %), on peut espérer que le carbone total solubilisé permette de refléter les mêmes effets que ceux déterminées par la mesure des seules carbohydrates solubles. Par contre, il est difficile de tester l'effet direct de la fraction carbohydrate soluble sur la stabilité de l'agrégation, alors qu'il est possible de le faire en considérant la totalité du C soluble à l'eau chaude. C'est ce que nous avons fait en comparant la stabilité de l'agrégation des échantillons avant et après extraction à l'eau chaude.

Nos résultats indiquent que, pour tous les échantillons étudiés, les taux des macroagrégats stables obtenus *après* extraction à l'eau chaude (ASe) ne diffèrent pas significativement de ceux des échantillons *avant* extraction (ASf). Ce résultat est renforcé par le fait que, pour un échantillon donné, le taux des macroagrégats stables obtenu après extraction à l'eau chaude ne varie pas significativement avec la durée de l'extraction, donc avec des quantités croissantes de carbone soluble extrait.

Pour ces sols ferrallitiques du Congo, le carbone soluble à l'eau chaude ne constituerait donc pas une fraction agrégante. Ceci met en évidence la nécessité de ne pas attribuer, à partir des seuls résultats statistiques, des relations causales entre une fraction organique donnée et la stabilité de la structure. La mesure de l'effet "direct" de la fraction organique testée est indispensable. Ces recherches doivent maintenant être poursuivies pour d'autres types de sols tropicaux, afin de confirmer ou infirmer ces premiers résultats.

Remerciements

Nous remercions les lecteurs de cette revue pour leurs critiques et conseils.

Références bibliographiques

Albrecht, A., Rangon, L. & Barret, P. 1992. Effet de la matière organique sur la stabilité structurale et la détachabilité d'un vertisol et d'un ferrisol (Martinique). *Cahiers ORSTOM, série Pédologie*, **27**, 121-133.

- Angers, D.A., Bissonnette, N., Légère, A. & Samson, N. 1993a. Microbial and biochemical changes induced by rotation and tillage in a soil under barley production. *Canadian Journal of Soil Science*, **73**, 39-50.
- Angers, D.A., Samson, N. & Légère, A. 1993b. Early changes in water-stable aggregation induced by rotation and tillage in a soil under barley production. *Canadian Journal of Soil Science*, **73**, 51-59.
- Angers, D.A. & Mehuys, G.R. 1989. Effets of cropping on carbohydrate content and water-stable aggregation of a clay soil. *Canadian Journal of Soil Science*. **69**, 373-380.
- Cheshire, M.V. 1979. *Nature and origin of carbohydrates in soils*. Academic Press, London.
- Degens, B.P., Sparling, G.P. & Abbott, L.K. 1994. The contribution from hyphae, roots and organic carbon constituents to the aggregation of a sandy loam under long-term clover-based and grass pastures. *European Journal of Soil Science*, **45**, 459-468.
- Fallavier, P., Babre, D. & Breysse, M. 1985. Détermination de la capacité d'échange cationique des sols tropicaux acides. *L'Agronomie Tropicale*, **40**, 298-308.
- Feller, C. 1995. La matière organique dans les sols tropicaux à argile 1:1. Recherche de compartiments organiques fonctionnels. Une approche granulométrique. Collection Thèses et Documents Microfichés -ORSTOM, n° 144.
- Feller, C., Albrecht, A. & Tessier, D. 1996. Aggregation and organic matter storage in kaolinitic and smectitic tropical soils. In: *Structure and Organic Matter Storage in Agricultural Soils*, (eds M.R. Carter & B.A. Stewart), pp. 309-359. CRC Press, Inc., Boca Raton.
- Füleky, G. & Czinkota, I. 1993. Hot water percolation (HWP), a new rapid soil extraction method. *Plant and Soil*, **157**, 131-135.
- Gijsman, A.J. & Thomas, R.J. 1995. Aggregate size distribution and stability of an oxisol under legumes-based and pure grass pastures in eastern Columbian savannas. *Australian Journal of Soil Research*, **33**, 153-165.
- Haynes, R.J. & Francis, G.S. 1993. Changes in microbial biomass C, soil carbohydrate composition and aggregate stability induced by growth of selected crop and forage species under field conditions. *Journal of Soil Science*, **44**, 665-675.
- Haynes, R.J. & Swift, R.S. 1990. Stability of soil aggregates in relation to organic constituents and soil water content. *Journal of Soil Science*, **41**, 73-83.

- Haynes, R.J., Swift, R.S. & Stephen, R.C. 1991. Influence of mixed cropping rotations (pasture - arable) on organic matter content, water-stable aggregation and clod porosity in a group of soils. *Soil and Tillage Research*, **19**, 77-87.
- Jenkinson, D.S. 1968. Chemical tests for potentially available nitrogen in soil. *Journal of Science and Food Agriculture*, **19**, 160-168.
- Keeney, D.R. & Bremner, J.M. 1966. A chemical index of soil nitrogen availability. *Nature*, **211**, 892-893.
- Kemper, W.D. & Rosenau, R.C. 1986. Aggregate stability and size distribution. In: *Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods*, 2nd edn (ed. A. Klute), pp. 425-442. Agronomy Monographs, American Society of Agronomy, Madison, WI.
- Körschens, M., Schulz, E. & Behm, R. 1984. Heisswasserlöslicher C und N im Boden als Kriterium für das N-Nachlieferungsvermögen. *Zentralblatt für Mikrobiologie*, **145**, 305-311.
- Leinweber, P., Schulten, H.-R. & Körschens, M. 1995. Hot water extracted organic matter: chemical composition and temporal variations in a long-term field experiment. *Biology and Fertility of Soils*, **20**, 17-23.
- Mapangui, A. 1992. *Etude de l'organisation et du comportement des sols ferrallitiques argileux de la vallée du Niari (Congo). Conséquence sur l'évolution physique sous culture de manioc en mécanisé depuis 15 ans*. Thèse, Université P. et M. Curie, Paris.
- Martin, G. 1963. Dégradation de la structure des sols sous culture mécanisée dans la vallée du Niari. *Cahiers ORSTOM, série Pédologie*, **2**, 8-14.
- Monnier, G. 1965a. Action des matières organiques sur la stabilité structurale des sols. Première partie. *Annales agronomiques*, **16**, 327-400.
- Monnier, G. 1965b. Action des matières organiques sur la stabilité structurale des sols. Deuxième partie. *Annales agronomiques*, **16**, 471-534.
- Oades, J.M. & Waters, A.G. 1991. Aggregate hierarchy in soils. *Australian Journal of Soil Research*, **29**, 815-828.
- Rouiller, J., Souchier, B., Bruckert, S., Feller, C., Toutain, F. & Vedy, J.C. 1994. Méthodes d'analyses des sols. In: *Pédologie 2. Constituants et propriétés du sol*, 2nd edn (eds M. Bonneau & B. Souchier), pp. 623-631. Masson, Paris.
- Stephan, C. 1984. *Matières organiques de quatre sédiments marins récents, caractérisation et essai d'interprétation en fonction de l'environnement sédimentaire*. Thèse, Université de Nancy-1.

Stephan, C. & Jocteur Monrozier, L. 1984. Etude de l'humine de sédiments marins récents, solubilisation de la matière organique par l'eau sous pression (autoclavage). *Comptes Rendus à l'Académie des Sciences de Paris*, **299** (8), 475-480.

Tisdall, J.M. & Oades, J.M. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science*, **33**, 141-163.

Légendes des tableaux et des figures. Tables and figures captions

Tableau 1. Quelques caractéristiques analytiques des échantillons de sols étudiés.

Table 1. Analytical characteristics of the selected soils.

Tableau 2. Durées et températures d'extraction à l'eau chaude citées dans la littérature.

Table 2. Durations and temperatures of hot water extraction quoted in literature.

Tableau 3. Données concernant la teneur en carbone total (Ct), en carbone solubilisé (Cse) et la stabilité de l'agrégation sans (a) et avec (b) extraction à l'eau chaude (étuve).

Table 3. Data concerning total carbon (Ct) and solubilized carbon (Cse) contents and the stability of aggregation without (a) and with (b) extraction with hot water (oven).

Fig. 1. Effet de la durée et du mode d'agitation sur le taux des macroagrégats stables ASf : comparaison des méthodes A et B.

Fig. 1. Effect of duration and form of agitation on the content of water-stable macroaggregates ASf : comparison between methods A and B.

Fig. 2. Effets du mode et de la durée d'extraction à l'eau chaude sur les quantités de carbone solubilisé Cs et les taux des macroagrégats stables AS :

(a) Cs obtenus en étuve ou en autoclave (échantillon LS0) ;

(b) AS obtenus après extraction en étuve ou en autoclave (échantillon LS0).

Fig. 2. Effect of the duration and form of hot-water extraction on the contents of solubilized carbon Cs and water-stable macroaggregates AS :

(a) Cs obtained after extraction in an oven ("étuve") or under pressure ("autoclave") (LS0 sample) ;

(b) AS obtained after extraction in an oven or under pressure (LS0 sample).

Fig. 3. Variations des taux des macroagrégats stables AS avant (eau froide, ASf) et après (eau chaude, ASe) extraction à l'étuve.

Fig. 3. Variations of water-stable macroaggregate contents AS before ("eau froide", ASf) and after ("eau chaude", Ase) extraction in an oven.

Fig. 4. Relations entre taux des macroagrégats stables à l'eau froide (ASf) et teneurs en carbone total (Ct) ou soluble à l'étuve (Cse) (sols argileux uniquement).

Fig. 4. Relationships between cold water-stable macroaggregates contents (ASf) and total carbon content (Ct) or hot-water soluble carbon content (Cse) (for clayey soils only).

Tableau 1. Quelques caractéristiques analytiques des échantillons de sols étudiés

Type de sol région	Situation	Symbole	Profondeur / cm	Fe-CBD	F _t	Ct	pH-eau	CEC	BE
				/ g kg ⁻¹ sol	/ g kg ⁻¹ sol	/ g kg ⁻¹ sol		/ cmol (+) kg ⁻¹ sol	/ cmol (+) kg ⁻¹ sol
<i>ferrallitique argileux</i> Niari-L	Savane	LS0	0 - 10	30	782	35,0	5,0	3,6	1,8
		LS15	10 - 20	nd	831	14,0	4,9	1,8	0,3
		LS30	20 - 40	31	851	10,5	5,0	1,7	0,3
		LS150	150 - 160	30	854	5,6	5,3	1,7	0,2
	Jachère 4 ans	LJ	0 - 10	32	743	36,4	5,5	9,3	9,2
	Manioc	LM	0 - 10	36	743	21,8	6,0	5,3	4,8
	Canne à sucre	LC	0 - 10	16	785	27,0	4,3	4,6	3,8
Niari-M	Savane	MS	0 - 10	34	629	42,5	5,0	7,6	5,1
	Manioc	MM	0 - 10	12	738	18,0	4,4	4,6	2,9
<i>ferrallitique sableux</i> Mbé-Batéké	Savane	BS	0 - 10	6	nd	16,6	4,9	0,8	0,5
	Manioc	BM	0 - 10	6	75	15,0	5,1	0,9	0,6

* nd, non déterminé ; Fe-CBD, fer extrait par le réactif citrate-bicarbonate-dithionite de sodium ; F_t, argile + limon fin ; CEC, capacité d'échange cationique ; BE, teneur en base échangeable ; Ct, teneur en carbone total ;

Tableau 2. Durées et températures d'extraction à l'eau chaude citées dans la littérature

Référence	Fraction dosée	Durée d'extraction / h	Température d'extraction / °C
Haynes & Swift (1990)	carbohydrates solubles	16	80
Angers <i>et al.</i> (1993 a, b)	carbohydrates solubles	24	85
Haynes & Francis (1993)	carbohydrates solubles	16	80
Gijsman & Thomas (1995)	carbohydrates solubles	8	80
Kouakoua <i>et al.</i> (cette étude)	carbone soluble	1,2,4,8 et 16	90

Tableau 3. Teneur en carbone total (Ct), en carbone solubilisé (Cse) et stabilité de l'agrégation sans (a) et avec (b) extraction à l'eau chaude (étuve).

Echantillon	Ct	Cse	fraction	a-Sans extraction eau chaude	b-Avec extraction eau chaude
	/ g kg ⁻¹ sol			m ± e.t. / g kg ⁻¹ sol	m ± e.t. / g kg ⁻¹ sol
<i>Sols argileux</i>					
LS0	35,0	0.9	SG (> 200)	38 ± 2	37 ± nd
			AS (> 200)	669 ± 5	667 ± 12
			20 - 200	238 ± 4	240 ± 11
			< 20	55 ± 1	56 ± 3
LS15	14.1	0.4	SG (> 200)	20 ± 2	28 ± nd
			AS (> 200)	605 ± 4	618 ± 5
			20 - 200	321 ± 2	312 ± 5
			< 20	54 ± 1	42 ± 1
LS30	10.5	0.3	SG (> 200)	24 ± 1	23 ± nd
			AS (> 200)	591 ± 2	601 ± 16
			20 - 200	365 ± 2	345 ± 16
			< 20	19 ± 1	32 ± 2
LS150	5.5	0.2	SG (> 200)	28 ± 1	23 ± nd
			AS (> 200)	496 ± 5	496 ± 4
			20 - 200	467 ± 6	465 ± 3
			< 20	9 ± 1	13 ± 1
LJ	36.4	0.4	SG (> 200)	29 ± 1	27 ± nd
			AS (> 200)	621 ± 14	582 ± 9
			20 - 200	309 ± 15	310 ± 8
			< 20	41 ± 1	81 ± 2
LM	21.8	0.5	SG (> 200)	27 ± 1	nd
			AS (> 200)	571 ± 8	nd
			20 - 200	353 ± 7	nd
			< 20	48 ± 3	nd
LC	27.0	0.8	SG (> 200)	25 ± 1	3 ± nd
			AS (> 200)	651 ± 14	599 ± 26
			20 - 200	258 ± 12	328 ± 24
			< 20	66 ± 2	43 ± 5
MS	42.5	0.9	SG (> 200)	93 ± nd	70 ± nd
			AS (> 200)	746 ± 9	754 ± 7
			20 - 200	154 ± 11	164 ± 11
			< 20	7 ± 1	11 ± 1
MM	18.0	0.6	SG (> 200)	32 ± nd	35 ± nd
			AS (> 200)	585 ± 12	599 ± 6
			20 - 200	365 ± 11	340 ± 3
			< 20	17 ± 1	25 ± 3
<i>Sols sableux</i>					
BS	16.6	0.6	SG (> 200)	273 ± 3	338 ± nd
			AS (> 200)	305 ± 9	316 ± 33
			20 - 200	416 ± 9	344 ± 49
			< 20	6 ± 0	2 ± nd
BM	14.9	0.5	SG (> 200)	291 ± 2	317 ± nd
			AS (> 200)	279 ± 12	290 ± 36
			20 - 200	425 ± 11	390 ± 40
			< 20	6 ± 0	3 ± 1

* nd, non déterminé ; m ± e.t., moyenne calculée à partir 3 à 4 répétitions par échantillon ± erreur type ; SG, sables grossiers ; AS, macroagrégats stables.

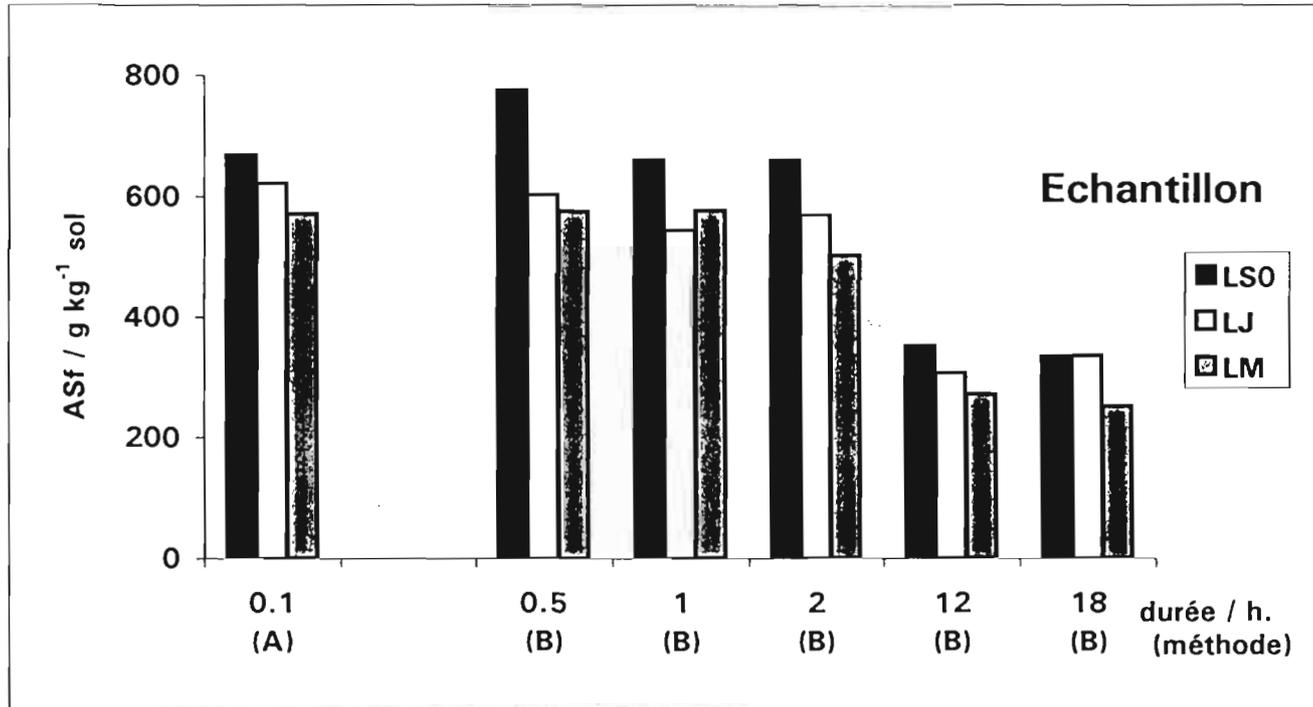


Fig I

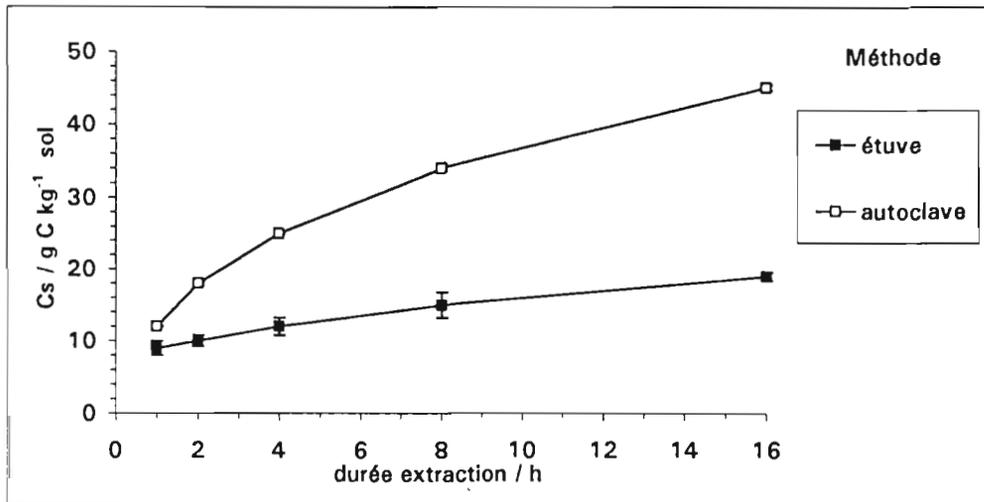
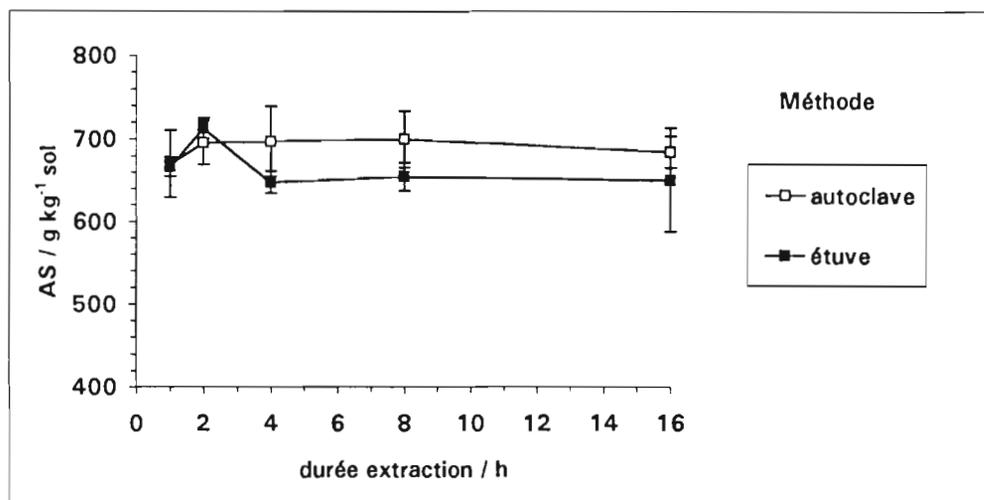
**a****b**

fig. II

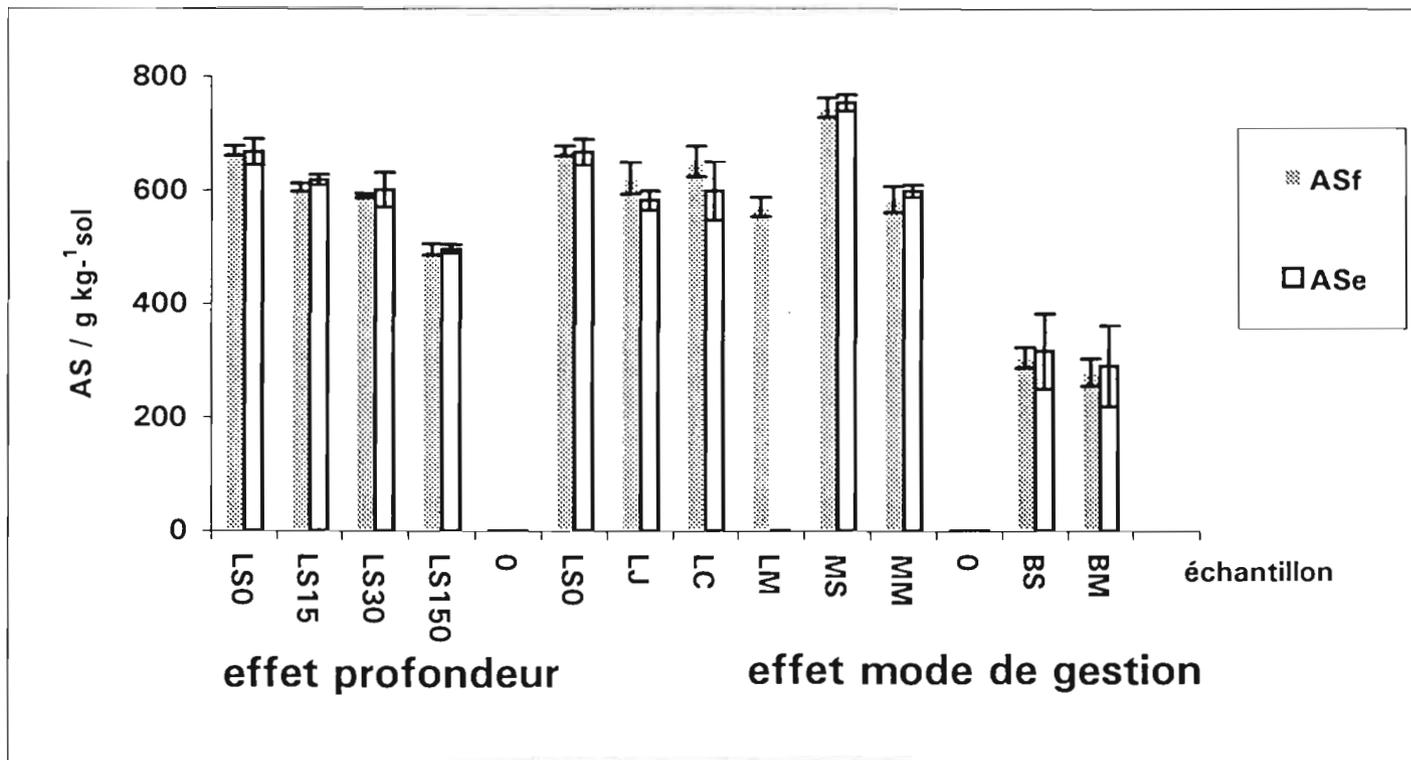


fig. III

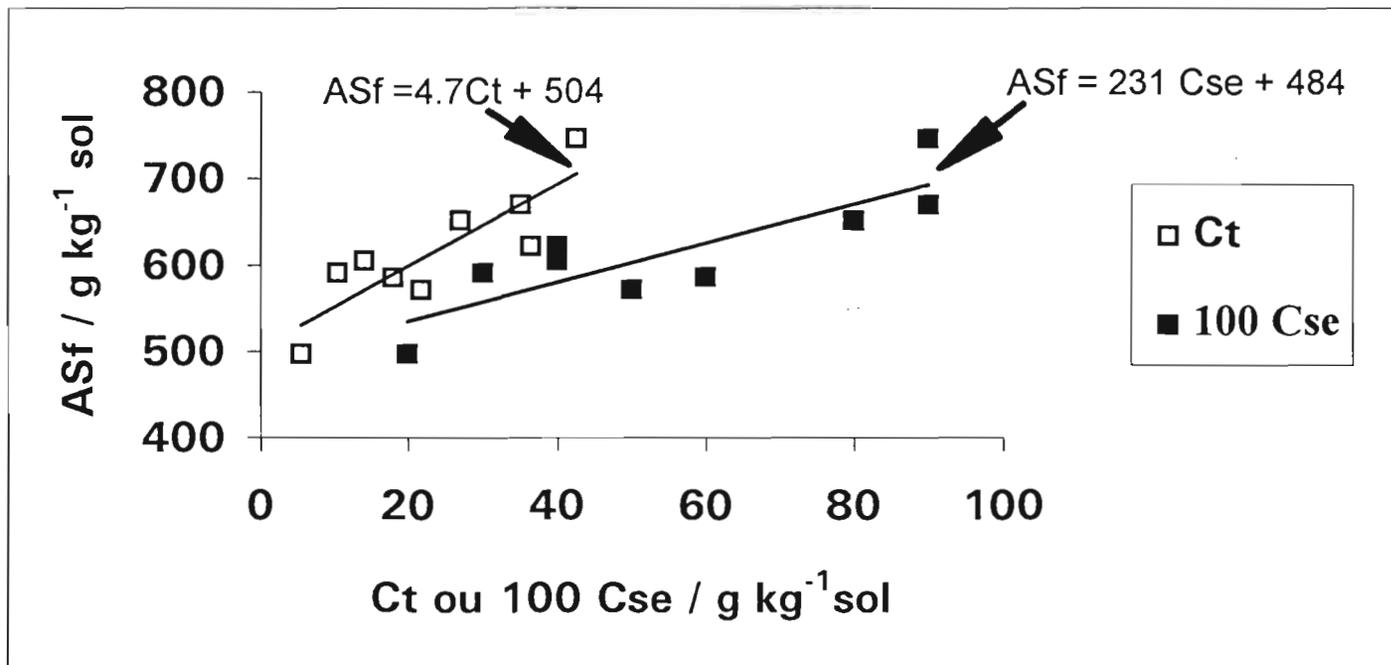


fig. IV

Annexe IV : Méthode d'analyse des sucres

Extraction des sucres

- Les sucres sont extraits par deux hydrolyses acides successives (H_2SO_4) suivant la technique préconisée par OADES *et al.* (1970) ; parmi les différentes méthodes d'extraction, celle-ci offre l'avantage d'extraire le maximum de sucres monomères tout en limitant leur dégradation.

- Mode opératoire :

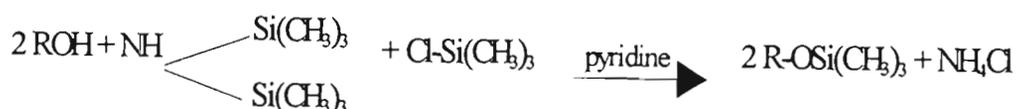
2 g d'échantillon sont mis en contact avec 5 ml de H_2SO_4 , 12 M. Après 16 heures à température ambiante et sous agitation, l'acide est dilué à 0,5 M ; le mélange est ensuite placé à reflux à $100^\circ C$ pendant 5 heures. En fin de traitement, la solution est filtrée et neutralisée avec $SrCO_3$. Elle est ensuite dosée par chromatographie en phase gazeuse après silylation.

Dosage des sucres

Méthode de dérivation :

La méthode utilisée a été décrite par LARRE-LARROUY & FELLER (1997).

Les réactifs de triméthylsilylation retenus sont : l'hexaméthylidisilazane (HMDS) et le triméthylchlorosilane (TMCS). La réaction de substitution peut être schématisée dans ces conditions, par :



Une partie aliquote de l'extrait résultant de l'hydrolyse acide est introduite dans un tube à vis, évaporée à sec (à l'évaporateur rotatif ou par lyophilisation) et laissée quelques jours au dessiccateur en présence de P_2O_5 . Le résidu est alors repris par le mélange :

0,5 ml de pyridine anhydre 0,1 ml de HMDS + 0,05 ml de TMCS

Après fermeture hermétique du tube, le mélange réactionnel est agité pendant 30 secondes puis est abandonné pendant une nuit à 4 °C avant d'être analysé.

Les sucres témoins (3 mg de chaque sucre) sont silylés de la même manière, par le mélange : 1 ml de pyridine + 0,1 ml de HMDS + 0,05 ml de TMCS. Nos échantillons étant dépourvus d'inositol, nous avons choisi cette substance pour servir d'étalon interne.

Séparation chromatographique :

La séparation a été effectuée sur un chromatographe DELSI-NERMAG DI 200 muni d'un injecteur split-splitless et d'un détecteur à ionisation de flamme, équipé d'une colonne capillaire DB-1 (30 m * 0,25 mm d.i. * 0,25 µm ép.).

La séparation est obtenue dans les conditions suivantes :

- Volume d'injection : 1 µl.
- Helium : 1,5 bar.
- Température de l'injecteur : 265°C.
- Température du détecteur : 250°C.
- Programmation de la température de 170°C à 230°C, à raison de 4°C/min.

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX
TABLE DES MATIÈRES

Listes des figures

Chapitre I

Figure I.1 - Localisation des situations étudiées

Figure I.2 - Cartes des situations du Congo

Figure I.3 - Quelques caractéristiques analytiques de profils du sol de Mantsoumba

Figure I.4 - Cartes des situations du Brésil

Figure I.5 - Carte pédologique de la Martinique et localisation du site de Galion (d'après ATLAS - Martinique, 1977)

Figure I.6 - - Quelques caractéristiques analytiques de profils du sol de Goiânia (Brésil)

Figure I.7 - - Quelques caractéristiques analytiques de profils du sol de Londrina (Brésil)

Chapitre II

Figure II.1 - Teneurs en carbone total Ct (a) et en carbone soluble à l'eau chaude Cs (b) en fonction du mode de gestion des terres

Figure II.2 - Teneurs en carbone des fractions sableuses (a), limoneuses (b) et argileuses © en fonction du mode de gestion des terres

Figure II.3 - Relations entre carbone et masse des fractions granulométriques des échantillons de sols étudiés

Figure II.4 - Rapports C/N des fractions granulométriques des échantillons de sols étudiés

Figure II.5 - Contenus en carbone organique des fractions sableuses (a), limoneuses (b) et argileuses (c) en fonction du mode de gestion des terres

Figure II.6 - Effets de mode de gestion des terres sur les variations relatives ΔC (%) et absolues ΔC (g kg^{-1} sol) du contenu en C de chaque fraction par rapport au contenu initial avec : $\Delta C \% = (C \text{ final} - C \text{ initial}) * 100$ et $\Delta C (\text{g kg}^{-1} \text{ sol}) = C \text{ final} - C \text{ initial}$

Chapitre III

Figure III.1 - Taux de macroagrégats stables à l'eau avant (AS) et après (ASe) traitement à l'eau chaude

Figure III.2 - Relations entre le taux de macroagrégats stables à l'eau (AS) et la teneur en carbone (Ct) ou soluble à l'eau chaude (Cs)

Chapitre IV

Figure IV.1 - Contenus en carbone organique des fractions sableuses (a), limoneuses (b) et argileuses (c) en fonction du mode de gestion des terres

Figure IV.2 - Variations des taux de macroagrégats stables à l'eau (AS) des sols étudiés

Figure IV.3 - Effets de mode de gestion des terres sur les variations relatives ΔC (%) et absolues ΔC (g kg^{-1} sol) du contenu en C de chaque fraction par rapport au contenu initial avec : $\Delta C \% = (C \text{ final} - C \text{ initial}) * 100$ et $\Delta C (\text{g kg}^{-1} \text{ sol}) = C \text{ final} - C \text{ initial}$

Figure IV.4 - Relation entre taux de macroagrégats stables à l'eau et contenus en carbone de la fraction sableuse (50-2000 μm)

Conclusions générales

Figure V.1 - Effets de mode de gestion des terres sur les variations relatives ΔC (%) et absolues ΔC (g kg^{-1} sol) du contenu en C de chaque fraction par rapport au contenu initial avec : $\Delta C \% = (C \text{ final} - C \text{ initial}) * 100$ et $\Delta C (\text{g kg}^{-1} \text{ sol}) = C \text{ final} - C \text{ initial}$

Figure V.2 - Relations entre taux en macroagrégats stables à l'eau AS et contenus en carbone total Ct (a), carbone soluble à l'eau chaude Cs (b), carbone des sucres totaux Cst (c), carbone de la fraction 50-2000 μm (d) et taux en macroagrégats stables après traitement à l'eau chaude ASe (e)

Annexe II

Figure-annexe II.1 - Taux de macroagrégats stables à l'eau par immersion (Asim) et par brumisation (Asbr)

Figure-annexe II.2 - Comparaison des méthodes A et B : effet de la durée (h) et du mode d'agitation sur le taux des macroagrégats stables ASf (g kg^{-1} sol) de sols du Congo (a), du Brésil (b)

Listes des tableaux

Chapitre I

Tableau I.1 - Localisation des situations étudiées

Tableau I.2 - Caractéristiques climatiques (moyennes annuelles) et végétation des situations étudiées

Tableau I.3 - Systèmes de culture étudiés pour les différentes situations

Tableau I.4 - Teneurs en fer, aluminium (g kg^{-1} sol) et minéralogie de la fraction argileuse des sols étudiés

Tableau I.5a - Principales caractéristiques physico-chimiques des situations du Congo

Tableau I.5b - Principales caractéristiques physico-chimiques des situations de Goiânia (Brésil)

Tableau I.5c - Principales caractéristiques physico-chimiques des situations de Londrina (Brésil)

Tableau I.5d - Caractéristiques physico-chimiques de l'échantillon de sol étudié à la Martinique

Chapitre II

Tableau II.1 - Quelques caractéristiques générales des échantillons de surface (0-10 cm) étudiés

Tableau II.2a - Caractéristiques des fractions granulométriques de la matière organique du sol et résultats d'analyse mécanique (situations - Congo)

Tableau II.2b - Caractéristiques des fractions granulométriques de la matière organique du sol et résultats d'analyse mécanique (situations - Brésil et Martinique)

Chapitre III

Tableau III.1 - Quelques caractéristiques générales des échantillons de sols de surface (0-10 cm) étudiés

Tableau III.2 - Teneurs en carbone total (Ct), en carbone soluble à l'eau chaude (Cs), en macroagrégats stables à l'eau avant (AS) et après (ASe) traitement à l'eau chaude, et en éléments fins dispersés à l'eau avant (A + Lf)_d et après traitement à l'eau chaude (A + Lf)_{de}

Tableau III.3 - Sucres simples, sucres totaux (St), carbone des sucres totaux (Cst et Cst %) et rapport $r = (Ma + Ga)/(A + X)$ après deux hydrolyses acides

Tableau III.4 - Sucres simples et totaux (Ss), solubilisés à l'eau chaude, carbone des sucres solubles (Css et Cst %) et rapport $r = (Ma + Ga)/(A + X)$ après deux hydrolyses acides des sols étudiés

Chapitre IV

Tableau IV.1 - Quelques caractéristiques générales des échantillons de sols de surface (0-10 cm) étudiés

Tableau IV.2a - Caractéristiques des fractions granulométriques de la matière organique du sol et résultats des stabilités de l'agrégation (situations Congo)

Tableau IV.2b - Caractéristiques des fractions granulométriques de la matière organique du sol et résultats des stabilités de l'agrégation (situations Brésil et Martinique)

Annexe I

Tableau-annexe I - Résultats détaillés du fractionnement granulométrique de la matière organique des sols étudiés

Annexe II

Tableau-annexe II.1a - Données concernant la stabilité de l'agrégation selon la méthode A

Tableau-annexe II.1b - Données concernant la stabilité de l'agrégation selon la méthode A pour quelques échantillons de surface (0-10 cm)

Table des matières

INTRODUCTION GENERALE	1
Les sols ferrallitiques, leur pauvreté naturelle et leur mise en culture	3
Stabilité structurale et matière organique des sols	3
Formes des constituants organiques en relation avec la stabilité de l'agrégation du sol	4
Objectifs de l'étude	5
 PREMIÈRE PARTIE : PRESENTATION GENERALE DES MILIEUX ET EFFET DU MODE DE GESTION DES TERRES.....	 7
CETTE PREMIÈRE PARTIE CONCERNE LA PRÉSENTATION GÉNÉRALE DES MILIEUX ET EFFET DU MODE DE GESTION DES TERRES. ELLE COMPORTE DEUX CHAPITRES :	9
- LE PREMIER CHAPITRE DÉCRIT ET CARACTÉRISE LES SITUATIONS QUI ONT SERVI DE BASE POUR CE TRAVAIL,....	9
- LE SECOND CHAPITRE (SOUS FORME D'ARTICLE) ÉTUDIE L'EFFET DU MODE DE GESTION DES TERRES SUR LES MATIÈRES ORGANIQUES (MO) DES SOLS (MOS). IL S'AGIT D'UNE ÉTUDE PAR FRACTIONNEMENT GRANULOMÉTRIQUE ET EXTRACTION À L'EAU CHAUDE.....	9
CHAPITRE I : PRÉSENTATION DES SITUATIONS ÉTUDIÉES.....	11
<i>Les zones d'étude</i>	<i>13</i>
Localisation générale.....	13
Climat	16
Végétation	16
Géologie et géomorphologie	19
Les sols.....	19
Les agrosystèmes étudiés.....	20
<i>Les situations du Congo</i>	<i>20</i>
Caractères morphologiques.....	22
Minéralogie et texture	23
Autres propriétés physiques et chimiques.....	26
Caractéristiques du sol de Mantsoumba.....	27
Caractères morphologiques.....	27
Minéralogie et texture	28
Autres propriétés physico-chimiques	28
<i>Les situations du Brésil.....</i>	<i>30</i>
Caractéristiques du sol de Goiânia	34

Caractères morphologiques.....	34
Minéralogie et texture.....	34
Autres propriétés physiques et chimiques.....	36
Caractéristiques du sol de Londrina.....	37
Caractères morphologiques.....	37
Minéralogie et texture.....	39
Autres propriétés physiques et chimiques.....	39
<i>Situation de la Martinique</i>	41
<i>Synthèse</i>	43
CHAPITRE II : LA MATIÈRE ORGANIQUE DE SOLS FERRALLITIQUES ARGILEUX. ETUDE PAR FRACTIONNEMENT GRANULOMÉTRIQUE ET EXTRACTION À L'EAU CHAUDE. EFFET DU MODE DE GESTION DES TERRES.....	
<i>Résumé</i>	47
<i>Introduction</i>	47
<i>Matériels et méthodes</i>	48
Présentation des situations.....	48
Préparation des échantillons et analyses.....	50
Extraction du sol à l'eau chaude.....	51
Fractionnement granulométrique de la MO.....	51
<i>Résultats</i>	53
Carbone organique total.....	53
Carbone soluble à l'eau chaude.....	53
Matières organiques associées aux fractions granulométriques du sol.....	53
Aspects méthodologiques. Qualité du fractionnement.....	55
Bilans de masse, de C et de N, après fractionnement.....	55
Qualité de la dispersion obtenue par le fractionnement.....	55
Aspects morphologiques.....	56
Teneurs en C et rapport C/N des fractions granulométriques de la matière organique.....	56
Fraction 50-2000 μm	56
Fraction 2-50 μm	60
Fraction 0-2 μm	60
Contenus en carbone des fractions granulométriques en fonction du mode de gestion des terres.....	64
Fractions 50 - 2000 μm	64
Fractions 2 - 50 μm	64

Fractions 0 - 2 μm	64
Fraction w.	67
<i>Discussion</i>	67
Effet du mode de gestion des terres sur les teneurs en carbone total.....	67
Effet du mode de gestion des terres sur les teneurs en carbone soluble à l'eau chaude.....	68
Effet du mode de gestion sur les teneurs en carbone et les rapports C/N des fractions granulométriques.....	69
Rapport C/N	70
Effet du mode de gestion des terres sur les contenus en carbone des différentes fractions granulométriques.....	71
<i>Références Bibliographiques</i>	72

DEUXIÈME PARTIE : RECHERCHE DES COMPARTIMENTS ORGANIQUES AGREGANTS 77

CHAPITRE III : MATIÈRE ORGANIQUE SOLUBLE À L'EAU CHAUDE ET STABILITÉ DE L'AGRÉGATION DE SOLS

FERRALLITIQUES ARGILEUX	81
<i>Résumé</i>	83
<i>Matériels et méthodes</i>	85
Présentation des situations.....	85
Analyses physico-chimiques.....	86
Extraction et dosage des sucres.	88
Mesure de la stabilité structurale à l'eau	88
Traitement à l'eau chaude (KOUAKOUA et al., 1997).....	89
Précision des mesures.....	89
<i>Résultats</i>	89
Composition en sucres totaux des sols et des extraits à l'eau chaude.....	93
Sucres totaux des sols.....	94
Sucres extraits à l'eau chaude	94
Stabilité des agrégats après extraction à l'eau chaude	98
<i>Discussion</i>	98
Sucres totaux des sols et sucres solubles à l'eau chaude	98
Sucres totaux des sols.....	98
Sucres solubles à l'eau chaude	99
Effet du mode de gestion des terres et de la MO de sols sur le taux de macroagrégats stables	100
<i>Références bibliographiques</i>	101

CHAPITRE IV : EFFET DE LA MATIÈRE ORGANIQUE ASSOCIÉE AUX

FRACTIONS GRANULOMÉTRIQUES SUR LA STABILITÉ DE L'AGRÉGATION DE SOLS FERRALLITIQUES ARGILEUX 107

<i>Résumé</i>	109
<i>Introduction</i>	110
<i>Matériels et Méthodes</i>	110
Echantillons étudiés.....	110
Fractionnement granulométrique de la MO.....	112
Mesure de la stabilité structurale à l'eau	114
<i>Résultats</i>	114
Carbone total et mode de gestion des terres	114
Fractionnement granulométrique de la MO.....	115
Bilan en masse et carbone	115
Répartition du carbone dans les fractions granulométriques selon le mode de gestion des terres.....	115
Fractions 50-2000 μm	118
Fractions 2-50 μm	118
Fractions 0 - 2 μm	118
Rapport C/N.....	118
Variations de taux des macroagrégats stables à l'eau selon le mode de gestion des terres.....	121
Relations statistiques entre contenus en carbone des fractions granulométriques et taux de macroagrégats stables des sols.	121
<i>Discussion</i>	124
Effet du mode de gestion des terres sur les teneurs en carbone total.....	124
Effet du mode de gestion des terres sur les contenus en C des différentes fractions granulométriques.....	125
Effet du mode de gestion des terres sur la stabilité de l'agrégation.....	126
Effet des MO associées aux fractions granulométriques sur la stabilité de l'agrégation des sols.....	126
<i>Références bibliographiques</i>	128
CONCLUSIONS GÉNÉRALES	133
Effet du mode de gestion des terres sur les variations quantitatives et qualitatives de la MO des horizons de surface	135
<i>EFFET DES CARACTÉRISTIQUES DU SOL SUR LA STABILITÉ DE L'AGRÉGATION : ANALYSE EN COMPOSANTES</i>	
<i>PRINCIPALES</i>	138
Effet du mode de gestion des terres sur la stabilité de l'agrégation.....	139
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	145

ANNEXES	161
ANNEXE I : MÉTHODE DE FRACTIONNEMENT GRANULOMÉTRIQUE DE LA MATIÈRE ORGANIQUE.....	163
ANNEXE II : QUELQUES ASPECTS MÉTHODOLOGIQUES CONCERNANT LA STABILITÉ STRUCTURALE.....	167
Stabilité de l'agrégation à l'eau selon la méthode A	167
Effet du mode d'humectation sur la stabilité de l'agrégation	167
Description la cinétique de désagrégation sous l'eau selon la méthode B.....	172
Comparaison des différentes approches méthodologiques	172
ANNEXE III : ARTICLE KOUAKOUA <i>ET AL.</i> 1997.....	175
Résumé.....	175
Introduction.....	176
Matériel et méthodes	178
Situations étudiées.....	178
Stabilité structurale.....	179
Analyses physico-chimiques.....	180
Résultats méthodologiques.....	180
Autres résultats.....	182
Discussion et conclusions.....	183
Références bibliographiques.....	185
ANNEXE IV : MÉTHODE D'ANALYSE DES SUCRES.....	197
Extraction des sucres.....	197
Dosage des sucres.....	197
Méthode de dérivation :	197
Séparation chromatographique :.....	198
LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX TABLE DES MATIERES	199
LISTES DES FIGURES.....	201
LISTES DES TABLEAUX	202
TABLE DES MATIÈRES	205