

ETUDE DE LA MATIERE ORGANIQUE DES SOLS PAR FRACTIONNEMENT GRANULOMETRIQUE.
HUMIFICATION A COURT TERME D'APPORTS EXOGENES (COMPOST) OU ENDOGENES (CULTURES)
DANS QUELQUES SOLS TROPICAUX.

C. FELLER (ORSTOM)

Conférence prononcée le 30.05.85

à la 6ème Réunion du Groupe français d'Etude
de la Matière Organique des Sols (G.E.M.O.S.)

I. INTRODUCTION

Comme le faisait remarquer MULLER en conclusion de son exposé (cette réunion), étudier le rôle de la matière organique dans les relations sol-plante nécessite de caractériser les compartiments(*) organiques du sol aussi bien sur un plan statique (leur origine (**)) et leur état (**)) que dynamique (leur biostabilité (**)). Cette caractérisation peut se faire soit par des mesures globales, (exemple des modèles de décomposition faisant intervenir la biostabilité par des mesures cinétiques de CO₂ dégagé ou de carbone stocké), soit par des méthodes de fractionnement (*).

Dans ce dernier cas, les méthodes habituellement utilisées conduisent à des fractions plus ou moins représentatives de compartiments définis généralement par leur état, parfois par leur origine, rarement par leur biostabilité.

Une analyse succincte de quelques unes de ces méthodes est présentée ci-dessous.

(*) Dans cet exposé, les "compartiments organiques" sont différentes formes de matières organiques existant dans le sol ("résidus végétaux", "azote facilement minéralisable, complexes organo-métalliques"...) mais sans préjuger de leur séparation ou de leur dosages réels. Les "fractions organiques" sont les résultats d'extraction ou de dosages réels par une technique donnée.

(**) L'origine est : végétale, faunique microbienne ou chimique. L'état fait référence à : mort-vivant, soluble-insoluble, frais-humifié, libre-lié... La biostabilité est estimée, "in situ", par des mesures d'âges apparents ou de taux de renouvellement, au laboratoire par des tests de minéralisation ou de respirométrie.

- Extractions acido-alkalines directes sans séparation préalable de résidus végétaux

Ces méthodes sont nombreuses et varient selon la nature de l'extractant, la séquence d'extraction et/ou le pH d'extraction. Elles visent toutes à une caractérisation du "compartiment organique humifié" du sol. L'âge apparent des différentes fractions est de l'ordre du siècle et du millénaire avec souvent des variations relativement faibles entre les fractions fulviques et humiques. Il n'est pas fait référence à l'origine des fractions sauf lors d'études détaillées sur l'humine.

Ces méthodes sont donc peu adaptées à des recherches sur la dynamique de la matière organique dans les sols cultivés pour lesquelles les échelles de temps impliquées sont de l'ordre du mois, de l'année, au plus de la décennie.

- Méthodes avec séparations densimétriques préalables des résidus végétaux
(DUCHAUFOR et JACQUIN 1966, DABIN 1971).

Sur le plan théorique cette méthode est beaucoup mieux adaptée aux objectifs qui nous préoccupent puisque l'utilisation préalable de liqueurs denses organiques (CHCl_3 / $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, $d = 1,8$) ou minérales (H_3PO_4 2M, $d = 1,1$) permet de séparer des matières organiques "libres" d'origine connue (parois végétales) et à biostabilité faible, de la matière organique "liée" du sol (complexe organo-minéral) à biostabilité généralement plus forte. La fraction "liée" est ensuite étudiée par des extractions acido-alkalines.

Les limitations de cette approche sont d'ordre pratique : emplois de solvants organiques ou minéraux plus ou moins "altérants" et "contaminants", ou sous-estimation des fractions "libres" ($d = 1,1$).

Aussi, depuis quelques années des travaux, en France et à l'étranger, se multiplient dans la voie des séparations physiques mais à l'aide de fractionnements granulométriques (ou granulo-densimétriques) ne faisant souvent intervenir que l'eau comme solvant dans les premières étapes de séparation.

- Fractionnements granulométriques de la matière organique du sol

L'objectif final de ces fractionnements est une caractérisation des compartiments organiques selon leur origine et leur état. La biostabilité des fractions obtenues est parfois (trop rarement) étudiée.

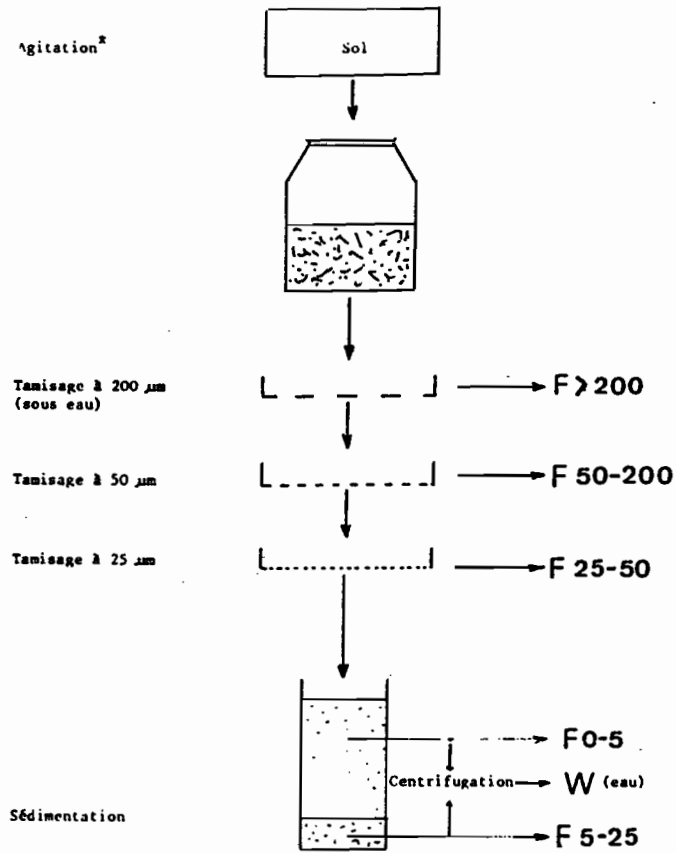
Une bibliographie sur ce sujet est jointe à cette note.

La figure 1 et des diapositives de différentes fractions illustrent une méthode très simple de fractionnement de la matière organique (FELLER, 1979) inspirée de BRUCKERT et al. (1978). Les résultats, en accord avec ceux de la littérature, montrent que le tamisage à 50 μm (après destruction des agrégats (*)) permet, en première approximation, pour les sols minéraux, une séparation de

(*) dans ce texte "agrégats" = agrégats de taille supérieure à 50 μm
"micro-agrégats" : agrégats de taille inférieure à 50 μm .

La destruction des agrégats se fait par agitation du sol sous eau, en présence de billes de verre, et, si nécessaire, suivi d'un traitement aux ultra-sons (26 Khz, 10 mn max.)

Figure 1 - Fractionnement granulométrique de la matière organique du sol.



x 50 g sol, 300 ml eau, 2 heures 50 t. mn⁻¹, puis ultrason 80 W, 26 KHZ, 10 mn.

Fig. 2 - Apports de compost sur sol sableux (Sénégal). Variations des teneurs en carbone. A = avec apport compost, 4 années, 10 t MS/ha/an, S = sans apport de compost

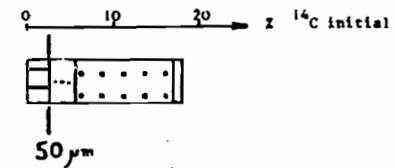
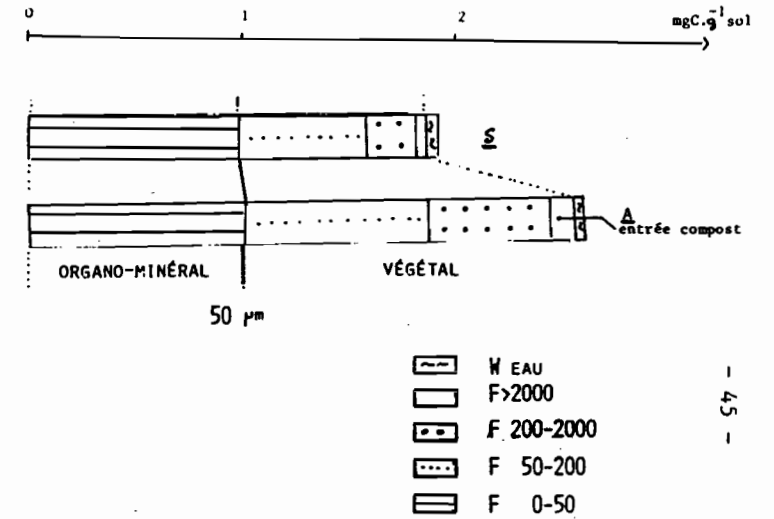


Fig. 3 - Bilan en ¹⁴C-compost après culture sur sol sableux (Sénégal)

l'essentiel des fractions "végétales" (débris végétaux à divers degrés d'humification, tailles supérieures à 50 μm) des "fractions organo-minérales", ce dernier terme englobant à la fois les fractions argilo-limono-humiques, les débris microbiens et d'éventuels débris végétaux très fins.

Une analyse bibliographique de travaux très récents et nos propres résultats nous ont permis d'établir le tableau 1 dans lequel on tente de préciser pour les fractions fines, la relation granulométrie/origine/état/biostabilité de la matière organique:

- fractions supérieures à 20 μm : dominance de débris végétaux plus ou moins humifiés, C/N \gg 13. Le degré d'humification est apprécié par les rapports C/N, les teneurs en matières cellulosiques MC et lignine L, fibres NDF et contenus cellulaires CC, Matières Humiques Totales MHT` .
En première approximation biostabilité et humification augmentent quand on passe des résidus végétaux grossiers (sup. 200 μm) aux résidus végétaux plus fins (20-200 μm),
- fraction 5-20 μm : mélange de débris végétaux et microbiens et de fractions limono-humiques, C/N 13 à 17, biostabilité élevée (d'après âges apparents présentés ici),
- fraction 0,2-5 μm : mélange de fractions argilo-humiques et de débris microbiens, C/N 6 à 10, biostabilité élevée,
- fraction 0-0,2 μm : Composés microbiens (métabolites ou matériaux cytoplasmiques associés à fraction argilo-humique très fine, C/N 6 à 7, biostabilité moyenne à faible.

Il faut signaler immédiatement que ces recherches en sont à leur phase initiale et que l'identification des fractions de tailles inférieures à 50 μm , telle qu'elle est présentée au tableau 1, est loin d'être définitive (*). Aussi nous nous contenterons pour l'instant d'interpréter nos résultats en référence à deux compartiments organiques seulement :

- le compartiment "végétal", représenté par les fractions grossières $F > 50$ ou $F > 25$.
- le compartiment "organo-minéral + microbien" représenté par les fractions fines $F < 25$ ou $F < 5$.

Cette approche est appliquée ici à l'étude des variations à court terme des stocks organiques des sols de divers agro-systèmes tropicaux en fonction de deux modes de restitution : amendements organiques (compost) et restitutions racinaires (par culture de canne ou prairie).

(*) et ceci a été longuement repris, en particulier par Mlle L. JOCTEUR-MONROZIER, au cours de la discussion.

Tableau 1 : Caractéristiques des fractions granulométriques
 (horizons Ap, $\frac{C}{N} = 10$, âge apparent^(*) = 795 ans)

<u>Référence au compartiment</u>	Taille (µm)	"âge"	$\frac{C}{N}$	$\frac{MC}{L}$	MHT _p (% C fract.)
	2000	0 à 30	40	2,4	5
Débris végétaux	200	----- ?	à	1,3	15
	50	-----	13	<u>0,8</u>	30
-----	20	800 ^(*)	-----		
débris microbiens			17 à 13		
--- et/ou -----	5	-----	-----		
complexe organo-minéral	2	965 ^(*) ----- 1265 ^(*)	10 à		30
-----	0,2	-----			
métabolites microbiens ou matériaux cytoplasmiques	0	170 ^(*) -----	6 -----		-----

AF pyro = 1140^(*)
 AH pyro = 1415^(*)

(*) d'après ANDERSON and PAUL (1984)

II. QUELQUES EXEMPLES

2.1 Variations des stocks organiques à la suite d'apports de compost

2.1.1 Cas des sols sableux (Sénégal)

En accord avec d'autres résultats présentés par PICHOT (cette réunion) pour différents essais au champ en Afrique de l'Ouest, une fertilisation organo-minérale pendant 4 ans (compost x urée) (★) dans les sols "Dior" (★★) du Sénégal sur culture continue de Mil permet (par comparaison à une fertilisation minérale seule), non seulement, une augmentation de la productivité végétale et de la valeur nutritionnelle des grains (GANRY et BIDEAU, 1974), mais aussi une augmentation importante des stocks organiques (C et N) du sol (FELLER et al. 1981 et 1983). Les arrière-effets se font sentir pendant au moins 3 ans.

Il paraissait donc intéressant dans ces sols très pauvres en matière organique (C % = 2 à 4) et en argile (A = 2 à 5 %) d'étudier la répartition de C et N dans les différents compartiments organiques du sol.

Les résultats sont présentés à la figure 2.

L'augmentation concerne uniquement les fractions "végétales" (sup. à 50 µm) ce qui laisse supposer soit un faible transfert de "C-végétal" vers les fractions organo-minérales (0-50 µm), soit un équilibre annuel entre les entrées et les pertes dans cette fraction. Une étude en vase de végétation avec un compost marqué ¹⁴C (fig. 3) indique que le transfert de "C-compost" vers la fraction 0-50 µm est faible et correspond à environ 1 % de C total de cette fraction (FELLER, 1981).

2.1.2 Cas de sols argileux (Martinique)

Un compostage de bagasse (C/N de 150 à 200) pendant 3 mois, avec (ou sans) apport d'azote, conduit à des composts à rapports C/N égaux à 40 (ou 80). Ceux-ci sont enfouis (20 t MS/ha/an) dans divers types de sols des Antilles (Action CORDET, 1981).

Par différence entre les teneurs en carbone de parcelles ayant reçu (BC) ou non (T) du compost on suit la cinétique de décomposition du compost apporté. Les variations saisonnières des teneurs des fractions 0-50 µm n'étant pas significatives, on estime, à chaque instant, "C-compost" par les différences entre les teneurs en carbone des fractions $F > 50$ des traitements BC et T

$$\text{"C-compost"} = (C_{F > 50})_{BC} - (C_{F > 50})_T$$

Les résultats sont présentés sur la fig. 4 et exprimés en pourcentages de "C-compost" initial pour l'ensemble des expérimentations sur deux types de sol (vertisol, sol fersiallitique).

(★) compost = 20 t MS/ha/an, urée = 0 à 150 kg N/ha/an

(★★) Classification française (CPCS, 1967) : sols ferrugineux tropicaux peu lessivés, sableux.

Fig. 4a Décomposition d'un compost au champ
(vertisol, sol fersiallitique, Martinique)

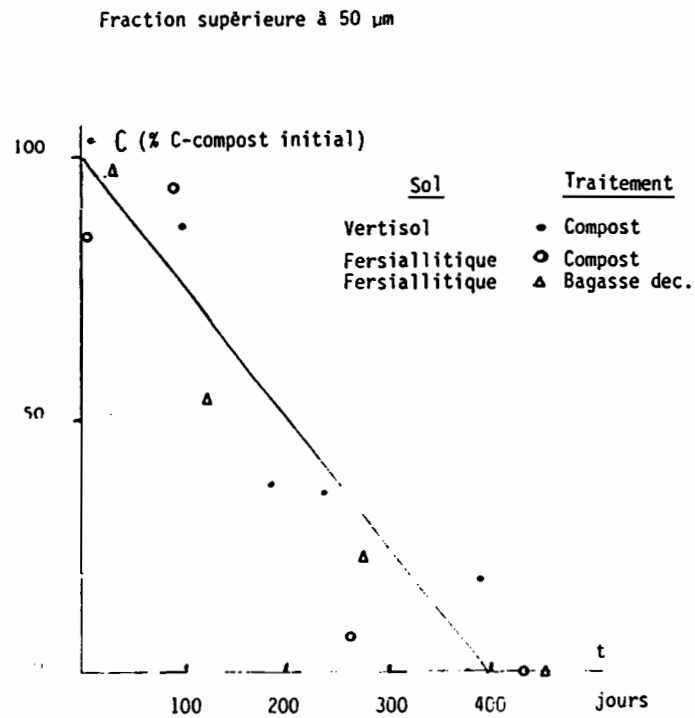
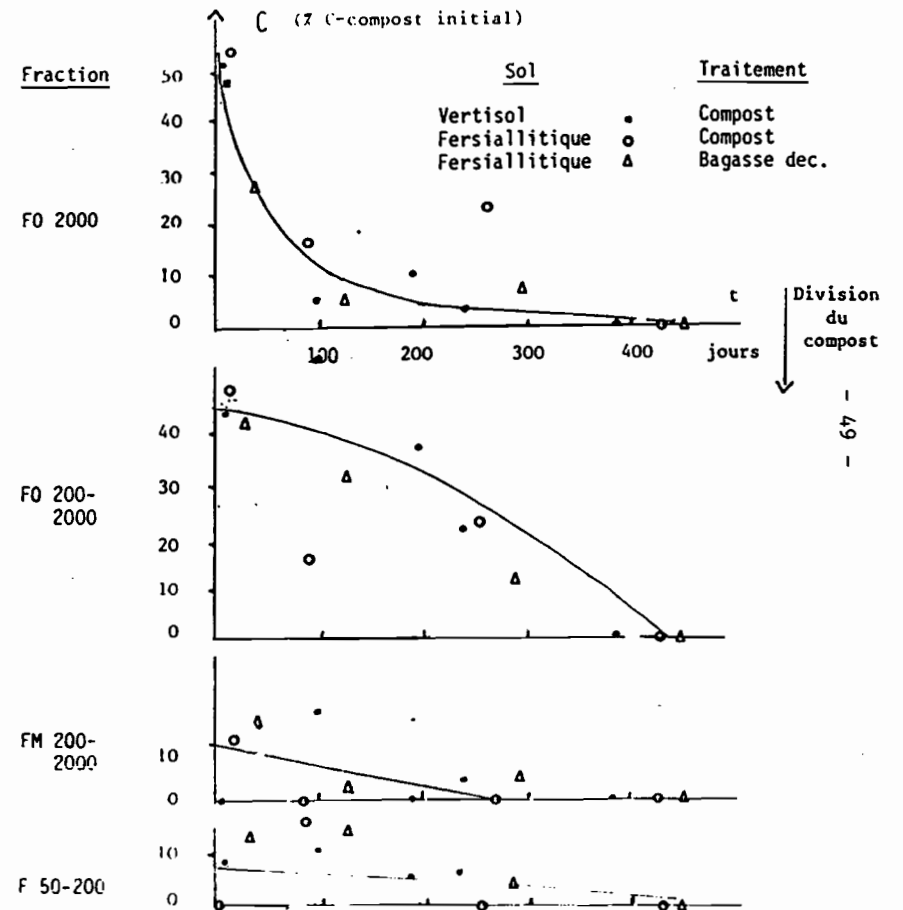


Fig. 4b - Décomposition d'un compost au champ
(vertisol, sol fersiallitique, Martinique)



FM = fraction minérale (sables), FO = fraction organique (résidus végétaux).
FO et FM sont séparés selon FELLER (1979).

La décomposition du compost est totale en une année et suit une loi linéaire. De 0 à 100 jours on constate une phase de division et minéralisation des fractions grossières (fig.4b) puis, de 100 à 400 jours, la minéralisation de "C-compost" restant. Les transferts du carbone au cours de la décomposition concernent essentiellement les fractions supérieures à 200 μm , les variations dans les fractions 50-200 μm et 0-50 μm apparaissant faibles (F 50-200) ou non significatives (F 0-50).

Après trois années d'expérimentation, les teneurs en carbone total des sols sont inchangées.

Si à la différence des sols sableux l'apport de compost ne semble pas conduire à une augmentation significative des stocks organiques (*), par contre, les processus de stockage à court terme sont à peu près identiques: limitation des transferts au sein des fractions "grossières" (F > 50) et faible enrichissement des fractions fines 0-50 μm .

2.2. Variations des stocks organiques par une culture

2.2.1. Cultures de canne : le cas des "sols remodelés" en Martinique

Le "remodelage" des terres agricoles en Martinique, opération de génie rural pratiquée depuis 1970 environ, consiste en un nivellement des collines pour faciliter la mécanisation des cultures (canne à sucre, principalement).

L'horizon humifère A n'est généralement pas conservé et la culture est implantée directement sur les horizons B ou C mis à jour.

Aussi, ces situations de "remodelage" représentent-elles un modèle en vraie grandeur pour étudier les étapes initiales de la constitution de stocks organiques à partir de matériaux strictement minéraux (CHEVIGNARD, 1985), et ce, pour un seul type de plante (canne à sucre).

Nous avons représenté sur la fig.5 les répartitions du carbone dans les fractions d'un ferrisol "remodelé" depuis 10 ans (R 10) ou "non remodelé" (TC)(**). On constate que :

- la moitié du stock initial n'est pas encore reconstitué, il faut entre 30 et 60 ans (CHEVIGNARD, 1985) ;
- le stockage s'effectue dans toutes les fractions du sol mais qu'en valeur absolue l'accumulation la plus importante est observée dans les fractions 0-5 μm .
- en valeurs relatives (pourcentage des teneurs en carbone du sol "non remodelé" TC) la rapidité de la reconstitution varie dans le sens:
F 50-2000 = F 5-50 > F 0-5 > MHTs, indiquant un taux de renouvellement rapide de l'ensemble de la fraction supérieure à 5 μm .

(*) Les teneurs en carbone du sol beaucoup plus élevées, pour les sols argileux (15 à 20 %) que pour les sols sableux (2 à 4 %) rendant difficile la mise en évidence de variations significatives de C total dans les premiers.

(**) Ici, la granulométrie dans les fractions 0-50 μm est faite après extractions des matières humiques totales (MHTs) à la soude 0,1 N à pH 10,0.

Fig. 5 - Etude "Remodelage" (ferrisol)

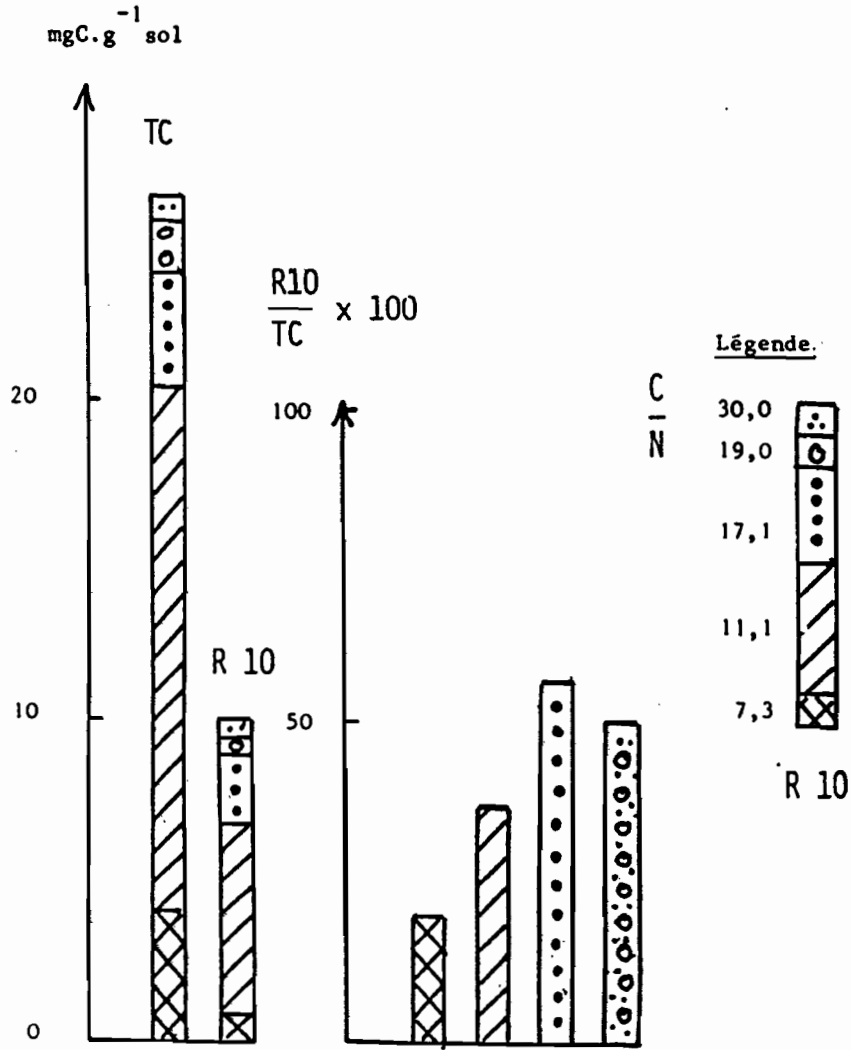
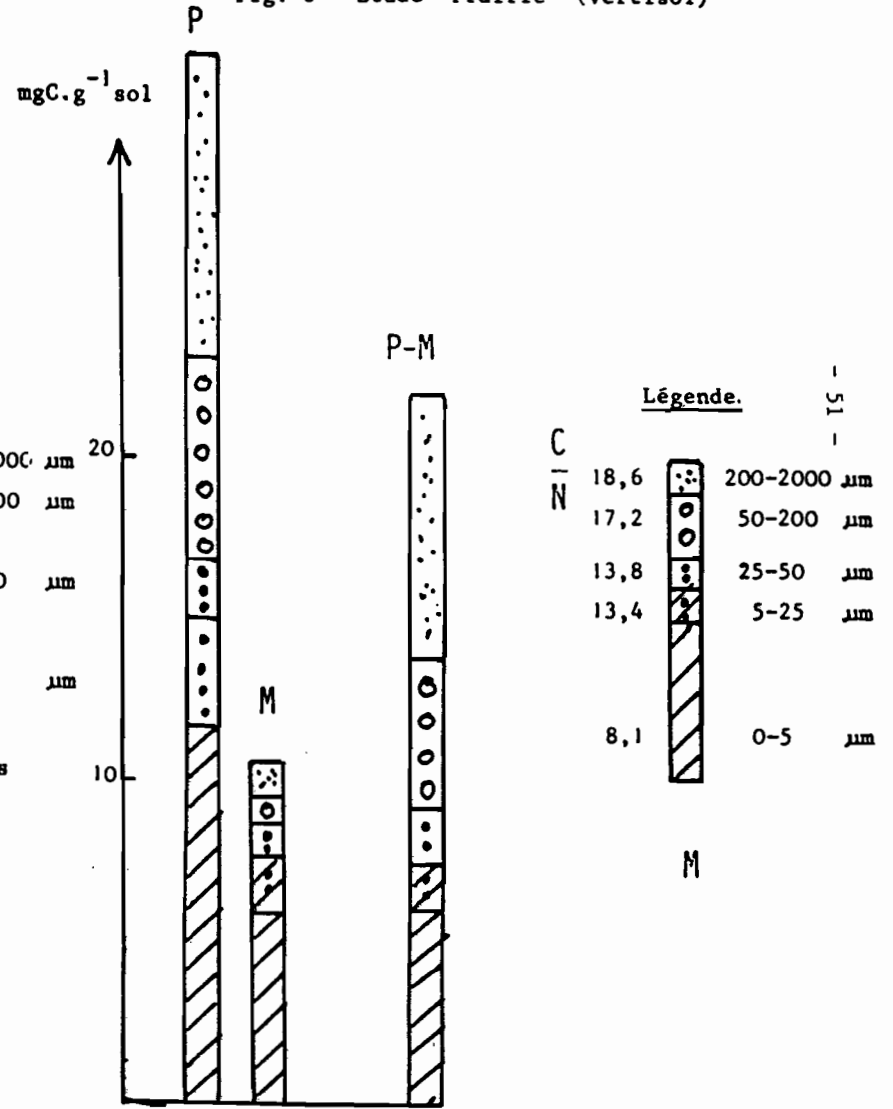


Fig. 6 - Etude "Prairie" (vertisol)



2.2.2. "Prairie artificielle à Digitaria decumbens, vertisol, Martinique"

Sur vertisol, deux parcelles ayant le même précédent cultural (rotations canne/jachère/cultures maraîchères) sont cultivées depuis cinq ans l'une en cultures maraîchères M, l'autre en prairie à "Pangola" (Digitaria decumbens) P.

Les deux parcelles sont irriguées, et la fertilisation azotée (environ 500 kg N/ha/an) peut être considérée comme identique.

La comparaison avec des analyses antérieures des parcelles indique que le stock organique reste à peu près identique pour M mais augmente nettement avec la mise en prairie P (NJOH ELLONG, 1984). Aussi, la différence P-M des teneurs en carbone permet (en absence de traceurs) d'étudier la matière organique stockée dans ce sol à la suite d'une culture de Digitaria (fig.6)

On constate que :

- l'"effet prairie" se manifeste aussi bien sur les fractions "grossières" ($F > 50$) que sur les fractions fines, en particulier F 0-5 (les variations sont plus faibles sur 5-50 μm),
- les augmentations les plus fortes concernent les fractions 50-2000 μm (apports racinaires) celles pour 0-5 μm étant du même ordre de grandeur que pour le système canne à sucre - ferrisol remodelé.

3. DISCUSSION ET CONCLUSIONS

Il ressort de ces résultats que le niveau et la nature des variations à des échelles annuelles, des stocks organiques des sols cultivés vont dépendre, entre autre, des quantités et des modes de restitutions organiques :

- avec un compost le carbone est apporté au sol sous forme de débris végétaux déjà transformés, riches en fibres et lignine, pauvres en contenus cellulaires et matières celluloses, et de tailles souvent supérieures à 2 mm. Pour les deux sols (sableux et argileux) l'essentiel des transformations (minéralisation, humification, transferts) s'effectue au sein des fractions "végétales", de tailles supérieures à 50 μm ; en absence de phase "soluble" (v. ci-dessous), les transferts de carbone vers les fractions fines sont limités. Le stockage du carbone dans le sol s'effectue donc ici par "héritage végétal".
- avec une culture, le carbone est apporté au sol à la fois dans les fractions grossières du sol sous forme de débris végétaux peu transformés (feuilles, racines) encore riches en contenus cellulaires et dans les fractions fines sous forme d'exsudats ou de composés solubles issus de la décomposition des débris végétaux (parois ou contenus cellulaires). Le stockage peut donc s'effectuer par :
 - . "héritage végétal" : débris racinaires dans les fractions supérieures à 25 ou 50 μm
 - . "voie soluble + microbienne" : fixation physico-chimique sur les colloïdes minéraux de composés solubles issus de la décomposition des constituants végétaux ou microbiens (exsudats, contenus cellulaires, métabolites...) et des débris microbiens peu biodégradables : fractions 0-5 ou 0-25 μm .

On constate que ces deux voies de stockage fonctionnent pour les deux cultures étudiées mais avec des intensités variables et probablement des vitesses variables.

Le stockage par "héritage végétal" est fortement dépendant des quantités de racines restituées au sol, comme l'indique la comparaison canne-prairie.

La même comparaison canne-prairie laisse toutefois penser que le stockage par "voie soluble" pour des sols à activité biologique forte est moins dépendant des apports racinaires que des propriétés de surface de la matière minérale. En effet, malgré les différences des situations pédologiques (ferrisol, vertisol) et des restitutions racinaires (canne, prairie) le stockage dans les fractions 0-5 μm exprimé en :

$$\text{mgC} \times \text{an}^{-1} \times \text{meq}^{-1} \times \text{g}^{-1} \quad (0-5 \mu\text{m})$$

est du même ordre de grandeur pour les deux sols; ferrisol = 2,6, vertisol = 3,1 .

En conclusion, nous retiendrons qu'un simple fractionnement granulométrique des sols sous eau met en évidence, pour deux modes de restitutions organiques, des différences importantes dans la nature et l'intensité des processus de stockage à court terme ("héritage" ou "voie soluble + microbienne"), et ce, en référence aux compartiments d'entrée du carbone dans le système.

REFERENCES DU TEXTE

- Action CORDET - 1981 - Recyclage de la matière organique dans les sols. Rapport final de Convention. Ronéo ORSTOM. Martinique, 27 p. + Annexes.
- ANDERSON (D.W.) and PAUL (E.A.) - 1984 - Organo-minéral complexes and their study by radiocarbon dating. Soil Sci. Soc. Am. J., 48, 298-301.
- BRUCKERT (S.), ANDREUX (F.), CORREA (A.), AMBOUTA (K.J.M.) et SOUCHIER (B.) - 1978 - Fractionnement des agrégats appliqués à l'analyse des complexes organo-minéraux du sol. Trans. 11th Int. cong. Soil Sci., 6, 88-89.
- CHEVIGNARD (T.) - 1985 - Etude de la formation actuelle d'horizons humifères en milieu tropical. Cas des sols de culture "remodelés" de la Martinique. Thèse Doctorat 3^e cycle, Université NANCY 1, 83 p.
- DABIN (B.) - 1971 - Etude d'une méthode d'extraction de la matière humique du sol. Sci. du Sol, Bull. AFES, 1 : 47 : 63.
- DUCHAUFOUR (P.) et JACQUIN (F.) - 1966 - Nouvelles recherches sur l'extraction et le fractionnement des composés humiques. Bull. ENSA.
- FELLER (C.) - 1979 - Une méthode de fractionnement granulométrique de la matière organique des sols. Application aux sols tropicaux, à textures grossières, très pauvres en humus. Cah. ORSTOM, Sér. Pédol., vol. XVII, n° 4 : 339-346.
- FELLER (C.) - 1981 - Transformation de résidus de récolte marqués (paille ¹⁴C ¹⁵N, compost ¹⁴C) et devenir de l'azote-engrais (urée ¹⁵N) dans un agrosystème tropical. Rapp. mult., Antenne ORSTOM Cadarache, 64 p., 7 annexes.
- FELLER (C.), GANRY (F.) et CHEVAL (M.) - 1981 - Décomposition et humification des résidus végétaux dans un agrosystème tropical. 1. Influence d'une fertilisation azotée et d'un amendement organique (compost) sur la répartition du carbone et de l'azote dans différents compartiments d'un sol sableux. L'Agron. Trop., 36 : 9-17.
- FELLER (C.), BERNHARDT-REVERSAT (F.), GARCIA (J.L.), PANTIER (J.J.), ROUSSOS (S.) et VANVLIET-LANOE (B.) - 1983 - Etude de la matière organique de différentes fractions granulométriques d'un sol sableux. Effet d'un amendement organique (compost). Cah. ORSTOM. Sér. Pédol. Vol. XX. n° 3.
- GANRY (F.), BIDEAU (J.), et NICOLI (J.) - 1974 - Action de la fertilisation nutritionnelle d'un mil souna. III. L'Agron. Trop., 29, 1006-1015.
- MULLER (J.) - 1985 - Résidus de récolte et transferts d'azote et de carbone entre la plante et le sol. Conférence du 29.05.85, 6^e Réunion du GEMOS, ORSTOM - Bondy.
- NJOH-ELLONG (D.) - 1984 - Etude des pâturages artificiels de la Martinique. Stage D.E.S.S., Univ. Val-de-Marne, Rapp. mult. ORSTOM-Martinique, 46 p. + annexes.
- PICHOT (J.) - 1985 - Les résidus culturaux peuvent-ils assurer le maintien du statut organique des sols tropicaux ? Conférence du 29.05.85, 6^e Réunion du G.E.M.O.S., ORSTOM-Bondy.

QUELQUES REFERENCES SUPPLEMENTAIRES SUR L'APPLICATION DU FRACTIONNEMENT
GRANULOMETRIQUE ET/OU DENSIMETRIQUE A L'ETUDE DE LA MATIERE ORGANIQUE DU SOL.

- ADAMS (T. McM) - 1982 - J. Agric. Sci. Camb., 98, 335-342
- AMATO (M.) and LADD (J.N.) - 1980 - Soil Biol. Biochem., 12, 405-411.
- BRUCKERT (S.) - 1979 - In "Pédologie". 2. Constituants et propriétés du sol.
M. BONNEAU et B. SOUCHIER Ed., masson 459 p., Paris, pp. 187-209
- BERNHARD-REVERSAT (F.) - 1981 - ZBI. Bakt. II. Abt., 136, 281-290.
- KANAZAWA (S.) - 1979 - Soil Sci. Plant Nutr., 25 (1), 59-69
- LADD (J.N.) et al. - 1977 - Soil Biol. Biochem., 9, 309-325.
- LEVESQUE (M.P.) and DINEL (H.) - 1982 - Soil Sci. 133 (5), 324-332.
- DADES (J.M.) and TURCHENEK (L.W.) - 1978 - Aust. J. Soil Res., 16, 351-354
- SCHNITZER (M.) and IVARSON (K.C.) - 1982 - Plant and soil 69, 383-389
- SPYCHER (G.) and YOUNG (J.L.) - 1977 - Soil science and Plant Analysis 8 (I), 37-48
- SUZUKI (M.) and KUMADA (K.) - 1976 - Soil Sci. Plant Nutr., 22 (4), 373-385.
- SUZUKI (M.) et al. - 1975 - Soil Sci. Plant Nutr., 21 (2), 173-188.
- TIESSEN (H.) and STEWART (J.W.B.) - 1983 - Soil Sci. Soc. Am. J., 47 (3), 509-514
- TIESSEN (H.) et al. - 1983 - J. Soil Sci., 34, 815-823
- TURCHENEK (L.W.) and OADES (J.M.) - 1979 - Geoderma, 21, 311-343.