

Étude de la matière organique de différentes fractions granulométriques d'un sol sableux tropical.

Effet d'un amendement organique (compost)

C. FELLER (1), F. BERNHARDT-REVERSAT (2), J. L. GARCIA (2), J. J. PANTIER (2), S. ROUSSOS (2)
et B. VAN VLIET-LANOE (3)

(1) O.R.S.T.O.M., BP 81, 97201 Fort-de-France, Martinique, France

(2) O.R.S.T.O.M., BP 1386, Dakar-Hann, Sénégal

(3) CPB/CNRS, 17, rue Notre-Dame-des-Pauvres, 54500 Vandœuvre-les-Nancy

RÉSUMÉ

Un fractionnement granulométrique du sol par tamisages successifs à sec et sous eau à 2.000, 200 et 50 μm permet de séparer les fractions suivantes : F 2.000 sables et débris végétaux très grossiers de taille supérieure à 2.000 μm ; F 200 sables et débris végétaux grossiers de taille 200 à 2.000 μm ; F 50 sables et débris végétaux fins de taille 50 à 200 μm ; FOM fraction organo-minérale de taille 0-50 μm sans résidus végétaux reconnaissables (humus s.s.) ; W fraction hydrosoluble. Pour les fractions F 2.000, F 200 et F 50, on sépare, par agitation et décantation, les sables (FM 2.000, FM 200, FM 50) des résidus végétaux frais ou humifiés (FO 2.000, FO 200, FO 50).

Les observations morphologiques, les variations de teneurs en carbone, azote, matière cellulosique, lignine, fibre et contenu cellulaire indiquent que le degré d'humification des fractions augmente quand leur taille diminue. La matière organique de la fraction F 50 est constituée de fibres humo-ligneuses. Cette fraction est la plus stable du sol. Elle se rapproche, par sa teneur en matière humiques extractibles et sa faible biodégradabilité, de la fraction organo-minérale FOM. Une part importante de « l'humine héritée » du sol est représentée par la matière organique non extractible aux alcalis des fractions de taille supérieure à 50 μm (F 2.000, F 200, F 50). Son estimation par cette méthode est plus facile que par les méthodes chimiques usuelles.

Ce fractionnement granulométrique est appliqué à une expérimentation agronomique d'apport de compost sur sol sableux très pauvre. Il met en évidence que les augmentations des teneurs en carbone et azote totaux du sol observées sous l'effet des enfouissements organiques sont dues à l'augmentation des fractions végétales FO 50 et FO 200, les valeurs pour la fraction organo-minérale FOM restant constantes. Ces résultats indiquent que, à court terme, les processus d'humification par voie résiduelle sont dominants dans ce type de sol.

Ce fractionnement granulométrique de la matière organique est bien adapté aux recherches axées sur la gestion organique des sols et l'étude des processus d'humification.

MOTS-CLÉS : Compost — Fractionnement granulométrique — Matière organique du sol — Propriétés morphologiques biologiques chimiques — Sénégal.

SUMMARY

ORGANIC MATTER OF DIFFERENT PARTICLE SIZE FRACTIONS IN A TROPICAL SANDY SOIL. EFFECT OF ORGANIC AMENDMENT (COMPOST)

By successive dry and wet sieving of the soil under water at 2,000, 200 and 50 μm the following fractions were separated : F 2,000 very coarse sands and plant residues of size superior to 2,000 μm ; F 200 coarse sands and plant residues of size 200-2,000 μm ; F 50 fine sands and plant residues of size 50-200 μm ; FOM organo-mineral fraction

of size 0-50 μm without recognizable plant residues (humus *s.s.*); W water-soluble fraction. From the F 2,000, F 200 and F 50 fractions, sands (FM 2,000, FM 200, FM 50) and fresh or humified plant residues (FO 2,000, FO 200, FO 50) were separated by shaking and decantation.

Morphological observations, variations in carbon, nitrogen, cellulosic material, lignin, cell-content and neutral detergent fiber contents indicated that humification rate increased when particle size decreased. The organic matter of the F 50 fraction is mainly composed of lignin-humic fiber. This fraction appeared to be the less biodegradable soil fraction. Its humification rate and biodegradability were identical to those of the organo-mineral fraction FOM. An important part of "inherited humin" of the soil occurred in the alkali-non-extractable organic matter of the plant residues fractions F 2,000, F 200 and F 50. Compared with the classical chemical methods, the particle size fractionation appears to be more reliable to study the inherited humin.

The particle size fractionation was applied to a field experiment on the effect of a composted straw amendment in a very poor sandy soil.

The increase in total carbon and nitrogen soil contents observed with the organic amendment were due to the increases in soil fractions F 200 and F 50. No variation was observed for the organo-mineral fraction FOM. These results indicate that, in short-term experiment, the plant inheritance is the main humification process for this sandy soil.

The particle size fractionation of soil organic matter in an interesting method for studies of the soil organic matter management and humification processes.

KEY WORDS : Compost — Morphological biological chemical properties — Particle size fractionation — Senegal — Soil organic matter.

INTRODUCTION

En Afrique tropicale sèche, les sols sableux à sablo-argileux occupent d'importantes superficies. La fraction argileuse y est à dominance de kaolinite (à faible capacité d'échange, 10 meq/100 g). Aussi, malgré les teneurs en carbone souvent très faibles de ces sols (0,3-0,5 % dans les horizons de surface), la matière organique, par son influence sur de nombreuses propriétés physico-chimiques et biologiques du sol, apparaît-elle comme un facteur essentiel de fertilité.

Toutefois, dans le cas particulier des sols sableux pauvres en humus, la distribution souvent très hétérogène de certaines fractions organiques grossières (racines, pailles, amendements organiques, etc.) et les faibles teneurs en carbone du sol, impliquent pour les études au champ, des prélèvements de volumes importants de sol. Dans ces conditions, les méthodes analytiques habituellement utilisées (extractions chimiques des composés humiques sur le sol global), portant sur de petites quantités de sol, ne sont plus adaptées.

Depuis quelques années, des chercheurs, de plus en plus nombreux utilisent des méthodes physiques, préalablement à toute extraction chimique, pour l'étude de la matière organique (BRUCKERT *et al.*, 1978; FELLER, 1979; OADES *et al.*, 1977).

Dans des études antérieures (FELLER *et al.*, 1981), nous avons montré l'intérêt d'utiliser un fractionne-

ment granulométrique simplifié permettant l'obtention de deux fractions organiques « libres » et d'une fraction organique « liée ». En particulier, nous avons pu mettre en évidence que les augmentations des teneurs en carbone et azote totaux observées à la suite d'apports annuels de compost et d'urée dans ces sols étaient dues essentiellement à celle des « matières organiques libres » de taille inférieure à 2 mm.

Pour une meilleure compréhension des processus de décomposition et d'humification des résidus de récolte, il est apparu nécessaire de préciser la technique de fractionnement. Une méthode plus rigoureuse a été publiée récemment par l'un des auteurs (FELLER, 1979). Elle consiste en tamisages du sol à sec à 2 mm puis sous eau à 0,2 et 0,05 mm et conduit à l'obtention de 5 fractions granulométriques : 3 fractions (F 2 000, F 200, F 50) de taille supérieure à 50 μm (sables + résidus végétaux plus ou moins humifiés), une fraction organo-minérale FOM de taille comprise entre 0 et 50 μm (humus *s.s.*), 1 fraction hydrosoluble W correspondant aux eaux de fractionnement. Ce fractionnement est adapté à de gros échantillons de sols.

Les résultats que nous présentons ici concernent les principales caractéristiques de la matière organique de ces fractions. Une application à un problème agronomique (gestion du stock organique des sols cultivés par des apports de résidus de récolte) illustre l'intérêt d'une telle démarche pour l'étude de la matière organique des sols cultivés.

TABLEAU I

Quelques caractéristiques physico-chimiques du sol utilisé (horizon : 0-20 cm)
Some physico-chemical characteristics of the soil used (horizon : 0-20 cm)

Granulométrie % (*)					Matière Organique			pH	Propriétés d'échange	
<i>Mechanical analysis</i>					<i>Organic matter</i>				<i>Exchange properties</i>	
2000- 200µm	200- 50µm	50- 20µm	2- 2µm	2- 0µm	C %	N %	C/N	CEC (meq/100g)	Taux de saturation % <i>Base saturation</i>	
24,0	64,1	4,0	3,0	4,0	2,15	0,20	10,8	5,5	1,6	50

(*) Méthode internationale (*International method*).

Matériel et méthodes

CARACTÉRISTIQUES AGRONOMIQUES

Le sol étudié (tabl. I) est un sol ferrugineux tropical peu lessivé (classification française, CPCS, 1967), à texture sableuse, à très faible teneur en matière organique.

L'essai agronomique (GANRY *et al.*, 1974), consiste en une culture de mil pendant 4 années successives sur différentes parcelles ayant reçu, ou non, des apports de compost de paille de mil (enfouissement de 10 T matière sèche/ha/an) et diverses doses d'azote urée (0 à 150 kg N/ha/an). Nous comparons ici seulement deux traitements S et A :

S, sol sans apport de compost et avec apport d'urée (60 kg N/ha/an).

A, sol avec apports de compost (10 T MS/ha/an) et d'urée (60 kg N/ha/an).

FRACTIONNEMENT GRANULOMÉTRIQUE DU SOL (fig. 1)

Le prélèvement de sol total (environ 200 kg) est mis à sécher à l'air, pesé, puis tamisé à sec à l'aide d'un tamis sur pied (maille carrée de 2 mm, surface 1 m²). La fraction de sol de taille supérieure à 2 mm (F 2000), composée de débris végétaux divers (FO 2000) et de quelques graviers (FM 2000), est séchée à 60° jusqu'à poids constant, pesée et broyée. Six pots contenant chacun 100 g du sol

tamisé à 2 mm, 3 billes de verre et 300 ml d'eau distillée sont agités pendant une heure. Les 6 répétitions sont ensuite regroupées et la suspension de sol dans l'eau est passée successivement sur des tamis à maille carrée de 0,2 et 0,05 mm (1). Les fractions retenues sur les deux tamis sont lavées à l'eau et les eaux de lavage sont jointes aux eaux de fractionnement. On récupère ainsi les fractions F 200, F 50 et (FOM+W). Les fractions F 200 et F 50 sont transvasées séparément dans des béciers de un litre (forme basse). Par simple flottation dans l'eau et légère agitation manuelle des béciers on entraîne les fractions organiques FO (FO 200 et FO 50). Les résidus de sol représentent les fractions minérales FM (FM 200 et FM 50). La fraction hydro-soluble W est séparée de la fraction organo minérale FOM par centrifugation (2) et une partie aliquote des eaux est conservée pour dosages éventuels (carbone, azote, etc.). Les fractions obtenues sont filtrées, séchées à 60° jusqu'à poids constant, pesées et broyées finement.

Les résultats sont exprimés par rapport à l'échantillon (ou la fraction) séché(e) à 105 °C. Le taux de récupération du sol après fractionnement est de 99 %.

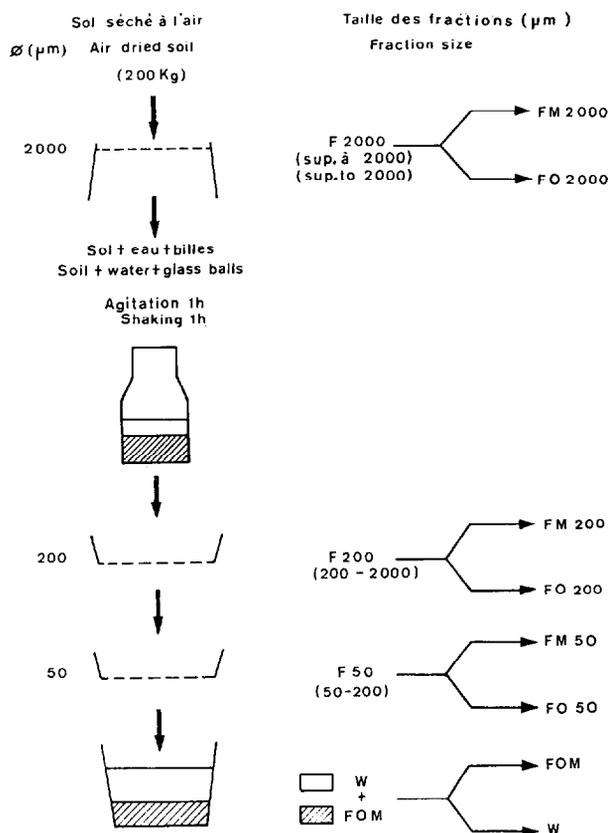
CARACTÉRISTIQUES MORPHOLOGIQUES

Les différentes fractions organiques et organo-minérales sont préparées entre lame et lamelle par dispersion des suspensions aqueuses dans la glycérine

(1) Pour bloquer l'activité biologique, et si les conditions de l'étude le permettent, on peut ajouter à la suspension de sol dans l'eau quelques gouttes de chloroforme (2 % du volume d'eau).

(2) Si les objectifs de l'étude le permettent, la suspension peut être acidifiée par HCl pour accélérer la floculation des argiles. La fraction W est alors simplement décantée. La centrifugation ne porte donc que sur une partie réduite de la suspension. Dans ce cas, la fraction FOM est ensuite lavée, puis centrifugée deux fois à l'eau distillée.

FIG. 1. — Fractionnement granulométrique de la matière organique du sol
Size fractionation of the soil organic matter



FM : Fraction minérale (sables) — Mineral fraction (sand)
FO : Fraction organique — Organic fraction
FOM : Fraction organo-minérale (< 50 µm) — Organo-mineral fraction
W : Fraction hydrosoluble — Water-soluble fraction

et observées à la loupe binoculaire ainsi qu'au microscope en lumière normale transmise et en lumière bleue réfléchie (excitation à 410-430 nm). En plus de la connaissance des principaux types de résidus organiques (graines, radicules, etc.), on essaie d'apprécier qualitativement l'humification des tissus végétaux par l'importance des zones d'humification (aspects opaques, couleur marron en lumières normales et bleu réfléchie) et le degré d'altération des parois cellulaires par la diminution d'intensité de la fluorescence de la cellulose (couleur jaune en lumière bleue réfléchie) BABEL, 1975.

TENEURS EN CARBONE ET AZOTE

Le carbone transformé en CO₂ par combustion, est dosé par conductimétrie à l'aide d'un Carmhograph

Wosthoff. L'azote est dosé automatiquement par colorimétrie (Berthelot) après minéralisation selon la méthode Kjeldahl.

NUMÉRATIONS MICROBIENNES

Les numérations de bactéries, champignons et actinomycètes de différentes fractions sont effectuées par étalement de 0,2 ml de suspension dilution adéquates sur milieux gélosés appropriés. Les milieux utilisés sont ceux de EL BALKHI *et al.*, 1978 (bactéries), BOOTH, 1971, modifié selon BÜCKLEY, 1971 (champignons) et KÜSTER et WILLIAMS, 1964 (actinomycètes). Avant de couler les milieux en boîtes on ajoute 100 µg/ml d'Actidione (cycloheximide) stérilisé par filtration sur millipore 0,22 µm. Les incubations se font à 28-30 °C. Les colonies de bactéries, champignons et actinomycètes sont comptées respectivement après 2,4 et 6 jours.

CONSOMMATION D'OXYGÈNE ET MINÉRALISATION DE L'AZOTE

L'incubation s'effectue à l'humidité équivalente dans un respiromètre de Warburg, à une température de 30 °C. Chaque fraction organique (FO 2.000, FO 200, FO 50, FOM) est amenée à une teneur d'environ 10 mgC.g⁻¹ fraction par un apport adéquat de sable. Le CO₂ dégagé est absorbé par KOH à 40 %. Des lectures manométriques à volume constant sont effectuées quotidiennement à 9 h, 12 h, 15 h et 18 h pendant 3 jours. Les mesures n'ont pas été faites sur les fractions minérales pauvres en carbone. Les résultats sont exprimés en vitesse moyenne de consommation de O₂ (µlO₂.h⁻¹).

L'azote minéralisable Nm (N-NO₃+N-NH₄) de chaque fraction est dosé selon Bernhard-Reversat, 1981 après incubations de 20 jours à 32 °C. L'azote nitrique (N-NO₃) et ammoniacal (N-NH₄) sont respectivement extraits par des solutions CuSO₄ (2,5 %) - AgSO₄ (0,6 %) et NaCl (10 %).

TENEURS EN MATIÈRE CELLULOSIQUE, LIGNINE, FIBRE, CONTENU CELLULAIRE

Les teneurs en matière cellulosique (MC), lignine-H₂SO₄ (L), fibre (NDF) et contenu cellulaire (CC) sont déterminées sur les fractions organiques de taille supérieure à 50 µm (FO 2.000, FO 200, FO 50). Les matières celluloses (MC) sont dosées selon O.M.A.³³ par pesée du résidu organique obtenu après 2 hydrolyses successives en milieu acide (H₂SO₄ à 1,25 %, 30 mm) et alcalin (NaOH à 2,5 %, ébullition 30 mm). Les matières celluloses correspondent approximativement aux hémicelluloses, celluloses et à une faible fraction de la lignine. La lignine-H₂SO₄ (L) est dosée selon Van Soest, 1963 par pesée

du résidu organique obtenu après action en milieu sulfurique d'un agent détergent (CTAB, bromure de cétyle-triméthyl-ammonium) suivi d'une attaque sulfurique à froid (H_2SO_4 à 72 %, 3 h). La « fibre » (NDF, « neutral detergent fiber ») est dosée selon Van Soest et Whine⁴³ par pesée du résidu obtenu après action d'une solution détergente neutre. Déduction faite des matières minérales la « fibre » correspond approximativement à la matière organique des parois végétales. La différence avec la teneur initiale en matière sèche permet d'obtenir la teneur en contenu cellulaire (CC). Les déterminations de MC, L, NDF et CC sont celles utilisées pour les analyses de fourrage. Dans le cas des résidus végétaux extraits des sols, les échantillons sont fortement contaminés par les matières minérales du sol et les teneurs sont exprimées ici en $mg.g^{-1}$ fraction séchée à l'étuve, déduction faite des teneurs en matières minérales du résidu.

Appliquées au sol, ces méthodes servent surtout de test de comparaison pour différentes fractions organiques de taille supérieure à 50 μm . Celles-ci sont déjà partiellement humifiées et il est probable que ces dosages prennent en compte une partie de ces composés humifiés. Il serait donc préférable d'utiliser les termes « complexes humo-cellulosiques ou humo-ligneux » plutôt que matières cellulosiques et lignine. Nous conserverons toutefois ceux-ci (lignine, matière cellulosique), tout en étant conscients de leur imprécision.

TENEURS EN COMPOSÉS HUMIQUES

Les matières humiques pour chaque fraction granulométrique sont extraites selon DABIN, 1971. Les fractions humiques obtenues sont :

- les acides fulviques libres AFL (extraction H_3PO_4 2M) ;
- les matières humiques totales « pyro » (extraction $Na_4P_2O_6$, 0, 1M, pH9,8) fractionnées (H_2SO_4 à pH2,0) en acides fulviques et humiques « pyro » ;
- les matières humiques totales « soude » (extraction NaOH 0,1N pH12,0) fractionnées (H_2SO_4 , pH2,0) en acides fulviques et humiques « soude » ;
- l'humine, résidu insoluble après extraction NaOH 0,1N.

Dans ce travail, les résultats des deux extractions alcalines sont additionnées pour obtenir les matières humiques totales MHT (pyro+soude), acides humiques AH (pyro+soude) et fulviques AF (pyro+soude). Les teneurs en carbone sont exprimées en %

de la somme des fractions. Celle-ci est comprise entre 80 et 105 % du carbone total de l'échantillon non fractionné.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Observations morphologiques des différentes fractions

La séparation des fractions organiques (FO) des sables (FM) est très bonne pour F 2.000 et F 200. La séparation est toutefois moins nette pour F 50 car la densité (non mesurée) des résidus végétaux FO 50 (plus humifiés que FO 200 ou FO 2.000) est plus proche de celle des sables.

TRAITEMENT S

Les différentes fractions sont décrites ci-dessous :

Fraction FO 2.000

Résidus végétaux très grossiers : pailles, feuilles, racines, graines, etc. Colonisation faible de l'ensemble par 2 types de mycélium. Degré d'altération faible. On observe seulement quelques points d'humification (1) dans les tissus conducteurs. Fluorescence très forte. Quelques rares indices de mésofaune éliminés lors du tamisage (carapaces d'insectes).

Fraction FO 200

Résidus végétaux grossiers (idem à FO 2.000) reconnaissables à l'œil nu. Très nombreuses graines, sous forme de débris tégumentaires plus ou moins humifiés. État d'altération des tissus variable, en moyenne plus important que FO 2.000. Colonisation par mycélium. Début de désorganisation de certaines parois cellulaires. Absence d'agrégats. Fluorescence encore très importante mais nombreuses zones d'humification. Quelques nématodes, pas de reste de microarthropodes.

Fraction FO 50

Débris organiques peu reconnaissables à l'œil nu. Très forte dominance des résidus végétaux assez fortement humifiés. Nombreux résidus de graines. Les tissus conducteurs sont fortement colonisés par des mycéliums et des sclérotés (2). Les tissus sont encore reconnaissables en fluorescence, mais la fluorescence est faible. Aspect mélanisé de nombreux débris végétaux qui ne sont plus du tout fluorescents. On observe quelques rares microagrégats (déjection). Nombreux nématodes, pas de restes de microarthropodes.

(1) Le degré d'humification est apprécié visuellement par l'importance du développement des zones opaques dans les tissus.

(2) Sclérote : forme sporulée de résistance du mycélium.

Fraction FOM

Quelques concentrations sphériques ou en paillettes de matière organique figurée dans la matrice argilo-humique (débris végétaux résiduels?) mais on ne reconnaît plus de résidus végétaux. Le fond matriciel est modérément fluorescent mais beaucoup moins que les débris figurés, sauf en quelques points, laissant supposer le maintien de « structures cellulose-siques ». Aucune observation de microfaune résiduelle.

Ainsi, on observe globalement une altération des tissus végétaux et leur humification progressive de la fraction FO 2.000 à la fraction FO 50. Les résidus de la microfaune étant en faibles quantités nous conviendrons, dans la suite de ce texte, de nommer « fractions végétales » les fractions organiques (FO 2.000, FO 200 et FO 50) de taille supérieure à 50 μm .

Des descriptions similaires sont données par KANAZAWA, 1979, pour des sols de rizière. La plupart des auteurs utilisant les fractionnements granulométriques confirment que la matière organique associée aux fractions sableuses est essentiellement

représentée par des résidus végétaux dont le degré d'humification augmente quand la taille des particules diminue (BERNHARD-REVERSAT, 1981; BRUCKERT, 1979; MCKEAGUE, 1971; OADES *et al.*, 1977, 1978; PIERRE, 1979). Toutefois, dans le cas des sols à complexes organo-minéraux stables (andosols), des agrégats de taille comprise entre 50 et 100 μm peuvent subsister dans cette fraction (BRUCKERT, 1979; MELINE, 1981). Ce n'est pas le cas dans cette étude.

TRAITEMENT A

Les observations sont à peu près identiques à celles du traitement S. Toutefois, les zones d'humification des tissus végétaux de FO 200 et FO 50 sont plus nombreuses que dans les fractions correspondantes du traitement S (diminution de la fluorescence). La fraction organo-minérale FOM ne contient pas de résidus végétaux reconnaissables.

La méthode utilisée permet donc par un simple tamisage à 50 μm de séparer les fractions organiques

TABLEAU II

Répartition de C et N dans les différentes fractions granulométriques du sol
C and N distributions within the different particle size fractions of the soil

Traitement <i>Treatment</i>	Fraction	Poids <i>Weight</i> mg g ⁻¹ sol	C			N			C/N
			mgC.g ⁻¹ fract.	mgC.g ⁻¹ sol	mgC.g ⁻¹ CT	mgN.g ⁻¹ fract.	mgN.g ⁻¹ sol	mgN.g ⁻¹ NT	
S	F 2000	0,11	4,10	0,045	24	14,64	0,0016	7	28
	FO 200	1,0	148	0,148	78	9,43	0,0094	43	15,7*
	FM 200	244	0,36	0,088	46	0,023*	0,0056*	26	15,7*
	F 200	245		0,236	124		0,0150	69	
	FO 50	2,6	78	0,203	107	6,78	0,0177	81	11,5
	FM 50	642	0,62	0,398	209	0,054*	0,0346*	158	11,5*
	F 50	645		0,601	316		0,0523	230	
	F O M	98	10,0	0,980	514	1,39	0,1361	622	7,2
	N			0,043	3		0,014	64	3,1
	Total	988		1,905	1 000		0,2189	1 000	8,7
A	F 2000	0,28	390	0,109	42	18,57	0,0052	19	21
	FO 200	3,7	126	0,466	179	9,55	0,0353	129	13,2
	FM 200	175	0,36	0,099	38	0,027*	0,0075*	27	13,2*
	F 200	279		0,565	217		0,0428	156	
	FO 50	7,8	68,5	0,534	205	6,01	0,0468	171	11,4*
	FM 50	621	0,52	0,323	124	0,046*	0,0238*	104	11,4*
	F 50	629		0,857	329		0,0751	275	
	F O M	87	11,8	1,027	395	1,48	0,1284	469	8,0
	N			0,043	17		0,0220	80	2,0
	Total	995		2,601	1 000		2,735	1 000	9,5

C = carbone (*carbon*), N = azote (*nitrogen*), CT = carbone total sol (*soil total carbon*), NT = azote total sol (*soil total nitrogen*).
(* Non dosé, calculé à partir du rapport C/N de la fraction FO (*undetermined, calculated with C/N ratio of FO fraction*)).

végétales du sol (taille supérieure à 50 μm) du complexe organo-minéral FOM (inférieure à 50 μm). Le degré d'altération et d'humification des structures végétales augmente de la fraction FO 2.000 à FO 50. Le sol ayant reçu des apports de compost est caractérisé par une humification plus importante de la fraction FO 200.

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

TRAITEMENT S

Les teneurs en carbone (mgC.g^{-1} fraction) et azote (mgN.g^{-1} fraction) des fractions organiques diminuent avec la taille des fractions de FO 2.000 à FOM. Toutefois, les valeurs pour FO 200 et FO 50 ne sont qu'approximatives puisqu'avec le mode d'extraction choisi (densimétrie non fixée) ces deux fractions peuvent être contaminées par des sables. Les teneurs des fractions minérales correspondantes (FM 200 et FM 50) étant très faibles, il est préférable pour l'établissement des bilans en C et N, de ne pas séparer les fractions organiques FO des fractions minérales sableuses FM. Par contre pour les études qualitatives de la matière organique de ces sols très sableux (sables 90 %, C % = 2,0) il est intéressant d'extraire des fractions riches en carbone. Ici 70 % du carbone total du sol sont concentrés dans 13 % du poids de sol initial.

Les fractions F 2.000, F 200, F 50, FOM et W représentent respectivement 2,4-12,4-31,6-51,4 et 2,3 % du carbone total et 0,7-6,1-23,9-62,2-6,4 % de l'azote total. L'essentiel du carbone et de l'azote est donc retrouvé dans la fraction organo-minérale FOM. 46 % du carbone et 32 % de l'azote sont présents dans les fractions végétales de taille supérieure à 50 μm . Les fractions F 2.000 et W sont faiblement représentées.

Les pratiques culturales, le type de végétation et les processus de pédogenèse exercent une influence sur la répartition de la matière organique dans les différentes fractions granulométriques des sols (OADES *et al.*, 1977). En général, les teneurs relatives en matière organique des fractions supérieures à 50 μm sont plus élevées pour les sols à textures légères que pour les sols argileux ou argilo-limoneux, le carbone des fractions supérieures à 50 μm dépassant rarement 30 % du carbone total (BRUCKERT, 1979 ; BRUCKERT *et al.*, 1978 ; KANAZAWA, 1979 ; MC KEAGUE, 1971 ; TURCHENEK *et al.*, 1974). La valeur élevée (46 %) trouvée ici pour ces fractions est en accord avec les travaux de BERNHARD-REVERSAT, 1981 (sols sableux non cultivés), de

KANAZAWA, 1979 (sols de rizières sablo-limoneux) et de WATSON et PARSONS, 1974 (sol sableux). Des valeurs inférieures à 30 % du carbone total pour les fractions sableuses des sols à textures grossières sont signalées par CHICHESTER, 1969 et MC KEAGUE, 1971.

Le rapport C/N diminue des fractions grossières aux fractions fines. Ceci est en accord avec l'ensemble des résultats de la littérature (voir la revue bibliographique de OADES et LADD, 1977). On notera ici la valeur très faible de ce rapport (C/N = 11,5) pour la fraction FO 50.

TRAITEMENT A

Par rapport au traitement S, les apports de compost permettent une augmentation d'environ 30 % des teneurs en C et N du sol. Les augmentations qui sont faibles à nulles pour la fraction organo-minérale FOM sont élevées pour les fractions F 50 et F 200. L'enrichissement du sol en matière organique s'effectue donc dans les fractions végétales comprises entre 50 et 2.000 μm et ne concerne pratiquement pas la fraction organo-minérale FOM.

Les variations des rapports C/N des différentes fractions sont faibles. On note simplement une légère diminution pour la fraction FO 200.

Des travaux fondés sur des fractionnements densimétriques (HENIN et TURC, 1950 ; MONNIER, 1965 ; OADES, 1967 ; WHITEHEAD *et al.*, 1975, ont mis en évidence que l'augmentation des teneurs en matière organique à la suite d'expérimentations à long terme (fumure organique, prairie, pâturage) est liée à un enrichissement important des fractions végétales de faible densité ($d < 2,0$). Par ailleurs, OADES et TURCHENEK, 1978, ont montré par un fractionnement granulométrique et densimétrique qu'un sol limono-sableux sous pâturage est très enrichi en matière organique par rapport au même sol cultivé en blé ; les augmentations concernent la fraction sableuse (50-2.000 μm), par stockage de résidus végétaux, et limoneuse (2-20 μm) sous forme de résidus microbiens. Peu de variations quantitatives sont notées pour la fraction argileuse (0-2 μm).

En conclusion, l'augmentation des teneurs en matière organique observée à la suite de ces apports annuels de compost concerne les fractions végétales FO 50 et FO 200. Cette variation s'accompagne en particulier, pour la fraction FO 200, d'une diminution de rapport C/N et d'un aspect morphologique plus humifié. Les teneurs en C et N de la fraction organo-minérale FOM restent à peu près identiques.

TABLEAU III

Répartition de la microflore hétérotrophe aérobie dans les différentes fractions granulométriques du sol
Aerobic heterotroph microflora distribution within the different particle size fractions of the soil

Traitement <i>Treatment</i>	Fraction	Nombre de bactéries <i>Total bacteria count</i>		Nombre de champignons <i>Total fungi count</i>		Nombre d'actinomycètes <i>Total actinomycetes count</i>	
		(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
		n.g ⁻¹ fract × 10 ⁸	n.g ⁻¹ sol × 10 ⁵	× 10 ⁵	× 10 ²	× 10 ⁵	× 10 ²
S	F 2000	3,9	0,2	14,5	0,7	8,5	0,4
	FO 200	18,9	2,8	47,3	7,0	16,2	3,9
	FM 200	0,08	0,01	5,8	0,5	0,8	0,1
	F 200		2,8		7,5		4,0
	FO 50	13,3	2,7	23,0	13,8	8,7	5,2
	FM 50	0,13	0,05	1,7	0,7	2,6	1,0
	F 50		2,7		14,5		6,2
	F O M	16,3	15,9	18,8	18,4	14,0	13,7
	W		0,03		0		0
	Total		21,7		41,1		24,3
A	FO 200	10,9	5,1	0,5	0,2	40	18,6
	FO 50	9,3	5,0	1,8	1,0	0,08	0,05
	F O M	40,5	41,6	4,8	5,8	48,2	49,5
	Total		51,7		7,0		68,2

(1) Nombre de colonies par gC de la fraction (n.g⁻¹C fract.) (*colonies numbers per gC of fraction*).

(2) Nombre de colonies par g de sol (n.g⁻¹ sol) (*colonies numbers per g of soil*).

Distribution de la microflore hétérotrophe aérobie dans les différentes fractions granulométriques du sol (tabl. III)

TRAITEMENT S

Des études préliminaires ont montré que le fractionnement par l'eau ne modifie ni le nombre, ni la répartition de la microflore dans le sol. Le nombre total de micro-organismes dans ce sol est très faible (environ 10⁵.g⁻¹ sol) puisque selon DOMMERS et MANGENOT, 1970, les valeurs respectives du nombre de bactéries, champignons et actinomycètes de divers types de sol sont généralement de l'ordre de 10⁹, 10⁷ et 10⁸. Les bactéries sont ici mieux représentées que les champignons et les actinomycètes. Les résultats sont du même ordre de grandeur que ceux obtenus par JUNG, 1970, sur le même sol.

En admettant que les différences de nombre de micro-organismes ne sont significatives que si elles sont supérieures à une puissance de 10, les résultats du tableau III indiquent que les populations micro-

biennes et fongiques ne sont fonction que de la teneur en carbone de la fraction et non de sa nature (le nombre de colonies par gramme de carbone de la fraction, n.g⁻¹ fraction, est à peu près constant pour toutes les fractions FO et FOM. On notera aussi les faibles valeurs obtenues pour les fractions minérales FM 200 et FM 50 et la fraction hydro-soluble W. Rapportés au poids de sol (n.g⁻¹ sol) les résultats montrent que la fraction FOM est la plus riche en micro-organismes et que les teneurs des fractions FO 2.000, FM et W sont négligeables.

Des résultats similaires ont été publiés par KANAZAWA, 1979, pour deux sols de rizières.

TRAITEMENT A

Les déterminations n'ont porté que sur les trois principales fractions FO 200, FO 50, FOM. Les nombres de bactéries, champignons et actinomycètes sont du même ordre de grandeur que ceux du sol témoin.

En conclusion, les micro-organismes sont donc localisés dans les fractions végétales FO et dans

TABLEAU IV
 Vitesses moyennes de consommation d'O₂ des différentes fractions granulométriques du sol
Mean rates of O₂ consumption of the different particle size fractions of the soil

Traitement <i>Treatment</i>	Fraction	Vitesse moyenne de consommation d'O ₂ <i>Mean rate of O₂ consumption</i>	
		v ₁	v ₂
S	F 2000	1920	0,09
	FO 200	1875	0,28
	FM 200	1875*	0,17
	F 200		0,45
	FO 50	350	0,07
	FM 50	350*	0,14
	F 50		0,21
	F O M	765	0,74
	Total		1,49
	A	F 2000	1130
FO 200		260	0,12
FM 200		260*	0,03
F 200			0,15
FO 50		440	0,23
FM 50		440*	0,14
F 50			0,37
F O M		1015	1,04
Total			1,68

v₁ : µl O₂ par heure et par gC de la fraction (µl O₂.h⁻¹.g⁻¹C fract.) (µl O₂ per hour and per gC of fraction).

v₂ : µl O₂ par heure et par g de sol (µl O₂.h⁻¹.g⁻¹ sol) (µl O₂ per hour and per g of soil).

(*) : Non dosé, estimée identique à la valeur de la fraction FO (Undetermined, estimated equal to FO fraction value).

la fraction organo-minérale FOM. La population totale très faible dans ces sols sableux est dominée par les bactéries. Le nombre de micro-organismes est lié à la teneur en carbone de la fraction. On n'observe pas de variations systématiques de ce nombre avec le degré d'humification des différentes fractions ni avec le traitement compost.

Minéralisation du carbone mesurée par la consommation d'O₂ (tabl. IV)

Les résultats sont présentés dans le tableau IV sous forme de vitesse moyenne d'O₂ consommé pendant la durée de l'incubation et rapportés au carbone de la fraction (v₁) ou au sol (v₂). Les mesures sont effectuées sur les fractions FO et FOM, par valeurs pour les fractions FM sont déduites. Les calculs en attribuant une vitesse de consommation d'O₂ de la fraction FM identique à celle de la fraction FO correspondante.

TRAITEMENT S

Les vitesses de consommation d'O₂ rapportées aux teneurs en carbone de chaque fraction (v₁) augmentent dans l'ordre suivant : FO 50 < FOM < FO 200 = FO 2.000, ce qui indique une biodégradabilité élevée pour FO 2.000 et FO 200 et faible pour FO 50 et FOM.

Si les résultats sont rapportés au poids de sol (v₂), on observe que les augmentations sont dans l'ordre suivant : F 2.000 < F 50 < F 200 < FOM et que les fractions de taille supérieure à 50 µm représentent 50 % de la consommation d'O₂.

Ces résultats sont identiques à ceux de KANAZAWA, 1979, qui trouve que les fractions végétales de taille supérieure à 37 µm participent pour 40 % au carbone total facilement minéralisable (mesure de dégagement de CO₂) (1). De plus une analyse détaillée des résultats de cet auteur indique que la minéralisation de la matière organique diminue avec la taille des fractions.

(1) Nous admettons que la mesure du « carbone facilement minéralisable » permet aussi une estimation de la biodégradabilité de la matière organique.

TABLEAU V

Répartition de N minéralisable ($N_m = N-NH_4 + N-NO_3$) dans les différentes fractions granulométriques du sol
N mineralizable ($N_m = N-NH_4 + N-NO_3$) distribution within the different particle size fractions of the soil

Traitement <i>Treatment</i>	Fraction	Nm	
		mgNm.g ⁻¹ N fract.	µgNm.g ⁻¹ sol
S	F 2000	0	0
	F 200	33	0,5
	F 50	25	1,3
	F O M	71	9,6
	Total		11,4
A	F 2000	0	0
	F 200	41	1,9
	F 50	19	1,4
	F O M	48	6,1
	Total		9,3

TRAITEMENT A

Les différences les plus importantes avec le témoin concernent FO 200 (v_1 diminue et devient plus faible que v_1 de FO 50) et FOM (v_1 augmente).

Rapportés au poids de sol (v_2) les résultats sont dans l'ordre suivant : F 2.000 \leq F 200 < F 50 < FOM. Les fractions de taille supérieure à 50 µm ne représentent plus que 38 % de O₂ consommé.

En conclusion, deux compartiments peuvent être distingués dans ces sols pour la caractérisation de la biodégradabilité de la matière organique : les fractions supérieures à 200 µm (FO 2.000 et FO 200) à biodégradabilité élevée, les fractions inférieures à 50 µm à biodégradabilité faible (FO 50 et FOM). A la suite d'apports de compost, on observe une baisse importante de la biodégradabilité de la fraction FO 200, ce qui peut expliquer l'enrichissement du sol en cette fraction.

Minéralisation de l'azote (tabl. V)

Pour ces sols très pauvres en azote les valeurs d'azote minéralisable total ($N_m = N-NH_4 + N-NO_3$) obtenues pour les fractions minérales FM 200 et FM 50 sont extrêmement faibles et à la limite de la précision du dosage (BERNAKARD-REVERSAT, 1981). Aussi, pour cette détermination, les fractions minérales FM n'ont pas été séparées des fractions organiques FO.

TRAITEMENT S

L'azote minéralisable est représenté essentiellement par l'azote nitrique (N-NO₃).

Le coefficient de minéralisation de chaque fraction (mgNm.g⁻¹N fraction) est exprimé par le rapport de l'azote minéralisable (Nm) à l'azote total de la fraction (N). Il varie dans l'ordre suivant : F 2000 < F 50 \leq F 200 < FOM. La quantité d'azote minéralisable fournie par chaque fraction au sol (µgNm.g⁻¹ sol) est dans l'ordre suivant : F 2.000 < F 200 \leq F 50 < FOM.

Ces résultats sont à rapprocher de ceux d'autres auteurs (BERNHARD-REVERSAT, 1981; CAMERON et POSNER, 1979; CHICHESTER, 1969; GANEY, 1977; GREENLAND et FORD, 1964; LADDETAL, 1977; SUZUKI et KUMADA, 1976; TESTER *et al.*, 1979).

L'azote minéralisable du sol varie selon le rapport C/N des amendements organiques (GANRY, 1977) (Nm augmente quand le rapport C/N diminue). Le coefficient de minéralisation de différentes fractions granulométriques ou densimétriques de sols (CAMERON et POSNER, 1971; CHICHESTER, 1969; GREENLAND et FORD, 1964), ou de composts (SUZUKI et KAMADA, 1976; TESTER *et al.*, 1979), augmente aussi lorsque le rapport C/N (et/ou la taille des fractions) diminue. La fraction organo-minérale FOM présente toujours le plus fort coefficient de minéralisation (BERNHARD-REVERSAT, 1981) et fournit 60 à 80 % de l'azote minéralisable total,

TABLEAU VI

Composition (MM, C, N, MC, L, NDF, CC) d'une paille de mil, de son compost et des différentes fractions organiques du sol
 Composition (MM, C, N, MC, L, NDF, CC) of a millet straw, a composted millet straw and different organic fractions of the soil

Traitement Treatments	Amendement ou Fraction de sol Incidant or Soil fraction	MM(*)	C(*)	N(*)	MC(*)	L(*)	NDF(*)	CC(*)	C/N	MC/L	NDF/CC
	Paille Straw	158	415	9,43	425	101	522	320	44	4,2	1,6
	Compost	336	254	12,65	238	275	463	201	20	0,9	2,3
S	FO 2000	125	410	14,64	371	158	536	340	28	2,4	1,6
	FO 200	541	148	9,43	199	156	328	131	16	1,3	2,5
	FO 50	703	79	6,78	108	132	335	tr.	11,5	0,8	sup. à 10
A	FO 2000	186	190	18,57	318	236	549	265	21	1,3	2,1
	FO 200	469	126	9,55	162	267	364	95	13	1,0	3,9
	FO 50	622	69	6,07	96	157	325	29	11,4	0,6	11

(*) : Résultats en mg.g⁻¹ fraction (Results in mg.g⁻¹ fract.).

MM : matière minérale (mineral matter), C = carbone (carbon), N = azote (nitrogen).

MC : matière cellulosique (cellulosic material, crude fiber), L = lignine-H₂SO₄ (H₂SO₄-lignin).

NDF : « neutral detergent fiber », CC = contenu cellulaire (cell-content), sup. = supérieur (superior).

tr : traces.

la forte minéralisation des fractions fines (taille inférieure à 2 µm) serait due à un turn-over rapide d'azote microbien (LADD *et al.*, 1977).

TRAITEMENT A

Les quantités d'azote total minéralisable sont à peu près équivalentes à celles du sol témoin (9,3 µgNm.g⁻¹ sol) mais on note une augmentation relative pour les fractions de taille supérieure à 50 µm (en particulier pour F 200) et une diminution pour FOM. Ces résultats s'expliquent difficilement et nécessitent des études complémentaires.

En conclusion, la fraction organo-minérale FOM représente de 50 à 60 % de l'azote total du sol, est caractérisée par un coefficient de minéralisation de l'azote élevé et fournit l'essentiel de l'azote minéralisable. Ce résultat paraît être général au vu des divers travaux effectués à ce sujet.

Composition chimique des différentes fractions granulométriques (tabl. VI et VII). Étude des tissus végétaux : paroi et contenu cellulaire, matière cellulosique et lignine (tabl. VI)

PAILLE ET COMPOST

Le compostage provoque une forte diminution des teneurs en carbone (C), matière cellulosique (MC), contenu cellulaire (CC) et une augmentation des teneurs en matières minérales (MM), azote (N),

lignine (L) et fibre (NDF) de la paille initiale. Il en résulte une diminution des rapports C/N et MC/L et une augmentation du rapport NDF/CC.

TRAITEMENTS S ET A

Les caractéristiques des différentes fractions végétales du sol (FO 2.000, FO 200, FO 50) varient selon leur taille. Des fractions grossières (FO 2.000) aux fractions fines (FO 50) on constate une très forte baisse des teneurs en (C), (MC) et (CC), alors que celles en (N), (L) et (NDF) décroissent plus faiblement. Il en résulte une diminution importante des rapports C/N et MC/L et une forte augmentation de NDF/CC. La diminution du rapport MC/L avec la taille des fractions est en accord avec les observations morphologiques (diminution de la fluorescence attribuée aux celluloses).

Selon le traitement (S ou A), les caractéristiques de FO 2.000 sont proches de celles de la paille (traitement S) ou du compost (traitement A). On note aussi que, pour chaque fraction, les rapports C/N et MC/L sont inférieurs dans le traitement A à ceux du traitement S et les rapports NDF/CC supérieurs. Enfin, les différences entre les fractions FO 200 et FO 50 sont plus faibles dans le traitement A que dans le traitement S.

En conclusion, les variations des rapports C/N, MC/L et NDF/CC au cours des premiers stades d'humification sont suffisamment importantes pour que ces rapports soient utilisés comme critères

TABLEAU VII

Fractionnement humique d'une paille de mil, de son compost et des différentes fractions granulométriques du sol
Humic fractionation of a millet straw, a composted millet straw and of the different particle size fractions of the soil

Traitement Echantillon	Amendement ou Fraction de sol Amendment or Particle size fraction	AFL(*)	MHT(*)	HU(*)	AF(*)	AH(*)	AF AH	$\frac{S}{CT} \times 100$
	Paille	1,7	23,2	75,1	15,0	8,2	1,8	90
	Compost	1,1	22,7	70,2	13,4	15,3	0,9	104
S	FO 2000	6,5	22,6	70,8	14,8	7,8	1,9	86
	FO 200	1,8	35,9	62,3	20,5	15,4	1,3	93
	FO 50	1,8	43,5	54,8	20,8	22,7	0,9	91
	F O M	8,1	43,1	51,7	17,9	25,2	0,7	108
A	FO 2000	1,7	29,1	69,1	17,2	11,3	1,6	89
	FO 200	1,5	51,4	47,1	23,9	27,5	0,9	94
	FO 50	1,5	51,9	46,5	19,4	32,5	0,6	72
	F O M	8,5	44,2	40,2	20,3	33,9	0,6	86

(*) Résultats en % de la somme S des fractions (*Results in % of the sum of fractions*) AFL sont les acides fulviques libres extraits par H_3PO_4 2M (« free » fulvic acids extracted by H_3PO_4 2M). MHT, AF et AH sont respectivement les matières humiques totales, acides fulviques et acides humiques extraits par $Na_4P_2O_7$ 0,1M + NaOH 0,1N (*MHT, AF and AH are respectively total humic matters, fulvic acids and humic acids extracted by $Na_4P_2O_7$ 0,1M + NaOH 0,1N*). HU est l'humine (*HU is humin*). CT est le carbone total de l'échantillon non fractionné (*CT is the total carbon of the unfractionated sample*). S est la somme des fractions AFL + MHT + HU (*S is the sum of fractions AFL + MHT + HU*).

d'évolution du degré d'humification des résidus végétaux dans les sols. Le rapport C/N est d'usage classique et nous n'y reviendrons pas. Les rapports NDF/CC et MC/L reflètent respectivement, en première approximation, les compositions de la cellule végétale (proportion paroi/contenu cellulaire) et de la paroi cellulaire (proportion matière cellulosique/lignine). L'humification s'accompagne d'une disparition des contenus cellulaires plus rapide que celle des parois. Celles-ci s'enrichissent en lignine par décomposition préférentielle des matières celluloses. L'humification augmente de la fraction FO 2.000 à la fraction FO 50.

La matière organique stockée dans les fractions F 200 et F 50 à la suite d'apports de compost est formée de résidus végétaux à caractère « ligneux » marqué et pauvres en contenus cellulaires.

Étude des composés humifiés (tabl. VII)

PAILLE ET COMPOST

Les matières humiques totales représentent respectivement 25 et 30 % du carbone de la paille et du compost. Une fraction importante de ces composés

alcalino-solubles ne peut être considérée comme des composés humifiés (FLAIG *et al.*, 1975 ; SAUERBECK et FÜHR, 1968 ; ZHIGUNOV et SIMANOV, 1977). Les acides fulviques dominent les acides humiques. Le compostage provoque une augmentation des acides humiques.

TRAITEMENT S

La fraction FO 2.000 présente des caractéristiques identiques à celles de la paille de mil. En allant des fractions grossières (FO 2.000) aux fractions les plus fines (FOM), on constate une augmentation des teneurs en matières humiques totales MHT (due surtout aux acides humiques AH) et une diminution des teneurs en humine HU et du rapport AF/AH. La fraction végétale FO 50 a une composition à peu près identique à celle de la fraction organo-minérale FOM.

Pour l'ensemble des fractions de taille supérieure à 50 μm « l'humine » représente plus de 50 % du carbone de ces fractions et 25 % du carbone total du sol. Elle est constituée essentiellement des polymères végétaux non extractibles aux alcalis à froid (composés des parois cellulaires). Cette forme

d'humine, appelée « humine héritée » par certains auteurs (DUCHAUFOR, 1970 ; PERRAUD *et al.*, 1971 ; VEDY, 1973), représente donc ici au moins la moitié de l'humine du sol. L'isolement de cette forme d'humine est beaucoup plus aisé par cette approche que par les techniques chimiques destructives habituelles (PERRAUD *et al.*, 1971).

L'ensemble des travaux publiés sur la composition en matières humiques de différentes fractions granulométriques des sols (Mc KEAGUE, 1971 ; OADES et TURCHENEK, 1978 ; POSNER *et al.*, 1968 ; TURCHENEK et OADES, 1979), confirme que le taux d'extraction (à pH 12,0) augmente quand on passe des fractions grossières aux fractions fines. Par contre, les variations des rapports AF/AH n'apparaissent pas aussi systématiques que celles constatées ici.

TRAITEMENT A

Les variations entre les différentes fractions granulométriques sont proches de celles du traitement S. En passant des fractions grossières aux fractions fines on constate une augmentation AF/AH. La différence la plus importante avec le traitement S concerne l'augmentation de MHT pour toutes les fractions, en particulier pour FO 200 dont la composition devient identique à celle de FO 50 et FOM.

En conclusion, la composition humique des différentes fractions granulométriques fait apparaître pour le traitement S les similitudes de FO 200 et FO 2.000 d'une part, et FO 50 et FOM d'autre part. Ces similitudes ont déjà été constatées dans l'étude sur la minéralisation du carbone.

L'augmentation des teneurs en carbone observée dans les fractions F 50 et F 200 à la suite des enfouissements de compost s'accompagne d'une humification plus forte des fractions FO 200, FO 50 et FOM (augmentation de MHT et AH). Les caractéristiques de la fraction FO 200 deviennent proches de celles de la fraction FO 50, comme nous l'avons déjà observé pour la morphologie, la minéralisation du carbone et la composition biochimique des tissus végétaux.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

La matière organique d'un sol sableux est étudiée par un fractionnement granulométrique consistant, après destruction des agrégats, en de simples tamisages du sol sous eau à 2.000, 200 et 50 μm et conduisant à l'obtention de trois fractions de taille supérieure à 50 μm (F 2.000, F 200, F 50), d'une fraction organo-minérale de taille 0-50 μm (FOM) et d'une fraction hydrosoluble (W). Cette méthode très facile à mettre en œuvre, nécessite peu de

moyens et peut être appliquée à des volumes de sol importants, ce qui est intéressant pour les échantillons pauvres en matière organique.

Les observations morphologiques indiquent que la matière organique des fractions de taille supérieure à 50 μm (appelées « fraction végétales ») est constituée essentiellement de débris végétaux à divers degrés d'humification. Elle représente environ 50 % de la matière organique du sol. La fraction organo-minérale FOM qui ne contient pratiquement plus de matières organiques reconnaissables constitue, de fait, le complexe organo-minéral du sol et représente environ 50 % de la matière organique du sol, la fraction hydrosoluble (W) n'ayant que de faibles teneurs en C et N pour les échantillons étudiés. Cette méthode de fractionnement permet donc la séparation de trois grands compartiments organiques du sol très nettement différenciés sur le plan physique.

Aussi bien les observations morphologiques que les teneurs en MHT (matières humiques totales) et les variations des rapports MC/L (matières cellulosiques/lignine), NDF/CC (fibre/contenu cellulaire) et AF/AH (acides fulviques/acides humiques) indiquent que le degré d'humification des fractions augmente quand leur taille diminue. Le passage de la fraction végétale grossière FO 2.000 à la fraction fine FO 50 s'accompagne d'une baisse de la biodégradabilité de la matière organique et d'une diminution préférentielle des matières cellulosiques et des contenus cellulaires. La fraction FO 50 (50-200 μm) est essentiellement constituée de fibres humo-ligneuses riches en acides humiques. Toutefois, quelques caractéristiques chimiques et biologiques (taux d'humification, biodégradabilité) rapprochent déjà cette fraction végétale de la fraction organo-minérale FOM. Enfin, la moitié de la matière organique des fractions végétales (FO 2.000 + FO 200 + FO 50) est insoluble dans les solutions alcalines, et constitue 50 % de l'humine totale du sol. Cette forme d'humine peut être considérée comme « humine héritée ». Celle-ci est difficile à isoler par les méthodes chimiques habituelles alors qu'elle peut être obtenue aisément par la méthode proposée (un tamisage sous eau à 50 μm suivi d'une extraction alcaline à pH 12,0 de la fraction de taille supérieure à 50 μm).

Ce fractionnement granulométrique a été appliqué à un essai agronomique visant à étudier les interactions compost-urée sur la production végétale et la fertilité du sol.

Des apports combinés de compost et d'urée pendant quatre années successives ont permis d'augmenter fortement les teneurs en matière organique du sol (C, N). Les augmentations sont dues essentiellement aux fractions végétales FO 50

et FO 200. La disparition du compost (apporté sous forme de débris végétaux de taille supérieure à 2 mm) est très rapide si bien qu'aucune variation n'est observée en fin de culture pour la fraction FO 2.000. De même aucun accroissement de la fraction organominérale FOM n'est constaté.

Les caractères acquis par la fraction FO 200 à la suite des apports de compost (diminution de la biodégradabilité, des rapports C/N, MC/L, AF/AH, augmentation de MHT) correspondent à un degré d'humification plus élevé des résidus végétaux. La fraction FO 200 présente alors des propriétés chimiques identiques à celles de la fraction végétale la moins biodégradable FO 50.

Cet ensemble de résultats laisse supposer que, à court et moyen terme, les processus d'humification par voie résiduelle (stockage de la matière organique dans les fractions végétales) sont dominants dans ce type de sol ce qui a été confirmé ultérieurement

(FELLER *et al.*, 1982 a et b), par des expérimentations avec traceurs isotopiques (^{14}C , ^{15}N).

En conclusion, ce fractionnement granulométrique qui permet d'isoler des compartiments organiques très différenciés sur un plan physico-chimique est adapté non seulement à la caractérisation de la matière organique du sol et à l'étude des processus d'humification des résidus végétaux mais aussi à la résolution de problèmes agronomiques, en particulier, la gestion du stock organique des sols cultivés.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient vivement M. Bachelier (O.R.S.T.-O.M.) pour l'identification de la faune du sol, M. Dabin (O.R.S.T.O.M.) pour les résultats du fractionnement humique et M. Dommergues (CNRS) pour ses nombreux conseils dans la rédaction de ce travail.

*Manuscrit reçu au Service des Éditions de l'O.R.S.T.O.M.
le 1^{er} février 1984*

BIBLIOGRAPHIE

- BABEL (U.), 1975. — Micromorphology of soil organic matter. *In*: Soil Components. Ed. F. J. Gieseking. Vol. 1, Organic Components : 369-474, Springer Verlag, Berlin.
- BERNHARD-REVERSAT (F.), 1981. — Participation of light and organo-mineral fractions of soil organic matter in nitrogen mineralization in a sahelian savanna soil. *Zbl. Bakt.*, II Abt. 136 : 281-290.
- BOOTH (C.), 1971. — Fungal culture media. *In*: Methods of Microbiology. Ed. C. Booth. Vol. 4 : 49-94, Acad. Press, London.
- BRUCKERT (S.), 1979. — Analyse des complexes organominéraux des sols. *In*: *Pédologie*, vol. 2, Constituants et Propriétés des sols. Eds M. Bonneau et B. Souchier : 187-209, Masson, Paris.
- BRUCKERT (S.), ANDREUX (F.), CORREA (A.), AMBOUTA (K. J. M.) et SOUCHIER (B.), 1978. — Fractionnement des agrégats appliqué à l'analyse des complexes organo-minéraux du sol. *Trans. 11th Int. Cong. Soil Sci.*, 6, 88-89.
- BÜCKLEY (H. R.), 1971. — Fungi pathogenic for man and animals. *In*: Methods of Microbiology. Ed. C. Booth. Vol. 4 : 461-478, Acad. Press, London.
- CAMERON (R. S.) and POSNER (A. M.), 1979. — Mineralizable organic nitrogen in soil fractionated according to particle size. *J. Soil Sci.*, 30 : 565-577.
- CHICHESTER (F. W.), 1969. — Nitrogen in soil organo-mineral sedimentation fractions. *Soil Sci.*, 107 : 356-363.
- C.P.C.S., Classification française des sols, 1967. — Travaux de la commission de pédologie et de cartographie des sols de 1963 à 1967. *Rapp. multigr.*, Paris, 96 p.
- DABIN (B.), 1971. — Étude d'une méthode d'extraction de la matière humique du sol. *Sci. du Sol, Bull. AFES*, 1 : 47-63.
- DOMMERGUES (Y.) et MANGENOT (F.), 1970. — Écologie Microbienne du Sol, Masson, Paris, 796 p.
- DUCHAUFOUR (Ph.), 1970. — Précis de Pédologie. Masson, Paris, 481 p.
- EL BALKHI (H. R.), MANGENOT (F.), PROTH (J.) et KILBERTUS (G.), 1978. — Influence de la percolation d'une solution de saccharose sur la composition qualitative et quantitative de la microflore bactérienne d'un sol. *Soil Sci. Plant. Nutr.*, 24 : 15-25.
- 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. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol.*, vol. XVII, n° 4 : 339-346.
- FELLER (C.), GANRY (F.) et CHEVAL (M.), 1981. — Décomposition et humification des résidus végétaux dans un agrosystème tropical. I. 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.), GUIRAUD (G.), HETIER (J. M.) and MAROL (C.), 1982 a. — Study by size fractionation of the organic matter in a cultivated tropical soil fertilized by labelled crop residues (^{14}C ^{15}N) and urca (^{15}N). *Trans. 12th Int. Cong. Soil. Sci.*, 6 : 58.

- FELLER (C.), GUIRAUD (G.) and GANRY (F.), 1982 b. — Soil organic matter and nitrogen interaction in a tropical agrosystem. Study by size organic matter fractionation and isotope techniques. Trans. Regional Colloquium on Soil Organic Matter Studies : 185-191. CENA/PROMOCET, Piracicaba, Brasil.
- FLAIG (W.), BEUTELSPACHER (H.) and RIETZ (E.), 1975. — Chemical composition and physical properties of humic substances. In: Soil Components. Ed. F. J. Gieseking. Vol. I, Organic Components : 1-212, Springer Verlag, Berlin.
- GANRY (F.), 1977. — Étude en microlysismètres de la décomposition de plusieurs types de résidus de récolte dans un sol tropical sableux. *L'Agron. Trop.*, 32 : 51-65.
- GANRY (F.), BIDEAU (J.) et NICOLI (J.), 1974. — Action de la fertilisation azotée et de l'amendement organique sur le rendement et la valeur nutritionnelle d'un mil souana III. *L'Agron. Trop.*, 29 : 1006-1015.
- GREENLAND (D. J.) and FORD (G. W.), 1964. — Separation of partially humified organic materials from soil by ultrasonic dispersion. *Trans. 8th Int. Cong. Soil Sci.*, 3 : 137-148.
- HENIN (S.) et TURC (L.), 1950. — Essai de fractionnement des matières organiques du sol. *Trans. 4th Int. Cong. Soil Sci.*, 1 : 152-154.
- JUNG (G.), 1970. — Variations saisonnières des caractéristiques microbiologiques d'un sol ferrugineux tropical peu lessivé (Dior) soumis ou non à l'influence d'Acacia albida. *Oecol. Plant.*, 5 : 113-135.
- KANAZAWA (S.), 1979. — Studies on the plant debris in rice paddy soils. 1. Morphological observation and numbers of microbes in fractionated plough layer of paddy soils. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 25 : 59-69.
- KÜSTER (E.) and WILLIAMS (S. T.), 1964. — Selection of media for isolation of streptomycetes. *Nature*, 202 : 928-929.
- LADD (J. N.), PARSONS (J. W.) and AMATO (M.), 1977. — Studies of nitrogen immobilization and mineralization in calcareous soils. 2. Mineralization of immobilized nitrogen from soil fractions of different particle size and density. *Soil Biol. Biochem.*, 9 : 319-325.
- MC KEAGUE (J. A.), 1971. — Organic matter in particle size and specific gravity fractions of some Ah horizons. *Can. J. Soil Sci.*, 51 : 499-505.
- MELINE (V.), 1981. — Étude de l'humification des différents compartiments de transformation de la matière organique figurée de deux profils de sols acides et riches en produits alumineux. DEA Pédologie, *Rapp. multigr.*, O.R.S.T.O.M., Paris, 61 p.
- MONNIER (G.), 1965. — Action des matières organiques sur la stabilité structurale des sols. 2^e Partic. *Ann. Agron.*, 16 : 471-534.
- OADES (J. M.), 1967. — Carbohydrates in some Australian soils. *Aust. J. Soil Res.*, 5 : 103-115.
- OADES (J. M.) and LADD (J. N.), 1977. — Biochemical properties. Carbon and nitrogen metabolism. In: Soil Factors in Crop Production in a Semi-arid Environment. Ed. J. S. Russel and F. L. Greacen : 126-160, Univ. Queensland Press.
- OADES (J. M.) and TURCHENEK (L. W.), 1978. — Accretion of organic carbon, nitrogen and phosphorus in sand and silt fractions of a red-brown earth under pasture. *Aust. J. Soil Res.*, 16 : 351-354.
- O.M.A. Official Method of Analysis, 1975. — Crude fiber (17), official final action. In: Official Method of Analysis. Ed. Association of Agricultural Chemists, Arlington, 12th Ed. (7054) : 136.
- PIERRE (D.), 1979. — Variation de l'abondance naturelle de l'isotope ¹⁵N dans le sol au cours de l'humification de la matière organique. Thèse Doctorat Spécialité, Univ. Paris VI, 85 p.
- POSNER (A. M.), THENG (B. K. G.) and WAKE (J. R. H.), 1968. — The extraction of soil organic matter in relation to humification. *Trans. 9th Int. Cong. Soil Sci.*, 3 : 153-162.
- SAUERBECK (D.) and FÜHR (F.), 1968. — Alkali extraction and fractionation of labelled plant material before and after decomposition. A contribution to the technical problems in humification studies. In: Isotopes and Radiation in Soil Organic Matter Studies : 3-11, IAEA, Vienna, 584 p.
- SUZUKI (M.) and KUMADA (K.), 1976. — Mineralization of physically fractionated rotten plant residues under upland conditions. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 22 : 373-385.
- TESTER (C. F.), SIKORA (L. J.), TAYLOR (J. M.) and PARR (J. F.), 1979. — Decomposition of sewage sludge compost in soil. 3. Carbon, nitrogen and phosphorus transformations in different sized fractions. *J. Environ. Qual.*, 8 : 79-82.
- TURCHENEK (L. W.) and OADES (J. M.), 1974. — Size and density fractionation of naturally occurring organo-mineral complexes. *Trans. 10th Int. Cong. Soil Sci.*, 2 : 65-72.
- TURCHENEK (L. W.) and OADES (J. M.), 1979. — Fractionation of organo-mineral complexes by sedimentation and density techniques. *Geoderma*, 21 : 311-343.
- VAN SOEST (P. J.), 1963. — Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. 2. A rapid method for the determination of fiber and lignin. *J. of Ass. Off. Agric. Chem.*, 46 : 829-835.
- VAN SOEST (P. J.) and WHINE (R. H.), 1967. — Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. 4. Determination of plant cell-wall constituents. *J. of Ass. Off. Agric. Chem.*, 50 : 50-55.

- VEDY (J.-C.), DUCHAUFOUR (Ph.) et JACQUIN (F.), 1973. — Relation entre le cycle du calcium et l'humification. *C. r. Acad. Sci. Paris*, sér. D 276 : 1665-1668.
- WATSON (J. R.) and PARSONS (J. W.), 1974. — Studies of soil organo-mineral fractions. I. Isolation by ultrasonic dispersion. *J. Soil Sci.*, 25 : 1-8.
- WHITEHEAD (D. C.), BUCHAN (H.) and HARTLEY (R. D.), 1975. — Component of soil organic matter under grass and arable cropping. *Soil Biol. Biochem.*, 7 : 65-71.
- ZHIGUNOV (A. V.) and SIMAKOV (V. N.), 1977. — Composition and properties of humic acids separated from decomposing plant residues. *Soviet Soil Sci.*, 9 : 687-693.