

Une méthode de fractionnement granulométrique de la matière organique des sols

application aux sols tropicaux, à textures grossières, très pauvres en humus

Christian FELLER

Pédologue ORSTOM

ORSTOM Dakar-Hann, BP 1386, Dakar

RÉSUMÉ

L'auteur présente une méthode d'étude de la matière organique de sols sableux très pauvres en humus (M.O. % = 0,3 - 0,5) basée sur un fractionnement granulométrique du sol par simples tamisages successifs à sec et sous eau à 2.000, 200 et 50 μ .

Des fractions organiques (FO), minérales (FM), et organo-minérales (FOM) sont séparées selon leur taille par :

- tamisage à sec à 2.000 μ : fraction FO 2.000 et FM 2.000*
- tamisage sous eau à 200 μ : fraction FO 200 et FM 200*
- tamisage sous eau à 50 μ : fraction FO 50 et FM 50*
- récupération de la fraction inférieure à 50 μ : fraction FOM*

Par cette méthode, 90 % de la matière organique (FO 2.000, FO 200, FO 50, FOM) sont concentrés dans environ 12 % du poids de sol par élimination de l'essentiel des fractions sableuses minérales (FM 2.000, FM 200 et FM 50).

Les différentes fractions organiques et organo-minérales sont nettement différenciées sur le plan analytique et représentent divers stades d'humification.

Enfin, cette méthode très souple, applicable à de gros échantillons de sol, est utilisable dans de nombreux domaines des sciences du sol.

SUMMARY

A METHOD FOR GRANULOMETRIC FRACTIONATION OF SOIL ORGANIC MATTER. APPLICATION TO TROPICAL SOILS WITH COARSE TEXTURES AND VERY LOW HUMUS CONTENT.

Author presents a soil organic matter size fractionation method for the study of poor sandy soils. By means of successive dry and wet sieving at 2000, 200 and 50 μ , soil is fractionated into organic, mineral and organo-mineral fractions.

Using this method to study a psamentic ustropept soil from Senegal (vernacular name : Dior soil), 90 % of organic matter was separated from the sandy fraction and thus concentrated into organic and organo-mineral fractions whose weight was 12 % of the total soil weight.

Analytical data on organic and organo-mineral fractions are in good agree with différent humification stages.

This simple method, applicable to large soil samples, is suitable in many studies on soil organic matter.

1. INTRODUCTION

En Afrique tropicale sèche, les sols sableux à sablo-argileux (1) 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 la fertilité.

Son étude est indispensable pour une meilleure connaissance des relations sol-plante.

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, nécessitent pour les études au champ, des prélèvements importants et des analyses sur échantillons de grande taille. Dans ces conditions, les méthodes habituellement utilisées (extractions chimiques des composés humiques sur le sol global), portant sur de petites quantités de sol, ne sont plus adaptées.

Nous présentons, dans ce travail, une méthode de fractionnement granulométrique de la matière organique basée sur de simples tamisages du sol à sec et sous eau, et adaptée à de grands échantillons de sol.

Des chercheurs de plus en plus nombreux utilisent des méthodes physiques, préalablement à toute extraction chimique, pour l'étude de la matière organique. Plusieurs des techniques suivantes sont en général retenues dans un seul protocole : densimétrie dans liqueurs denses organiques ou minérales, flottation dans l'eau, ultrasonication, tamisages, sédimentation, décantation, élutriation, centrifugation.

Les objectifs visés peuvent être très divers, à savoir (2) :

— estimation de la biomasse des racines (AMBLER et YOUNG 1977, BONZON et PICARD 1969, CANODE *et al.* 1977, HARRIS *et al.* 1977, JENIK 1971, SCHURMAN et GOEDEWAGEN 1965), ou des fractions organiques dites « légères » (résidus végétaux plus ou moins humifiés) (AL KHAFAF 1977, DABIN 1971, DUCHAUFOR et JACQUIN 1966, FORD *et al.* 1969, GREENLAND et FORD 1964, HENIN et TURC 1950, KONONOVA 1961,

MONNIER *et al.* 1962, WHITEHEAD *et al.* 1975).

— étude de la répartition du carbone et de l'azote dans différentes fractions organiques (CHICHESTER 1969, CRASWELL *et al.* 1970, SOWDEN *et al.* 1978, WATSON et PARSONS 1974, OADES et TURCHENEK 1978) ou dans les complexes organo-minéraux (macro et micro-agrégats) (ALEKSANDROVA *et al.* 1964, BRUCKERT *et al.* 1978, HIGASHI et WADA 1977, Mc. KEAGUE 1971, POSNER *et al.* 1968, SATOH et YAMANEH 1972, SPYCHER et YOUNG 1977, TURCHENEK et OADES 1974 et 1979).

— caractérisation biologique de certaines fractions organiques (Mc. GILL *et al.* 1975), ou étude de l'activité biologique des sols (AMBLER et YOUNG 1977, CHICHESTER 1969, GLOSER et TESAROVA 1978, Mc. GILL *et al.* 1975).

— caractérisation et classification des tourbes (BOELTER 1969, DINEL et LEVESQUE 1976, LEVESQUE et DINEL 1977 et 1978), ou des composts et résidus de récolte plus ou moins transformés (HIROSE et KUMADA 1972, SUZUKI *et al.* 1975).

— étude des relations entre matières organiques et propriétés physiques des sols (ADU et OADES 1978, BOELTER 1969, DELL'AGNOLA et FERRARI 1971, HAMBLIN et DAVIES 1977, MONNIER 1965).

La faible altération chimique des fractions extraites (surtout si l'eau est utilisée comme seul solvant ou milieu liquide) et l'obtention de fractions organiques du sol dites « naturelles » (naturally-occurring-organic-fractions) dont on peut étudier les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques (résidus végétaux à différents stades de décomposition, agrégats organo-minéraux de taille, de stabilité, et de composition variable) sont les principaux avantages des méthodes physiques de fractionnement de la matière organique.

Toutefois, dans l'ensemble de ces études, où dominant les travaux sur les complexes organo-minéraux et les sols moyennement à bien pourvus en matière organique, les sols sableux pauvres en humus n'ont guère retenu l'attention des chercheurs.

Bien que motivée par des objectifs scientifiques différents, la méthode proposée est inspirée en partie de celle de BRUCKERT *et al.* (1978).

A l'intérêt théorique exposé ci-dessus d'une telle démarche analytique, s'ajoute, pour les sols sableux, un intérêt pratique important, puisque la technique

(1) Sols « peu évolués d'apport éolien », sols « isohumiques bruns et brun-rouge subarides », sols « ferrugineux tropicaux peu lessivés » ou « lessivés » sur matériaux sableux à sablo-argileux.

(2) Il ne s'agit pas d'une bibliographie exhaustive, mais un accent particulier est mis sur quelques publications relativement récentes.

utilisée ici vise à « concentrer » la matière organique dans des fractions caractéristiques. Celles-ci peuvent alors être étudiées ultérieurement dans des conditions analytiques satisfaisantes. Enfin, et surtout, la méthode est facilement applicable à de gros échantillons de sols.

2. MÉTHODE DE FRACTIONNEMENT GRANULOMÉTRIQUE DE LA MATIÈRE ORGANIQUE

Par tamisages successifs à sec (2 mm) puis sous eau (0,2 et 0,05 mm), le sol est fractionné en particules de tailles différentes. Le schéma du fractionnement apparaît sur la figure 1.

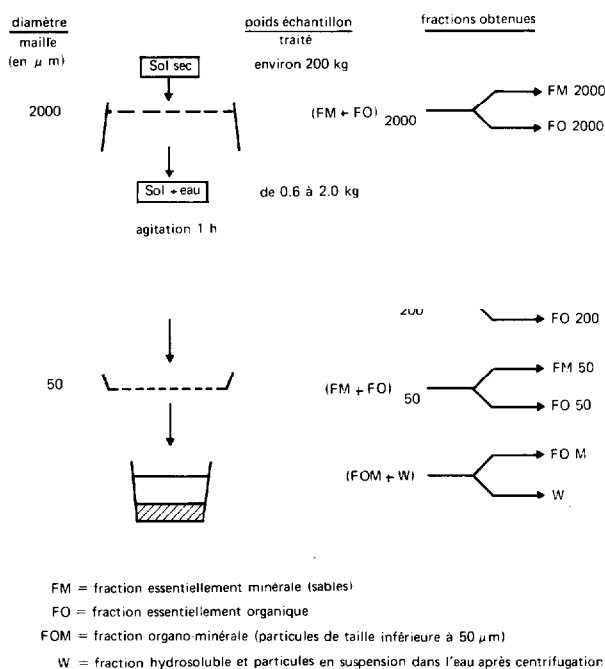


FIG. 1. — Schéma de fractionnement d'un sol sableux très pauvre en matière organique.

2.1. Détails du prélèvement et du fractionnement

2.1.1. LES FRACTIONS DE TAILLE SUPÉRIEURE À 2 MM, FM 2.000 ET FO 2.000 : TAMISAGE À SEC

Dans le cas des parcelles ayant reçu un amendement organique, une étude statistique préalable (FELLER *et*

al. 1980), nous a montré qu'un prélèvement à la bêche (sur 15 cm) d'environ 240 kg de sol (60 répétitions) était nécessaire pour obtenir le poids de la fraction FO 2.000 avec une précision d'environ 16 % à $P = 0,05$.

Le prélèvement total 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 supérieure à 2 mm restant sur le tamis (FM + FO) 2.000 est composée de résidus de récolte FO 2.000 (racines, chaumes, graines, etc.) contaminés par quelques graviers FM 2.000. Par tri manuel et simple décantation dans l'eau FO 2.000 est séparé de FM 2.000, séché à 60° jusqu'à poids constant, broyé, pesé, puis analysé : cendres, humidité à 105° C, carbone, azote, cellulose, lignine, etc.).

Les résultats d'analyse de FO 2.000 portent donc sur la *totalité* de l'échantillon de sol prélevé.

La fraction inférieure à 2 mm, recueillie sous le tamis, est homogénéisée avec précaution, et une partie aliquote est prélevée (quelques kilogrammes) pour les analyses ultérieures. Le reste de l'échantillon est éliminé.

Au moins 600 g du sol (6 x 100 g) tamisé à 2 mm sont agités pendant une heure avec 6 x 3 billes de verre dans 1.800 ml (6 x 300) d'eau distillée (1).

La suspension de sol dans l'eau est passée successivement sur des tamis à maille carrée de 0,2 et 0,05 mm. Les fractions retenues sur les deux tamis sont abondamment lavées à l'eau et les eaux de lavage jointes aux eaux de fractionnement.

On récupère ainsi les fractions (FM + FO) 200 (FM + FO) 50 et (FOM + W).

Les fractions (FM + FO) 200 et (FM + FO) 50 sont transvasées séparément dans des béciers de un litre (large ouverture). Par simple flottation dans l'eau et légère agitation manuelle des béciers ou entraîne les fractions FO (FO 200 et FO 50). Les résidus de sol représentent alors les fractions FM (FM 200 et FM 50).

Les fractions FO 200 et FO 50 obtenues sont alors filtrées (pour éliminer l'eau ayant servi à leur séparation des sables), séchées à 60° jusqu'à poids constant, broyées finement, pesées, puis analysées : cendres, humidité à 105° C...

La fraction hydrosoluble W est séparée de la

(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).

fraction organo-minérale FOM par centrifugation (1) et une partie aliquote des eaux est conservée pour dosages éventuels (carbone, azote, etc.).

Les résultats sont rapportés aux poids de l'échantillon (ou de la fraction) séché (e) à 105° C.

3. VALIDITÉ DE LA MÉTHODE : CAS D'UN SOL SABLEUX CULTIVÉ (SÉNÉGAL)

L'ensemble des descriptions et résultats qui suivent concernent, à titre d'exemple, un essai agronomique avec ou sans enfouissement de résidus de récolte dans un sol sableux cultivé du Sénégal, appelé localement « sol dior » et classé comme « sol ferrugineux tropical peu lessivé » (cl. française) « psammentic ustropept » (cl. américaine, USDA 7th approximation), « luvic acrisol » (cl. F.A.O.). La texture de l'horizon de surface (0-15 cm) est sableuse et la teneur en matière organique est de 0,4 %. La parcelle choisie n'a reçu aucun enfouissement organique.

3.1. Bilan en carbone et étude statistique

Les teneurs en carbone exprimées en milligramme de carbone par gramme de fraction (mg C/g fraction), en milligramme de carbone par gramme du sol total (mg C/g sol) ou en pour cent du carbone total (% C de CT) sont présentées dans le tableau I. Les données statistiques (écart-type et intervalle de confiance) apparaissent dans le tableau II.

La somme CT des teneurs moyennes en carbone (mg C/g sol = 2.146) n'est pas significativement différente à $P = 0,05$ de la teneur en carbone de l'échantillon témoin non fractionné (mg C/g sol = 2.158). Ces deux valeurs sont estimées avec le même intervalle de confiance (3,5 % pour la moyenne de 10 répétitions). Le bilan après fractionnement est donc satisfaisant puisque la détermination directe du carbone sur le sol témoin non fractionné n'est pas d'une meilleure précision que celle faisant intervenir une série d'opérations (séparations et dosages) sur sept fractions.

TABLEAU I

Moyenne des teneurs en carbone des différentes fractions de sol à partir de 10 répétitions

Fraction	Poids		Teneurs moyennes en carbone		
	g/100 g sol	mgCg/fraction	mgC/g sol	% C de CT (*)	
Sol fractionné	FO 2.000	0.016	400.0	0.063	3.0
	FO 200	0.3	223.2	0.464	21.6
	FM 200	23.7	0.12	0.026	1.2
	FO 50	0.7	33.7	0.189	9.8
	FM 50	63.4	0.19	0.125	5.8
	FOM	11.6	10.6	1.236	57.6
	W	0.3	14.3	0.043	2.0
CT (*)	99.0		2.146	100.0	
Sol non fractionné	100.0		2.158	100.6	

(*) CT = FO 2.000 + FO 200 + FM 200 + FO 50 + FM 50 + FOM + W

(1) 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.

TABLEAU II

Moyenne, écart-type et intervalle de confiance des teneurs en carbone des différentes fractions de sol, à partir de 10 répétitions, à la probabilité $P = 0.05$ (valeurs exprimées en % du carbone de la somme des fractions CT)

	Fraction	Moyenne m	Ecart-type s	Intervalle de confiance	
				ICm (*)	ICi(*)
sol fractionné	FO 2.000	3.0	1.9	0.5 (**)	n.d.
	FO 200	21.6	2.3	1.6	5.1
	FM 200	1.2	0.5	0.3	0.9
	FO 50	8.8	2.2	1.5	4.7
	FM 50	5.8	1.6	1.2	3.8
	FOM	57.6	3.4	2.6	7.9
	W	2.0	0.5	0.3	0.9
	CT (***)	100.0	4.7	3.4	10.6
sol non fractionné		100.6	4.7	3.5	11.1

(*) ICm est l'intervalle de confiance de la moyenne $ICm = \frac{t \times s}{\sqrt{9}}$

ICi est l'intervalle de confiance pour une seule répétition, $ICi = T \times s$ où s est l'écart type et t la valeur lue dans la table de « t » à ddl = 9 (d'après SCHWARTZ, 1963).

(**) à partir de la moyenne sur 60 répétitions (FELLER *et al.*, 1980a)

(***) CT = FO 2.000 + FO 200 + FM 200 + FO 50 + FM 50 + FOM + W

On note aussi que les trois fractions organiques (FO 2.000, FO 200, FO 50), et la fraction organo-minérale (FOM) représentent à elles seules environ 90 % du carbone total. Celui-ci est « concentré » dans 12 % du poids de sol, ce qui correspond à un facteur global de concentration des taux de carbone égal à 7. Qui plus est, les teneurs élevées en carbone (mgC/g fraction) de chacune de ces fractions permettent leur étude dans des conditions analytiques satisfaisantes.

Remarquons enfin (tabl. II) que les intervalles de confiance sur les moyennes des différentes fractions sont toujours faibles, la précision la moins bonne (rapport ICm/m) concerne bien évidemment les fractions les plus pauvres en carbone, FM 200 et FM 50.

Toutefois, dans ce cas, les valeurs de ICm restent relativement faibles, respectivement égales à 0.3 et 1.2 %.

En conclusion, le fractionnement utilisé n'entraîne que des pertes négligeables en carbone et la précision obtenue sur les différentes fractions paraît tout à fait acceptable.

3.2. Quelques caractéristiques des fractions organiques et organo-minérales

A titre d'illustration, nous présentons dans le tabl. III quelques caractéristiques des fractions organiques et organo-minérales du sol étudié.

Les quelques données du tabl. III montrent que les fractions organiques ou organo-minérales obtenues sont de plus en plus humifiées, de FO 2.000 à FOM : le rapport C/N passe de 40 à 10, le contenu cellulaire (CC) diminue fortement pour ne laisser, au stade de la fraction FO 50, qu'un résidu riche en « fibre » (NDF). Ce résidu fibreux est par ailleurs, très riche en lignine (L) puisque le rapport MC/L passe de 2,4 pour la fraction FO 2.000 à 0,8 pour la fraction FO 50.

Les fractions étudiées sont donc représentatives de différents degrés d'humification.

TABLEAU III
Quelques caractéristiques des fractions organiques et organo-minérales

Fraction	Caractéristiques morphologiques	Caractéristiques chimiques		
		C/N	MC/L (*)	NDF/CC (**)
FO 2.000	Résidus végétaux très grossiers (taille supérieure à 2 mm) : pailles, racines, graines, etc.	40.3	2.4	1.6
FO 200	Résidus végétaux grossiers (taille de 0.2 à 2 mm) encore reconnaissables à l'œil nu : racines, petites graines, etc. Certains de ces résidus sont déjà préhumifiés	20.5	1.4	2.5
FO 50	Débris organiques (taille de 0.05 à 0.2 mm) peu reconnaissables à l'œil nu fortement humifiés : débris végétaux ou animaux, boulettes fécales	15.0	0.8	sup. à 10
FOM	Matière organique liée aux limons et argiles, non recon-			

Abréviations : n.d. = Non dosé, C = Carbone, N 0 Azote, L = Lignine, MC = Matières cellulosiques, N.D.F. = « Neutral detergent fiber » (fibre résistant à détergent neutre), CC = Contenu cellulaire

(*) MC dosé selon O.M.A. (1975), L dosé selon VAN SOEST (1963)

(**) NDF et CC dosés selon VAN SOEST et WHINE (1967)

4. VARIATIONS POSSIBLES AUTOUR DE LA MÉTHODE PROPOSÉE

Selon les objectifs de l'étude, on peut augmenter le nombre de fractions organiques de taille supérieure à 0,05 mm ou au contraire regrouper ces fractions. Le protocole peut être aussi allégé (voir par exemple FELLER *et al.* 1980).

Pour des sols à texture grossière riches en matière organique, l'échantillon pourra être réduit.

Pour des sols à texture moyenne à lourde, nous renvoyons le lecteur aux références citées dans l'introduction et, en particulier, à BRUCKERT *et al.* (1978).

5. CONCLUSION

L'intérêt de cette méthode de fractionnement est double : *sur un plan pratique*, la méthode est :

— applicable à des échantillons de sol de taille importante et permet donc de résoudre un certain nombre de problèmes méthodologiques liés à la forte dilution de la matière organique dans des matériaux sableux inertes,

— souple, de nombreuses variantes étant envisageables selon les objectifs de la recherche, et, en particulier, selon la nature des compartiments organiques qui doivent être étudiés,

— simple et peu coûteuse,

sur un plan théorique, l'approche proposée permet :

— d'obtenir des fractions organiques « naturelles » peu ou pas chimiquement transformées, à des stades d'humification bien différenciés,

— d'appréhender les relations entre différents compartiments organiques d'un sol,

— d'étudier de nombreux problèmes liés à la matière organique en sciences du sol, aussi bien en pédologie qu'en écologie végétale, agronomie, géochimie organique, biologie et microbiologie.

Manuscrit reçu au Service des Publications de l'ORSTOM le 8 février 1980.

BIBLIOGRAPHIE

- ADU (J.K.), OADES (J.M.), 1978. — Physical factors influencing decomposition of organic materials in soil aggregates. *Soil Biol. Biochem.*, 10 : 109-115.
- ALEKSANDROVA (L.N.), YURLOVA (O.V.), LOBITSKAYA (L.W.), 1964. — The distribution and the composition of the humus substances and their organo-mineral derivations in the granulometric fraction in some type of soils. *Trans. 8th, Int. Cong. Soil Sci.*, 3 : 109-116.
- AL-KHAFAB (S.), WIERENGA (P.J.), WILLIAM (B.C.), 1977. — Flotation method for determining root mass in soil. *Agr. J.*, 69 (6) : 1.025-1.026.
- AMBLER (J.R.), YOUNG (J.L.), 1977. — Techniques for determining root length infected by vesicular arbuscular mycorrhizae. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 41 : 551-556.
- BOELTER (D.H.), 1969. — Physical properties of peats as related to degree of decomposition. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 33 : 606-609.
- BONZON (B.), PICARD (D.), 1969. — Matériel et méthodes pour l'étude de la croissance et du développement en pleine terre des systèmes racinaires. *Cah. ORSTOM, ser. Biol.*, 9 : 3-18.
- BRUCKERT (S.), ANDREUX (F.), CORREA (A.), AMBOUTA (J.M.K.), 1978. — Fractionnement des agrégats appliqué à l'analyse des complexes organo-minéraux des sols. II^e Congrès Int. Assoc. Sc. du sol, Edmonton, Canada.
- CANODE (C.L.), HIEBERT (A.J.), RUSSEL (T.S.), LAW (A.G.), 1977. — Sampling technique for estimation of root production of Kentucky Bluegrass. *Crop. Sci.*, 17 (1) : 28-30.
- CHICHESTER (F.W.), 1969. — Nitrogen in soil organo-mineral sedimentation fractions. *Soil Sci.*, 107 : 356-363.
- CRASWELL (E.T.), SAFFIGNA (P.G.), WARING (S.A.), 1970. — The mineralization of organic nitrogen in dry soil aggregates of different sizes. *Pl. Soil*, 33 : 383-392.
- DABIN (B.), 1971. — Etude d'une méthode d'extraction des matières humiques du sol. *Sci. du sol*, 1 : 47-63.
- DELL'AGNOLA (G.), FERRARI (G.), 1971. — Molecular size and functional group analysis of humic substances extracted by 0.1 M sodium pyrophosphate from soil aggregates of different stability. *J. Soil Sci.* 22 (3) : 342.
- DINEL (H.), LEVESQUE (M.), 1976. — Une technique simple pour l'analyse granulométrique de la tourbe en milieu aqueux. *Can. J. Soil Sci.*, 56 (2) : 119-120.
- DUCHAUFOR (P.), JACQUIN (F.), 1966. — Nouvelles recherches sur l'extraction et le fractionnement des composés humiques. *Bull. E.N.S.A. Nancy*, 8 (1) : 3-24.
- FELLER (C.), CHEVAL (M.), GANRY (F.), 1980. — Décomposition et humidification des résidus végétaux dans un agro-système tropical. I - Influence d'une fertilisation azotée (urée) et d'un amendement organique (compost) sur la répartition du carbone et de l'azote dans différents compartiments d'un sol sableux. *Agron. Trop.*, à paraître.
- FORD (G.W.), GREELAND (D.J.), OADES (J.M.), 1969. — Separation of the light fraction soils by ultrasonic dispersion in halogenated hydrocarbons containing a surfactant. *J. Soil Sci.*, 20 : 291-296.
- GLOSER (J.), TESAROVA (M.), 1978. — Litter, soil and root respiration measurement. An improved compartmental analysis method. *Pedobiol.*, 18 (1) : 76-81.
- GREENLAND (D.J.), FORD (G.W.), 1964. — Separation of partially humified organic materials from soils by ultrasonic dispersion. *Trans. 8th. Int. Cong. Soil Sci.*, 3 : 137-148.
- HAMBLIN (A.P.), DAVIES (D.B.), 1977. — Influence of organic matter on the physical properties of some east anglian soils of high silt content. *J. Soil Sci.*, 28 : 11-22.
- HARRIS (W.F.), KINERSON (R.S.), EDWARDS (J.T.), 1977. — Comparison of belowground biomass of natural deciduous forest and loblolly pine plantations. *Pedobiol.*, 17 (6) : 369-381.
- HENIN (S.), TURC (C.), 1950. — Essai de fractionnement des matières organiques du sol. *Trans. 4th. Int. Cong. Soil Sci.*, 1 : 152-154.
- HIGASHI (T.), WADA (K.), 1977. — Size fractionation, dissolution analysis, and infra-red spectroscopy of humus complexes in ando-soils. *J. Soil Sci.*, 28 (4) : 653-663.
- HIROSE (S.), KUMADA (K.), 1972. — On the properties of physically fractionated rice straw compost (1). Part (2). Chemical studies on the rotting process of plant residues. *J. Sci. Soil Manure*, 43 (1) : 21-24.
- JENIK (J.), 1971. — Root structure and underground biomass in equatorial forests. in *Productivity of forest ecosystems. Proc. Brussels Symp.*, 1969, Ed. P. Duvingeaud : 323-331.
- KONONOVA (M.M.), 1961. — Its nature, its role in soil formation and in soil fertility. in *Soil organic matter*. Pergamon Press. p. 337.
- LEVESQUE (M.), DINEL (H.), 1977. — Fiber content, particle-size distribution and some related properties of four peat materials in Eastern Canada. *Can. J. Soil Sci.*, 57 : 187-195.
- LEVESQUE (M.), DINEL (H.), 1978. — Applicability of thermal methods for characterization of peats and plants. *Geoderma.*, 20 (3, 4) : 201-214.

- Mc GILL (W.B.), SHIELDS (J.A.), PAUL (E.A.), 1975. — Relation between carbon and nitrogen turnover in soil organic fractions of microbial origin. *Soil Biol. Biochem.*, 7 : 57-63.
- Mc KEAGUE (J.A.), 1971. — Organic matter in particle-size and specific gravity fractions of some Ah horizons. *Can. J. Soil Sci.*, 51 (3) : 499-505.
- MONNIER (G.), 1965. — Action des matières organiques sur la stabilité structurale des sols. *Ann. Agron.*, 16 (4) : 327-400.
- MONNIER (G.), TURC (L.), JEANSON-LUUSINANG (C.), 1962. — Une méthode de fractionnement densimétrique par centrifugation des matières organiques du sol. *Ann. Agron.*, 13 (1) : 55-63.
- OADES (J.M.), 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. of A.O.A.C., 1975. — Crude fiber (17) - Official final action. in « Official Methods of Analysis of the Association of Official Agricultural Chemist » 12th. Ed., p. 138, n° 17 Ed. AOAC.
- POSNER (A.M.), THENG (B.K.G.), WAKE (J.R.H.), 1968. — The extraction of soil organic matter in relation to humification. *Trans. 9th. Int. Cong. Soil Sci.*, 3 : 153-162.
- SATOH (T.), YAMANEH (I.), 1972a. — Studies on the separation of the naturally-occurring organo-mineral complexes and their characteristics. (Part. 1). Studies by means of the particle-size fractionation. *J. Sci. Soil Manure*, 43 (2) : 41-45.
- SATOH (T.), YAMANEH (I.), 1972b. — Studies on the separation of the naturally occurring organo-mineral complexes and their characteristics. (Part. 2). Studies by means of the densimetric fractionation. *J. Sci. Soil Manure*, 43 (2) : 61-97.
- SCHUURMAN (J.J.), GOEDEWAGEN (M.A.J.), 1965. — Methods for the examination of root systems and roots. *Ctr. Agr. Pub. Doc.*, Wageningen, the Netherlands.
- SCHWARTZ (D.), 1963. — Méthodes statistiques à l'usage des médecins et des biologistes. 3^e édition, 318 p., Ed. Flammarion, Paris.
- SOWDEN (F.J.), MORITA (H.), LEVESQUE (M.), 1978. — Organic nitrogen distribution in selected peats and peat fractions. *Can. J. Soil Sci.*, 58 : 237-249.
- SPYCHER (G.), YOUNG (J.L.), 1977. — Density fractionation of water-dispersible soil organic-mineral particles. *Soil Sci. Plant. Anal.*, 8 (1) : 37-48.
- SUZUKI (M.), HARADA (K.), KUMADA (K.), 1975. — Analysis of the rotting process of rice straw-calcium cyanamide mixture by physical fractionation. *Soil Sci. Plant. Nutr.*, 21 (2) : 173-183.
- TURCHENEK (L.W.), 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.), OADES (J.M.), 1979. — Fractionation of organo-mineral complexes by sedimentation and density techniques. *Geoderma*, 21 (4) : 311-344.
- VAN SOEST (P.J.), 1963. — Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. II. A rapid method for the determination of fiber and lignin. *J. of A.O.A.C.*, 46 (5) : 829.
- VAN SOEST (P.J.), WHINE (R.H.), 1967. — Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. IV. Determination of plant-cell wall constituents. *J. of A.O.A.C.*, 50, 50 :
- WATSON (J.R.), PARSONS (J.W.), 1974. — Studies of soil organo-mineral fractions. I. Isolation by ultrasonic dispersion. *J. Soil Sci.*, 25 (1) : 1-8.
- WHITEHEAD (D.C.), BUCHAN (H.), HARTLEY (R.D.), 1975. — Components of soil organic matter under grass and arable cropping. *Soil Biol. Biochem.*, 7 : 65-71.