

Effets des ultrasons sur la distribution granulométrique des matières organiques des sols

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire

J. BALESDENT (1)

J.-P. PÉTRAUD (1)

C. FELLER (2)

N° :

Cpte :

23 OCT. 1991 RÉSUMÉ

On a mesuré l'effet des ultrasons sur la dispersion des fractions argileuses fines et sur la division des débris végétaux grossiers. Des suspensions de fractions 0-25 μm séparées de sols bruns ont été soumises à des durées croissantes d'application des ultrasons. Après 10 mn (temps correspondant approximativement à une énergie de 300 $\text{J}\cdot\text{ml}^{-1}$), les quantités de particules inférieures à 2 μm obtenues sont égales ou supérieures à celles obtenues par l'analyse granulométrique classique. En revanche, les quantités d'argiles fines obtenues demeurent inférieures, même après 30 mn de traitement par les ultrasons. Les concentrations en carbone des fractions limoneuses diminuent rapidement au cours du traitement alors que les concentrations en carbone des fractions 0,2-2 μm et 0-0,2 μm augmentent peu.

Des fractions organiques grossières de taille 25-50, 50-200 et 200-2000 μm , contenant principalement des débris végétaux, ont été séparées par tamisage et flottation après agitation dans l'eau avec des billes de verre, puis soumises à des durées d'application croissante d'ultrasons. Dans les conditions requises pour la dispersion des fractions argileuses, plus de 60% du carbone des fractions initiales ont été transférés dans des classes granulométriques plus fines. Les composés grossiers résiduels sont moins riches en cendres et moins azotés.

Eu égard à ces résultats, on décrit une méthode n'appliquant les ultrasons que sur la suspension 0-50 μm obtenue après agitation dans l'eau avec des billes de verre et tamisage. L'application de la méthode à 17 horizons Ap de sols cultivés tempérés montre que les débris végétaux > 50 μm contiennent en moyenne 14% du C total et que la quantité de ces débris végétaux est indépendante de la teneur en argile du sol. Enfin, on montre que les argiles grossières ont des concentrations en C plus élevées que celles des argiles fines.

MOTS-CLÉS : dispersion - matière organique - sol - taille des particules - ultrasons.

SOME EFFECTS OF ULTRASONIC VIBRATIONS ON SIZE-DISTRIBUTION OF SOIL ORGANIC MATTER

In order to set up a method of particle-size fractionation of soil organic matter, we studied the effect of ultrasonic treatment on the dispersion of fine clay-sized organic carbon on one hand, and the effect of ultrasonic treatment on coarse organic debris on the other. Increasing duration of ultrasonic treatment showed that the percentage of 0-2 μm fraction rapidly reached the amount obtained by H_2O_2 treatment and was then constant, whereas the amount of 0-0.2 μm fraction increased continuously without reaching the amount obtained by H_2O_2 treatment (Fig. 1). During this treatment, the organic C content of clay and fine clay increased slightly (Fig. 2 and Table II).

(1) INRA Station de Science du Sol, 78026 Versailles Cedex, France.

(2) ORSTOM c/o CPB/CNRS, B.P. 5, 54501 Vandœuvre-lès-Nancy Cedex, France.

23 OCT. 1991

ORSTOM Fonds Documentaire
N° : 34.86.0.161
Cote : B

Three previously separated macro-organic fractions (200-2000, 50-200 and 25-50 μm -sized) of plant debris were submitted to increasing durations of ultrasonic treatment. An important splitting effect was observed : after the duration required for clay dispersion (i.e. 10 mn, 300 $\text{J}\cdot\text{ml}^{-1}$), less than 40% of the carbon remained in the original size class (Fig. 3). The treatment provoked a separation of material with low C content and C/N ratio from material with high C content and C/N ratio (Fig. 3 and 4).

In view of these results, we used a method of dispersion in two steps : disaggregation of soil with water and glass beads (adapted from ANDREUX *et al.*, 1980) followed by wet sieving of sand-size fractions and ultrasonic treatment of the 0-50 μm fraction only. Seventeen Ap horizons (alfisols, cambisols, luvisols containing 9 to 38 mg C g^{-1}) were fractionated with this method. The amount of plant debris coarser than 50 μm was independent of either soil sand content, soil clay content or soil C content. On the contrary, the quantity of clay-sized C was strongly related to the clay content. The C concentration in coarse clay was always higher than in fine clay : regressions of the quantities of organic C in the clay fractions (mg C g^{-1} soil) versus the respective mass of these fractions showed slopes equal to $32 \pm 9 \text{ mgC/g}$ coarse clay and $13 \pm 5 \text{ mgC/g}$ fine clay (Fig. 5).

KEY-WORDS : organic matter distribution - particle size - soil - ultrasonic dispersion.

INTRODUCTION

Les fractionnements granulométriques sont largement utilisés pour l'étude de la nature, de la localisation et de la biodégradation des matières organiques des sols. Les ultrasons sont souvent choisis comme moyen de dispersion (ANDERSON *et al.*, 1981 ; CHRISTENSEN et SORENSEN, 1985 ; LADD *et al.*, 1977 ; BREMNER et GENRICH, 1985 ; GREGORICH *et al.*, 1988). Ils permettent en général d'atteindre une dispersion quasi-totale des agrégats supérieurs à 2 μm (EDWARDS et BREMNER, 1967). En comparaison avec des dispersions faisant appel à l'extraction chimique d'une partie des matières organiques, ils n'extraient pas ou peu et permettent donc l'étude de la distribution de la totalité des matières organiques, en particulier celle des matières organiques extractibles (TURCHENEK et OADES, 1979 ; ANDERSON *et al.*, 1981 ; AKROUME, 1985 ; CATROUX et SCHNITZER, 1987). Dès méthodes faisant appel à l'échange d'ions permettent également d'atteindre les mêmes objectifs (FELLER *et al.*, 1991).

Cet article présente deux aspects rarement abordés de l'action des ultrasons : la dispersion des fractions argileuses fines d'une part et la fragmentation des débris végétaux grossiers d'autre part. La séparation de ces fractions est particulièrement intéressante dans les études du renouvellement des matières organiques, car elles contiennent la majorité des composés organiques les plus biodégradables (FELLER et GANRY, 1982 ; BALESSENT *et al.*, 1988). On présente enfin l'effet d'une méthode, associant la dispersion par agitation et par ultrasons, sur la distribution granulométrique des matières organiques, parmi un échantillon de sols cultivés tempérés.

I. MATÉRIELS ET MÉTHODE

1. Sols

Dix-sept échantillons de sols ont été utilisés. Tous proviennent d'horizons Ap de sols cultivés, apparentés aux sols brunifiés ou peu évolués alluviaux. Quelques-unes de

leurs caractéristiques sont indiquées au tableau I. Les échantillons 7 à 17 sont tirés d'une étude de CHAUSSOD *et al.* (1986). Les teneurs en argiles varient entre 10 et 52% ; les concentrations en C organique entre 0,9 et 3,8% ; les rapports C/N entre 7,4 et 10,9 et les pH entre 5,5 et 8. Les sols ont été séchés à l'air puis tamisés à 2 mm à l'aide d'une tamiseuse à rouleaux.

Tableau I : Quelques caractéristiques des horizons Ap étudiés.
Some characteristics of the Ap horizons.

RÉF.	RÉGION	LOCALISATION	TYPE DE SOL	ARGILES %	C ORGA. %	pH eau
1	Garonne	Auzeville	alluvial	27	0,9	7,0
2	Landes	Doazit	brun lessivé	11	1,1	6,0
3	Yvelines	La Minière a	brun eutrophe	16	0,9	7,0
4	"	La Minière b	"	18	0,8	7,0
5	Missouri	Sanborn a	lessivé hydromorphe	26	1,2	6,1
6	"	Sanborn b	"	17	1,4	5,6
7	Dijon	St-Seine en B.	alluvial	16	1,4	7,3
8	"	Vevey-s-O.	"	45	3,8	7,7
9	"	Dijon	brun calcaire	36	1,2	7,4
10	"	Chaux	brun calcaire	52	2,2	7,5
11	"	Pluvet	"	31	1,1	7,9
12	"	Villers-la-F.	"	43	1,8	7,3
13	"	Auxonne	sableux hydromorphe	10	0,9	7,3
14	"	Rouvres-M.	brun eutrophe	38	1,7	6,5
15	"	Saulieu	brun acide	15	1,6	5,3
16	"	Champdôtre	brun lessivé	24	1,2	7,8
17	"	Soirans	lessivé hydromorphe	14	1,0	7,9

2. Cinétiques de dispersion des fractions argileuses par les ultrasons

Deux sols (n° 1 : 27% d'argiles, et n° 2 : 11% d'argiles) ont été dispersés par agitation dans l'eau avec des billes de verre et tamisés sous eau à 25 μm . La taille 25 μm a été préférée à celle de 50 μm car une suspension 0-50 μm ne peut pas être aisément divisée en parts aliquotes. Quatre aliquotes de la suspension 0-25 μm ont été traitées par H_2O_2 et dispersées dans Na_3PO_4 (méthode classique de l'analyse granulométrique). Six aliquotes ont été traitées par les ultrasons pendant 0, 2, 5, 10, 30 ou 60 minutes respectivement dans les conditions suivantes, adaptées par EDWARDS et BREMNER (1967) : l'appareil est un désintégrateur de cellules de marque Branson, de fréquence 20 kHz, de puissance électrique 150 W, équipé d'une sonde à tête plane de diamètre 13 mm. 100 ml de suspension, avec un rapport solide/eau de 1/3, sont traités dans un tube en verre de 150 ml, réfrigéré par circulation d'eau. La tête de la sonde est immergée à 3 cm sous la surface, les ultrasons sont appliqués de façon continue, à 70% de la puissance de l'appareil. D'après les données du constructeur, la puissance efficace est ici de l'ordre de 0,5 W par ml de sus-

pension. Ce mode de dispersion très énergique a été décrit par de nombreux auteurs (EDWARDS et BREMNER, 1967 ; VAUGON, 1983). Il est nécessaire d'éviter l'usure de la sonde pour garder une efficacité constante (GENRICH et BREMNER, 1972). Après dilution, on a prélevé une aliquote de la fraction 0-2 μm par sédimentation à la gravité ordinaire selon la méthode de ROBINSON. La fraction 0-0,2 μm a été obtenue après centrifugation. On a séché à 105°C, pesé chaque aliquote et dosé le carbone organique. Les masses et concentrations en C des fractions 2-25 et 0,2-2 μm sont calculées par différence.

3. Effet des ultrasons sur les débris végétaux grossiers

Sur l'échantillon du sol n° 1, on a séparé trois fractions légères de taille 200-2000 μm , 50-200 μm et 25-50 μm selon la méthode énoncée plus bas. Ces fractions ont été séchées à l'air, des aliquotes ont été remises en suspension et traitées par les ultrasons pendant 0, 2, 10 ou 30 mn, avec un rapport solide/eau de 1/200 environ. Chacune des suspensions obtenues a été tamisée à 25 μm , et éventuellement 50 et 200 μm . La suspension 0-25 μm résiduelle a été séparée en 0-5 μm et 5-25 μm par deux sédimentations et prélèvements successifs des particules inférieures à 5 μm , en allonge. Chaque fraction obtenue a été séchée à l'air. Le sol n° 1 ayant porté pendant les 17 dernières années des cultures de maïs et de blé, les débris grossiers traités proviennent principalement de ces plantes.

4. Fractionnement granulométrique des sols

Il peut être décrit en quatre étapes.

(1) *Dispersion aqueuse par les billes de verre* (adaptée de ANDREUX *et al.*, 1980). 50 g de sol, 180 ml d'eau et 10 billes de verre de diamètre 5 mm sont agités dans un flacon en matière plastique de 250 ml, pendant 16 heures, par retournement à une vitesse de 40 cycles mn^{-1} .

(2) *Tamisages et séparation des fractions légères* (FELLER, 1979). La suspension est tamisée sous eau, sur tamis à mailles carrées de 200 μm . Le refus est remis en suspension en bécher, on sépare en les versant les débris végétaux les moins denses, qui sédimentent plus lentement, des sables, ceci plusieurs fois jusqu'à ce que les sables ne contiennent apparemment plus de débris organiques. Ce procédé peut être dénommé battée. Les débris végétaux sont récupérés sur le tamis de 200 μm . On effectue la même séparation à 50 μm et l'on obtient donc les fractions V 200-2000; M 200-2000, V 50-200, M 50-200 (V pour végétal, M pour minéral).

(3) *Dispersion de la suspension 0-50 μm par ultrasons*. La suspension est centrifugée dans les conditions de séparation des particules inférieures à 0,2 μm , le surnageant est stocké. Le culot est remis en suspension avec un rapport pondéral solide/eau de 1/3 environ. Cette suspension est sonifiée dans les conditions énoncées plus haut pendant 10 mn. L'énergie appliquée est de 300 J ml^{-1} environ. Sur quatre échantillons contenant du calcaire, la suspension 0-50 μm obtenue après sonification a été décarbonatée à pH 3,5 sous pH-mètre et lavée avant séparations ultérieures.

(4) *Séparation des fractions argileuses*. Les fractions sont séparées par centrifugation horizontale. On choisit le temps et la vitesse de centrifugation correspondant,

selon la loi de Stoke, au diamètre de Stoke de 0,2 ou 2 μm , à la masse volumique 2,5 g/cm^3 , à un parcours entre 12 et 21 cm de l'axe et à la température moyenne estimée lors de la centrifugation. Les temps de centrifugation sont corrigés de l'accélération et de la décélération de la centrifugeuse, sans frein. Finalement, on applique 25 mn à 2900 tours mn^{-1} pour séparer la fraction < 0,2 μm et 3 mn à 800 tours mn^{-1} pour la fraction 0,2-2 μm . Après siphonnage du surnageant, le culot est remis en suspension dans l'eau, agité par palettes pendant 30 mn et sédimenté à nouveau. Quatre sédimentations à 0,2 μm , puis quatre sédimentations à 2 μm sont ainsi effectuées. Le culot final est la fraction 2-50 μm . La suspension 0,2-2 μm est ensuite centrifugée dans les conditions de sédimentation à 0,2 μm pour être récupérée sous forme de culot. Le surnageant, correspondant à une cinquième séparation de 0-0,2 μm , est regroupé avec le reste de la suspension 0-0,2 μm et le premier surnageant obtenu avant sonication. Cette suspension est floculée par addition de 0,5 g l^{-1} de CaCl_2 , stockée une nuit à 5°C puis centrifugée. Le culot constitue la fraction 0-0,2 μm , le surnageant l'hydrosoluble final. Sur les échantillons 1 à 6, la coupure à 2 μm a été effectuée par sédimentation en allonge sans centrifugation.

Les fractions supérieures à 50 μm sont séchées à 60°C. Les fractions inférieures à 50 μm sont homogénéisées, congelées, lyophilisées. Toutes les fractions sont broyées à 200 μm avant analyse élémentaire.

5. Dosages

Le carbone est dosé par combustion sous oxygène et dosage coulométrique du CO_2 dégagé (servocoulomètre Eraly). L'azote est dosé par un microanalyseur CHN1106 Erba.

II. RÉSULTATS ET DISCUSSION

1. Cinétiques de dispersion des fractions argileuses

L'évolution de la masse de chaque fraction au cours de la sonication est reportée figure 1. Pour comparaison avec la méthode de référence où la matière organique a été en partie détruite, les masses exprimées sont celles de la phase minérale (masse de la fraction moins deux fois la masse de carbone) rapportées à la masse totale de la fraction 0-25 μm . On remarque que la masse de la fraction 0-2 μm tend vers une valeur supérieure ou égale à celle obtenue avec la méthode de référence, alors que la masse de fraction 0-0,2 μm augmente de façon beaucoup plus progressive et reste inférieure à la référence. La dispersion des particules inférieures à 0,2 μm est donc peu efficace, probablement moins que ne le serait une dispersion par échange ionique (EDWARDS et BREMNER, 1967). Dans le cas du sol n° 1, le fait que la masse calculée de fraction 0,2-2 μm passe par un maximum montre qu'il y a d'abord division d'agrégats de la taille des limons en unités plus petites.

L'évolution des concentrations en carbone organique des fractions est indiquée figure 2 et résumée, pour le sol n° 1, au tableau II. La concentration en C dans la fraction limoneuse diminue significativement et on calcule que ce qui est transféré dans la fraction < 2 μm après 10 mn de traitement a une concentration en C supérieure à celle de la fraction argileuse initiale. La concentration en C de cette fraction

augmente donc lentement. Ces résultats sont similaires à ce qui a été observé par GREGORICH *et al.* (1988). Concernant les transferts de matière vers la fraction < 0,2 µm, on observe que ce qui est transféré dans la fraction < 0,2 µm a une concentration en C proche de celle de la fraction 0,2-2 µm.

Figure 1 : Effet du temps d'application des ultrasons sur la dispersion de suspensions 0-25 µm séparées de deux sols. Les masses sont exprimées en % de la masse totale. La masse de la fraction 0,2-2 µm est obtenue par différence. Les lignes épaisses indiquent la dispersion obtenue après traitement par H₂O₂ puis Na₃PO₄.

Percentage of particle-size fractions recovered from 0-25 µm-sized suspensions after increasing ultrasonic treatment durations. Mass in % of total. Mass of 0,2-2 µm-sized fraction was calculated. Bold lines indicate the amount of fractions recovered after H₂O₂ and Na₃PO₄ treatment.

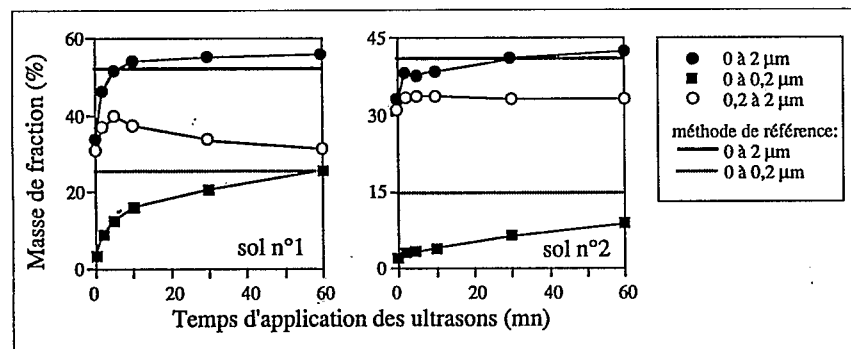
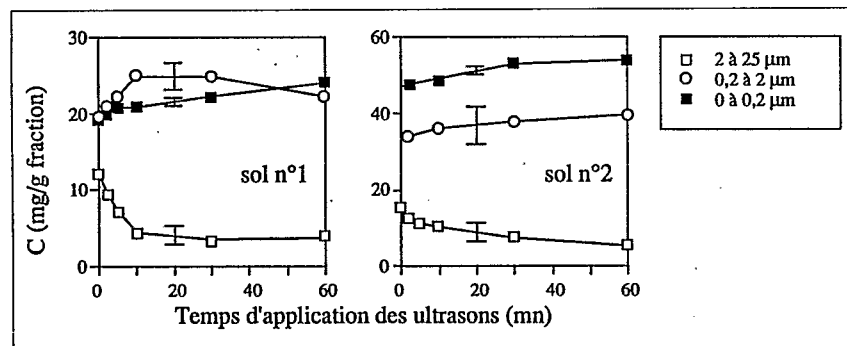


Figure 2 : Effet du temps d'application des ultrasons sur la concentration en carbone organique des fractions obtenues. Les concentrations des fractions 2-25 et 0-0,2 µm sont calculées, une barre indique l'erreur systématique.

Effect of the time of ultrasonic treatment on the organic carbon concentrations of particle-size fractions. Concentrations of 2-25 and 0-0,2 µm-sized fractions were calculated. Error bars indicate the systematic error.



La bonne dispersion à 2 µm après 10 mn d'ultrasons nous a conduits à choisir cette durée dans le protocole standard. La dispersion à 0,2 µm étant cependant incomplète, la fraction 0,2-2 µm doit être considérée comme microagrégée.

Tableau II : Concentration en C des fractions granulométriques du sol n° 1 au cours de la sonication et estimation, par calcul, des concentrations en C des produits transférés. L'erreur indiquée est l'erreur systématique calculée. Concentrations en mgC g⁻¹ fraction.

Carbon content (mgC g⁻¹ fraction) of particle-size fractions and products transferred (calculated) after increasing durations of ultrasonic treatment of soil No 1. Indicated error is the calculated systematic error.

FRACTION (µm)	DURÉE D'APPLICATION DES ULTRASONS (mn)					
	0	2	5	10	30	60
2 - 25	12,1 ± 1,2	9,4 ± 1,5	6,8 ± 1,7	4,0 ± 1,7	3,3 ± 1,7	4,2 ± 1,8
0,2 - 2	19,8 ± 1,6	21,1 ± 1,6	22,2 ± 1,7	25,0 ± 1,9	24,9 ± 2,2	21,9 ± 2,3
0 - 0,2	19,0 ± 0,4	19,7 ± 0,4	20,9 ± 0,4	21,0 ± 0,4	22,0 ± 0,4	23,9 ± 0,4

PRODUITS TRANSFÉRÉS	PÉRIODE D'APPLICATION DES ULTRASONS (mn)			
	entre 0 et 2	entre 2 et 10	entre 0 et 10	entre 10 et 60
à 2 µm	24 ± 6	42 ± 13	31 ± 4	0 ± 28
à 0,2 µm	20 ± 6	23 ± 7	21 ± 3	30 ± 8

2. Effet des ultrasons sur les débris végétaux grossiers

La figure 3 montre clairement la division des débris végétaux sous l'effet des ultrasons : après 10 mn, c'est-à-dire le temps requis pour la dispersion des argiles, plus de 60% du carbone de la fraction initiale sont passés dans des classes granulométriques inférieures, et ceci pour chacune des classes granulométriques initiales.

L'examen des concentrations en carbone organique et en azote montre que les premiers produits fins obtenus sont riches en cendres et ont un rapport C/N faible, alors que les fractions grossières résiduelles s'enrichissent progressivement en carbone et que leur rapport C/N augmente. Cette relation entre concentration en azote et concentration en carbone de toutes les sous-fractions obtenues est une droite ne passant pas par l'origine (figure 4). Plusieurs interprétations de cette droite sont possibles. La plus simple est la suivante : toutes les fractions obtenues pourraient correspondre à différentes proportions d'un mélange de deux composantes situées de part et d'autre de la droite, par exemple pour les fractions obtenues de V 50-200 d'une composante contenant 500 mg/g de C avec un C/N de 16,6 (14,7 dans le cas de V 25-50) et l'autre composante contenant 50 mg/g de C avec un C/N de 8,6, c'est-à-dire ayant une composition plus proche de celle des fractions argileuses. L'action des ultrasons pourrait alors se résumer à une division de ces deux composantes, celle de la seconde, plus rapide, pouvant être interprétée comme une séparation des fractions argileuses associées aux débris végétaux. Un tel "nettoyage" des débris végétaux des argiles qui y sont associées ne peut cependant expliquer seul les quantités de matières transférées aux fractions plus fines. La relation entre C et N peut également traduire le fait que les matières organiques plus riches en azote, résultant d'une décomposition plus avancée ou contenant des composés microbiens, appartiennent

à des particules végétales plus riches en cendres et plus fragiles que les matières organiques fibreuses, peu azotées.

Figure 3 : Effet du temps d'application des ultrasons sur la répartition du carbone organique de trois fractions de débris organiques grossiers séparées du sol n° 1. Le premier nombre est la concentration en carbone (mg C g⁻¹) de la fraction obtenue, le nombre entre parenthèses son rapport C/N. La classe 0-5 µm obtenue des débris de taille 200-2000 µm est calculée par différence.

Effect of ultrasonic treatment on the breakdown of three macro-organics fractions separated from soil No 1. The first number is the C concentration of each one (mg C g⁻¹), number in brackets is the C/N ratio. The 0-5 µm-class obtained from 200-2000 µm-sized macro-organics was calculated by differences.

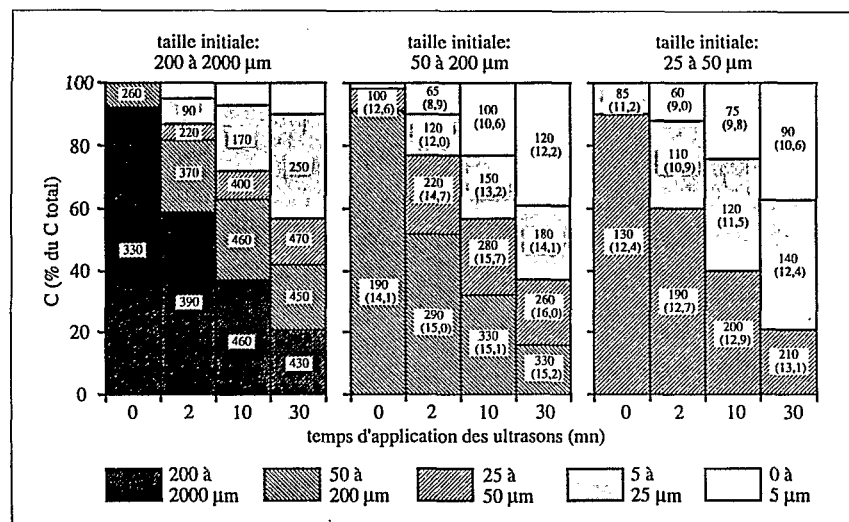
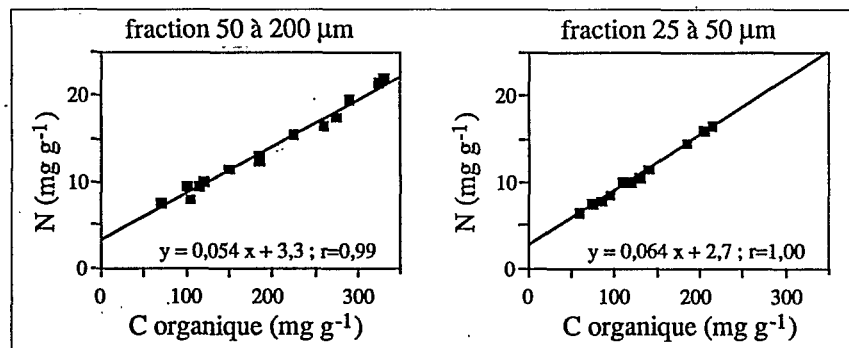


Figure 4 : Relation entre concentration en azote total et concentration en carbone organique des différentes classes granulométriques obtenues après traitement par les ultrasons des débris organiques grossiers de la figure 3.

Relationship between total N concentration and organic C concentration in the different size classes obtained by ultrasonic treatment of macro-organics described in figure 3.



La conclusion principale est que l'application des ultrasons dans les conditions nécessaires à la dispersion des argiles produit une division importante des débris végétaux grossiers. C'est pour cette raison que, dans le protocole de fractionnement granulométrique, nous avons appliqué les ultrasons uniquement sur la suspension inférieure à 50 µm.

3. Distribution du carbone organique dans les fractions

Le fractionnement granulométrique a été appliqué à 17 horizons Ap de sols cultivés. Tous ces sols ont la particularité de contenir relativement peu de matières organiques et de ne pas présenter une agrégation très stable.

Le carbone des fractions minérales M 50-200 et M 200-2000 est en général négligeable dans ces sols. Il a été dosé sur deux échantillons et y représente moins de 0,04% du C total. Cependant, les sables séparés par la battée contiennent dans certains des sols des traces d'antracite, de scories ou du C associé aux concrétions ferro-manganiques. La dispersion des fractions sableuses par simple agitation avec les billes de verre a été complète pour les sols étudiés. Les masses des fractions obtenues ont été comparées à la méthode de référence pour cinq des sols. Les fractions 0-2 µm contiennent 80 à 95% des argiles déterminées par la méthode de référence, le reste étant dans les fractions 2-50 µm.

Le tableau III présente les moyennes et écarts-types des masses et contenus en carbone organique des principales fractions. C'est l'ensemble 2-50 µm qui est présenté. La séparation à 20 µm n'a été effectuée que sur 6 échantillons, la fraction 2-20 µm y contient 63 à 90% du carbone de 2-50 µm. Les traits marquants sont les suivants :

- les fractions supérieures à 50 µm, essentiellement constituées de débris végétaux, ont des concentrations en C toujours élevées, proches de celles des matières organiques pures, avec un coefficient de variation faible. Elles contiennent en moyenne 14% du C total ;

Tableau III : Répartition des masses et du carbone organique parmi les classes granulométriques de 17 horizons Ap.

M = moyenne ; σ = écart-type ; V = fraction légère (végétale).

Distribution of mass and organic carbon among particle-size fractions separated from 17 Ap horizons.

M = mean ; σ = standard deviation ; V = light fraction (vegetal).

Fraction (µm)	Masse (mg g ⁻¹ sol)		Concentration en C (mg g ⁻¹ fraction)		C (mg g ⁻¹ sol)		C (% du C total)	
	M	σ	M	σ	M	σ	M	σ
V 200-2000	2,1	1,3	304	35	0,62	0,34	4,8	2,6
V 50-200	6,4	3,5	184	48	1,11	0,51	8,9	3,9
2-50	537	177	9,8	7,3	4,22	1,70	31,7	4,0
0,2-2	156	81	38,7	10,4	5,76	2,93	41,2	7,3
0-0,2	64	36	31,6	14,5	1,60	0,60	12,7	5,5
Somme					13,31	5,01		

– la fraction argileuse grossière est dominante, elle contient plus de 40% du C total en moyenne ;

– la concentration en C des fractions argileuses grossières est systématiquement plus élevée que celle des fractions argileuses fines. Les relations entre quantité de C dans les fractions argileuses et masses respectives des fractions sont portées à la figure 5. La valeur critique de r est 0,5. On observe les relations linéaires suivantes, avec l'intervalle de confiance à 95% sur les paramètres estimés :

- pour les argiles grossières, $r = 0,88$; pente = 32 ± 9 mg C g^{-1} fraction ; ordonnée à l'origine = $0,7 \pm 1,6$ mg C g^{-1} sol ;
- pour les argiles fines : $r = 0,82$; pente = 13 ± 5 mg C g^{-1} fraction ; ordonnée à l'origine = $0,7 \pm 0,4$ mg C g^{-1} sol.

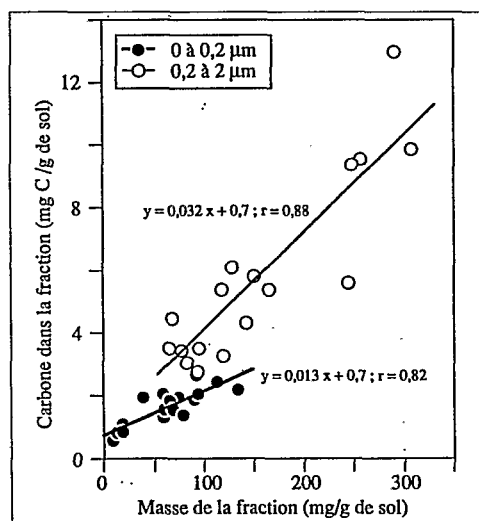


Figure 5 :

Relation entre le contenu en carbone et la masse de chacune des deux fractions argileuses obtenues par fractionnement de 17 horizons Ap.

Relationships between mass of the clay-fractions and carbon contained in these fractions (mg C g^{-1} soil), obtained from 17 cultivated top-soils.

Les ordonnées à l'origine peuvent traduire l'existence dans ces fractions de C organique qui ne serait pas associé aux argiles. Cependant, cette quantité serait faible et l'ordonnée à l'origine n'est d'ailleurs pas significativement différente de zéro pour les argiles grossières. D'autre part, la pente de la droite est 2,5 fois plus forte pour les argiles grossières que pour les argiles fines. Cette constatation est à rapprocher du fait que les ultrasons n'aboutissent pas à une dispersion complète des particules. De ce fait, les fractions argileuses grossières contiennent encore des micro-agrégats. Pour le sol n° 3, ces agrégats ont été observés en microscopie électronique. Certains sont constitués de colonies bactériennes, débris fongiques ou bactériens, enrobés et protégés de la biodégradation par une enveloppe d'argiles. De tels micro-agrégats ont été décrits par BRUCKERT et KILBERTUS (1980), TURCHENEK et OADES (1979), FRANÇOIS (1988). Ils auraient des teneurs en M.O. très supérieures à celles des fractions dispersées. La pente faible de la droite obtenue pour les fractions argileuses fines indique que, si toutes les matières organiques de ces fractions étaient présentes sous forme de revêtements, en quantité proportionnelle à la quantité

d'argiles, de tels revêtements ne représenteraient que peu de carbone, soit moins de 13 mg de C par g d'argile fine.

En revanche, les quantités de C contenues dans les fractions limoneuses (C 2-50) ou sableuses (C 50-200 et C 200-2000) sont indépendantes de la masse de fraction. Les quantités de C contenues dans les deux fractions supérieures à 50 μm ne sont corrélées ni avec la masse d'argile, ni avec la quantité de carbone total du sol, ni enfin entre elles. Aucune corrélation simple entre le contenu en carbone organique des fractions et les caractéristiques pH, bases échangeables ou $CaCO_3$ n'a pu être mise en évidence. Ceci est en partie dû à la variance relativement faible de ces variables dans la population analysée et à la valeur explicative élevée de la seule variable argile.

CONCLUSIONS

L'application directe des ultrasons sur un échantillon de sol comme moyen de dispersion préalable au fractionnement granulométrique est largement utilisée, ce traitement provoque une division importante des débris végétaux. Dans les expérimentations visant à suivre le devenir des produits végétaux, ceci pourrait conduire à surestimer l'évolution des débris grossiers vers des formes fines (par voie microbienne ou soluble). Pour éviter cet inconvénient, on peut séparer facilement les débris végétaux grossiers de taille supérieure à 50 μm dans les sols bruns cultivés après simple agitation du sol avec des billes de verre selon des méthodes semblables à celles de ANDREUX *et al.* (1980). Dans ces sols, l'application des ultrasons sur la fraction < 50 μm permet une bonne dispersion des fractions de taille supérieure à 2 μm , mais la dispersion des fractions 0,2-2 μm est incomplète. La concentration en carbone organique des argiles fines dispersées est toujours plus faible que celle des fractions de taille 0,2-2 μm . Ceci indique une localisation préférentielle des matières organiques dans des micro-agrégats organiques ou des débris organiques de petite dimension.

Reçu pour publication : Septembre 1990
 Accepté pour publication : Mars 1991

BIBLIOGRAPHIE

- ANDERSON D.W., SAGGAR S., BETTANY J.R. and STEWART J.W.B., 1981. – Particle-size fractions and their use in studies of soil organic matter : I. The nature and distribution of forms of carbon, nitrogen and sulfur. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 45, 767-772.
- ANDREUX F., BRUCKERT S., CORREA A. et SOUCHIER B., 1980. – Sur une méthode de fractionnement physique et chimique des agrégats des sols : origines possibles de la matière organique des fractions obtenues. *C.R Acad. Sci. Paris*, 291, 381-384.
- AKROUME C., 1985. – *Localisation et caractérisation de la matière organique des sols. Définition d'un modèle d'évolution.* Mémoire de thèse, INA-PG, Paris, 180 p.
- BALESDENT J., WAGNER G.H. and MARIOTTI A., 1988. – Soil organic matter turnover in long term field experiments as revealed by the carbon-13 natural abundance. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 52, 118-124.

- BREMNER D.A. and GENRICH J.M., 1985. - Characterization of the sand, silt and clays fractions of some mollisols. In : *Workshop OTAN. Soil colloids and their association to form soil aggregates*, Gand.
- BRUCKERT S. et KILBERTUS G., 1980. - Fractionnement et analyse des complexes organo-minéraux de sols bruns et de chernozems. *Plant and Soil*, **57**, 271-295.
- CATROUX G. et SCHNITZER M., 1987. - Chemical, spectroscopic and biological characteristics of the organic matter in particle-size fractions separated from an aquoll. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **51**, 1200-1207.
- CHAUSSOD R., NICOLARDOT B., CATROUX G. et CHRÉTIEN J., 1986. - Relations entre les caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques de quelques sols cultivés. *Science du Sol*, **2**, 213-226.
- CHRISTENSEN B.T. and SORENSEN L.H., 1985. - The distribution of native and labelled carbon between soil particle-size fractions isolated from long term incubation experiments. *J. Soil Sci.*, **36**, 219-229.
- EDWARDS A.P. and BREMNER J.M., 1967. - Dispersion of soil particles by sonic vibration. *J. Soil Sci.*, **18**, 47-63.
- 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. Pédologie*, **17**, 339-346.
- FELLER C. et GANRY F., 1982. - Décomposition et humification des résidus végétaux dans un agro-système tropical. III. Effet du compostage et de l'enfouissement de divers résidus de récolte sur la répartition de la matière organique dans différents compartiments d'un sol sableux. *Agronomie Tropicale* (Paris), **38**, 262-269.
- FELLER C., BURTIN G., GÉRARD B. et BALESDENT J., 1991. - Utilisation des résines sodiques et des ultrasons dans le fractionnement granulométrique de la matière organique des sols. Intérêt et limites. *Science du Sol*, **2**, p. 77-93.
- FRANÇOIS G., 1988. - *Devenir à court terme de différentes formes de l'azote (urée, végétaux, sol) dans un ferrisol (Martinique). Caractérisation de l'azote organique par fractionnement granulométrique*. Etude avec ¹⁵N. Thèse de Doctorat de l'Université de Nancy I, France, 173 p.
- GENRICH D.A. and BREMNER J.M., 1972. - Effect of probe condition on ultrasonic dispersion of soils by probe-type ultrasonic vibrators. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, **36**, 975-976.
- GREGORICH E.G., KACHANOSKI R.G. and VORONEY R.P., 1988. - Ultrasonic dispersion of organic matter in size fractions. *Can. J. Soil Sci.*, **68**, 395-403.
- GREENLAND D.J. and FORD G.W., 1964. - Separation of partially humified organic materials from soils by ultrasonic dispersion. *Trans. 8th Int. Cong. Soil Sci.*, **3**, 137-148.
- LADD J.N., PARSON J.W. and AMATO M., 1977. - Studies of nitrogen immobilization and mineralization in calcareous soils. I. Distribution of immobilized nitrogen amongst soil fractions of different particle-size density. *Soil Biol. Biochem.*, **9**, 309-325.
- TURCHENEK L.W. and OADES J.M., 1979. - Fractionation of organo-mineral complexes by sedimentation and density techniques. *Geoderma*, **21**, 311-343.
- VAUGON C., 1983. - *Etude de l'action des ultrasons sur la dispersion des agrégats du sol*. Mémoire INRA, INA-PG, ENSA de Rennes, 61 p.

Apport de la lysimétrie sans tension pour l'étude des transferts de Cu et Cd dans les sols forestiers faiblement pollués

C. KELLER (1)

J.-C. VEDY (1)

RÉSUMÉ

On étudie, au moyen de la lysimétrie sans tension, le cycle biogéochimique de deux métaux lourds (Cu et Cd) dans deux écosystèmes forestiers acidophiles de Suisse romande faiblement pollués.

La lysimétrie englobe un ensemble de techniques de prélèvement de la solution du sol in situ, dont le choix dépend des contraintes liées à l'objectif de l'étude et aux conditions de l'expérimentation. Ces contraintes sont d'ordres multiples : limitation des contaminations, prise en compte de tous les constituants du sol, maintien des caractéristiques analytiques de la solution du sol, définition du volume drainé et de la nature de l'eau prélevée, facilité d'utilisation, fiabilité et représentativité des résultats.

Un lysimètre ouvert sans tension et de petite taille, constitué de matériaux inertes du point de vue physico-chimique, a été choisi après l'étude critique de ces différentes contraintes.

Les résultats obtenus pour Cu et Cd dans un alocrisol (RPF) et un podzol soulignent les limites et l'intérêt de cette technique. Malgré une approche seulement partielle des bilans, il est possible d'énoncer quelques points significatifs.

- Les apports et les transferts de Cu et Cd sous forme liquide restent très faibles en regard des stocks totaux de ces métaux dans l'ensemble des deux profils. Par contre, si l'on considère seulement la couche humifère, les apports atteignent respectivement 6,6% et 0,7% des stocks de Cd et Cu à Saint-Cierges, et 1% pour Cd et moins de 0,1% pour Cu grâce à l'épaisseur plus importante des horizons OL-OM/A à Champex.

- On note également la similitude de comportement de CU et Cd avec les éléments majeurs, malgré des gammes de concentrations différentes : dans l'allocrisol, le cuivre semble s'immobiliser dans le mull (OL-OF/OH et A) ; dans le podzol, on observe une immobilisation de Cu et Cd dans l'horizon holorganique et dans le BPs. Par contre, dans les deux sols, les variations temporelles de ces deux éléments sont soit liées à des "flux polluants" fonction des conditions météorologiques (cas du cadmium), soit liées aux cycles saisonniers propres aux écosystèmes (cas du cuivre). Pour le cadmium dans le podzol, il est possible de suivre le transfert de l'élément le long du profil au cours des épisodes pluvieux successifs.

MOTS-CLÉS : cuivre - cadmium - sols forestiers - lysimétrie sans tension.

TENSION-FREE LYSIMETERS AND HEAVY METALS TRANSFER IN FORESTED ECOSYSTEMS SUBMITTED TO A LOW POLLUTION INPUT

A tension-free lysimeter is described and its potential for the study of the biogeochemical cycle of two heavy metals (Cu and Cd) is shown.

Two acidophilic forested ecosystems located in Switzerland (a spruce stand and a mixed coniferous stand lying on an "allocrisol" (dystric cambisol, FAO) and a podzol (orthic podzol, FAO respectively) and submitted to a low pollution input, are compared.

(1) E.P.F.L., IATE-Pédologie, Ecublens, CH-1015 Lausanne (Suisse).