

Un fractionnement granulométrique de la matière organique des sols en 1874

C. Feller

Laboratorio Biogeoquímica do Solo, CENA-USP/ ORSTOM, CP 96, 13400-970 Piracicaba (SP), Brazil

RÉSUMÉ

Depuis les vingt dernières années, des travaux de plus en plus nombreux mettent en œuvre des fractionnements granulométriques et/ou densimétriques pour caractériser différents compartiments organiques des sols. Toutefois, à la différence des approches de type chimique ou biologique de la matière organique (MO) des sols, il ne semble pas exister d'étude historique exhaustive sur ce sujet. Pourtant, dès 1874, Schloesing publie, dans de bonnes conditions expérimentales et avec esprit critique, un fractionnement granulométrique de la MO des sols en vue de préciser son rôle dans la stabilité de l'agrégation des sols arables. Nous relatons ici ce travail.

Schloesing s'interroge sur la répartition de la MO du sol entre le sable et l'argile. Il distingue cinq fractions qu'il nomme : « gros sable », « sable fin », « écaïlle » (fraction légère à la surface des « sables fins » et se détachant en « écaïlles » après séchage), et « deux dépôts d'argile ». Les résultats sont présentés en trois tableaux avec les bilans pondéraux (99,9 %), les teneurs en carbone et azote par gramme de fraction, et par gramme du sol, et la composition minérale de trois des fractions. Une des conclusions de Schloesing est que : « l'argile contient 6,9 % de matière organique ; c'est assez pour qu'elle soit réellement modifiée dans sa manière d'agir comme ciment ».

Ce travail pourrait être publié de nos jours.

SUMMARY

A PARTICLE-SIZE FRACTIONATION OF SOIL ORGANIC MATTER IN 1874

Over the last twenty years, the use of methods based on particle-size and/or density fractionations of soil organic pools has been more and more developed. But in contrast with the chemical or biological approaches, there does not exist any historical account on the physical approach which would be exhaustive. However, a particle-size fractionation of soil organic matter (OM) was carried out by Schloesing in 1874 under suitable experimental conditions and criticism to study the effect of OM on aggregate stability of cultivated soils. We relate here this pioneer publication.

Schloesing questioned the distribution of soil OM between sand and clay and set out a particle-size fractionation in five fractions : « gros sable » (coarse sand), « sable fin » (fine sand), « écaïlles » (scales), and « deux dépôts d'argile » (two clay deposits). The results were shown in three tables with recoveries (99,9 %, w/w), carbon and nitrogen content per gram of fraction and per gram of soil, and the mineral composition of three of these fractions. One of Schloesing's conclusions was that : « l'argile contient 6,9 % de matière organique, c'est assez pour qu'elle soit réellement modifiée dans sa manière d'agir comme ciment ». (Clay contains 6.9 % organic matter ; it is enough to be actually modified in the way it acts as a cement).

This work could practically be published nowadays.

Des travaux de plus en plus nombreux mettent en œuvre maintenant des fractionnements physiques - granulométriques et/ou densimétriques - pour caractériser la matière organique (MO) des sols (Elliott et Cambardella, 1991 ; Christensen, 1992 ; Feller et al., 1996 ; Feller et Beare, 1997).

Toutefois, il est curieux de constater que peu d'auteurs, consacrant des articles historiques aux concepts et méthodes sur la MO des sols, citent des travaux anciens sur les fractionnement physiques, alors que ceux sur les approches chimiques ou biologiques sont très bien documentés. Ainsi, les fractionnements physiques sont ignorés par Waksman (1936), bien que cet auteur cite l'article de Schloesing (1874) dont il est question ici, par Kononova (1961) et très peu cités par Vaughan et Ord (1985). Elliott et Cambardella (1991). Ces derniers consacrent un excellent article à la méthodologie des fractionnements physiques de la MO, mais ne citent pas de travaux antérieurs à 1967 et 80 % de leurs références concernent des travaux nettement postérieurs à 1980. Seul Christensen (1992), dans un article de synthèse sur les fractionnements physiques de la MO des sols, présente quelques références anciennes. Plus récemment, Feller (1997a, b) a dressé un canevas historique général sur cette question des fractionnements physiques de la MO des sols, en rappelant que :

- dès 1829, Martin mettait en œuvre une séparation physique, mais très élémentaire de l'« humus » : c'est la fraction surnageante après une minute d'agitation du sol dans l'eau dans un rapport masse/volume égal à 1/8, mais que,

- c'est surtout Schloesing qui, dès 1874, publiait un fractionnement granulométrique complet de la MO des sols en vue de préciser les déterminants de la stabilité de l'agrégation dans les sols arables.

A notre connaissance, cette publication de Schloesing dans les Annales de Chimie et de Physique de Paris est la première illustration de l'utilisation d'un fractionnement granulométrique élaboré de la MO des sols. Elle paraît être passée inaperçue. Il nous a donc paru intéressant de la présenter ici en détail.

LA PUBLICATION DE Th. SCHLOESING

Les trois pages qui nous intéressent spécifiquement appartiennent à un long article de 32 pages intitulé « Études sur la terre végétale » (Annales de Chimie et de Physique, 5e série, tome II, pp. 514-546).

Dès l'introduction de l'article (p.515), Schloesing écrit :

«... ainsi nous échappe la question si importante de la mesure de la fertilité : la constitution même de la terre végétale nous est à peine connue ; nous disons tous couramment qu'elle consiste en un simple mélange de sables divers, de calcaire, d'argile et de matière organique

ou humus : mais qui dira ce que c'est que l'argile ou l'humus ? ces deux expressions reviennent si souvent dans les écrits agricoles, qu'on finit par oublier l'ignorance des chimistes sur les matières qu'elle désignent ». Il est déjà intéressant de constater que les préoccupations de l'auteur le conduisent - logique formelle ou simple association de termes (?) - à considérer ensemble les constituants des sols que sont l'argile et l'« humus ». La suite du texte montre l'importance que Schloesing accorde aux interactions entre argile et MO.

Afin de mieux comprendre ce que l'on appelle aujourd'hui la stabilité de l'agrégation, et que Schloesing nomme « état d'ameublissement », il s'interroge sur la nature des « ciments » des agrégats. Il évalue la stabilité de l'agrégation à partir du niveau de dispersion (ou de la floculation) des éléments fins. Il montre d'abord, à partir de matériaux purs (sable et argile), le rôle essentiel de l'argile comme « ciment », puis en étudiant des échantillons naturels et en refaisant des expériences avec des matériaux modèles (différents sels, acides, alcalis et humates) il démontre comment cette propriété est modifiée dans un sens positif (sels calciques, acides, humates) ou négatif (alcalis). Concernant le rôle des humates, il en déduit que « les humates... emprisonnent l'argile comme en un réseau et lui enlèvent la propriété de se distendre sous l'action de l'eau, et de se souder sur elle-même en séchant... (Ceci) rend compte des observations des praticiens : le terreau ameublisse les terres fortes... le ciment minéral est en quelque sorte cimenté par le ciment organique ». Schloesing s'interroge donc sur « la répartition des humates dans les sols argileux » et suppose « que le partage (des humates entre l'argile et le sable) est inégal... et que l'argile prend la grosse part ».

Pour vérifier cette hypothèse, il cherche à mesurer les quantités de MO présentes dans les différentes classes granulométriques d'un sol. Par honnêteté scientifique, il précise que M. Masure (référence non fournie) a étudié avant lui « la répartition de la matière organique entre le sable et l'argile » mais en ajoutant que la méthode de Masure est beaucoup moins précise que la sienne puisque Schloesing opère sur 2 kg de terre, applique un procédé plus élaboré de séparation en cinq fractions, et ne se contente pas d'estimer la MO par perte au feu, mais la détermine à partir de l'analyse élémentaire des teneurs en C (et N) de chaque fraction. La méthode de fractionnement est inspirée, mais avec des améliorations (non rapportées), de la méthode par « lévigation » de Masure (non citée, mais probablement Masure, 1860).

Voici in extenso les trois pages du texte de Schloesing sur cette partie. Il m'a paru intéressant de donner au lecteur spécialisé sur la MO des sols cette partie complète du texte, et sous sa forme de l'époque, pour lui permettre de porter son propre jugement sur ce travail ancien.

« La lévigation a été faite en grand, dans des vases de 30 litres, sur 2 kilogrammes de la terre de Neauphle-le-Château, la plus pauvre des quatre terres précédentes en principes humiques ; j'ai obtenu cinq lots

successifs :

Le premier était le gros sable, celui qui se précipite en quelques secondes.

Le second était l'ensemble des sables fins déposés, pendant vingt-quatre heures, par l'eau qui tenait l'argile en suspension.

A la surface de ce sable, il y avait une couche de matières brunes, qui se sont roulées après la dessiccation en écailles presque noires, concaves, nettement séparées du sable sur lequel elles reposaient ; mais elles en étaient enduites en dessous ; je les ai mises à part et en ai formé le troisième lot.

La liqueur argileuse décantée et abandonnée au repos a encore donné un dépôt dont j'ai fait un quatrième lot.

Le cinquième et dernier a été fourni par l'argile coagulée, filtrée et lavée.

Ces cinq lots ont été desséchés à 150 degrés, pesés et analysés.

Voici d'abord leurs poids relatifs, pour 100 de terre sèche :

1 ^{er} lot, gros sable	15,66	pour 100
2 ^e lot, sable fin	60,59	pour 100
3 ^e lot, écailles.	8,98	pour 100
4 ^e lot, 2 ^e dépôt de la liqueur argileuse.	5,57	pour 100
5 ^e lot, argile	9,18	pour 100
	99,98	

Le tableau suivant (ci-dessous) donne les résultats des analyses. Dans les deux premières colonnes, l'azote et le carbone sont rapportés à 100 parties du lot correspondant ; les troisième et quatrième colonnes donnent l'azote et le carbone calculés pour des lots qui proviendraient de 1 kilogramme de terre sèche ; enfin la cinquième indique les poids de matière organique correspondant au carbone de la quatrième colonne, et calculés simplement en supposant que cette matière renferme 50 pour 100 de carbone. Toutes ces analyses ont été exécutées par M. Boutmy, ingénieur distingué des manufactures de l'État, attaché à mon laboratoire de 1868 à 1870. Je le remercie, bien tardivement, de son active et intelligente collaboration.

Ce qui frappe surtout, dans ce tableau, c'est la différence considérable entre les proportions de la matière organique dans le sable et dans l'argile ; nous sommes loin du rapport 1:2 de M. Masure. L'argile contient 6,9 pour 100 de matière organique ; c'est assez pour qu'elle soit réellement modifiée dans sa manière d'agir comme ciment.

Mais il y a eu, dans la préparation des lots, une cause d'erreur que je veux signaler. Il est probable, je dirai même certain, que la lévigation déplace les matières organiques d'un lot pour les mettre dans un autre.

Comme preuve, je citerai la lévigation de mes terres artificielles, composées d'humates et de sable. Le sable se dépose presque pur, tandis que l'humate, séparé par le frottement, forme à sa surface une couche d'un brun foncé. Des séparations de ce genre doivent se produire dans la lévigation d'une terre arable ; nous en voyons même un effet dans la formation du troisième lot. La matière organique, qu'il renferme en abondance, a été enlevée au sable ; plus légère, elle est venue se déposer après lui à la surface. La matière minérale de ce troisième lot est un mélange de sable extrêmement fin et d'argile ; en effet, sa composition élémentaire est intermédiaire entre celles de ces

	Sable fin	3 ^e lot	Argile
Silice.	91,18	82,95	56,22
Alumine.	5,88		21,70
Chaux.	0,10	9,36	2,25
Magnésie.	0,27	0,40	1,72
Potasse.	1,00	2,10	3,36
Soude	0,62	0,0	0,29
Peroxyde de fer	0,94	3,62	11,72
	99,99	99,13	97,26

deux substances, comme le montrent les analyses suivantes, exécutées par M. Boutmy :

Ainsi, par son mode de formation, sa richesse en matière organique et sa composition minérale, le troisième lot nous prouve que la lévigation a changé la répartition de la matière organique ; mais il nous montre en même temps que la partie de cette matière qui a aban-

	Pour 100 parties du lot		Pour 1 kilogramme de terre sèche		
	Azote	Carbone	Azote	Carbone	Matière organique
			mg	gr	gr
1 ^{er} lot, gros sable.	0,024	0,160	37,6	0,250	0,500
2 ^e lot, sable fin.	0,054	Perdu	327	Perdu	Perdu
3 ^e lot, dépôt sur le sable fin.	0,402	4,062	361	3,650	7,300
4 ^e lot, 2 ^e dépôt de l'argile.	0,471	3,682	362	2,050	4,100
5 ^e lot, argile	0,462	3,479	424	3,160	6,300

donné les minéraux qu'elle accompagnait dans le sol ne reste pas en suspension dans l'eau, comme l'argile, mais au contraire se dépose après un certain temps : il est donc naturel d'admettre qu'elle n'est pas demeurée dans l'argile, et que celle-ci a retenu seulement la portion de matière organique qui lui appartenait avant la lévigation. En définitive, je pense que le cinquième lot, l'argile, n'a pas été enrichi ; mais que le premier et le deuxième ont été appauvris, et que la matière organique du troisième lot, peut-être une partie de celle du quatrième, doit leur être restituée. »

COMMENTAIRES SUR LE TRAVAIL DE SCHLOESING

La mise en œuvre par Schloesing d'un fractionnement de la MO de type granulométrique répond à une question de « fonctionnalité ». Il ne s'agit pas de fractionner pour fractionner, mais de fractionner la MO pour vérifier une hypothèse de fonctionnement du sol, à savoir la possibilité de modifier le comportement des argiles selon la quantité de MO qui leur est associée. Ceci correspond bien, entre autres, aux préoccupations actuelles de la recherche en ce qui concerne l'utilisation privilégiée de ce type de fractionnement physique de la MO (Feller, 1993 ; 1997a, b).

Schloesing présente parfaitement ses résultats de fractionnement en cinq fractions, avec :

- un bilan massique du fractionnement qui boucle à 99,98 %,
- un tableau donnant les teneurs (« pour cent parties du lot ») des fractions en C et N, et le contenu (« pour 1 kg de terre sèche ») en C et N de chaque fraction. L'idéal eût été qu'il présentât aussi les bilans en C et N, en comparant la somme des contenus des fractions aux teneurs en C et N de l'échantillon non fractionné,
- un tableau donnant la composition minérale de trois des fractions pour essayer de répondre à une interrogation sur un possible artefact lié au fractionnement : MO grossières associées à des particules minérales ou organo-minérales plus fines. C'est le problème de l'utilisation de la sédimentation sans une séparation granulométrique préalable des particules organiques ou minérales grossières.

Schloesing fait donc preuve d'un fort esprit critique méthodologique et se donne les moyens d'y répondre. Toutefois, sur le même plan méthodologique, il ne fait aucun commentaire sur le niveau de la dispersion des éléments fins obtenus au cours du fractionnement, aspect essentiel dans ce type d'approche (Christensen, 1992 ; Gavinelli et al., 1995). De nos jours cette évaluation se fait par comparaison avec les résultats de l'Analyse Mécanique qui implique une destruction de la MO, méthode qui n'avait pas cours à cette époque.

Schloesing ne nous fait, non plus, aucun commentaire sur

les rapports C/N de ses fractions. Généralement, si la dispersion a été bien faite, le rapport C/N diminue des fractions sableuses (dominées par des débris végétaux plus ou moins décomposés, C/N > 15) aux fractions argileuses (dominées par des MO amorphes d'origines diverses, microbiennes, en particulier, C/N < 10). Un rapport C/N élevé des fractions sableuses confirme donc un bon niveau de dispersion de l'échantillon. Ici, le calcul de C/N donne 6,7 pour le « gros sable », non déterminé pour le « sable fin », 11,4 pour les « écailles, dépôt sur sable fin », 7,8 pour le « 2ème dépôt de l'argile » et 7,4 pour l'« argile ». On peut relever les points suivants :

- le « gros sable » inclurait encore des MO de la taille des limons ou des argiles, et donc la dispersion serait incomplète. Mais il est aussi possible, vu les faibles teneurs en N de cette fraction (0,024 %), que l'on soit à la limite de l'erreur de dosage, et donc de l'appréciation du rapport C/N,

- la valeur la plus élevée (11,4) du rapport C/N correspond à la fraction « écailles », fraction qui pose justement problème à Schloesing. Et celui-ci a parfaitement raison de penser que la matière organique de cette fraction, qui est plus légère, a été « enlevée aux sables », ce qui explique son rapport C/N plus élevé.

Il ne faut pas s'étonner que Schloesing ne commente pas le rapport C/N de la MO car l'intérêt de ce rapport n'apparaît que beaucoup plus tard. A cette époque, on cherchait à savoir si l'azote trouvé dans les MO des sols était bien un azote de type organique ou une impureté saline (Kononova, 1961), l'idée dominante étant que les vrais composés humiques ne contiennent pas d'azote. Ainsi Oden propose encore en 1919 une formule des acides humiques dans laquelle l'azote n'apparaît toujours pas. C'est Maillard en 1913 dans sa thèse sur « La genèse des matières protéiques et des matières humiques » qui montre clairement que les composés humiques sont des polymères intégrant des acides aminés et des aminosucres.

Il faudra ensuite attendre 1950, avec les travaux de Henin et Turc pour voir se développer une approche densimétrique du fractionnement de la MO des sols, méthode à l'origine de divers protocoles mettant en œuvre une séparation préalable des MO dites « libres » (Monnier et al., 1962 ; Duchaufour et Jacquin, 1966 ; Greenland et Ford, 1964 ; Ford et al., 1969 ; Dabin, 1971). Il faut citer aussi un travail de Barley (1955) passé relativement inaperçu et qui vise à séparer, par élutriation, les « macro-organic matter » des sols. Mais, ce sera 90 ans plus tard, en 1964, que l'on peut dater la redécouverte des fractionnements granulométriques de la MO avec les travaux de Edwards et Bremner (1964, 1967) qui montrent qu'il est possible, par simple application d'ultrasons sur une suspension de sol dans l'eau, d'obtenir une dispersion complète du sol sans destruction préalable de la MO et sans ajout de dispersant chimique : on peut donc séparer les fractions granulométriques du sol avec les MO qui y sont associées. Depuis cette date, le nombre de travaux basés sur ce type

d'approche de la MO des sols ne fait que croître (Feller, 1997a, b) et a encore probablement un bel avenir (Schnitzer, 1991).

BIBLIOGRAPHIE

- Barley K.P., 1955 - The determination of macro-organic matter in soils. *Agronomy Journal*, 47, 145-147.
- Christensen B.T., 1992 - Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. In : *Advances in Soil Science*, Vol. 20, Springer-Verlag N.Y.
- Dabin B. 1971 - Etude d'une méthode d'extraction des matières humiques du sol. *Science du Sol*, 1, 47-63
- Duchaufour Ph. et jacquin F., 1966 - Nouvelles recherches sur l'extraction et le fractionnement des composés humiques. *Bulletin E.N.S.A -Nancy*, 8, 3-24.
- Edwards A.P. et Bremner J.M. 1964 - Use of sonic vibration for separation of soil particles. *Canadian Journal of Soil Science*, 44, 366.
- Edwards A.P. et Bremner J.M., 1967 - Dispersion of soil particles by sonic vibration *Journal of Soil Science*, 18, 47-63.
- Elliott E.T. et Cambardella C.A., 1991 - Physical separation of soil organic matter. *Agriculture, Ecosystems and Environnement*, 34, 407-419.
- Feller C., 1993 - Organic inputs, soil organic matter and functional soil organic compartments in low activity clay soils in tropical zones. pp. 77-88. In : *Soil organic matter dynamics and sustainability of tropical agriculture*. K. Mulongoy et R. Merckx (ed.), 392 p., J. Wiley-Sayce, Chichester.
- Feller C., 1997a - The concept of soil humus in the past three centuries. In : *Advances in Geoecology*, D.H. Yalon et S. Berkowicz eds., 29, 15-46, Reiskirchen, Germany.
- Felle, C., 1997b - La matière organique des sols. Questions, concepts et méthodologies. Quelques aspects historiques et état actuel *Comptes Rendus de l'Académie d'Agriculture de France*, 83, 85-98.
- Feller C. et Beare M.H., 1997 - Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. *Geoderma*, 79, 69-116.
- Feller C., Albrecht A. et Tessier D. 1996 - Aggregation and organic matter storage in kaolinitic and smectitic tropical soils. In : *Structure and organic matter storage in agricultural soils*. M.R. Carter et B.A. Stewart eds, *Advances in Soil Sciences*, pp. 309. CRC Press, Boca Raton, USA.
- Ford G.W., Greenland D.L. et Oades J.M., 1969. - Separation of the light fraction of soil by ultrasonic dispersion in halogenated hydrocarbons containing a surfactant. *Journal of Soil Science*, 20, 291-296.
- Gavinelli E., Feller C., Larré-Larrouy M.C., Bacye B., Djegui N. et Nzila J. de D., 1995 - A routine method to study soil organic matter by particle size fractionation : examples for tropical soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 26, 1749-1760.
- Greenland D.J. et Ford G.W., 1964 - Separation of partially humified organic materials from soils by ultrasonic dispersion. *Transactions 8th International Congress of Soil Science*, Bucharest, 3, 137-148.
- Kononova M.M., 1961 - Soil organic matter, its nature, its role in soil formation and in soil fertility. 2nd Ed. Pergamon. Oxford, 505 p.
- Maillard L.C., 1913 - Genèse des matières protéiques et des matières humiques. Masson Ed. Paris, 423 p.
- Martin A.E., 1829 - *Traité théorique et pratique des amendements et des engrais*. Rousselon Libr. Ed. Paris, 576 p.
- Masure F., 1860 - *Analyse physique des terres arables par la méthode et avec l'appareil de M. Masure*. Extrait de la *Revue des Sociétés Savantes*, Imprimerie et Librairie Administratives de Paul Dupont, Paris.
- Monnier G., Turc L. et Jeanson-Luusinang C., 1962 - Une méthode de fractionnement densimétrique par centrifugation des matières organiques du sol. *Annales Agronomiques*, 12, 55-63.
- Oden S., 1919 - Die Huminsäuren. *Kolloidchemie Beihefte*, 11, 75-260.
- Schloesing Th. 1874 - Étude sur la terre végétale. *Annales de Chimie et Physique*, 5e série, t. 2, 514-546.
- Schnitzer M., 1991 - Soil organic matter - the next 75 years. *Soil Science*, 151, 41-58.
- Vaughan D. et Ord B.G., 1985 - Soil organic matter. A perspective on its nature, extraction, turnover and role in soil fertility. In : *Soil Organic Matter and Biological Activity*, pp. 1-36, D. Vaughan et R.E. Malcolm Eds., M.