

Quelques avancées récentes sur la dynamique des matières organiques dans les sols

Jérôme BALESDENT¹, Claire CHENU², Blaise LECLERC³.

¹ Laboratoire d'Ecologie Microbienne de la Rhizosphère - DEVM - CEA - Centre de Cadarache,

² Unité de Science du Sol - INRA Versailles, ³ Institut Technique de l'Agriculture Biologique (ITAB).

Introduction

L'utilisation d'outils tels que le traçage isotopique du carbone, la microscopie électronique ou les fractionnements physiques, permettent de mieux comprendre la dynamique des matières organiques dans les sols cultivés. Les recherches de ces dernières années dans ce domaine débouchent sur la notion d'**auto-protection** des matières organiques (voir article central dans Echo-MO n° 24). Nous présentons dans cet article quelques avancées récentes sur la dynamique des matières organiques dans les sols.

Le traçage naturel du carbone des sols par l'isotope ¹³C

Le principe repose sur la différence naturelle de rapport ¹³C/¹²C entre les plantes C3 et les plantes C4. Il s'agit de deux types photosynthétiques différents, pour lesquels le premier produit de la photosynthèse contient respectivement 3 ou 4 atomes de carbone. En France, la quasi-totalité des végétations terrestres est du type C3, le maïs est C4. Quand on plante une culture de maïs, le carbone nouveau apporté par le maïs au sol va progressivement remplacer le carbone ancien. La mesure du rapport ¹³C/¹²C des matières organiques donne directement la proportion de carbone ancien et de carbone nouveau. Si l'on fait des mesures à différents intervalles de temps, on trace le devenir du carbone arrivant au sol et l'on mesure directement le turnover du carbone. La méthode, mise au point par Cerri *et al.* (1985), s'est avérée extrêmement puissante, sans équivalent, car elle permet de tracer le carbone *in situ*, sans perturbation, et sur des durées s'étendant de l'année au siècle, voire aux millénaires. Le principe peut être appliqué à toute fraction séparable, permettant de distinguer les matières organiques labiles (rapidement renouvelées) et les matières organiques stables (non renouvelées) et d'établir les voies de transformation. Notons toutefois que la méthode ne peut s'appliquer que dans le cas où l'on passe brutalement et définitivement d'un type photosynthétique à un autre, chez nous par exemple lorsqu'on installe une monoculture de maïs.

Cette méthode a permis de mesurer les vitesses de biodégradation et d'établir une compartimentation du carbone du sol, c'est-à-dire une répartition en sous-ensembles, de vitesses de biodégradation différentes. Dans le cas de l'horizon travaillé des sols limoneux sous cultures céréalières, on peut par exemple proposer une répartition du carbone en quatre compartiments homogènes :

- (1) l'un, très labile, est biodégradé dans l'année, sa quantité dans le sol est minime, mais il représente environ 75 % de l'apport annuel.

Le reste peut être réparti en trois compartiments d'âges moyens :

- (2) 4 ans (en moyenne 15 % du carbone du sol),
- (3) 40 ans (en moyenne 65 % du carbone du sol),
- (4) plus de 1000 ans (en moyenne 20 % du carbone du sol).

Ces valeurs de pourcentage de carbone sont bien sûr affectées par le type de sol et le climat.

Cette méthode isotopique a confirmé que les racines sont sûrement la source majeure de matières organiques des sols. Dans les cultures de maïs, pourtant réputées avoir une production souterraine faible, l'apport aux matières organiques du sol par les racines est supérieur à l'apport par les tiges et les feuilles, alors que les biomasses respectives sont dans un rapport de moins de 1 à 2 (Balesdent & Balabane, 1996). Le bilan est expliqué par la rhizodéposition continue de carbone pendant la croissance de la plante, par une teneur en lignine relativement élevée et en azote faible dans les racines par rapport aux feuilles et tiges, enfin par l'injection directe des matières organiques dans la matrice minérale du sol, qui peut les protéger de la biodégradation.

La méthode isotopique a également montré que la biomasse microbienne, telle qu'elle est estimée par fumigation/extraction, a une dynamique très hétérogène. Une minorité (20-40 %) est alimentée par les substrats minéralisables de l'année (rhizodéposition et résidus de récolte). Le reste est essentiellement alimenté par les substrats âgés de plusieurs années à dizaines d'années (composés humiques, ligneux ou protégés). Comme cette dernière ressource ne représente qu'une minorité du carbone dégradé annuellement, on en conclut que ce deuxième compartiment microbien a une durée de vie longue dans le sol (largement supérieure à l'année).

La méthode isotopique permet aussi d'évaluer les méthodes d'extractions de matières organiques quant à leur capacité à quantifier le carbone labile des sols. Ainsi, sur les sols étudiés, il est apparu que ni les acides fulvique ou humiques, ni le carbone hydrolysable, ni les sucres totaux ne sont des indicateurs de la dynamique du carbone. Même les extraits dans l'eau, les solutions salines ou des acides dilués, bien que plus jeunes que les précédents, contiennent une majorité de carbone ancien peu dégradable et n'apparaissent pas comme de bons indicateurs du statut organique des sols (Balesdent, 1996b).

Les fractionnements physiques des matières organiques

Il s'agit d'un ensemble de méthodes qui connaît un très fort développement depuis une dizaine d'années. Ces fractionnements visent à séparer les matières organiques du sol selon des critères physiques : la taille (fractionnements granulométriques), ou la densité (fractionnements densimétriques) des matières organiques elles-mêmes, ou des particules minérales, voire des agrégats, auxquelles elles sont associées (Christensen, 1992). Un autre objectif est de ne pas solubiliser ou dénaturer les matières organiques par des réactifs chimiques, mais au contraire préserver leur état *in situ*. L'eau est donc le solvant le plus souvent utilisé et les agrégats du sol sont dispersés mécaniquement. On peut par exemple isoler des matières organiques « particulières » grossières (> 0,05 mm) et légères (densité 1 à 2 Mg.m⁻³), qui sont des résidus végétaux en cours de décomposition (Feller *et al.*, 1979). Cette fraction a un âge moyen de quelques années et peut représenter jusqu'à 20 % des matières organiques du sol (Balesdent, 1996a).

Selon le même principe, on a cherché à séparer les matières organiques selon leur localisation dans la structure du sol : localisation dans des agrégats plus ou moins stables, de tailles différentes (Puget *et al.*, 1995), localisation à l'intérieur ou à l'extérieur des agrégats du sol (Besnard *et al.*, 1996). Ces méthodes, couplées avec le traçage isotopique, renseignent sur la contribution des matières organiques à la stabilité de la structure, et sur le rôle des agrégats du sol dans la protection physique des matières organiques.

La microscopie électronique

La microscopie électronique à balayage et la microscopie électronique à transmission ont été appliquées au sol ou à des fractions de sols. Des mises au point méthodologiques ont été nécessaires pour préserver l'organisation des échantillons de sols, très fragiles, car hydratés et peu cohérents. Associée aux fractionnements physiques et aux traçages, la microscopie électronique permet de lever en partie l'ignorance cachée autrefois sous le vocable « complexe argilo-humique ». Les associations organo-minérales doivent maintenant être perçues non plus comme des couches adsorbées sur les surfaces des argiles, mais comme des microagrégats organiques insérés entre les particules argileuses (Feller *et al.*, 1991 ; Chenu *et al.*, 1998). Il semble aussi que, dans la plupart des milieux, l'humification en phase solide, au sein de débris végétaux et microbiens, prime sur l'insolubilisation de précurseurs solubles.

Conclusion

Des méthodes biochimiques très variées, ainsi que des méthodes chimiques récentes telles que la pyrolyse ou la résonance magnétique nucléaire du carbone, ont été largement appliquées, ces dernières années, aux fractions issues des fractionnements physiques. Cela a beaucoup fait progresser la caractérisation des matières organiques du sol, et en combinaison avec le traçage naturel du carbone par le ¹³C, la compréhension du devenir des résidus organiques dans les sols. Durant leur biodégradation dans le sol, les résidus organiques et leur produits de décomposition s'associent étroitement avec la phase minérale du sol et, simultanément, leur composition chimique change. Ces deux processus conduisent à une biodégradation de plus en plus lente. Cependant, l'importance respective de ces processus de stabilisation des matières organiques reste difficile à déterminer.

Bibliographie

- Balesdent J., 1996a.** Un point sur l'évolution des réserves organiques des sols en France. *Forum « Le sol, un patrimoine menacé ? » Paris, 24 octobre 1996. Etude et Gestion des Sols, 3, 4, 1996, pages 245-260, Numéro spécial.*
- Balesdent J., 1996b.** The significance of organic separates to carbon dynamics and its modelling in some cultivated soils. *European Journal of Soil Science, 47, 4.*
- Balesdent J. & Balabane M., 1996.** Major contribution of roots to soil carbon storage inferred from maize cultivated soils. *Soil Biol. and Biochem. 28 : 1261-1263.*
- Besnard E., Chenu C., Balesdent J., Puget P. & Arrouays D., 1996.** Fate of particulate organic matter in soil aggregates during cultivation. *European Journal of Soil Science, December 1996, 47, 495-503.*
- Cerri C., Feller C., Balesdent J., Victoria R. et Plenecassagne A., 1985.** Application du traçage isotopique naturel en ¹³C à l'étude de la dynamique de la matière organique dans les sols. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris, 300 : 423-428.*
- Chenu C., P. Puget & Balesdent J. 1998.** Clay-organic matter associations in soils: microstructure and contribution to soil physical stability. *16 th World Congress of Soil Science, Montpellier, CD-ROM, Cirad, Montpellier, France.*
- Christensen B.T., 1992.** Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. *Adv. Soil Sci. 20 : 1-90.*
- Feller, C., François C., Villemin G., Portal J.M., Toutain, F. & Morel, J.L., 1991.** Nature des matières organiques associées aux fractions argileuses d'un sol ferrallitique. *C.R. Acad. Sci. Paris. 312 : 1491-1497.*
- Puget P., Besnard E. & Chenu C., 1996.** Une méthode de fractionnement des matières organiques particulières des sols en fonction de leur localisation dans les agrégats. *C.R. Acad. Sci. Paris, t. 322, série II a : 965-972.*