



Matière organique

Je suis la nourriture de la majorité des organismes du sol. Je proviens surtout des matières végétales, en surface et dans le sol. Je suis constituée de chaînes de carbone et j'existe sous forme vivante ou morte, plus ou moins décomposée.

Rédaction : Isabelle Basile-Doelsch (avril 2023)

Introduction

Plus de **90 % de la masse d'un sol est composé de roches et de minéraux (issus de l'altération et de la désagrégation de ces roches)** (Figure 1) ! Ils sont sous forme de petites particules de tailles variées, dont les plus petites sont encore plus fines que du sucre glace... Avec ces roches et minéraux se cachent **1 à 10 % de matières organiques**. Et même si les matières organiques ne représentent, à un instant donné, qu'une toute petite partie de la masse du sol, elles sont extrêmement importantes pour le **fonctionnement du sol** et le **stockage de carbone**. Voyons ce que sont les matières organiques du sol et comment elles se forment.

Qu'appelle-t-on « matières organiques » du sol ?

On distingue d'abord les matières organiques qui appartiennent à des organismes qui sont vivants dans le sol : ce sont les racines, la faune du sol et les microorganismes. Bien qu'ils soient les plus petits (de l'ordre du micron pour les bactéries), les microorganismes sont proportionnellement les plus importants. Toutefois, les **matières organiques « vivantes »** ne représentent qu'une toute petite proportion des matières organiques du sol (**environ 5 %**). **Les 95 % restants sont des matières organiques « mortes »**. Il s'agit, d'une part, de **débris issus des organismes morts**, principalement des résidus de plantes : branches, feuilles racines... On les appelle « **matières organiques particulaires** » car ces débris forment des petites particules dans lesquelles on arrive encore à distinguer d'anciens tissus de l'organisme initial. Il s'agit, d'autre part, de **molécules organiques**. Elles aussi ont des tailles variées depuis les grosses macromolécules (comme la lignine) jusqu'aux plus petites molécules (comme le glucose). **Les plus petites sont dites « assimilables »**, car les micro-organismes vont pouvoir s'en nourrir. Les molécules organiques sont elles-mêmes constituées d'atomes de carbone (+/- 50%), d'hydrogène et d'oxygène, d'un peu d'azote, et de rares atomes de phosphore et de soufre. C'est grâce à cette composition que les sols représentent un réservoir très important de carbone à la surface de la Terre (avec un stock 3 fois plus important que l'ensemble des plantes vivant sur la Terre ! (Figure 1).



LA FRESQUE DU SOL

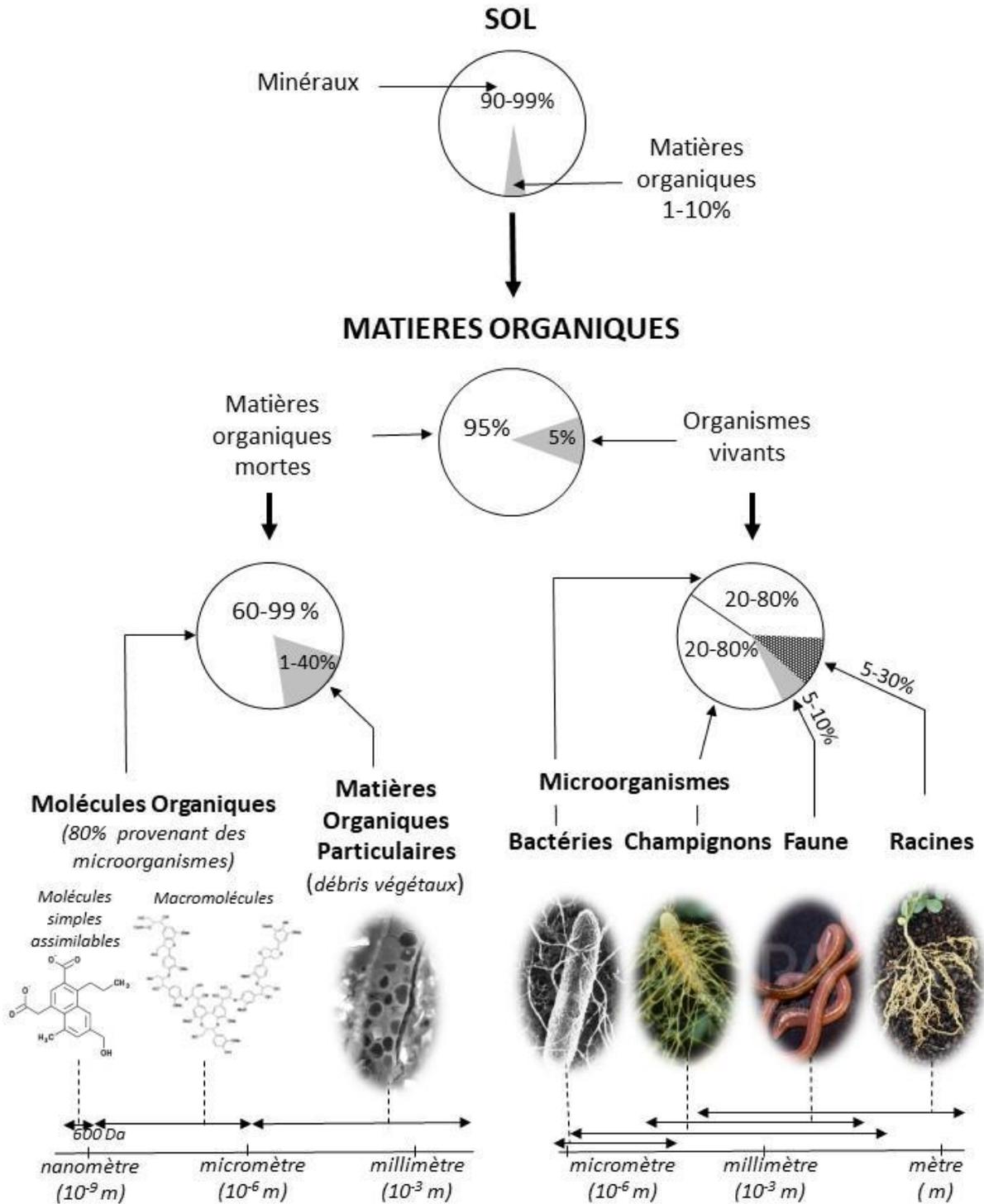


Figure 1. Nature et proportions indicatives des matières organiques du sol
Source : Basile-Doelsch et al., 2019.



Comment se transforment les matières organiques dans le sol ?

Dans une forêt ou une prairie, on compte trois portes d'entrée des matières organiques dans le sol (Figure 2, les numéros correspondent à ceux de la figure) : (1) **la litière sur le sol** (débris de feuilles, tiges, branches mortes...), (2) **la litière racinaire** (débris de racines mortes), et (3) **la rhizodéposition** qui inclut les **exsudats racinaires** (sécrétion de molécules organiques par les racines vivantes). Une quatrième porte d'entrée peut exister dans un sol agricole si le sol reçoit des **amendements organiques** (4) (compost, lisier, fumier...) (cf. synthèse « stockage recyclage et transformation de la matière organique »). Dans tous les cas, c'est de loin par les racines (litière racinaire et rhizodéposition) que la plus grande quantité des matières organiques entre dans le sol.

Une fois sur ou dans le sol, les débris de matière organique sont **broyés et consommés par la faune** du sol (5). Leurs excréments et les petits restes de débris végétaux (6) continuent à être transformés en macromolécules par les enzymes sécrétées par les micro-organismes (7). Lorsque les micro-organismes parviennent à briser toutes les liaisons chimiques entre les différents atomes des molécules organiques, le **carbone** (sous forme de CO_2) et l'**azote** (sous forme de NH_4^+ et NO_3^-) n'appartiennent plus au monde organique, mais au monde minéral : on parle de **minéralisation** de la matière organique. L'azote minéral devient alors un **nutriment** précieux pour les **micro-organismes** (8) et les **plantes** (9) alors que le CO_2 gazeux repart dans l'**atmosphère** (10).

Mais **toutes les molécules ne sont pas minéralisées**. Certaines sont **re-transformées** par des enzymes en petites molécules pour être re-consommées (11) par les micro-organismes (pour leur fournir de l'énergie ou resynthétiser de nouvelles molécules) alors que d'autres ne seront pas consommées tout de suite. **Les molécules qui restent dans le sol se collent entre elles et aux petits minéraux (12) pour former les agrégats de sol**. Ainsi **protégées**, les matières organiques, sous forme de molécules associées aux minéraux, **peuvent rester jusqu'à plusieurs milliers d'années dans un sol avant d'être finalement minéralisées** ! Cela explique aussi pourquoi les sols représentent un stock de carbone important à la surface de la terre.



LA FRESQUE DU SOL

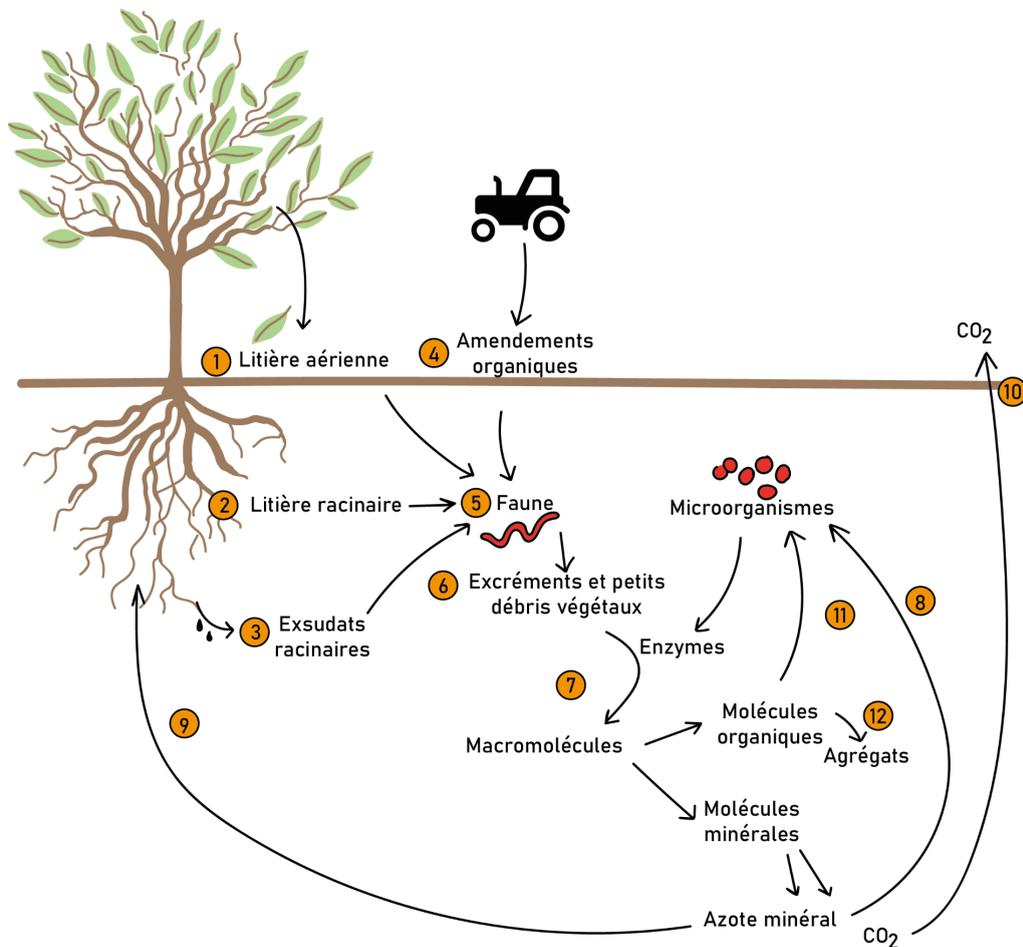


Figure 2. Les biotransformations de la matière organique dans les sols en douze étapes.
Source : Solenn Chauvel d'après Balesdent et al., 2015

Et l'« Humus » dans tout ça ?

Dans le modèle conceptuel de décomposition progressive décrit ci-dessus, **les matières organiques du sol (MOS)** se composent d'une gamme de fragments organiques et de produits microbiens de toutes tailles à différents stades de décomposition (Figure 1 et 2). Ce mécanisme est en **rupture avec le modèle historique « d'humification »** proposant la formation des « **substances humiques** » par condensation (assemblage et accumulation) progressive en macromolécules. De plus, les différentes classes de composés humiques identifiées autrefois (**acides humiques, fulviques, humines**) **ne correspondent pas à des molécules existant *in situ***, mais à des réarrangements physico-chimiques des molécules élémentaires lors de leur extraction. Ces différents concepts (humification, substances humiques, acides humiques et fulviques, humines), mis en défaut par les méthodes modernes de caractérisation des MOS, **ne devraient plus être utilisés par la communauté des sciences du sol, ni être transmis dans les enseignements.**



De plus, le **modèle de préservation sélective de certains composés organiques a aussi été invalidé** par des techniques de datation, démontrant que les molécules supposées récalcitrantes ne sont pas spécifiquement préservées dans les MOS. En effet, les communautés microbiennes du sol, et implicitement le répertoire enzymatique associé, ont la capacité de dégrader tous les types de substrats et ce dans presque n'importe quel type de sol. **Les mécanismes de préservation à long terme des MOS ne sont donc pas liés à leur récalcitrance chimique mais liés à d'autres facteurs biologiques, physico-chimiques et structuraux, en particulier leur capacité à s'associer aux minéraux.**

Questions clés

Quelles tailles ont les matières organiques du sol (Figure 1) ?

Prenez un cheveu entre deux doigts : son diamètre est d'environ 100 microns. Regardez maintenant l'échelle de taille des différents types de matière organique du sol sur la figure 1. Une bactérie est combien de fois plus petite que le cheveu ? Une matière organique particulière ? Une macromolécule ? Une molécule assimilable ?

Réponses : les matières organiques particulières (dites « POM ») sont à peu près de la taille du diamètre du cheveu, une bactérie est 100 fois plus petite que le cheveu, les macromolécules sont environ 1000 fois plus petites que le cheveu et les molécules assimilables sont plus de 100 000 fois plus petites que le cheveu. Un challenge pour les scientifiques pour les observer !

Et si on tentait une analogie entre un sol et notre corps humain d'après la Figure 2.

Litières (1) (2) et amendements (4) seraient *Réponse A*

La faune du sol (5) serait ... *Réponse B*

Les exsudats (3) seraient ... *Réponse C*

Les bactéries et les champignons (7) seraient... *Réponse D*

Les molécules organiques associées aux minéraux (12) seraient ... *Réponse E*

Le dégagement de CO₂ (10) serait ... *Réponse F*

Réponses :

A : les aliments que nous consommons

B : notre bouche avec nos dents qui découpent et notre salive qui commence les transformations chimiques des aliments

C : des gels énergétiques du sportif, faciles à digérer et à assimiler directement par les microorganismes (sans passer par les étapes de broyage dans la bouche)

D : les sucs gastriques et le microbiote de notre estomac

E : nos réserves de graisse !

F : la même chose : le dégagement de CO₂ ! Dans notre corps, le CO₂ que nous expirons résulte aussi de la minéralisation de la matière organique.



Bibliographie

Chapitre en français et son équivalent en anglais : présente la matière organique et les mécanismes qui la transforme (accès gratuits) :

I. Basile-Doelsch et J. Balesdent, Les mécanismes à l'origine du stockage/déstockage de C dans les sols, dans Stocker du carbone dans les sols français, Quel potentiel au regard de l'objectif 4 pour 1000 et à quel coût? Rapport d'étude, INRA (France), 2019, 46-69, <https://www.inrae.fr/sites/default/files/pdf/Rapport%20Etude%204p1000.pdf>

I. Basile-Doelsch, J. Balesdent, S. Pellerin, Reviews and syntheses: The mechanisms underlying carbon storage in soil, 2020, Biogeoscience, doi.org/10.5194/bg-2020-49

J. Lehmann, M. Kleber, 2015, The contentious nature of soil organic matter, Environmental Science, Medicine ; Nature.

Trois ouvrages en français qui abordent différents aspects de la matière organique des sols :

J. Balesdent, E. Dambrine, J.C. Fardeau, Les sols ont-ils de la mémoire : 80 clés pour comprendre les sols, 2015, QUAE Eds.

R. Calvet, C. Chenu, S. Houot, Les matières organiques des sols, 2021, France Agricole Eds.

Pellerin, S., et al., Stocker du carbone dans les sols français. Quel potentiel au regard de l'objectif 4 pour 1 000 et à quel coût ? 2021, Éditions Quæ , Versailles, 232 p.

Michael W. I. Schmidt, Margaret S. Torn, Samuel Abiven, Thorsten Dittmar, Georg Guggenberger, Ivan A. Janssens, Markus Kleber, Ingrid Kögel-Knabner, Johannes Lehmann, David A. C. Manning, Paolo Nannipieri, Daniel P. Rasse, Steve Weiner & Susan E. Trumbore (2011) Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. Nature, 478(7367):49-56.