

# Formation en Agronomie Biologique

Dr. Martin Entz – Université du Manitoba

## Leçon 4

### La Santé des Sols Dans les Systèmes d'Agriculture Biologique



## Formation Agronomie Biologique

Cette formation a été élaborée et offerte par Martin Entz, Ph. D., Département des sciences végétales, Université du Manitoba. Il s'adresse aux agronomes des secteurs privé et public qui souhaitent répondre à la demande croissante des producteurs pour plus d'informations sur la production de céréales biologiques. Les céréaliers qui envisagent une transition vers l'agriculture biologique ou les praticiens de l'agriculture biologique actuels qui souhaitent apprendre la théorie et les dernières connaissances scientifiques trouveront également le cours précieux. Le cours a été conçu en pensant aux Prairies, mais les agronomes d'autres écorégions apprendront les principes universels de la production biologique.

La formation consistait en cinq sessions en ligne en direct de 75 minutes sur deux semaines en janvier 2023 :

- 5 janvier : Rotations et Gestion des Éléments Nutritifs
- 6 janvier : Semences et Ensemencement, Travail du Sol et Gestion des Mauvaises Herbes
- 10 janvier : Lutte Contre les Maladies, les Insectes (et les Mauvaises Herbes)
- 12 janvier : La Santé des Sols Dans les Systèmes d'Agriculture Biologique
- 13 janvier : Questions et Réponses

Tout le contenu du cours (enregistrements de cours, présentations et notes) est accessible sur [pivotandgrow.com](http://pivotandgrow.com).

La formation en agronomie biologique a été élaborée dans le cadre de la Stratégie canadienne sur les ingrédients biologiques du Prairie Organic Development Fund.

**La Stratégie Canadienne des Ingrédients Biologiques  
a été financée par :**

 PARTENARIAT  
CANADIEN pour  
l'AGRICULTURE





## Table of Contents

Module 4 : La Santé des Sols dans les Systèmes d'Agriculture Biologique.....	2
Matière organique du sol (MOS).....	2
Pourquoi la matière organique du sol est-elle importante?.....	3
<i>Échos du Terrain : Our Farm</i> .....	5
Formation de la MOS : Le modèle à deux voies.....	5
<i>Échos du terrain : Mill Creek Organic Farm</i> .....	7
Termes clés.....	8
Différences entre les matières organiques particulières (MOP) et les matières organiques associées aux minéraux (MOAM). ....	8
Matière organique associée aux minéraux (MOAM).....	9
Matière organique particulière (MOP).....	10
Pratiques de gestion visant à augmenter la matière organique stable (en particulier les MOAM).....	12
Changements dans les pratiques agricoles et les MOS.....	12
Des plantes, des plantes, des plantes.....	12
<i>Échos du terrain – Upland Organics</i> .....	13
Broutage.....	14
Efficacité de l'utilisation du carbone : plus de MOS avec moins de C!.....	15
Carbone racinaire.....	17
Profil du sol profond en ce qui concerne les MOS.....	18
Félicitations – vous l'avez fait!.....	19
Ressources.....	19
Les références.....	21

# Module 4 : La Santé des Sols dans les Systèmes d'Agriculture Biologique

## Matière organique du sol (MOS)

Un sol fertile et sain est essentiel pour

- que les plantes, les animaux, les êtres humains et les autres organismes soient en santé;
- que les fermes soient productives et aient de bons rendements tout au long de la rotation des cultures et à long terme;
- que les écosystèmes soient en santé.

Et la matière organique du sol est la base même des sols sains et productifs. Nous nous concentrerons sur la matière organique du sol (MOS) dans cette leçon. Pour en savoir plus sur la vie du sol, le cycle des éléments nutritifs et d'autres aspects de la santé des sols, consultez les nombreuses **ressources** disponibles.

Le maintien de la santé des sols dans les fermes biologiques est un exercice d'équilibre en ce qui concerne la matière organique du sol (MOS). Pour améliorer ou même simplement maintenir la santé des sols, il faut accroître la MOS. Pour ce faire, on cultive souvent des plantes. D'autre part, les cultures ont besoin d'éléments nutritifs et ceux-ci sont fournis par la décomposition d'une partie de cette MOS. À noter que la MOS se compose de carbone (C) à environ 58 %, de sorte que le carbone est au cœur des discussions sur la MOS.

## Pourquoi la matière organique du sol est-elle importante?

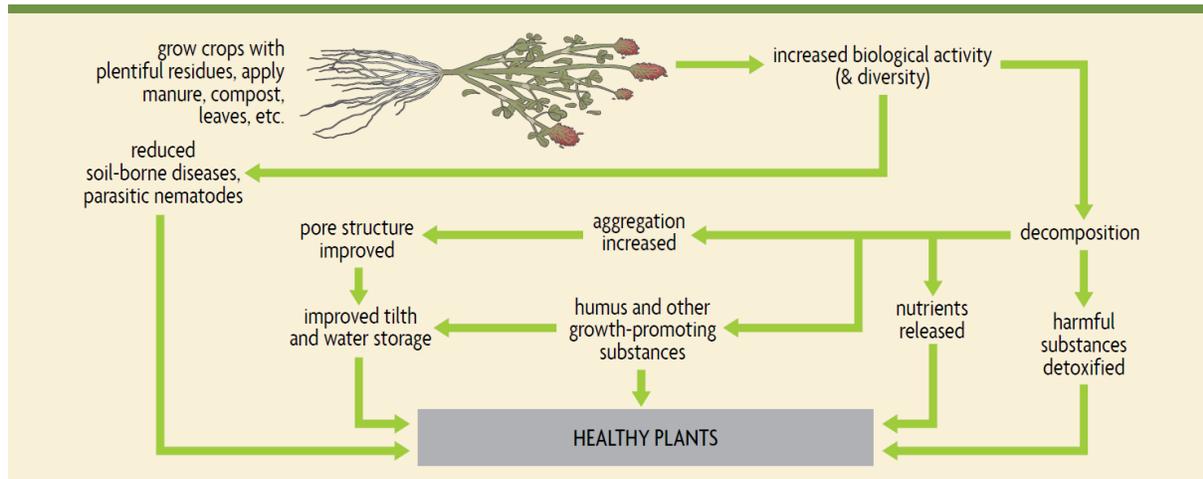


Figure 2.3. Adding organic matter results in many changes. Modified from Oshins and Drinkwater (1999).

Source : **Building Soils for Better Crops: Ecological Management for Healthy Soils, chapitre 2, p. 18**

### La matière organique influe sur de nombreuses propriétés clés des sols. La matière organique du sol (MOS) peut améliorer :

- **nutrient supply and retention.** SOM can hold nutrients in the soil, protecting them from leaching, while slowly releasing nutrients as required by plants.
- **soil structure.** SOM can lead to better soil tilth and aggregation.
- **water retention.** SOM can hold water and release it as needed, similar to the effect of SOM on nutrients.
- **l’approvisionnement en éléments nutritifs et leur rétention.** La MOS peut retenir les éléments nutritifs dans le sol, les protégeant de la lixiviation, tout en libérant lentement les éléments nutritifs dont les plantes ont besoin.
- **structure des sols.** La MOS peut améliorer l’état d’ameublissement et l’agrégation des sols.
- **rétention de l’eau.** La MOS peut retenir l’eau et la libérer au besoin, comme l’effet de la MOS sur les éléments nutritifs.
- **taux d’infiltration d’eau.** L’effet positif de la MOS sur la structure et la porosité des sols signifie que plus d’eau peut s’écouler dans le sol plutôt qu’à la surface du sol. Ainsi, plutôt que de perdre de l’eau ainsi que la terre arable et les nutriments dans le ruissellement, l’eau sera conservée dans le sol. Cela permet également d’éviter la formation de flaques à la surface du sol.
- **résilience** En améliorant les taux d’infiltration et de rétention de l’eau, la MOS aide les fermes à faire face aux inondations, à la sécheresse et à d’autres phénomènes météorologiques extrêmes (comme les fortes pluies prolongées).

- **résistance aux ravageurs.** Les plantes cultivées dans des sols riches en MOS ont souvent moins de problèmes de ravageurs que les plantes cultivées dans des sols à faible MOS. Cela vaut aussi bien pour les ravageurs souterrains, comme les maladies des racines, que pour les ravageurs de surface, comme les pucerons. Il semble que deux mécanismes soient à l'origine de cette situation. La MOS fournit un habitat propice à une vie abondante et diversifiée, y compris à des organismes qui s'attaquent aux agents pathogènes et aux insectes nuisibles. De plus, l'approvisionnement équilibré en nutriments fourni par la MOS rend le feuillage moins attrayant pour les ravageurs par rapport aux plantes qui reçoivent des engrais synthétiques ou des niveaux élevés d'azote (N) soluble. Voir « Relations complexes entre les ravageurs, les organismes bénéfiques, les mauvaises herbes et les cultures » à la leçon 3 – Lutte contre les insectes et les maladies.
- **séquestration du carbone** La MOS fournit un bassin de carbone dans le sol. Lorsque le dioxyde de **carbone** est absorbé par les plantes, une partie du carbone peut être retenue dans la MOS. Cela réduit la quantité de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère, ce qui ralentit le rythme des changements climatiques.

« [...] À mesure que la matière organique du sol diminue, il devient de plus en plus difficile de cultiver des plantes, car les problèmes de fertilité, de disponibilité de l'eau, de compaction, d'érosion, de parasites, de maladies et d'insectes deviennent plus fréquents. Des niveaux toujours plus élevés d'intrants – engrais, eau d'irrigation, pesticides et machinerie – sont nécessaires pour maintenir les rendements malgré l'épuisement des matières organiques. Mais si une attention est accordée à une bonne gestion des matières organiques, le sol peut soutenir une bonne culture en nécessitant moins de correctifs coûteux<sup>1</sup>. »

Selon les Normes canadiennes sur la culture biologique (2020), 5.4.1 « Le programme de gestion de la fertilité du sol et des nutriments culturaux a pour objectif principal d'établir et de maintenir la fertilité du sol par des pratiques qui :

- a) préservent ou augmentent la teneur en matière organique du sol,
- b) favorisent un approvisionnement nutritionnel et un équilibre entre les nutriments, et
- c) stimulent l'activité biologique du sol. »

En outre, selon le paragraphe 5.4.5, « la matière organique produite dans l'exploitation doit être le fondement du programme de recyclage des nutriments. »

---

<sup>1</sup>[Building Soils for Better Crops](#)

---

## **Échos du Terrain : Our Farm**

« Mon mantra est nourrissez votre sol et il nourrira vos plantes », explique Dennis. « Si vous avez des plantes saines, vous aurez des fruits et légumes qui goûtent vraiment bon. Et si les fruits et les légumes goûtent bon, ils ont probablement une forte teneur en nutriments. »

La santé des sols est principalement assurée par l'épandage de compost.

« Nous compostons tout », rigole Dennis. « Si ça ne bouge pas, nous le compostons. »

Chaque année, Our Farm produit environ 20 verges cubes de compost et achète 60 verges cubes d'un compost approuvé par l'organisme de certification compétent. Dennis utilise également des cultures de couverture d'avoine, de pois, de seigle, de blé, de sarrasin et de trèfle dans de petites sections du champ. Des cultures de couverture sont également plantées dans les allées entre les planches de culture; ce terreau est intégré aux aires de culture lors du buttage des pommes de terre ou d'un changement de disposition des planches.

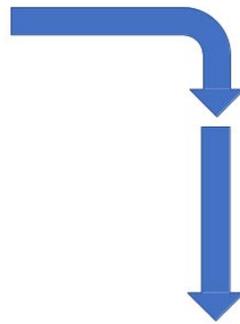
« Après l'ajout de beaucoup de matières organiques au fil des ans, le sol est très agréable à travailler et il a une belle texture. » Dennis note que la texture du sol reflète la durée du travail sur chaque planche. Il y a huit ans, il a commencé par un acre, en ajoutant environ un demi-acre chaque année. Le jardin original a le meilleur terreau de tous.

---

## **Formation de la MOS : Le modèle à deux voies**

La section suivante est très technique. Il pourrait être utile de consulter les « termes clés » et le « tableau 1 » de la présente leçon en plus du glossaire du cours. Après avoir expliqué la science derrière la formation de matière organique du sol (MOS), nous décrivons les mesures que les producteurs peuvent prendre pour accroître la MOS et améliorer la santé du sol.

How does this material become organic matter?



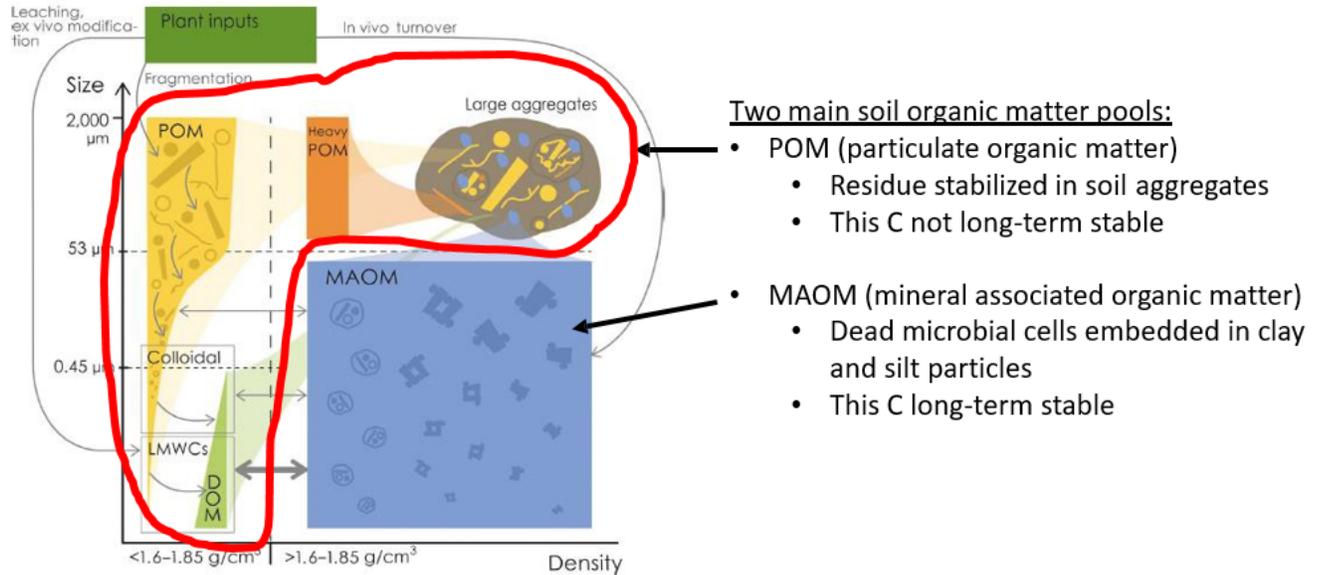
And, what is soil organic matter?

« La matière organique du sol, cette peau très mince sur la surface terrestre mondiale, remplit de nombreuses fonctions vitales pour l'humanité, comme fournir des nutriments aux plantes et séquestrer le carbone. Selon les modèles traditionnels, les composants des résidus végétaux qui se décomposent plus lentement, comme les fibres, contribuent à la constitution de la matière organique du sol. La nouvelle étude suggère que les premiers sous-produits de la décomposition des résidus végétaux, généralement des matières hydrosolubles, peuvent aussi entraîner la formation de matière organique du sol. L'étude démontre que ces matériaux à décomposition rapide sont utilisés plus efficacement par les bactéries du sol, laissant ainsi plus de carbone dans le sol comme produits microbiens, qui se lient aux minéraux du sol et restent donc dans le sol plus longtemps<sup>2</sup>. »

Le traitement microbien des matières organiques semble beaucoup plus important pour la stabilisation à long terme de la MOS que le traitement biochimique. Les scientifiques en science du sol ont proposé le modèle à deux voies, où la MOS est contenue dans deux grands bassins, les matières organiques particulières (MOP) et les matières organiques associées aux minéraux (MOAM). Une faible proportion de la MOS prend la

<sup>2</sup> Kosovski, J. [CSU study](#) proposes new approach to retaining soil carbon. Sept. 9, 2015.

forme de matières organiques dissoutes : Cela représente une infime fraction du carbone (C), mais est important pour contrôler la formation de MOAM.



Lavallee, J.M., Soong, J.L. and Cotrufo, M.F., 2020. Conceptualizing soil organic matter into particulate and mineral-associated forms to address global change in the 21st century. *Global Change Biology*, 26(1), pp.261-273.

### Échos du terrain : Mill Creek Organic Farm

*Pour les agriculteurs qui envisagent une transition, Alex Boersch recommande d'abord « d'apprêter le sol. » Idéalement, commencez la transition par une année de cultures de couverture. Mais si vous avez besoin d'une culture commerciale, il suggère une culture de seigle d'automne contre-ensemencé de mélilot. Après avoir récolté le seigle, laissez pousser le mélilot et « vous obtiendrez une culture de couverture très bon marché qui est très concurrentielle. Consacrez au moins une année de transition à une culture de couverture. »*

## Termes clés

**MOD** : matière organique dissoute : Cela représente une infime fraction du carbone (C) du sol, mais est important pour contrôler la formation des MOAM.

**MOAM** : matières organiques associées aux minéraux (MOAM) qui se composent principalement de microbes morts. La persistance supérieure des MOAM découle du fait que le C est incrusté dans des particules de limon et d'argile. Les MOAM persistent plus longtemps dans le sol que les MOP et présentent un rapport C:N inférieur.  
Nécromasse : microbes morts; cela forme les MOAM.

**MOP** : matières organiques particulaires. Les MOP sont composées de résidus de culture partiellement décomposés, de chaume et d'autre carbone (C) non lié à des organismes vivants qui pénètre dans le système du sol. Les MOP sont moins stables que les MOAM. Les MOP sont principalement stockées dans des agrégats de sol (à la fois des macroagrégats, comme des mottes de terre, et des microagrégats, des amas de particules de terre).

**MOS** : matières organiques du sol.

## Différences entre les matières organiques particulaires (MOP) et les matières organiques associées aux minéraux (MOAM).

	MOP	MOAM
Mécanismes de protection	Aucune ou occlusion dans les grands agrégats	Associations minérales (occlusion dans les agrégats fins, les grappes organo-minérales et les micropores; sorption sur les surfaces minérales)
Temps moyen de résidence	< 10 ans – décennies	Décennies – siècles
Principale voie de formation	Fragmentation, dépolymérisation	Transformation in vivo ou modification ex vivo de composés à faible poids moléculaire

Sujet à la saturation?	Non	Oui
Principaux constituants chimiques	D'origine végétale (p. ex. phénols, cellulose, hémicellulose), d'origine fongique (p. ex. chitine, xylanase)	Composés de faible poids moléculaire d'origine microbienne (p. ex. polysaccharides microbiens, sucres aminés, acide muramique) et végétale.
Rapport C:N	10:40	8:13
Rôle nutritionnel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Composés plus complexes présentant des niveaux d'énergie d'activation élevés</li> <li>• Non assimilable par les plantes, peu ou pas de composés assimilables par les microbes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Composés plus simples à faible énergie d'activation</li> <li>• Composés plus assimilables par les microbes et les plantes</li> </ul>

Source : Selon un tableau de Lavallee et coll., 2020. *Global Change Biology*, 26(1), p. 261-273.

### **Matière organique associée aux minéraux (MOAM)**

Les MOAM sont formées après que les intrants végétaux frais sont solubilisés et transformés par les bactéries du sol, tandis que les MOP sont formées à la suite de la décomposition partielle et de la fragmentation physique des parties structurelles de la plante. Les matières organiques particulaires (MOP) sont moins stables que les MOAM. De manière générale, les MOP sont constituées en grande partie de fragments légers qui sont relativement peu décomposés. On peut accroître les MOP assez rapidement dans les sols grâce à des pratiques telles que l'augmentation de la croissance des végétaux (souvent associée à un niveau accru de nutriments pour les végétaux) et la réduction du travail du sol. Les MOAM ont une persistance beaucoup plus longue dans le sol.

La proportion de MOAM par rapport aux MOP varie selon les sols, les systèmes de culture et la profondeur des sols. En Argentine, des chercheurs ont relevé environ deux fois plus de MOAM que de MOP dans les sols de prairie (Ojeda et coll., 2018). D'autres ont signalé plus de 10 fois plus de MOAM que de MOP (Gentile et coll., 2005).

Les caractéristiques générales des MOP et des MOAM sont présentées au tableau 1.

- Les MOP présentent un rapport C:N élevé, ce qui indique qu'elles sont principalement composées de végétaux et non de matière microbienne. La persistance des MOP est principalement contrôlée par la protection physique offerte par les agrégats de sol.
- Les MOAM présentent un rapport C:N plus faible, ce qui indique qu'elles sont d'origine microbienne. Essentiellement, les MOAM se composent de microbes morts, parfois appelés nécromasse. La persistance supérieure des MOAM découle du fait que le C est incrusté dans des particules de limon et d'argile.

Dans le sol, les MOAM représentent généralement le plus grand bassin de MOS contenant le carbone le plus ancien (tableau 1). Les composés à faible poids moléculaire (p. ex., sucres, acides organiques, acides aminés) peuvent devenir des MOAM de deux façons. Les substances peuvent être :

- 1) lixiviées à partir de racines végétales ou de déchets frais et être associées directement à la phase minérale dans une voie extérieure au bassin microbien; ou
- 2) produites par des microbes qui décomposent et transforment les matières organiques qui s'associent ensuite au limon et à l'argile du sol. Cette voie qui traverse le bassin microbien produit des cellules microbiennes mortes (nécromasse) qui se retrouvent dans les particules d'argile et de limon.

## **Matière organique particulaire (MOP)**

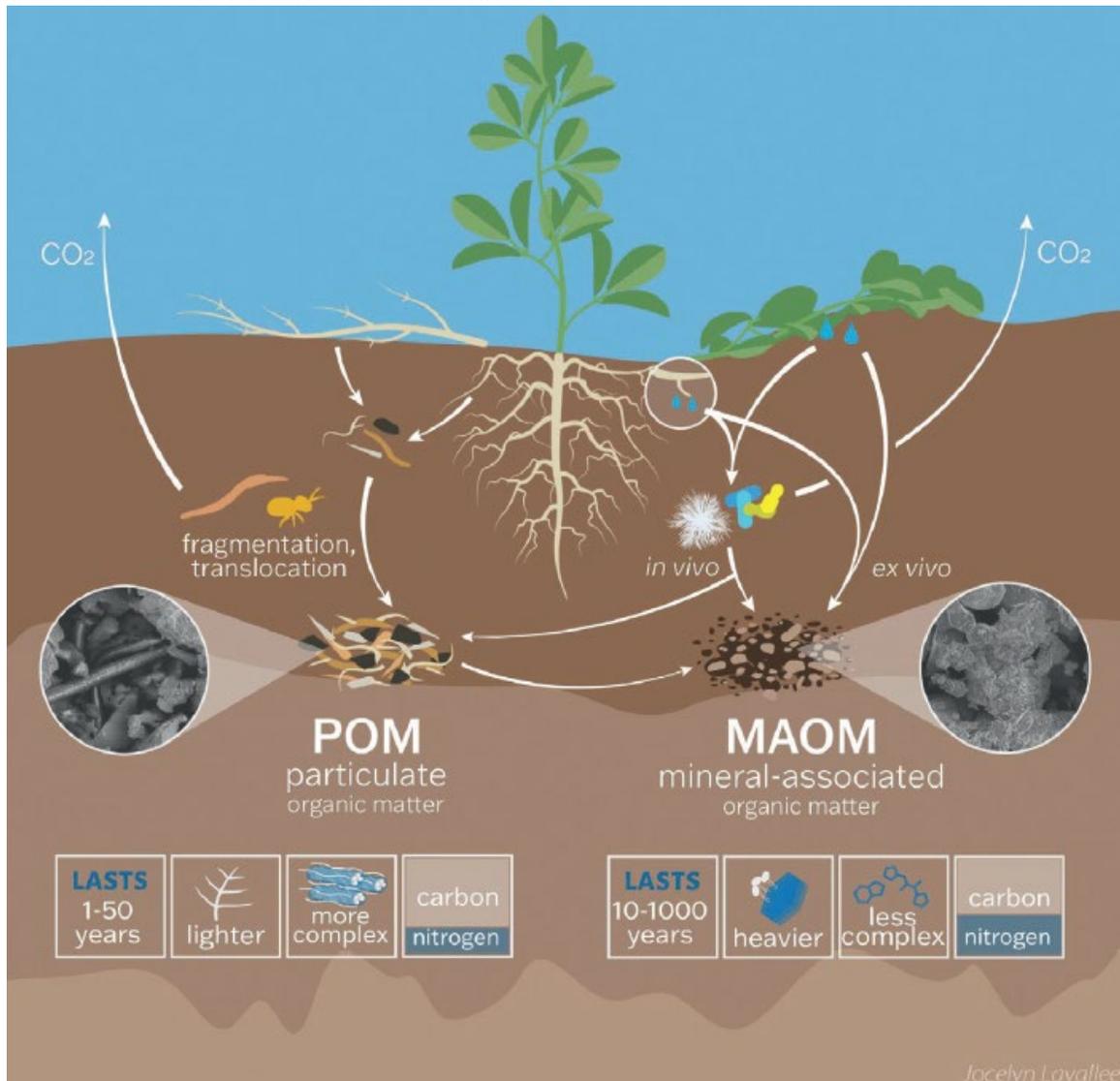
La deuxième forme majeure de matière organique dans le sol est la matière organique particulaire (MOP). La MOP se compose de résidus de culture, de chaume et d'autre carbone (C) non lié à des organismes vivants qui pénètre dans le système du sol. Les MOP sont stockées dans des agrégats de sol. La persistance des MOP dans le sol dépend de la formation et du maintien de ces agrégats.

L'une des questions que les scientifiques se sont posées est de savoir si les MOP, comme le chaume et les résidus de cultures de couverture, deviennent éventuellement des MOAM. Il semble que non, ou du moins pas avant plusieurs années. Une étude récente a permis de surveiller le matériel végétal frais dans dix emplacements au Canada sur une période de six ans. Les chercheurs ont observé peu de transformation des MOP en MOAM au cours de cette période (Hatte et coll., 2020).

Les MOP semblent plus sensibles que les MOAM aux pratiques de gestion des cultures à court terme (2 à 3 ans). Dans la plupart des études qui ont démontré une augmentation rapide des MOS en raison de l'adoption de pratiques comme l'absence de labour, l'augmentation des MOS est attribuable à une augmentation des MOP.

Des recherches récentes ont démontré ce qui suit :

- Les champignons et les bactéries morts sont les principales sources de carbone (C) dans le bassin de matières organiques stables du sol (MOS)<sup>34</sup>.
- « L'ampleur du réservoir de C organique dans les sols dépend de l'entrée en jeu des microbes, car la dynamique du carbone du sol est ultimement la conséquence de la croissance et de l'activité microbiennes<sup>5</sup>. »



## Le pH du sol, les microbes et les MOS

Les microbes sont très importants pour la constitution des MOS. Comment garder ces microbes heureux? Il y a plusieurs façons de le faire. La première est de faire en sorte

<sup>3</sup> Kindler, R., Miltner, A., Richnow, H.-H. & Kästner, M. Fate of gram negative bacterial biomass in soil—mineralization and contribution to SOM. *Soil Biol. Biochem.* 38, 2860–2870 (2006).

<sup>4</sup> Schweigert, M., Herrmann, S., Miltner, A., Fester, T. & Kästner, M. Fate of ectomycorrhizal fungal biomass in a soil bioreactor system and its contribution to soil organic matter formation. *Soil Biol. Biochem.* 88, 120–127 (2015).

<sup>5</sup> Liang, C., Schimel, J.P. and Jastrow, J.D., 2017. The importance of anabolism in microbial control over soil carbon storage. *Nature microbiology*, 2(8), pp.1-6.

que le pH du sol soit neutre. La gestion biologique entraîne un pH neutre (une bonne chose) alors que les systèmes traditionnels entraînent une diminution du pH au fil du temps. L'acidification est une conséquence de l'utilisation à long terme d'engrais azotés dans l'agriculture traditionnelle. Cette acidification peut ralentir la formation de MOAM. Mais les microbes ont aussi besoin d'azote (N), en particulier pour la formation des MOAM en raison de leur rapport C:N inférieur. Les agriculteurs biologiques peuvent fournir de l'azote en incluant les légumineuses dans la rotation des cultures, en particulier des engrais verts (cultures de couverture).

### **Type de sol, agrégation et MOS**

Le carbone contenu dans les matières organiques associées aux minéraux (MOAM) est incrusté dans les particules d'argile et de limon. Par conséquent, les sols à teneur élevée en argile et en limon présentent plus de sites de liaison pour le carbone et peuvent accumuler plus de carbone sous forme de MOAM. Cela soulève une question : « Les niveaux de MOAM peuvent-ils augmenter dans les sols sablonneux qui ne contiennent ni limon ni argile? » La réponse est non. Sans minéraux, il n'y a pas de sites de liaison pour le carbone et l'accumulation de MOAM est donc limitée.

Les matières organiques particulaires (MOP) sont principalement stockées dans des agrégats de sol (à la fois des macroagrégats, comme des mottes de terre, et des microagrégats, des amas de particules de terre). Les facteurs de gestion qui permettent d'accroître l'agrégation comprennent la réduction du travail du sol, le recours à des cultures vivaces et à des cultures mycorhiziennes. Par exemple, dans les sols sablonneux de l'Î.-P.-É., un peuplement de fétuques élevé de 7 ans augmentait le carbone du sol de 1 Mg/ha par année (Carter et Gregorich, 2010).

## **Pratiques de gestion visant à augmenter la matière organique stable (en particulier les MOAM)**

### **Changements dans les pratiques agricoles et les MOS**

Les MOP semblent plus sensibles que les MOAM aux pratiques de gestion des cultures à court terme (2 à 3 ans). Dans la plupart des études qui ont révélé une augmentation rapide des MOS en raison de pratiques comme l'absence de labour, le type de MOS dont le niveau a augmenté était les MOP.

### **Des plantes, des plantes, des plantes**

En bref, la croissance des plantes soutient les microbes qui produisent de la matière organique du sol. Les microbes ajoutent de la matière organique en décomposant la matière végétale en MOS et leurs « corps » morts contribuent également au bassin de MOS. Les systèmes racinaires vivants ajoutent des sucres à la communauté microbienne du sol (les bactéries en particulier), ce qui stimule la croissance microbienne. Certains

microorganismes du sol, comme les champignons mycorhiziens, ont besoin de la présence de racines vivantes, ce qui met en évidence l'avantage de garder le sol couvert de plantes vivantes le plus longtemps possible au cours de l'année.

La capacité des rotations des cultures à ajouter des matières organiques varie. Du meilleur au pire :

- Polyculture vivace (y compris les légumineuses, les graminées, les plantes herbacées non graminoides)
- Annuelles avec cultures de couverture au cours de la saison intermédiaire
- Rotations annuelles diversifiées
- Monoculture annuelle
- Monoculture annuelle avec jachère d'été

---

### **Échos du terrain – Upland Organics**

*« Après avoir appris les cinq principes relatifs au sol », explique Cody Straza, d'Upland Organics, « notre objectif est devenu de mettre en œuvre le plus grand nombre possible de ces principes. » Cody Straza et Allison Squires ont commencé par les actions les plus faciles et ont déterminé que la diversité était une première étape facile. « Plus il y a de la diversité en surface, plus grandes sont la diversité et la santé des microorganismes sous terre. » La présence d'organismes vivants abondants et diversifiés dans le sol est essentielle à une bonne structure du sol, à la rétention des éléments nutritifs et de l'eau, et à la fertilité à long terme.*

*Une étape simple consistait à étendre leur culture de couverture en ajoutant de l'avoine aux pois cultivés qu'ils utilisaient comme engrais vert. Au fil des ans, ils ont continué d'ajouter d'autres espèces et utilisent maintenant des mélanges qui contiennent jusqu'à 10 espèces. Ils pratiquent aussi la culture intercalaire. Par exemple, ils sèment sous couverture du mélilot jaune dans les cultures annuelles. Une fois la culture commerciale récoltée, le mélilot continuera de pousser, de fixer l'azote et de protéger le sol de l'érosion. Ils ont aussi augmenté le nombre de cultures commerciales. Au départ, ils cultivaient des lentilles vertes françaises, du lin et du blé dur, mais ont depuis ajouté des tournesols, de la caméline et diverses céréales, y compris l'épeautre, le blé de printemps, le Kernza® et le Khorasan (Kamut®). La rotation de leurs cultures est plus adaptative que rigide, ils évaluent les besoins d'un champ particulier et adaptent leur choix de rotation aux besoins, plutôt que de recourir à une formule simple.*

*« Nous pourrions faire bien plus s'il pleuvait davantage », dit Allison. Puis elle rit et dit qu'elle ne veut pas avoir l'air de se plaindre. Toutefois, leur choix de cultures est limité par*

*la disponibilité de l'humidité. Leur désir d'accroître la diversité se poursuit à grande échelle (maintenant en élevant du bétail) et à petite échelle (bactéries du sol). Bien que le couple reconnaisse qu'il est difficile d'avoir du bétail, il aime les nombreux avantages de l'intégration du bétail dans l'agroécosystème, qu'il s'agisse de favoriser la fertilité, d'assurer « le fauchage » grâce au broutage et au piétinement des fourrages, ou d'ajouter une autre source de revenus.*

---

### **Réduire le travail du sol?**

- L'absence de labour augmente les MOP, mais les MOAM (les matières organiques plus stables et plus résistantes) sont ajoutées par une augmentation de la diversité des plantes, et non par l'absence de labour.

### **Approvisionnement équilibré en éléments nutritifs**

- Une quantité suffisante d'éléments nutritifs est nécessaire pour ajouter des matières organiques.
- Les MOAM exigent plus d'azote que les MOP en raison de leur rapport C:N plus faible – il est donc important d'intégrer des légumineuses dans la rotation des cultures.
- Les sols dont la teneur en phosphore est très faible peuvent entraîner une perte de MOS parce que la carence en phosphore force les microbes du sol à extraire le phosphore des MOS.
- Le travail du sol à faible teneur en azote nuit particulièrement aux MOS.

### **Broutage**

Il a été démontré que le broutage augmente les niveaux de MOS par rapport aux fourrages non récoltés. Cela peut être surprenant, mais cela se produit parce que le broutage stimule la croissance des racines des plantes (à condition que le pâturage ne soit pas surpâturé). Le broutage peut stimuler la productivité herbagère, ce qui entraîne une augmentation du C dans le sol, ce qui peut augmenter la biomasse microbienne et la minéralisation de l'azote (N). Des recherches menées en Géorgie, aux États-Unis, ont révélé que le broutage a augmenté l'accumulation de MOS au cours des cinq premières années d'un pâturage de chiendent pied-de-poule (Franzluebbbers et coll., 2001). Les ajouts de C dans le sol étaient de 140 g/m<sup>2</sup> par année dans les systèmes de pâturage léger et plus intense, comparativement à 29 g/m<sup>2</sup> par année dans le système de pâturage fauché et à 65 g/m<sup>2</sup> par année dans le système non fauché (où aucune récolte n'a été effectuée). Cela peut être surprenant parce qu'il semble contre-intuitif d'avoir plus de MOS là où le fourrage a été éliminé par le broutage. Cette observation suggère clairement une plus grande efficacité d'utilisation du carbone (voir \* [lien vers la section

suivante]) dans les systèmes de pâturages par rapport aux systèmes de fauche et aux systèmes sans récolte. Des résultats similaires ont été observés par d'autres chercheurs.

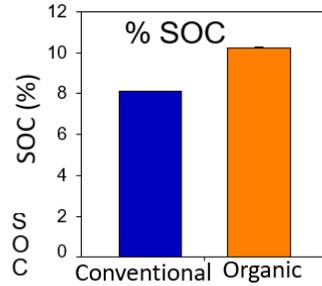
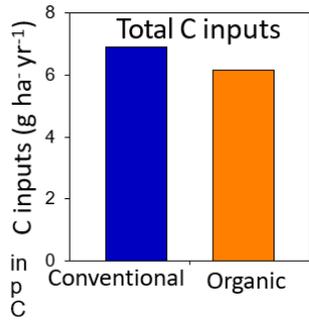
Dans une méta-analyse de 83 études de broutage à travers le monde, Abdalla et ses collaborateurs (2018) ont conclu que les avantages du broutage pour le C et le N dans le sol dépendaient des conditions environnementales. L'intensité du broutage augmentait la teneur en C du sol dans des environnements humides et chauds (+ 7,6 %), mais réduisait la teneur en C du sol de 19 % dans des environnements humides et frais. Dans des conditions sèches et chaudes, seule une faible intensité de broutage augmentait la teneur en C (+ 5,8 %) du sol. Sous des climats secs et frais, la pression de broutage « moyenne » augmentait la teneur en C du sol de 16 %.

Qu'est-ce que cela signifie pour l'agriculture biologique dans les Prairies canadiennes? Comme le plus grand avantage du broutage semblait se produire dans des conditions plus chaudes, les données issues de la méta-analyse suggèrent qu'il pourrait être avantageux d'attendre que le sol soit chaud. Cela appuie la pratique actuelle des agriculteurs biologiques qui font paître leurs cultures d'engrais vert au milieu de l'été. Qu'en est-il du broutage d'automne, qui est populaire là où les agriculteurs biologiques ont semé des cultures de couverture en fin de saison? Peut-être que ce que les données nous disent, c'est d'éviter le broutage si les conditions automnales sont très humides et fraîches (du moins si nous souhaitons augmenter la teneur en C du sol).

### **Efficacité de l'utilisation du carbone : plus de MOS avec moins de C!**

Une étude menée au Michigan a révélé que les sols soumis à une gestion biologique présentaient une teneur en MOS plus élevée que la même rotation dans le cadre de la gestion traditionnelle, même si moins de carbone était ajouté au système biologique. Comment est-ce possible? Cela n'est pas logique.

## Kellogg Biological Station LTER, SW Michigan



■ Conventional  
■ Organic

**Conventional:** corn-soy-wheat rotation  
**Organic:** corn-rye-soy-wheat-clover

?How can fewer total C inputs result in more soil organic carbon?

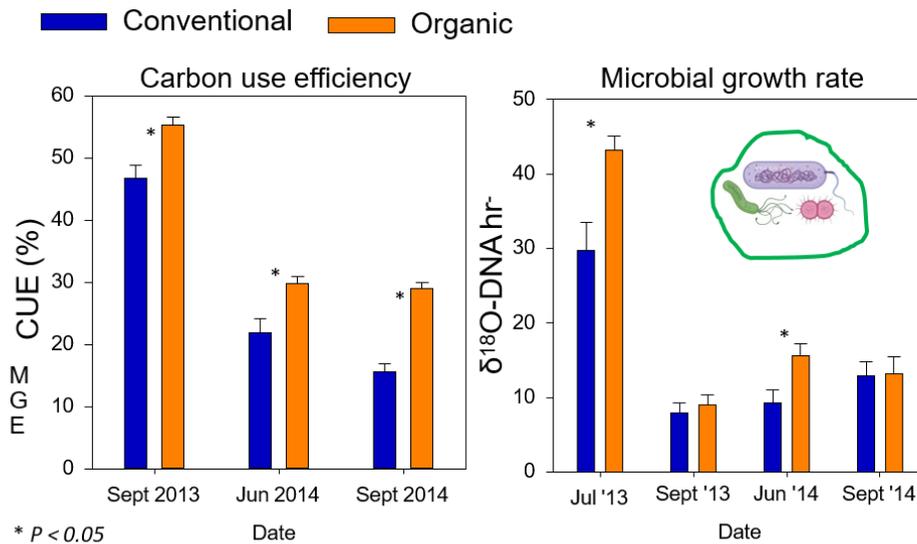
Kallenbach, C.M., Grandy, A.S., Frey, S.D. and Diefendorf, A.F., 2015. Microbial physiology and necromass regulate agricultural soil carbon accumulation. *Soil Biology and Biochemistry*, 91, pp.279-290.

La réponse, comme l'ont découvert Kallenbach et ses collaborateurs (2015), est qu'il s'agissait d'une utilisation plus efficace du carbone pour les rotations biologiques.

## Microbial Carbon Use Efficiency and Growth Rate is Higher in Organic

Slide credit: Cynthia Kallenbach

Kallenbach, C.M., et al. 2015. Microbial physiology and necromass regulate agricultural soil carbon accumulation. *Soil Biology and Biochemistry*, 91, pp.279-290.



Une observation similaire a été faite en Californie dans le cadre de la rotation à long terme tomate-maïs lors de l'expérience Century au Russell Ranch à l'Université de la

Californie à Davis (Kong et Six, 2010). Ces chercheurs ont également constaté qu'un plus grand stockage de C dans le système biologique n'était pas proportionnel à son apport en C. En fait, alors que le système traditionnel a fait pénétrer 1,7 fois plus de biomasse dans le système de sol que le système biologique, ce dernier a tout de même fini par contenir plus de MOS. Les chercheurs ont également appris que la stabilisation préférentielle des apports souterrains en carbone des cultures de couverture dans le système biologique était essentielle à la séquestration disproportionnellement plus élevée du carbone total du sol (Kong et Six, 2010).

Le système biologique visé par ces études comportait des cultures de couverture, mais aucun fumier n'a été ajouté aux rotations biologiques. La raison expliquant une utilisation plus efficace du carbone dans la rotation biologique était une plus grande croissance microbienne.

Qu'est-ce qui a causé l'augmentation du taux de croissance microbienne dans le cadre de la rotation biologique? Pour répondre à cette question, examinons rapidement les facteurs qui permettent aux microbes du sol de croître efficacement :

- Le pH neutre du sol
- La croissance des racines
- La diversité des espèces végétales
- La croissance des plantes tout au long de la saison
- L'apport suffisant en éléments nutritifs

Parmi ces facteurs, le système biologique visé par une étude présentait un sol recouvert de plantes vivantes en croissance pendant une plus grande partie de l'année que le système biologique. La rotation biologique présente également une plus grande diversité d'espèces végétales. D'autres recherches ont confirmé qu'une plus grande diversité dans une rotation des cultures modifie la communauté microbienne du sol, ce qui accroît l'utilisation efficace du carbone. La diversité de la rotation des cultures a augmenté de 33 % la teneur en carbone du sol par rapport aux monocultures sur le site du Michigan (Tiemann et coll., 2020).

### **Carbone racinaire**

Le carbone issu des racines végétales est intégré aux MOS plus efficacement que le carbone provenant de la croissance en surface. Le taux de formation des MOS dans le système biologique était environ 14 fois plus rapide que dans les systèmes traditionnels et ceux à faible apport. En d'autres termes, ils ont constaté que le carbone racinaire était stocké sous forme de MOS plus efficacement dans les systèmes biologiques que dans les systèmes traditionnels.

La plus grande rétention du carbone dérivé des racines peut être attribuable à une décomposition plus lente des racines par rapport aux pousses, à la nature continue des apports en carbone racinaire et à la protection physique du carbone racinaire dans les agrégats du sol. La théorie du carbone des racines par rapport à celui des pousses dans les MOS a été testée en agriculture biologique par Kong et Six (2010) dans des parcelles à long terme en Californie. Ils ont mesuré l'absorption du carbone par la vesce velue dans une rotation maïs-tomate. À la fin de la saison, 52 % du carbone dérivé des racines était encore présent dans le sol, tandis que seulement 4 % du carbone dérivé de résidus (parties aériennes) demeurait dans le sol, révélant ainsi une meilleure conservation du carbone dérivé des racines par rapport à celui dérivé des pousses.

Ce n'était pas la fin de l'histoire. Ils ont également comparé le carbone dérivé des racines et des pousses à celui des MOS dans des systèmes biologiques et traditionnels. Le taux de formation des MOS dans le système biologique était environ 14 fois plus rapide que dans les systèmes traditionnels et ceux à faible apport. En d'autres termes, ils ont constaté que le carbone racinaire était stocké sous forme de MOS plus efficacement dans les systèmes biologiques que dans les systèmes traditionnels.

### **Profil du sol profond en ce qui concerne les MOS**

La grande majorité des recherches antérieures ont mesuré les MOS uniquement dans les sols de surface (0 à 15 cm). Mais il y a des raisons importantes de tenir compte du carbone à une plus grande profondeur du sol. Premièrement, les MOAM peuvent devenir saturées lorsque le sol de surface manque de sites de liaison disponibles pour le carbone, comme le montrent Ojeda et ses collaborateurs (2018 – voir ci-dessous). Cela pourrait ne pas se produire de sitôt sur les sols à forte teneur en argile de la vallée de la rivière Rouge au Manitoba, mais cela peut se produire sur les sols plus sablonneux qui contiennent des quantités limitées de limon et d'argile (Martin Carter, Agriculture et agroalimentaire Canada, Î.-P.-É., comm. pers.). Une deuxième raison de tenir compte des cultures qui ajoutent davantage de carbone au sous-sol est que le stockage de carbone plus en profondeur dans le profil du sol peut lui permettre d'être stable au fil du temps.

Les graminées sont importantes pour ajouter du carbone aux sous-sols. Par exemple, un chercheur de l'est du Canada a signalé qu'à une profondeur de 0 à 45 cm, la luzerne présentait moins de biomasse racinaire totale que les peuplements purs de graminées vivaces (dactyle pelotonné, fétuque élevée, brome inerme, alpiste roseau, fléole des prés, ivraie vivace et panic raide) [Bolinder et coll., 2002]. Roberta Gentile, l'une des étudiantes diplômées de Martin Entz, Ph. D., a eu l'occasion de travailler sur le carbone du sol profond en Uruguay en comparant une rotation de céréales seulement et une rotation pâturage-céréales (la plus ancienne étude du genre en Amérique du Sud). Comme Bolinder, M. Entz et Roberta ont observé une plus grande biomasse racinaire au

niveau du sous-sol pour la fétuque élevée par rapport à la luzerne (Gentile et coll., 2003). Ils ont également constaté que la rotation des pâturages présentait un taux de carbone organique particulaire (COP) beaucoup plus élevé à des profondeurs plus importantes dans le sol (20 à 40 cm et 40 à 60 cm de profondeur). Lorsque les profondeurs étaient combinées, le taux de COP était 2,5 fois plus élevé dans la rotation des pâturages (Gentile et coll., 2005). On a également observé que la teneur en MOAM était plus grande entre 20 et 60 cm de profondeur de sol pour la rotation pâturage-céréales par rapport à la rotation céréales seulement.

Des recherches menées en Argentine (Ojeda et coll., 2018) ont permis d'analyser les effets de différents fourrages vivaces sur le carbone des MOAM et des MOP. Sur l'ensemble du profil du sol, ils ont relevé une relation étroite entre la biomasse racinaire et les stocks de carbone du sol, principalement les MOP. Fait intéressant, les MOAM dans les sols de surface semblaient devenir saturées à la suite de l'ajout de cultures vivaces.

### **Félicitations – vous l'avez fait!**

Puisque les MOS sont au cœur d'un système d'agriculture biologique efficace, il est important que vous compreniez les processus des MOS. Cela vous aidera à concevoir un système biologique efficace. Félicitations pour avoir achevé cette leçon!

### **Ressources**

Livres, webinaires, balados et articles

- Pour en savoir plus sur la gestion des sols biologiques en général, consultez le livre gratuit et téléchargeable [Building Soils for Better Crops – SARE](#) et le *Organic Field Crop Handbook* offert en vente par Cultivons Biologique Canada ([Organic Field Crop Handbook, 3e édition](#)).
- Visionnez une vidéo de trois minutes sur les dernières recherches sur la formation des matières organiques du sol à l'adresse <https://source.colostate.edu/csu-study-proposes-new-approach-to-retaining-soil-carbon/>.
- Pour en savoir plus sur la santé des sols, regardez la conférence de Francesca Cotrufo, de l'Université d'État du Colorado, intitulée « Is the Future of Agriculture perennial? » dans cette vidéo de 37 minutes de [Francesca Cotrufo, de l'Université d'État du Colorado](#).
- Dans ce balado de 43 minutes de la Manitoba Organic Alliance, la professeure Cynthia Kallenbach discute avec Scott Beaton de la santé des sols, des différents types de carbone du sol et de la façon d'effectuer des dépôts dans vos comptes chèques et d'épargne du sol. [Saison 2, épisode 5 - Building Soil Carbon - Manitoba Organic Alliance](#)

- Apprenez-en davantage sur la santé des sols dans cette vidéo de 54 minutes de l'Université du Manitoba. [M. Tenuta, Ph. D., Coffee Shop Talk - Soil Health Scrum](#)
- Un article de quatre pages intitulé *Tending Your Soil Life* est disponible dans « [Organics Science Canada](#) » – printemps 2022 publié par [OrganicScienceCanada - Issuu](#).
- Cliquez ici pour télécharger le document de 38 pages intitulé [Regenerative Organic Agriculture and the Soil Carbon Solution – Rodale Institute](#)
- Le document intitulé [Soil organic matter in cropping systems](#) donne un excellent aperçu de ce que sont les matières organiques du sol, des raisons pour lesquelles elles sont essentielles à une agriculture durable et réussie et de la façon d'augmenter les taux de MOS. Le lien vers le document PDF de 18 pages imprimable et téléchargeable se trouve au bas de la page Web.

## Les références

Abdalla, M., Hastings, A., Chadwick, D.R., Jones, D.L., Evans, C.D., Jones, M.B., Rees, R.M. et Smith, P., 2018. Examen critique des impacts de l'intensité du pâturage sur le stockage du carbone organique du sol et d'autres indicateurs de la qualité du sol dans les prairies gérées de manière extensive. *Agriculture, Ecosystèmes & Environnement*, 253, pp.62-81.

Bolinder, M.A., Angers, D.A., Bélanger, G., Michaud, R. et Laverdière, M.R., 2002. Biomasse racinaire et rapports pousses-racines des cultures fourragères vivaces dans l'est du Canada. *Revue canadienne des sciences végétales*, 82(4), pp.731-737.

Cambardella, Californie et Elliott, E.T., 1992. La matière organique particulaire du sol change au cours d'une séquence de culture des prairies. *Soil Science Society of America Journal*, 56(3), pp.777-783.

Carter, M.R. et Gregorich, E.G., 2010. Stockage de carbone et d'azote par la fétuque élevée à racines profondes (*Lolium arundinaceum*) dans le sol de surface et sous la surface d'un loam sableux fin dans l'est du Canada. *Agriculture, écosystèmes & environnement*, 136(1-2), pp.125-132.

Cotrufo, M.F., Soong, J.L., Horton, A.J., Campbell, E.E., Haddix, M.L., Wall, D.H. et Parton, W.J., 2015. Formation de matière organique du sol via les voies biochimiques et physiques de la perte de masse de la litière. *Nature Geoscience*, 8(10), pp.776-779.

Denef, K., Roobroeck, D., Wadu, M.C.M., Lootens, P. et Boeckx, P., 2009. Composition de la communauté microbienne et assimilation rhizodépôt-carbone dans des sols de prairies tempérées gérés différemment. *Biologie et biochimie des sols*, 41(1), pp.144-153.

Drinkwater, L.E., Wagoner, P. et Sarrantonio, M., 1998. Les systèmes de culture à base de légumineuses ont réduit les pertes de carbone et d'azote. *Nature*, 396(6708), pp.262-265.

Frank, D.A., McNaughton, S.J. et Tracy, BF, 1998. L'écologie des écosystèmes de pâturage de la terre. *BioScience*, 48(7), pp.513-521.

Franzluebbers, A.J., Stuedemann, J.A. et Wilkinson, S.R., 2001. Gestion de l'herbe des Bermudes dans le sud du Piémont aux États-Unis : I. Carbone et soufre des résidus du sol et de la surface. *Soil Science Society of America Journal*, 65(3), pp.834-841.

Guan, X.K., Turner, N.C., Song, L., Gu, Y.J., Wang, T.C. et Li, F.M., 2016. La séquestration du carbone dans le sol par trois pâturages de légumineuses vivaces est plus importante dans les couches de sol plus profondes que dans le sol de surface. *Discussions sur les biogéosciences*, 12(13).

Gentile, R.M., Martino, D.L. et Entz, M.H., 2003. Caractérisation des racines de trois espèces fourragères cultivées dans le sud-ouest de l'Uruguay. *Revue canadienne des sciences végétales*, 83(4), pp.785-788.

Gentile, R.M., Martino, D.L. et Entz, M.H., 2005. Influence des fourrages pérennes sur le carbone organique du sous-sol dans une étude de rotation à long terme en Uruguay. *Agriculture, écosystèmes et environnement*, 105(1-2), pp.419-423.

Haddix, M.L., Gregorich, E.G., Helgason, B.L., Janzen, H., Ellert, B.H. et Cotrufo, M.F., 2020. Le climat, la teneur en carbone et la texture du sol contrôlent la formation indépendante et la persistance de matières organiques particulières et minérales dans le sol. *Géoderme*, 363, p.114160.

Hamilton III, E.W., Frank, D.A., Hinchey, P.M. et Murray, T.R., 2008. La défoliation induit l'exsudation des racines et déclenche des rétroactions rhizosphériques positives dans une prairie tempérée. *Biologie et biochimie des sols*, 40(11), pp.2865-2873.

Janzen, H.H., 2001. La science du sol dans les prairies canadiennes - Un regard vers l'avenir d'il y a un siècle. *Revue canadienne des sciences du sol*, 81(4), pp.489-503.

Jastrow, J.D., Amonette, J.E. et Bailey, V.L., 2007. Mécanismes contrôlant le renouvellement du carbone dans le sol et leur application potentielle pour améliorer la séquestration du carbone. *Changement climatique*, 80(1-2), pp.5-23.

Kallenbach, C.M., Grandy, A.S., Frey, S.D. et Diefendorf, A.F., 2015. La physiologie microbienne et la nécromasse régulent l'accumulation de carbone dans les sols agricoles. *Biologie et biochimie des sols*, 91, pp.279-290.

Kong, A. Y. et Six, J., 2010. Traçage du carbone racinaire et résiduel dans les sols à partir de systèmes de culture conventionnels et alternatifs. *Soil Science Society of America Journal*, 74(4), pp.1201-1210.

Lavallee, J.M., Soong, J.L. et Cotrufo, M.F., 2020. Conceptualisation de la matière organique du sol en formes particulières et associées aux minéraux pour faire face au changement global au 21<sup>e</sup> siècle. *Biologie du changement global*, 26(1), pp.261-273.

Lützw, M.V., Kögel-Knabner, I., Ekschmitt, K., Matzner, E., Guggenberger, G., Marschner, B. et Flessa, H., 2006. Stabilisation de la matière organique dans les sols tempérés : mécanismes et leur pertinence dans différentes conditions de sol – une revue. *Revue européenne des sciences du sol*, 57(4), pp.426-445.

McDaniel, M.D., Tiemann, L.K. et Grandy, A.S., 2014. La diversité des cultures agricoles améliore-t-elle la biomasse microbienne du sol et la dynamique de la matière organique ? Une méta-analyse. *Applications écologiques*, 24(3), pp.560-570.

Ojeda, J.J., Caviglia, O.P. et Agnusdei, M.G., 2018. Distribution verticale de la biomasse racinaire et des stocks de carbone du sol dans les systèmes de culture fourragère. *Plante et sol*, 423(1-2), pp.175-191.

Rasse, D.P., Rumpel, C. et Dignac, M.F., 2005. Le carbone du sol est-il principalement du carbone racinaire ? Mécanismes pour une stabilisation spécifique. *Plante et sol*, 269(1-2), pp.341-356.

Samson, M.É., Chantigny, M.H., Vanasse, A., Menasseri-Aubry, S. et Angers, D.A., 2020. La matière organique associée aux minéraux grossiers est une fraction essentielle pour la formation de MOS et est sensible à la qualité des apports organiques. *Biologie et biochimie des sols*, 149, p.107935.

Six, J., Bossuyt, H., Degryze, S. et Deneff, K., 2004. Historique des recherches sur le lien entre (micro)agrégats, biote du sol et dynamique de la matière organique du sol. *Recherche sur les sols et le travail du sol*, 79(1), pp.7-31.

Tiemann, L.K., Grandy, A.S., Atkinson, E.E., Marin-Spiotta, E. et McDaniel, M.D., 2015. La diversité de rotation des cultures améliore les communautés souterraines et les fonctions dans un agroécosystème. *Lettres d'écologie*, 18(8), pp.761-771.



**PODF**  
PRAIRIE ORGANIC  
DEVELOPMENT FUND

### Platinum Sponsors



**GRAIN MILLERS**



### Silver Sponsors



### Friend

The Canadian Organic Ingredient Strategy is funded by



**Pour en savoir plus sur le Prairie Organic Development Fund**  
**[www.organicdevelopmentfund.org](http://www.organicdevelopmentfund.org)**

**Pour plus de ressources de production biologique**  
**[www.pivotandgrow.com](http://www.pivotandgrow.com)**



Le [Prairie Organic Development Fund](#) (PODF) est une plateforme d'investissement créée pour développer l'agriculture et la commercialisation biologiques dans les Prairies canadiennes. Le PODF renforce la résilience en investissant dans des associations provinciales biologiques (Capacity Fund) et des programmes à fort impact (Innovation Fund) liés au marketing, à la recherche, aux politiques, à l'éducation et au développement des capacités qui présentent un large intérêt public pour le secteur biologique. Le fonds est dirigé par un conseil composé de producteurs biologiques, d'acheteurs de grains, de marques biologiques, de chercheurs et d'organismes provinciaux.

La **Stratégie Canadienne sur les Ingrédients Biologiques (COIS)** fournit aux agriculteurs des outils et du soutien pour intégrer des pratiques agricoles biologiques qui aident à répondre à la demande croissante d'aliments biologiques au Canada. Les outils développés dans le cadre de ce projet permettront aider les agriculteurs Canadiens à bénéficier de connaissances et de compétences accrues en matière de méthodes d'agriculture biologique, ce qui peut améliorer la santé des sols et renforcer la résilience des fermes face à l'évolution des marchés et aux changements climatiques.

Visitez [www.pivotandgrow.com](http://www.pivotandgrow.com) pour en savoir plus sur les outils créés dans le cadre de COIS.