

Formation

Cultures de couverture en grandes cultures

Ce projet a été financé par le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation dans le cadre du programme Prime-Vert.

Avec l'appui de :

Québec 



SPGBQ
SYNDICAT DES PRODUCTEURS
DE GRAINS BIOLOGIQUES DU QUÉBEC


**PRODUCTEURS DE
GRAINS**
DU QUÉBEC





Formation

Cultures de couverture en grandes cultures

PRODUCTION CONVENTIONNELLE ET BIOLOGIQUE zones 1 et 2

Formation donnée par : Sophie Rivest-Auger, agr.
Conseillère en grandes cultures biologiques au CETAB+

Contenu préparé par Anne Weill, agr. et Sylvie Thibaudeau, agr.
© Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, 2025



Jour 3 : Chapitres 4 et 6

4. Effets des cultures de couverture sur le rendement des cultures subséquentes

- 4.1 Vue d'ensemble grâce à la méta-analyse
- 4.2 Effet des CC sur le rendement de maïs
- 4.3 Effet des CC sur le rendement des céréales

6. Effets des cultures de couverture sur la santé du sol et les pertes environnementales

- 6.1 Effets des CC sur la santé du sol
- 6.2 Effets des CC sur les pertes environnementales



Chapitre 6

Effets des cultures de couverture sur la santé du sol et les pertes environnementales

6.1 Effets des cultures de couverture sur la santé du sol

6.2 Effets des cultures de couverture sur les pertes environnementales

Chapitre 6 - QUIZ

1. Expliquez en vos mots ce qu'est la **santé du sol**.
2. Énumérez des **indicateurs** qui permettent d'évaluer la santé du sol.

Chapitre 6 - QUIZ

3. Quel est l'effet des cultures de couverture (CC) **sur le biote du sol**?
4. Est-ce que les CC ont un effet positif ou négatif sur les **pertes en azote** dans l'environnement?

Avertissement

Au moment de sa rédaction, l'information contenue dans la présente formation était jugée représentative des connaissances acquises sur les cultures de couvertures au Québec.

Ces connaissances étant en évolution rapide, notamment en ce qui concerne le carbone et la matière organique du sol, il reste de la responsabilité des participants et participantes de s'assurer d'avoir des données à jour et de les adapter à leur contexte de production.



6.1 Effets des cultures de couverture sur la santé du sol

Introduction

6.1.1 Le carbone organique du sol : concepts généraux

6.1.2 Effets sur le contenu et la dynamique du carbone organique du sol

6.1.3 Effets sur le biote du sol

6.1.4 Effets sur certaines propriétés physiques du sol



Introduction

- **Santé du sol** (ou qualité du sol) : concept qui décrit le sol comme un système vivant capable de soutenir les besoins des plantes, des animaux et des humains (Jian et coll., 2020a).
 - La santé du sol ne peut pas être mesurée directement; plus de 60 indicateurs ont été identifiés pour la mesurer (Karlen et coll., 2008).
 - La mesure du rendement d'une culture, en l'absence ou avec peu de fertilisants : bon indicateur qui intègre les différentes propriétés du sol.
- Les effets des CC sur le carbone organique, sur le biote et sur certaines propriétés physiques sont traités dans ce chapitre.

6.1.1 Le carbone organique du sol : concepts généraux

- Analyses de sol standards : $C \text{ organique du sol} \times 1,724 = \% \text{ matière organique}$
- Différentes classifications :
 - Molécules simples facilement dégradables (sucres, protéines, etc.) :
CC avec C/N faible
OU
 - Molécules complexes difficilement dégradables (lignines, résines, etc.) :
résidus de culture ou de racines avec C/N élevé
 - Matière organique particulaire
OU
 - Matière organique associée aux minéraux

Le carbone organique du sol : concepts généraux (suite)

➤ **Substrats labiles (faible concentration en lignine et concentration en N relativement élevée) :**

- Favorisent l'efficacité d'utilisation par les microorganismes du sol
- Formation de matière organique stable dans le sol

➤ **Substrats avec forte proportion de lignine et peu de N :**

- Accumulation de matière organique particulière dans le sol qui est utilisée moins efficacement par les microorganismes du sol
- Conversion plus lente en C organique stable

Le carbone organique du sol : concepts généraux (suite)

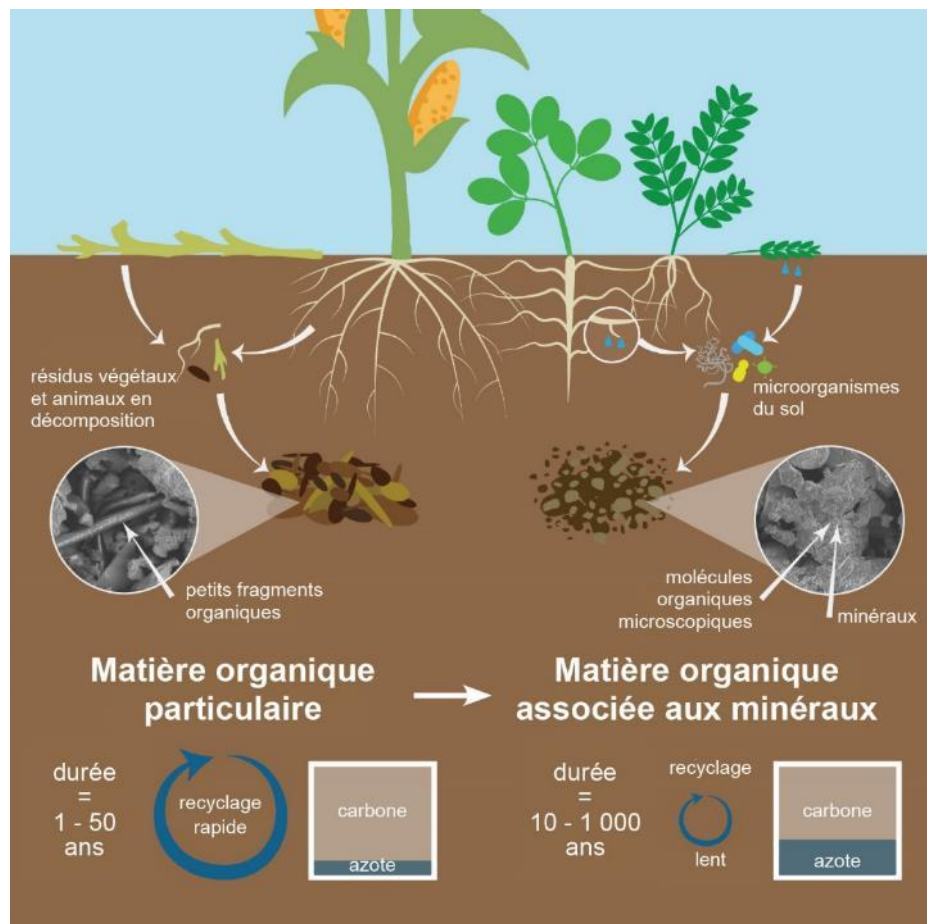
- **Exsudats racinaires** : composés relativement simples qui sont utilisés par les microorganismes autour des racines et qui contribuent à la macro-agrégation
- **Racines** : le C de la biomasse racinaire est 5 fois plus susceptible d'être stabilisé dans le sol que celui des parties aériennes des cultures.

Complexes organo-minéraux

Le modèle de l'humus, basé sur les acides humiques, a été démontré comme étant inexact. On parle maintenant de complexes organo-minéraux et non d'humus.

Figure 6.1 Schéma illustrant la formation et la stabilisation de différentes fractions de la matière organique du sol ainsi que le temps de résidence (années) dans le sol

Source : Traduit et adapté de Lavallee et Cotrufo, 2020





6.1.2 Effets sur le contenu et la dynamique du carbone organique du sol



- L'apport de C au sol par les CC dépend des facteurs suivants :
 - Fenêtre de croissance annuelle
 - Biomasse des CC
 - Nombre d'années avec des CC

- Augmentation du C organique du sol variant de 7,8 à 15,5 % selon les études (dans les 30 premiers cm de sol)
 - Systèmes de rotation des cultures avec CC incluse chaque année ont augmenté le plus les stocks de carbone.

- Les particules d'argile peuvent former des agrégats plus stables que le sable :
 - C est protégé des microorganismes
 - Meilleurs rendements des CC en sols argileux

6.1.2 Effets sur le contenu et la dynamique du carbone organique du sol

- **Mélanges d'espèces** : bonne stratégie pour améliorer les faiblesses des espèces sur une base individuelle
- Plus fortes augmentations de C organique dans le sol avec CC composées de mélanges, plutôt qu'avec couverts monospécifiques
 - Augmentations du C plus élevées avec légumineuses qu'avec graminées (C/N élevé des graminées pourrait augmenter le temps requis pour la conversion de la biomasse en C organique du sol)
 - Rendements plus élevés de la culture suivante souvent observés après un mélange d'espèces avec légumineuses, ce qui permet de retourner au sol plus de C

Patrons de distribution racinaire

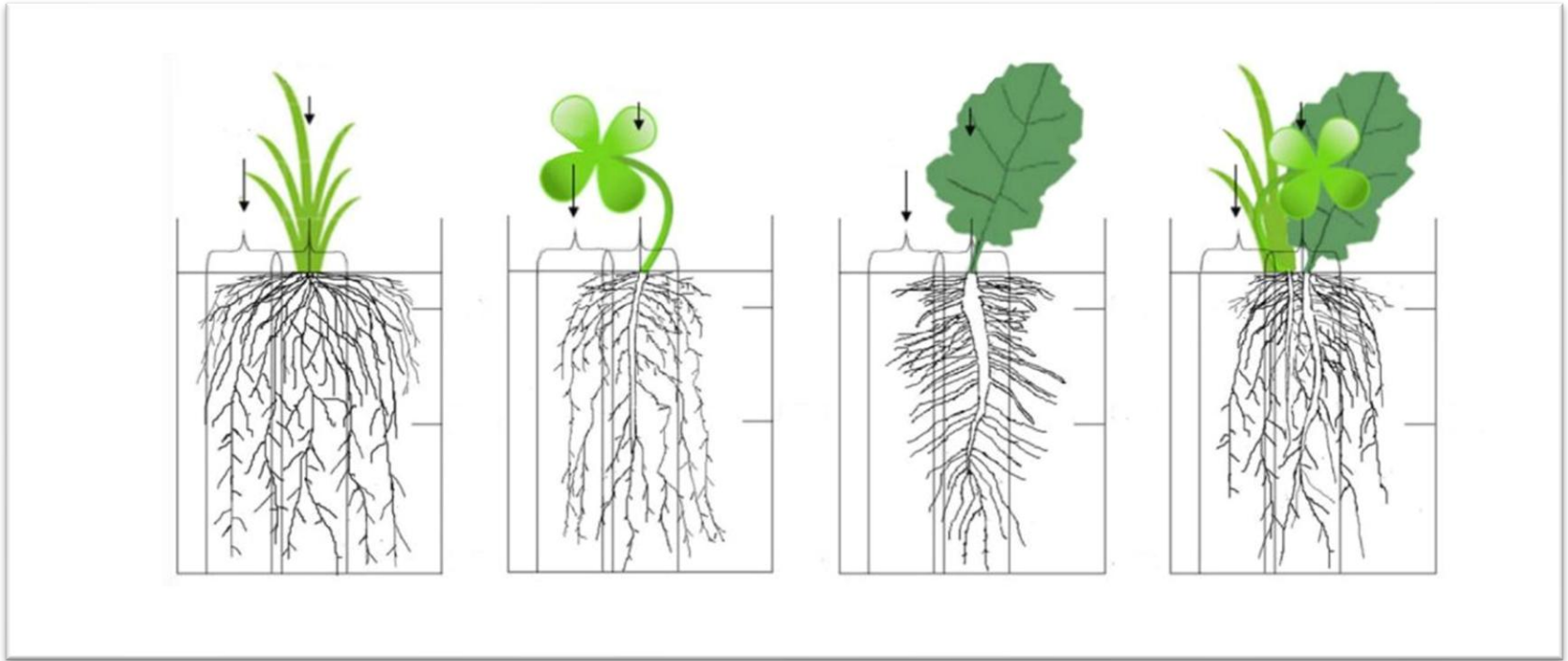


Figure 6.2 Patrons de distribution racinaire de 4 types de cultures de couverture
De gauche à droite : triticales, trèfle incarnat, canola et mélange de 5 espèces

Source : Amsili et Kaye, 2021 (reproduit avec l'autorisation de Cambridge State University)

6.1.3 Effets sur le biote du sol

- Les racines interagissent avec les organismes (bactéries, champignons et autres) présents dans la rhizosphère :
 - Les racines secrètent des composés organiques (exsudats racinaires) formés de sucres, de protéines et autres molécules
 - Ces exsudats jouent 3 rôles majeurs :
 - Protection de la coiffe de la racine
 - Agrégation physique des particules d'argile
 - Fourniture de ressources énergétiques pour les organismes vivants du sol.

Activité biologique et biomasse microbienne

- Les résultats d'une méta-analyse ont montré qu'en comparaison avec un sol nu, les CC augmentaient :
 - L'abondance microbienne de 27 %
 - L'activité microbienne de 22%
 - La diversité microbienne de 2,5%.
- Selon une autre étude, en comparaison avec une CC de moutarde :
 - Un mélange de 12 espèces (23 % de légumineuses) a augmenté la biomasse microbienne de 18 %
 - Un mélange de 4 espèces (moutarde, phacélie, avoine et trèfle d'Alexandrie) a augmenté la biomasse microbienne de 8 %.
- Des travaux qui ont comparé le pois fourrager, le radis fourrager et un sol sans CC ont également démontré que certaines activités enzymatiques étaient supérieures avec le pois fourrager par comparaison au radis.

Champignons mycorhiziens

- **Les champignons mycorhiziens** utilisent le carbone fourni par les plantes pour se nourrir et se reproduire.
- Le mycélium de ces champignons se développe à partir de la racine (symbiose) et se développe dans le sol dans toutes les directions.
- La mycorhize est le résultat de cette symbiose.
- Elle joue un rôle fondamental dans l'agrégation et la stabilité structurale du sol, ainsi que dans l'absorption de l'eau et des éléments minéraux.

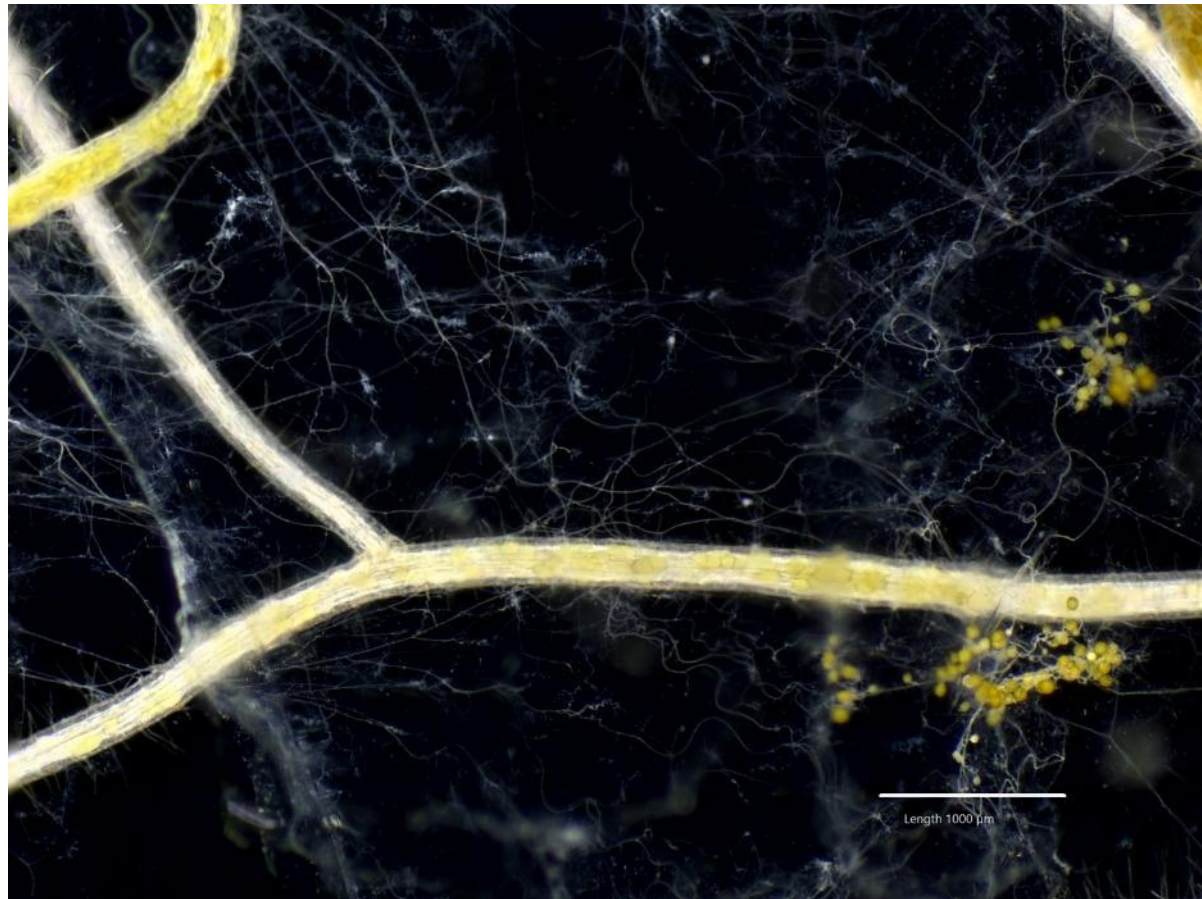
Champignons mycorhiziens

- La quasi-totalité des plantes peuvent s'associer aux champignons mycorhiziens, **sauf** : les crucifères (moutarde, radis, choux) et les chénopodiacées (betteraves, épinards), ainsi que le sarrasin et le lupin.
- Chez les légumineuses, la présence simultanée de la symbiose mycorhizienne et de la symbiose avec les rhizobiums exerce un effet synergique sur la croissance des plantes.
 - Rappel : les bactéries du genre *Rhizobium* sont capables de former des nodosités symbiotiques sur les racines des légumineuses. Dans les nodosités, les bactéries fixent l'azote atmosphérique qui est utilisé par les plantes; en retour, les plantes leur fournissent de l'énergie.

Colonisation des
racines par le
mycélium et les spores
du champignon
mycorhizien

(Le trait blanc
représente 1000 μm ,
soit 1 mm)

(Photographie au microscope :
Louis Paré - AAC)



Champignons mycorhiziens (suite)

- Selon une méta-analyse, les CC augmentent la colonisation mycorhizienne des racines des cultures commerciales subséquentes de 28,5 % par comparaison avec un sol nu.
 - Les CC de légumineuses ont un effet plus important que les graminées ou les dicotylédones non-légumineuses.
- L'analyse des études combinant travail réduit du sol et CC a révélé une augmentation de la colonisation par les mycorhizes de 41,5 % en comparaison avec une augmentation de 23,8 % pour du travail réduit du sol, sans CC.
 - Les CC ont permis de contrer les effets négatifs du travail du sol.



6.1.4 Effets sur certaines propriétés physiques du sol



- Effets des CC sur :
 - Agrégation du sol
 - Infiltration de l'eau

Agrégation du sol

- Les CC améliorent rapidement (< 3 ans) l'agrégation du sol
- Elles augmentant la stabilité des agrégats ;
 - Protection de la surface du sol des impacts de la pluie
 - Apport d'une biomasse racinaire additionnelle
 - Augmentation du C organique et de l'activité microbienne du sol
- Les sols à texture fine montrent les plus fortes augmentations de l'agrégation.
- Les sols à texture grossière montrent peu de changement significatif.

Agrégation du sol

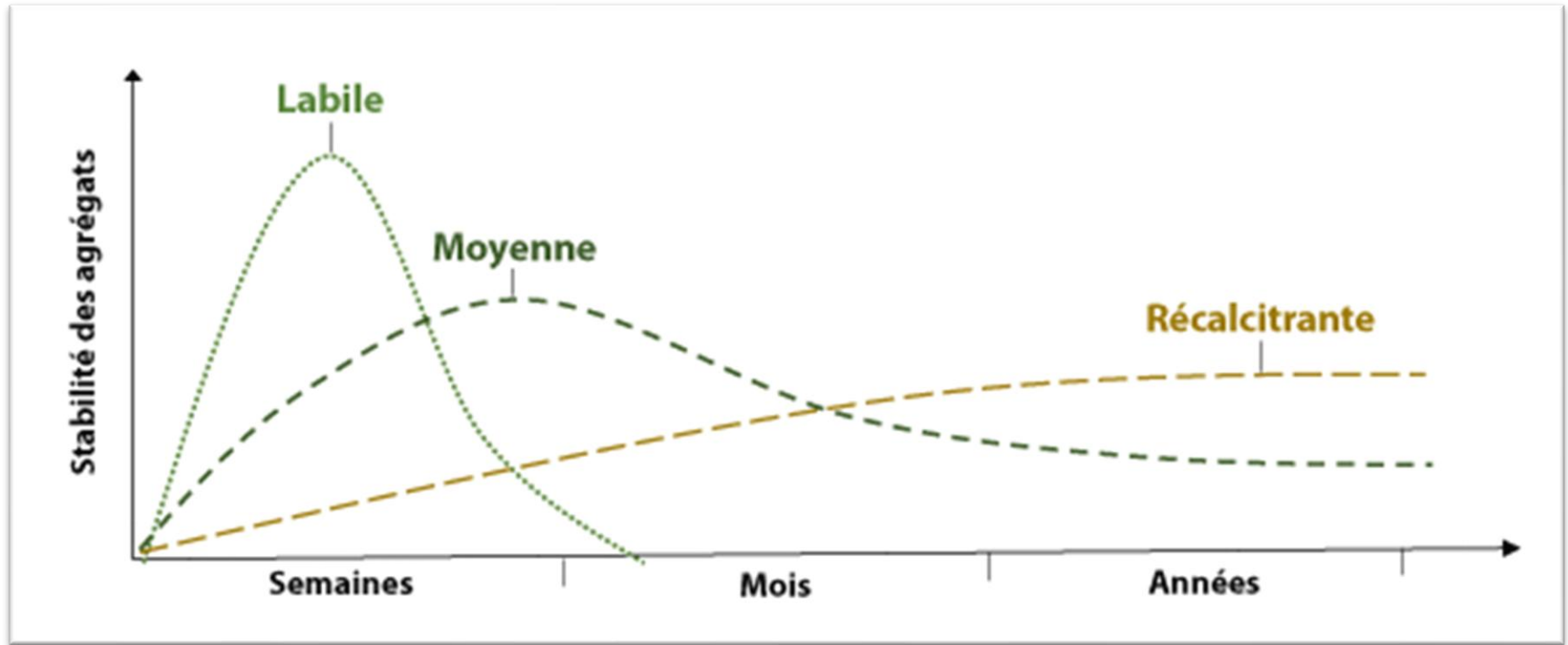


Figure 6.3 Stabilité des agrégats dans le temps en fonction de la labilité des apports de matières organiques au sol

Source : Adapté de Monnier, 1965

Infiltration de l'eau

- Des études effectuées aux États-Unis ont démontré que les CC peuvent augmenter de 1,1 à 2,7 fois l'infiltration de l'eau :
 - Elles protègent le sol en surface (réduction de la battance)
 - Elles améliorent les propriétés du sol
 - Elles augmentent la macroporosité et la connectivité des pores.
- L'augmentation de l'infiltration de l'eau permet d'accroître la capture des précipitations.
- Les CC mortes créent un effet de paillis qui peut réduire l'évaporation de l'eau.
- Les CC à racines profondes permettent d'augmenter la capacité d'entreposage de l'eau dans le sous-sol.



6.2 Effets des cultures de couverture sur les pertes environnementales

6.2.1 Effets sur l'érosion hydrique et le lessivage de l'azote

6.2.2 Effets sur les pertes en N_2O

6.2.3 Stockage temporaire et séquestration du carbone organique



6.2.1 Effets sur l'érosion hydrique et le lessivage de l'azote



Effets de CC sur l'érosion hydrique

- Les CC permettent de réduire :
 - Le ruissellement de 13 à 78 %
 - La perte de sédiments de 39 à 96 %

- Leur efficacité dépend :
 - De l'espèce de CC
 - Du degré de couverture du sol

Effets des CC sur le lessivage de l'azote

- Selon une méta-analyse, les CC de non-légumineuses peuvent prélever de 20 à 60 unités d'azote/ha.
- Les couverts qui persistent durant l'hiver peuvent réduire de 40 à 70 % le lessivage de l'azote.
- Les graminées et les crucifères (particulièrement) sont plus efficaces que les légumineuses.
- L'efficacité dépend de :
 - la date de semis de la CC (période de croissance disponible)
 - de son développement racinaire.

Effets sur l'érosion hydrique et le lessivage de l'azote (suite)

Une étude effectuée en Pennsylvanie a conclu que :

➤ Après un blé d'automne

- Des légumineuses seules ont conduits aux plus faibles réductions du lessivage de l'azote.
- Le pois autrichien a réduit les concentrations en azote dans le sol à l'automne et en hiver (forte croissance), mais la minéralisation l'a augmentée au printemps.
- Le radis et l'avoine ont maintenu le lessivage à de faibles niveaux.
- Les plus faibles niveaux d'azote lessivé ont été mesurés avec le seigle d'automne.

➤ Après le maïs et le soya

- Seul le seigle d'automne s'est bien établi et a réduit le lessivage.

6.2.2 Effets sur les pertes en N₂O

- Le N₂O (oxyde nitreux) représente 5 % de la production totale de GES au Canada.
- En 2016, 75 % des émissions de N₂O au Canada provenaient des sols agricoles.
- Le N₂O est produit surtout lors de la dénitrification, lorsque les sols sont gorgés d'eau.
- L'effet de serre de 1 kg de N₂O est 298 fois plus fort que celui de 1 kg de CO₂.
- Une application de 160 kg N/ha sur 100 ha peut conduire à la production de 19 à 187 t d'équivalent CO₂.
- Au Québec, une part importante de ces émissions peut survenir pendant l'hiver (périodes gel-dégel).

Effets sur les pertes en N₂O (suite)

- Les CC peuvent soit réduire les émissions de N₂O du sol, soit les augmenter.
- Une étude ontarienne a montré que l'apport de 150 kg N/ha dans le maïs a conduit à une émission plus importante de N₂O lors de la 2^{ème} année de maïs dans une rotation diversifiée avec CC, comparée à une rotation simple sans CC.

Effets sur les pertes en N₂O (suite)

➤ Pour **réduire les pertes** en N₂O avec des CC :

- Ajuster la fertilisation en N minéral de la culture commerciale suivante pour tenir compte de l'apport en N de la CC précédente.
- Utiliser des CC de légumineuses si les apports en N de cette CC sont pris en compte dans la culture commerciale subséquente.
- Restreindre la quantité de N appliqué sur la CC.
- Ajuster l'application d'engrais organiques avec CC en fonction des besoins de la culture commerciale subséquente.
- Appliquer les engrais organiques au moment où la CC pourra en prélever l'azote.

Effets sur les pertes en N₂O (suite)

➤ Fertiliser ou pas la CC avec du N minéral?

- Est-ce que la culture précédente a laissé des reliquats de N disponible pour la CC?
- Est-ce que la période de croissance de la CC sera suffisamment longue pour ajouter une légumineuse au couvert?
- Si de l'azote est appliqué, est-ce que la période de croissance permettra à la CC de l'utiliser?
- Quelle est la biomasse nécessaire pour atteindre l'objectif visé et est-ce possible de l'obtenir sans fertilisation?
- Est-ce que la quantité de N minéral appliqué sur la CC sera contrebalancée par une réduction de N sur la culture commerciale suivante?

Effets sur les pertes en N₂O (suite)

- L'enfouissement des CC augmente les émissions de N₂O par comparaison avec les couverts laissés à la surface, à cause des facteurs suivants :
 - Augmentation du taux de minéralisation de l'azote
 - Conditions anaérobies plus susceptibles de se produire si le couvert est enfoui
- Si les CC doivent être enfouies, le faire le plus tard possible à l'automne :
 - Réduction de la vitesse de décomposition (moins d'activité microbienne)
 - Réduction de la quantité de NO₃ largué durant les redoux de l'hiver et au printemps



6.2.3 Stockage temporaire et séquestration du carbone organique



- Le C des résidus des CC est principalement sous forme de molécules organiques simples, qui sont décomposées rapidement par les microorganismes du sol.
- Dans les sols en climat tempéré :
 - 50 % de la MO apportée au sol est minéralisée rapidement (< 1 an)
 - 35 % est minéralisée plus lentement (en quelques années)
 - 10 à 20 % est minéralisée sur quelques dizaines d'années. C'est cette fraction qui permettra d'augmenter le stock de C organique du sol.

Stockage temporaire et séquestration du carbone organique

- Pour permettre séquestration C à long terme, les apports de C doivent dépasser les pertes par minéralisation.
- Le potentiel d'accumulation du C n'est pas infini : atteinte d'un équilibre quand la quantité de C apportée est égale à la quantité de C minéralisée.
- Si la pratique est interrompue, le C accumulé pourrait être retourné dans l'atmosphère.
- Les sols dégradés ont un potentiel d'accumulation plus élevé.
- Un sol donné disposerait d'une capacité maximale à préserver le C organique :
 - Elle serait plus élevée dans un sol argileux que dans un sol à texture grossière.

Stockage temporaire et séquestration du carbone organique

- Il n'existe (quasiment) pas de stockage définitif de C dans les sols, car toute matière organique est minéralisée après un certain temps.
- Les temps de résidence du C organique dans les sols vont de quelques heures à plusieurs millénaires (moyenne de quelques dizaines d'années).
- Dans la plupart des modèles, il est question de stockage temporaire du C (et non de séquestration).

Fin du chapitre 6

Fin Jour 3

La formation se poursuit au Jour 4, chapitre 5

Des questions?

