Le maintien des sols agricoles de l'Ontario :

vers une vision partagée

2016

Ontario

Table des matières

Message du ministre aux Ontariens 2
Présentation : Des sols sains pour les aliments, pour la vie, pour l'avenir 4
Partie I : Vers une stratégie pour la santé et la préservation des sols agricoles 5
Prendre des mesures 5
De quelle façon l'Ontario profitera-t-il de la Stratégie? 8
En quoi consiste la santé du sol? 10
En quoi consiste l'érosion du sol? 10
Quelle est la vision quant à l'avenir des sols agricoles de l'Ontario? 12
Les principaux domaines thématiques 13
La gestion des sols 13
Les renseignements sur les sols et la cartographie des sols 14
La surveillance et la modélisation des sols 15
Les connaissances sur les sols et l'innovation 16
Les partenaires qui participent à cette initiative 17
Formulation de commentaires : les questions à examiner 18
Partie II – Information technique 22
Les sols agricoles : une perspective globale 22
Les sols agricoles : le contexte de l'Ontario 24
La science du sol 25
La santé du sol 25
Érosion et préservation des sols 25
La gestion des sols 26
Les renseignements sur les sols et la cartographie des sols 32
La surveillance et la modélisation des sols 35
Les connaissances sur les sols et l'innovation 38
Rappel : commentaires et contributions 39
Ressources 40

Message du ministre aux Ontariens

La santé des sols est le fondement d'un système agroalimentaire fort et durable. Les sols sains soutiennent la production d'aliments sains qui contribueront à la santé des Ontariens et à la solidité de l'économie. Tous les Ontariens tirent profit de la santé du sol; pensons aux aliments locaux que nous aimons tous, aux matières premières dont nous avons besoin pour développer notre bioéconomie et aux avantages environnementaux que les agriculteurs nous ont procurés grâce à leur gestion des riches terres agricoles de l'Ontario…

Voilà pourquoi je suis ravi de vous inviter à participer à la création d'une stratégie pour améliorer la santé des sols agricoles. *Le maintien des sols agricoles de l'Ontario* est un document de discussion qui amorce les échanges au sujet des efforts collectifs dont le gouvernement et les intervenants ont besoin pour soutenir et améliorer la santé des sols agricoles.

La santé des sols, les changements climatiques, la qualité de l'eau et la salubrité des aliments sont étroitement liés, et l'on a besoin d'efforts collectifs pour régler ces questions. Les agriculteurs de l'Ontario sont les régisseurs de l'environnement; ils comprennent que la protection de la santé de nos sols contribuera à donner à l'Ontario la capacité de nourrir une population provinciale et mondiale grandissante. Le ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario travaille avec les agriculteurs et d'autres partenaires en vue de créer une stratégie pour les sols qui permettra d'accroître et de soutenir la force du secteur agricole de l'Ontario, de protéger l'environnement et de régler les problèmes qui entourent la résilience face aux changements climatiques.

Notre gouvernement croit que l'amélioration de la santé des sols peut contribuer à atténuer l'impact des changements climatiques en réduisant les émissions de gaz à effet de serre et en aidant à piéger le carbone. Une stratégie pour les sols aidera le secteur de l'agriculture à s'adapter aux changements climatiques, à trouver plus d'occasions de réduire la pollution causée par les gaz à effet de serre, et à jeter les bases d'une participation potentielle au marché compensatoire du carbone de l'Ontario. À ce titre, l'importance d'une santé des sols à long terme est mise en lumière dans le Plan d'action contre le changement climatique qu'a récemment publié notre gouvernement, et ce dernier a l'intention de fournir jusqu'à 30 millions de dollars de financement pour appuyer les initiatives liées à la santé des sols.

Votre contribution aidera notre gouvernement à déterminer comment utiliser le mieux possible les ressources et travailler avec les intervenants pour améliorer la santé des sols, soutenir la lutte contre les changements climatiques et les atténuer.

J’ai hâte de travailler avec vous à la réalisation de notre vision commune : des sols sains, c’est bon pour les aliments, c’est bon pour la vie et c’est bon pour l’avenir.

Jeff Leal
Ministre de l’Agriculture, de l’Alimentation et des Affaires rurales

À bonne terre, bons produits

Le maintien des sols agricoles de l'Ontario : vers une vision partagée

Présentation : Des sols sains pour les aliments, pour la vie, pour l'avenir

Le sol agricole sain est un écosystème vivant et dynamique, ainsi que l'un des fondements de la vie. Grâce à une sage gestion, le sol sera fertile et rempli de ces organismes vivants qui sont essentiels à la culture des aliments et des autres produits agricoles, maintenant et pour les futures générations. Cela prend de nombreuses années pour que les processus naturels fabriquent un sol sain, et très peu de temps pour le détruire, alors il faut absolument le gérer avec attention.

Les sols productifs sont cruciaux pour la durabilité environnementale et économique de l'industrie agroalimentaire de l'Ontario. En 2014, les agriculteurs de l'Ontario ont rapporté plus de 12,7 milliards de dollars de recettes monétaires agricoles, soit plus de 20 % du total canadien. Au cours de la même année, le produit intérieur brut (PIB) de l'industrie fut de 35 milliards de dollars. Nos collectivités rurales soutiennent un secteur agricole robuste et prospère et dépendent de celui-ci, et le sol sain en est le fondement.

Même s'ils sont cruciaux pour la production agricole et l'environnement, les sols agricoles de l'Ontario sont soumis à un stress croissant :

- Il y a une demande grandissante à l'égard des sols pour la culture d'aliments en raison des populations provinciales et mondiales croissantes.
- Les changements quant à la culture, au travail du sol et à d'autres pratiques pourraient affecter la santé des sols.
- Les changements climatiques apportent des pluies extrêmes et des périodes de sécheresse qui augmentent l'érosion du sol. Les variations extrêmes de température pourraient également stresser les sols et les cultures.
- Les ruissellements agricoles (p. ex., les ruissellements d'éléments nutritifs et de pesticides) contribuent aux problèmes de qualité de l'eau, surtout dans les Grands Lacs.

Le sol agricole sain est le pilier qui permet de produire des aliments et d'autres produits locaux, ainsi que de nourrir une population mondiale en croissance. Une meilleure santé des sols nous aide à nous occuper des changements climatiques et des conditions météorologiques extrêmes. De plus, elle améliore la qualité de notre eau. Les sols sains retiennent l'eau et les éléments nutritifs, réduisant les ruissellements qui peuvent polluer nos voies navigables. Les terres agricoles retirent les gaz à effet de serre de l'atmosphère et peuvent fabriquer l'indispensable

carbone dans la matière organique du sol. De nouvelles recherches passionnantes démontrent que divers écosystèmes terrestres peuvent souvent augmenter vraiment le nombre d'insectes, de champignons et d'autres organismes bénéfiques tout en réduisant parfois les parasites de l'agriculture.

Les sols sains sont extrêmement importants pour nous tous. Voilà pourquoi l'Ontario s'est engagé à collaborer avec les agriculteurs, l'industrie, ses partenaires communautaires et les communautés autochtones pour élaborer une stratégie permettant de maintenir et de supporter la santé des sols, afin que nos terres puissent être productives pour nous-mêmes et pendant de nombreuses années. La Stratégie pour les sols s'ajoutera aux mesures des partenariats actuels en gérance environnementale comme le Plan agroenvironnemental.

Nous avons conçu le présent document de discussion afin d'amorcer ce processus. La Partie I fournit un cadre servant à orienter les conversations publiques au sujet de l'élaboration de cette stratégie. La Partie II fournit l'information technique et l'analyse qui soutiennent le cadre que nous avons exposé à la Partie I.

Vous êtes tous invités à émettre des commentaires sur ce processus. Consultez simplement le site Web du ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario, le Registre environnemental, ou envoyez un courriel à soilhealth@ontario.ca.

Partie I : Vers une stratégie pour la santé et la préservation des sols agricoles

Prendre des mesures

Comme de nombreuses autres autorités législatives, l'Ontario prend des mesures pour régler ces problèmes, afin que cette ressource vitale continue de faire pousser des aliments et de procurer des avantages écologiques. Le ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario (MAAARO) dirige l'élaboration d'une Stratégie pour la santé et la préservation des sols agricoles (la « stratégie pour les sols ») avec l'aide d'organismes agricoles de l'Ontario, d'experts en matière de sols et d'autres organismes concernés par la santé et la préservation des sols.

Au début de cette année, le MAAARO annonçait qu'il investissait en vue d'améliorer sa cartographie des sols. L'Ontario a certaines des terres agricoles les plus productives du Canada. Une cartographie à jour des sols et des renseignements connexes permettront de prendre de meilleures décisions, y compris quant à la protection de notre territoire agricole au moyen du système d'aménagement du territoire de l'Ontario.

Les organismes agricoles travaillent avec les gouvernements et les universités afin de comprendre les tendances liées à la santé des sols et les effets des pratiques agricoles sur les sols. Aux côtés de leurs membres, ces organismes agricoles travaillent également en collaboration afin d'élaborer des méthodes pour préserver la santé des sols. La santé et la préservation des sols agricoles de l'Ontario sont des responsabilités partagées :

- Les agriculteurs sont directement responsables de la gestion des sols, dans l'exercice de leurs activités.
- Le secteur de l'agroentreprise fournit aux producteurs des sols adaptés aux fermes ainsi que des services liés à la fertilité et à la production.
- Les organismes agricoles et les organismes de préservation aident les agriculteurs et les autres propriétaires fonciers à adopter des pratiques exemplaires de gestion.
- Les universités et collèges fournissent des recherches en science et gestion des sols, enrichissant ainsi les connaissances dont le gouvernement et les entreprises ont besoin pour répondre aux futurs besoins relatifs aux sols. Ils forment également de nouveaux experts en science du sol qui peuvent contribuer à sa préservation adéquate.
- Le gouvernement élabore des politiques, fournit des renseignements aux agriculteurs sur la gestion des sols, tient à jour les données sur les sols, et cartographie et surveille l'état des sols.

Il faudrait concevoir et mettre en œuvre la stratégie en collaboration, afin qu'elle soit couronnée de succès. Ensemble, nous élaborerons des méthodes qui amélioreront la santé des sols et qui soutiendront la viabilité économique et la durabilité environnementale des fermes.

Le MAAARO s'est engagé à ériger cet important partenariat pour la santé et la préservation des sols.

Il élaborera la Stratégie pour la santé et la préservation des sols agricoles en trois étapes :

- La première étape comprend l'utilisation du présent document de discussion pour fournir un contexte aux enjeux et proposer une ébauche de vision, de buts et d'objectifs pour la Stratégie. On demande aux personnes de formuler des commentaires sur ces éléments.
- La deuxième étape viendra après la réception des commentaires. Le MAAARO travaillera avec un groupe (voir la page 18) composé d'employés du gouvernement fédéral, d'agriculteurs, de producteurs spécialisés et de participants d'offices de protection de la nature, du

Conseil canadien de conservation des sols et de l'Université de Guelph qui contribueront à l'élaboration d'une ébauche de document stratégique. Par la suite, on publiera cette ébauche à des fins de commentaires.

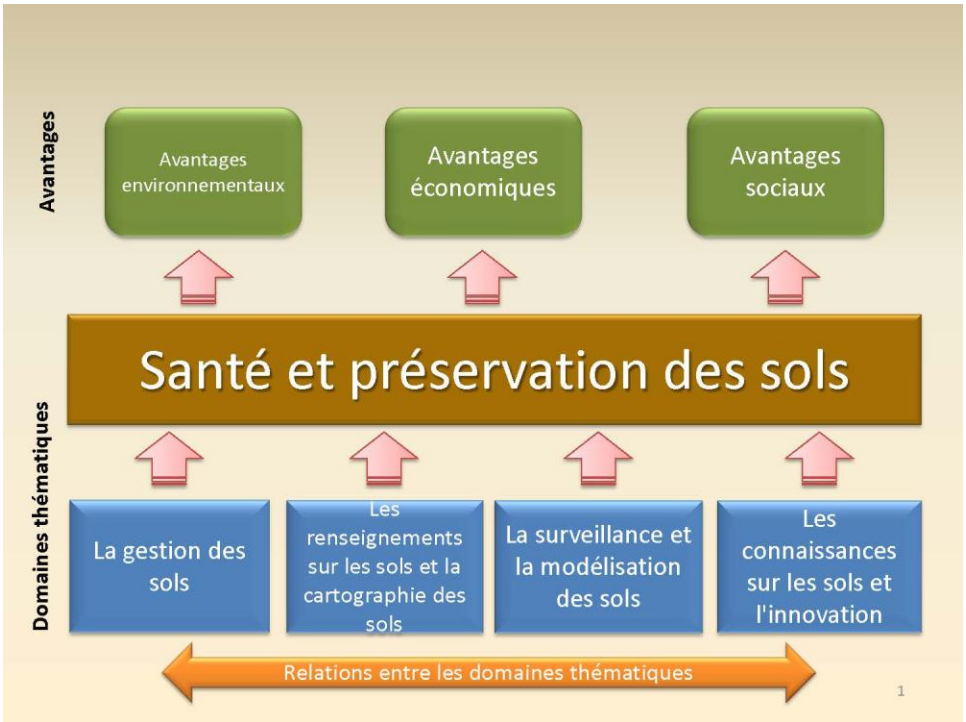
- À la suite de la deuxième consultation, on finalisera la Stratégie. Cette Stratégie orientera les mesures prises quant aux sols par le MAAARO et les autres partenaires au cours des prochaines années.

De quelle façon l'Ontario profitera-t-il de la Stratégie?

Cette Stratégie partagée harmonisera les efforts collectifs des agriculteurs, des gouvernements, du secteur de l'agroentreprise, des organismes partenaires et du secteur de l'éducation afin de bâtir un avenir durable pour les sols agricoles de l'Ontario.

Il est essentiel d'avoir des sols agricoles sains pour assurer la productivité continue et la compétitivité permanente du secteur agroalimentaire de l'Ontario et la salubrité des aliments pour la province et le monde. La santé des sols peut influer en partie sur la salubrité de l'approvisionnement alimentaire et la qualité nutritionnelle des aliments.

La santé des sols, les changements climatiques, la qualité de l'eau et la salubrité des aliments sont tous liés ensemble. Ces enjeux sont le reflet de notre besoin d'évoluer vers une économie durable et à faibles émissions de carbone. La Stratégie pour les sols soutiendra les pratiques de gestion des sols agricoles qui procurent des avantages économiques, environnementaux et sociaux à l'Ontario (voir le diagramme de la page 9). Elle fera partie intégrante de l'atteinte des objectifs énoncés dans d'autres initiatives clés de l'Ontario, dont la *Stratégie en matière de changement climatique*, la *Stratégie ontarienne pour les Grands Lacs* et l'*Ébauche – Stratégie pour un Ontario sans déchets*. Elle complétera également d'autres initiatives sans les dupliquer, comme les projets *Cadre de politique sur la gestion de la terre d'excavation* et *La biodiversité : c'est dans notre nature*. La Stratégie pour les sols traite exclusivement des sols agricoles. Les forêts, les terres humides et les sols urbains n'y sont pas inclus.



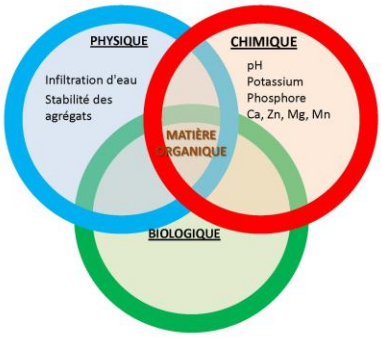
Avantages à long terme de la santé et de la préservation des sols

Avantages environnementaux	Avantages économiques	Avantages sociaux
• Une meilleure qualité de l'eau, car les ruissellements d'éléments nutritifs et de sédiments sont minimisés; • Une réduction des émissions de gaz émanant de la matière organique du sol et des engrais azotés; • Une meilleure résilience quant aux changements climatiques et aux conditions météorologiques extrêmes; • Une biodiversité accrue du sol.	• Une productivité des terres agricoles soutenue à long terme; • Des besoins moindres d'intrants agricoles à long terme (p. ex., soutient l'éradication des organismes nuisibles, le cycle des éléments nutritifs, la rétention d'eau); • Contribue aux économies de coûts et à la rentabilité à long terme, à la ferme.	• Contribue à la salubrité à long terme des denrées alimentaire locales et mondiales; • Contribue à l'amélioration de la qualité des aliments et de la nutrition.

3

En quoi consiste la santé du sol?

Les composantes de la santé du sol



La santé du sol est une notion en évolution qui se définit comme étant la « capacité permanente du sol à fonctionner en tant qu'écosystème vivant vital qui soutient les plantes, les animaux et les êtres humains » (Natural Resource Conservation Service, Department of Agriculture des É.-U.)

Plus précisément en ce qui concerne l'agriculture, elle se définit comme la « capacité à soutenir la croissance de cultures sans se dégrader ou nuire autrement à l'environnement » (Agriculture et Agroalimentaire Canada).

La santé du sol a des composantes physiques, chimiques et biologiques (voir l'illustration et la Partie II pour de plus amples renseignements). Elle comprend la capacité du sol à :

- Accepter, contenir, filtrer et relâcher des éléments nutritifs et de l'eau;
- Favoriser et soutenir la croissance des racines;
- Maintenir la matière organique du sol (le carbone) et une vie du sol diversifiée, sur le plan biologique (p. ex., vers, microbes, champignons);
- Réagir à la gestion;
- Maintenir sa structure physique et résister à la dégradation (p. ex., par l'érosion et le compactage).

L'envers de la santé du sol est la dégradation du sol. La dégradation comprend l'agrégation du sol perdu, la réduction de la matière organique, la perte de capacités d'infiltration et de rétention de l'eau, et l'accroissement du compactage. Ils contribuent tous à la réduction de la santé et de la productivité du sol ainsi qu'à l'accroissement de l'érosion.

En quoi consiste l'érosion du sol?

L'un ou plusieurs de ces trois facteurs peuvent causer l'érosion du sol : le travail du sol, l'eau et le vent. Il s'agit d'un des principaux moteurs de la dégradation des sols et des incidences sur la qualité de l'eau. En Ontario, l'érosion par suite du travail du sol suscite les plus importants déplacements du sol, en raison de l'effet combiné de la perturbation du sol et du fait que les terres agricoles de l'Ontario sont parfois

légèrement en pente ou vallonées. L'érosion par suite du travail du sol passe souvent inaperçue et déplace constamment les pentes descendantes de la plupart des sols du paysage agricole de l'Ontario. L'érosion hydrique et l'érosion éolienne déplacent beaucoup moins de sols, mais leur effet est plus spectaculaire, et l'érosion hydrique contribue particulièrement à une dégradation considérable de la qualité de l'eau à l'extérieur du site. L'érosion potentielle des sols agricoles de l'Ontario est importante. On estime que 54 % des terres agricoles de l'Ontario sont visées par une catégorie de risque d'érosion insoutenable (Agriculture et Agroalimentaire Canada, voir Ressources, page 40).

Les changements climatiques causent des événements météorologiques plus intenses, en Ontario. Les pluies abondantes soumettent les sols à des risques accrus d'érosion. Avec un plus grand potentiel de ruissellements en dehors de la saison de croissance, les agriculteurs ont vraiment besoin de s'adapter à ces nouveaux climats extrêmes. La majeure partie de l'érosion hydrique et la plupart des ruissellements d'éléments nutritifs se produisent pendant ces événements d'importance majeure.

La conservation des sols est très avantageuse pour l'environnement et la rentabilité des fermes. On estime que l'érosion des sols coûte plus de 150 millions de dollars par année aux agriculteurs de l'Ontario. Une réduction de l'érosion signifie une réduction de la pénétration des sédiments et des éléments nutritifs à proximité des ruisseaux et des rivières. Il en résulte que la qualité de l'eau des rivières et des lacs dans l'ensemble d'un bassin versant devrait s'améliorer (p. ex., réduction des algues nocives, amélioration de l'habitat de poissons). Les pratiques exemplaires de gestion comme la rotation des cultures, les pratiques agricoles sans labour, la plantation de cultures de couverture, l'établissement de rideaux d'arbres, les bandes-tampons, les mesures de contrôle de l'érosion et les ajouts réguliers d'amendements organiques peuvent réduire l'érosion hydrique et maintenir le contenu en matière organique du sol.

Les sols sains sont bénéfiques pour les fermes et pour notre environnement :

(Photo : Dan Hudson)

Quelle est la vision quant à l'avenir des sols agricoles de l'Ontario?

Le gouvernement et les participants ont préparé une ébauche de la vision future des sols agricoles de l'Ontario, en vue d'orienter la Stratégie pour les sols.

Ébauche de vision :
Les sols agricoles sains contribuent à la productivité de l'économie, à la durabilité de l'environnement et à la prospérité de la société.

Une ébauche de buts et d'objectifs est proposée pour orienter l'élaboration de la Stratégie, et elle est axée sur quatre domaines thématiques importants (voir le diagramme de la page 9):

1. La gestion des sols;
2. Les renseignements sur les sols et la cartographie des sols;
3. La surveillance et la modélisation des sols;
4. Les connaissances sur les sols et l'innovation.

Les principaux domaines thématiques

La gestion des sols

La gestion des sols à la ferme résulte des décisions que prennent les agriculteurs. De nombreux facteurs influent sur celle-ci, dont :

- Les pratiques en matière de culture;
- Le temps;
- Les technologies agricoles;
- Les prix des différentes cultures et des produits du bétail;
- Les coûts de production;
- La rentabilité;
- Les problèmes environnementaux;
- Les programmes gouvernementaux;
- Les connaissances qu'ils ont au sujet des pratiques exemplaires de gestion.

La gestion des sols

Ébauche de but à long terme :

Les pratiques de gestion des sols soutiennent et améliorent la santé et la productivité des sols pour répondre aux besoins sociétaux, économiques et environnementaux.

Ébauche d'objectifs :

- La santé des sols est maintenue et améliorée pour que les terres agricoles restent productive.
- L'érosion par suite du travail du sol, l'érosion hydrique et l'érosion éolienne sont minimisées.
- Le sol est préservé pour soutenir la production des aliments et des autres produits ainsi que l'accès à ceux-ci.
- La santé du sol est accrue pour améliorer la qualité de l'eau, réduire les émissions de gaz à effet de serre et réagir aux autres problèmes environnementaux.

Ces décisions peuvent avoir des incidences sur la santé des sols et sur d'autres éléments comme la qualité de l'eau, l'atténuation des changements climatiques et l'adaptation à ceux-ci.

Voici certaines des pratiques de gestion ayant fait leurs preuves quant à l'amélioration de la santé des sols :

- L'utilisation de diverses rotations de cultures, dont les cultures vivaces;
- Les pratiques agricoles avec travail réduit du sol ou sans labour;
- La plantation de cultures de couverture;
- L'utilisation d'amendements organiques;
- La mise en œuvre de mesures de contrôle de l'érosion;
- La réduction du compactage du sol.

Les mesures possibles :

- Encourager davantage les agriculteurs à évaluer la santé du sol sur leurs fermes et à adopter des pratiques exemplaires comme diverses rotations de cultures, des cultures de couverture et des pratiques agricoles avec travail réduit du sol.
- Accroître les recherches et les innovations technologiques.

Les renseignements sur les sols et la cartographie des sols

Les renseignements sur la santé des sols sont importants, puisqu'ils permettent aux agriculteurs de prendre des décisions quant au choix, à la plantation et à la gestion des cultures. Les gouvernements ont également besoin de renseignements sur les sols pour identifier différentes régions de l'Ontario ayant le potentiel de produire différentes cultures et différents animaux d'élevage. Les planificateurs de l'utilisation des terres provinciales et municipales ont besoin de savoir où se trouvent les terres agricoles de qualité élevée pour pouvoir les protéger.

Les renseignements sur les sols et la cartographie des sols

Ébauche d'un but à long terme :

Des renseignements et des outils fiables pour les sols sont offerts pour permettre aux producteurs, à l'industrie, au gouvernement et au public de prendre des décisions éclairées et de faire des analyses judicieuses.

Ébauche d'objectifs :

- Les données d'inventaire sur les sols sont bien documentées, reproductibles et défendables.
- Les renseignements sur les sols sont complets, accessibles, flexibles et largement disponibles.
- Les données accessibles sur les sols permettent un vaste éventail d'analyses et de processus décisionnels.

Aujourd'hui, on peut collecter rapidement des données grâce aux ordinateurs de bord du matériel agricole, aux téléphones intelligents et aux tablettes. Toutefois, il est difficile de coordonner toutes ces données et d'y accéder. De plus, de nombreuses cartes qui donnent des renseignements sur les sols sont périmées.

Mesures possibles :

- Mettre les inventaires sur les sols à jour au moyen de méthodes contemporaines avec de la technologie numérique et des données de télédétection (voir Ressources, page 40).
- Numériser une partie de la grande quantité de données sur les échantillons de sol et les rendre disponibles à des fins d'analyse.
- Rendre les données sur les échantillons de sol disponibles par l'entremise de nouveaux outils numériques gratuits, pour aider les producteurs à prendre leurs décisions.

La surveillance et la modélisation des sols

Les agriculteurs, le gouvernement et d'autres intervenants ont besoin d'en savoir plus sur l'état de santé des sols de l'Ontario. On offre différentes analyses et méthodes aux agriculteurs pour évaluer la santé, la fertilité et l'érosion du sol sur leurs terres.

La surveillance et la modélisation des sols

Ébauche d'un but à long terme :

La santé et la qualité des sols agricoles de l'Ontario sont suivies au fil du temps.

Ébauche d'objectifs :

- On développe la capacité de suivre les changements qui se rapportent à la santé des sols agricoles, à l'érosion et à la matière organique du sol.
- On effectue la surveillance de la santé des sols et de l'érosion pour contribuer aux politiques et aux programmes et pour les évaluer.

Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) a développé des indicateurs agroenvironnementaux pour évaluer les changements relatifs au carbone du sol, au risque d'érosion du sol et à d'autres facteurs à l'échelle nationale (voir la Partie II, page 36). Dans l'ensemble, ces indicateurs suggèrent que la santé des sols et les risques d'érosion ne s'améliorent pas, en Ontario. On ne peut pas les appliquer à l'échelle de la ferme et leur précision à une échelle régionale plus détaillée est limitée. Mais ce sont les meilleurs indicateurs actuellement offerts pour évaluer l'état de préservation et de santé des sols.

Au niveau de la ferme, les travaux de création d'une nouvelle série d'outils pour la surveillance de la santé des sols sont bien avancés (voir page 36).

Mais il y a plusieurs lacunes et difficultés relatives à la surveillance et à la

modélisation des sols, dont la coordination des renseignements et l'accès à ceux-ci, et l'application de modèles actuels à l'échelle provinciale, régionale et de la ferme.

Mesures possibles :

- Adapter les indicateurs agrienvironnementaux fédéraux au niveau régional.
- Offrir aux fermes de l'Ontario une analyse de la santé du sol à l'échelle de la ferme.

Les connaissances sur les sols et l'innovation

Les connaissances sur les sols, dont les formations, l'éducation et la recherche, sont cruciales pour réussir à gérer la santé et l'érosion des sols, tant au niveau de la ferme que dans l'ensemble de l'Ontario. Les agriculteurs ont besoin d'avoir accès aux meilleures connaissances, pour assurer la compétitivité et la productivité, tandis que les entreprises, le secteur de l'éducation et le gouvernement ont besoin d'avoir accès à des professionnels bien formés pour contribuer à l'innovation et la susciter dans le domaine de la santé des sols.

Mais il y a des difficultés quant à la disponibilité de la bonne sorte de formation et à la quantité suffisante de personnes qui s'y connaissent assez pour mettre de l'avant un programme de santé et de préservation des sols.

Les connaissances sur les sols et l'innovation

Ébauche d'un but à long terme :

On a optimisé les connaissances et les compétences en matière de sols pour répondre aux besoins sociétaux et économiques, et pour susciter de l'innovation.

Ébauche d'objectifs :

- Soutenir les capacités des ressources humaines quant aux connaissances sur les sols afin de répondre aux priorités.
- Le secteur de l'éducation appuie les programmes relatifs aux connaissances et aux compétences appropriées en matière de sols.
- Des recherches continues soutiennent l'innovation dans les connaissances sur les sols et la gestion des sols.
- L'industrie a accès à des personnes ayant des connaissances et des compétences liées aux sols, afin de répondre aux besoins des clients de manière efficace et économique.
- Les producteurs ont accès aux connaissances requises pour préserver et améliorer la santé des sols.

Mesures possibles :

- Des programmes de formation et des cours nouveaux ou révisés dans les collèges et les universités de l'Ontario.

- Des moyens nouveaux ou révisés de transmettre des connaissances sur les sols aux agriculteurs.

Les partenaires qui participent à cette initiative

En octobre 2015, le MAAARO a invité plusieurs personnes compétentes provenant d'organismes agricoles, d'entreprises agroalimentaires, d'universités, d'organismes de préservation et du gouvernement fédéral à participer à un groupe de travail sur la santé et la préservation des sols agricoles. Nous remercions ce groupe de travail de ses efforts et de son dévouement à l'avenir des sols de l'Ontario.

Le groupe de travail se réunit régulièrement et examine à fond l'éventail de problèmes liés à la santé et à la préservation des sols agricoles, afin d'acquérir une compréhension commune permettant de savoir où nous en sommes maintenant, en ce qui a trait aux connaissances sur nos sols, leur état de santé, et où nous devons aller pour nous assurer que les sols agricoles de l'Ontario seront sains et productifs à long terme. Les participants au groupe de travail ont contribué à ce document de travail et joueront un rôle central dans l'élaboration de la Stratégie pour les sols, afin d'aller de l'avant.

Formulation de commentaires : les questions à examiner

Nous cherchons à obtenir les commentaires des gens sur les domaines clés suivants qui sont liés à la santé et à la préservation des sols :

- L'ébauche de vision, de buts et d'objectifs (pages 13-17);
- Les tendances, données et renseignements sur la santé et la préservation des sols;
- Les mesures possibles pour soutenir et améliorer la santé des sols.

Tandis que vous examinez le présent document, veuillez réfléchir aux questions qui figurent dans la case « Commentaires » ci-après. Par souci de commodité, ces questions sont regroupées par thème; par conséquent, vous pouvez trouver rapidement la section pertinente, pour de plus amples renseignements.

Le ministère invitera des intervenants clés, ses partenaires, le public et des Autochtones à discuter des propositions. Souvenez-vous que les commentaires peuvent être fournis :

- Sur le site Web du MAAARO;
- Dans le Registre environnemental;
- Par courriel à soilhealth@ontario.ca;
- Par télécopie au 519 826-3492;
- Par la poste à :
  Stratégie pour la santé et la préservation des sols agricoles
  Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales
  1 Stone Road West, 2e étage
  Guelph (Ontario) N1G 4Y2

Veuillez noter que toutes les soumissions et tous les commentaires reçus feront partie des documents publics. Les commentaires reçus dans le cadre du processus de participation public relatif à la présente proposition seront considérés par le décideur aux fins de cette proposition.

Il se pourrait que vos renseignements personnels soient utilisés dans le processus décisionnel relatif à cette proposition, et nous pourrions les utiliser pour communiquer avec vous, si nous avons besoin d'une clarification de vos commentaires. Nous pourrions partager vos renseignements personnels (ainsi que vos commentaires) avec d'autres ministères de l'Ontario à des fins d'utilisation dans le processus décisionnel. Si vous avez des questions concernant cette collecte de renseignements, nous vous prions de les faire parvenir à l'adresse susmentionnée.

Vers une stratégie pour les sols agricoles

1. Pensez-vous que l'ébauche de vision, de buts et d'objectifs nous mènera dans la bonne direction, concernant les sols? Si vous ne le croyez pas, comment pourrions-nous l'améliorer?

2. Quelles sont les trois mesures les plus importantes que le gouvernement, les organismes agricoles et la communauté de recherche et d'éducation pourraient prendre pour protéger et préserver la santé des sols, à long terme?

La gestion des sols

3. Quelles tendances avez-vous remarquées dans les pratiques de gestion des sols agricoles, au cours des 10 dernières années (travail du sol, cultures de couverture, etc.)?

4. Selon vous, quelles sont les meilleures pratiques, pour préserver la santé des sols? Comment le gouvernement et les experts en matière de sols peuvent-ils aider le mieux les agriculteurs à adopter les pratiques exemplaires de gestion?

Les renseignements sur les sols et la cartographie des sols

5. Quels types de renseignements et d'outils en particulier sont requis pour aider les agriculteurs, les agroentreprises, les municipalités, les offices de protection de la nature et les gouvernements à prendre des décisions sur les sols?

La surveillance et la modélisation des sols

6. Selon vous, quels types d'outils sont requis pour évaluer et surveiller la santé et la préservation des sols, en Ontario?

Les connaissances sur les sols et l'innovation

7. À part ce qui est actuellement offert, quelles sortes de recherches, d'éducation et de formations pourrions-nous mettre en place afin d'acquérir les connaissances et les experts requis pour contribuer à l'amélioration de la santé des sols?

8. Quels sont les meilleurs moyens de mettre les renseignements à la disposition des agriculteurs, afin de les aider à adopter les pratiques exemplaires de gestion pour favoriser la santé et la préservation des sols?

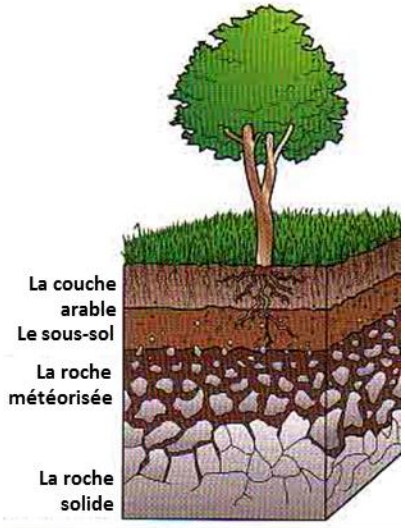
Partie II – Information technique

La Partie I de ce document de travail présentait le cadre proposé pour orienter l'élaboration de la Stratégie pour la santé et la préservation des sols agricoles à des fins d'examen et de commentaires publics. La Partie II fournit l'information technique et l'analyse à l'appui de la Partie I.

Les sols agricoles : une perspective globale

Dans son rapport de 2015, *The Status of the World's Soil Resources,* l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) a découvert qu'en général, les sols du monde se détériorent rapidement en raison de l'érosion, de l'épuisement des éléments nutritifs, de la perte de carbone organique du sol et d'autres menaces. L'état des sols est particulièrement sérieux dans certains pays en voie de développement, tandis que dans la plupart des pays développés, dont le Canada, les sols sont en meilleur état, comparativement, mais des mesures s'imposent tout de même.

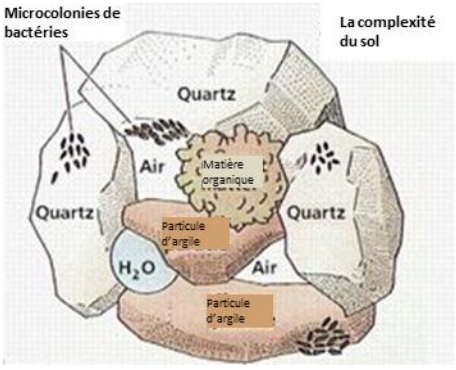
Le rapport énonce aussi que les tendances négatives pourront être renversées si les gouvernements montrent la voie en promouvant des pratiques de gestion durables.



Source : Alaska Independent Distance Education

En quoi consiste le sol?

En règle générale, le sol a plusieurs couches. La couche supérieure (la couche arable) est un mélange de particules minérales et organiques avec de l'air et de l'eau. La couche arable contient du sable, du limon et de l'argile, et habituellement plus de matière organique que les couches inférieures. La couche arable soutient la majeure partie de la vie biologique du sol. La matière organique est essentielle pour les écosystèmes des sols et influe considérablement sur la structure du sol. Le sous-sol, en dessous de la couche arable, est habituellement d'une plus grande profondeur que la couche arable, mais il a peu de matière organique. Sous le sous-sol, le substrat est surtout minéral. Il comprend le matériau « parental » qui provient des dépôts meubles sous-jacents.



Source : Home Garden Journal

En Amérique du Nord, la sécheresse et l'érosion terribles qui ont sévi dans les années 1930 ont suscité une préoccupation générale et des mesures à l'égard d'une utilisation des terres et d'une gestion des sols durables. Il y a eu une autre crise dans les années 1970 et 1980, en raison de la conversion à grande échelle de cultures fourragères vivaces en cultures annuelles, et d'un travail du sol excessif, des gestes qui ont causé une érosion et une dégradation des sols. Les gouvernements et les organismes agricoles se sont alors concentrés sur la réduction du travail du sol et de l'érosion. Dans les années 1980 et au début des années 1990, on a assisté à l'introduction de nombreux programmes fédéraux et provinciaux en vue de la préservation des sols.

À la fin des années 1990 et dans les années 2000, l'intérêt pour la science du sol et les programmes de préservation des sols a diminué. Même l'engagement de l'ONU envers les ressources des sols a baissé de façon spectaculaire. Au Canada et en Ontario, d'autres priorités ont eu la préséance, comme la gestion des éléments nutritifs. La montée des prix des aliments, en 2007-2008, fut la preuve qu'on ne peut pas tenir pour acquis qu'il y aura toujours des aliments abordables et un approvisionnement régulier. Tout le monde a commencé à revoir de quelle façon les ressources mondiales des sols pourraient soutenir une production agricole durable.

Une renaissance de l'intérêt envers la santé et la préservation des sols a émergé à l'échelle mondiale, au cours de la dernière décennie. Les États-Unis, le Royaume-Uni, la France, l'Union européenne, l'Australie et d'autres pays participent maintenant à diverses nouvelles initiatives liées aux sols. Par exemple, la France a lancé les quatre initiatives volontaires pour 1000 pour fabriquer de la matière organique du sol (voir Ressources, page 40). Des organismes internationaux comme l'Organisation des Nations Unies pour l’alimentation et l’agriculture et la Banque mondiale ont un regain d'intérêt pour les problèmes de sols. L'Organisation des Nations Unies pour l’alimentation et l’agriculture et l'Organisation des Nations Unies ont désigné l'année 2015 comme étant l'Année internationale des sols.

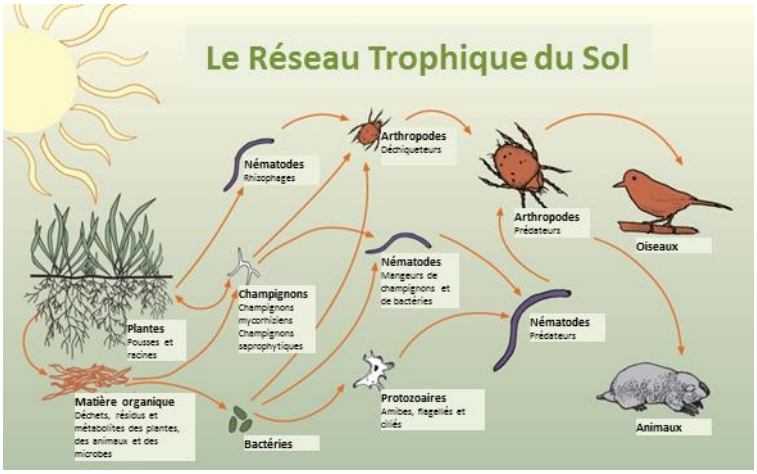
Les scientifiques se concentrent encore sur les sols, examinant les interactions entre les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols, et le rôle des microorganismes dans la formation de la structure et des fonctions d'un sol sain. En Ontario, de nombreux organismes agricoles, dont l'Association pour l'amélioration des sols et des récoltes de l'Ontario, l'Innovative Farmers Association of Ontario et les Grain Farmers of Ontario travaillent avec le MAAARO, l'Université de Guelph et les offices de protection de la nature pour parrainer des événements sur la santé des sols et les cultures de couverture.

Les sols agricoles : le contexte de l'Ontario

Les sols de l'Ontario sont issus de matériaux géologiques qui se sont déposés depuis la dernière période glaciaire. Ces sols résultent de matériaux géologiques sous-jacents et de leurs minéraux, du climat local, du couvert végétal, de la faune, de la topographie locale et du temps. Les terres agricoles de l'Ontario sont concentrées dans le sud de l'Ontario et dans plusieurs régions du nord de l'Ontario ayant un climat et des sols favorables.

La matière organique du sol... pourquoi est-elle importante?

Il y a d'un à dix pour cent de matière organique à l'intérieur de la plupart des couches arables (la quantité de matière organique est plus élevée dans les terres tourbeuses). Le pourcentage optimal varie selon le type de sol, mais un pourcentage plus élevé est généralement meilleur. La matière organique du sol va des résidus de matières végétales brutes (moins de 10 %) à une portion stabilisée (de 40 à 60 %) qui résiste assez bien à la dégradation. Entre ces étapes, des microorganismes, surtout des champignons, décomposent la matière organique « active » (10-40 %). Ces microbes produisent des colles organiques et des filaments fongiques qui lient les particules du sol pour produire une bonne structure de terre arable (surtout les mycorhizes mutualistes à arbuscules, voir Ressources, page 40). Dans les sols dont la matière organique est adéquate, le « réseau trophique » microbien et la structure du sol procurent de nombreux avantages : une amélioration de la rétention d'eau, de l'infiltration d'eau et de la disponibilité des éléments nutritifs, des éléments nutritifs pour les végétaux qui sont libérés lentement, une résistance à la lixiviation, et un accroissement de la biodiversité du sol. La perte de la matière organique du sol est un sérieux problème, en Ontario. En effet, on estime que 82 % des terres agricoles de l'Ontario perdent de la matière organique (Agriculture et Agroalimentaire Canada).



Source : Soil and Water Conservation Society. 2000. Soil Biology Primer. Éd. rev. Ankeny, Iowa.

L'intendance, les partenariats et la collaboration furent les fondements de la santé et de la préservation des sols agricoles pendant plus d'un siècle, en Ontario. Puisque les terres agricoles sont majoritairement aux mains d'acteurs privés, la gestion des sols dépend de pratiques et de décisions d'agriculteurs individuels qui possèdent ou qui louent les terres agricoles.

La science du sol

La santé du sol

La santé du sol a des composantes physiques, chimiques et biologiques. La composante physique comprend la structure du sol et le déplacement de l'eau et de l'air à travers le sol. La composante chimique se rapporte à la disponibilité des éléments nutritifs et aux autres conditions de croissance des plantes (le pH, par exemple). La composante biologique fait référence aux organismes vivants et morts qui sont associés aux sols. Cette dernière composante suscite de nombreux processus du sol. L'évaluation de la santé du sol comprend la détermination d'indicateurs pour ces trois composantes :

- Physique : perte d'horizons des sols de surface, stabilité des agrégats, disponibilité des capacités en eau, densité apparente, encroûtement en surface, compactage souterrain;
- Chimique : pH, phosphore extractible, potassium extractible, éléments mineurs;
- Biologique : Diversité et abondance des organismes du sol, matière organique, carbone actif, azote minéralisable, santé des racines.

Les agrégats du sol et la stabilité des agrégats sont des concepts scientifiques importants, pour la santé du sol. Les agrégats du sol ou les « mottes » sont des groupes de particules du sol liées ensemble. La stabilité des agrégats, c'est la capacité des agrégats du sol à résister à la dégradation par l'érosion hydrique, l'érosion éolienne ou le compactage. Les organismes du sol sont particulièrement importants du fait qu'ils produisent des composés biologiques pour créer et maintenir la stabilité des agrégats (voir Ressources, page 40).

Érosion et préservation des sols

Le sol se forme au rythme d'environ trois tonnes de sol par acre par année (6,7 tonnes par hectare par année), et ces chiffres sont utilisés en tant que perte de sol tolérable dans la majeure partie de l'Amérique du Nord. De nombreux scientifiques remettent ces chiffres en question, soutenant qu'ils sont trop élevés.

Selon l'objectif sous-jacent, les terres agricoles ne devraient pas perdre plus de sol chaque année que la quantité qui est remplacée par les processus naturels. Ce seuil est établi au moyen d'une équation internationale standard.

Les changements climatiques causent des événements météorologiques plus intenses, en Ontario. Nos sols sont confrontés à un risque accru d'érosion en raison des pluies abondantes et des plus grandes possibilités de ruissellements en dehors de la saison de croissance. Par conséquent, il est encore plus essentiel que les agriculteurs s'adaptent à ces nouveaux climats extrêmes. Les taux d'érosion moyens entre mars et août ont augmenté de 10 à 20 % par décennie, au cours des dernières décennies. Une seule tempête de très forte intensité en été ou en hiver peut désormais expliquer 60 % de l'érosion annuelle.

La gestion des sols

Les pratiques de gestion optimales quant aux sols peuvent contribuer à préserver, soutenir et améliorer la santé des sols agricoles de l'Ontario. Afin d'assurer le plus d'avantages possible quant à la santé des sols, on devrait utiliser ces pratiques ensemble, dans le cadre d'une « approche systémique » de la gestion, plutôt qu'isolément. Ces pratiques de gestion optimales (PGO) suivent habituellement des principes clés, comme le fait de perturber le sol le moins possible et de garder le sol couvert en tout temps, de préférence avec des plantes vivantes et une diversité de plantes.

Voici quelques exemples de pratiques de gestion optimales en matière de sol :

- **Diverses rotations de cultures, y compris des cultures vivaces** : Le fait de faire pousser de multiples cultures en rotation pendant de nombreuses années aide à fabriquer de la matière organique, à améliorer la structure du sol, à diversifier le biote du sol, à réduire les pressions exercées par les parasites et à optimiser l'utilisation des éléments nutritifs. L'inclusion de cultures vivaces dans la rotation stimule considérablement la santé du sol.
- **Les pratiques agricoles avec travail réduit du sol ou sans labour et la gestion des résidus de culture** : Le fait de planter des cultures directement dans les résidus des cultures des années précédentes ou dans des bandes étroites avec moins de culture aide à réduire les perturbations du sol, favorise la stabilité des agrégats du sol et maintient les écosystèmes du sol.
- **Les cultures de couverture** : Ces cultures sont plantées au milieu des cultures commerciales ou après la récolte, surtout pour maintenir la couverture du sol qui protège le sol. Elles pourraient procurer certains avantages liés à la production. Le bétail peut parfois consommer des cultures de couverture; voilà donc un moyen de permettre l'intégration des cultures et du bétail sur les fermes.

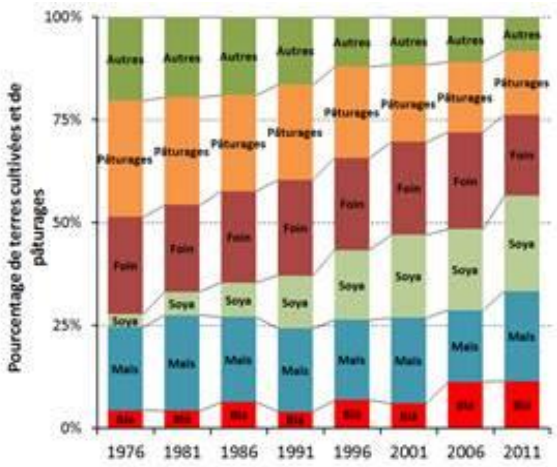
- **Les amendements organiques du sol (p. ex., le fumier, le compost)** : L'épandage de fumier, de compost ou d'autres matières organiques sur les sols aide à conserver et à fabriquer de la matière organique et à nourrir les écosystèmes du sol. Une meilleure intégration du bétail à la production de cultures peut procurer des sources de fumier en tant qu'amendement organique.
- **La réduction du compactage du sol** : Un poids réduit des essieux de la machinerie agricole, des pneus peu gonflés, un système de chenilles sur le matériel agricole en combinaison avec d'autres PGO peuvent réduire le compactage du sol.
- **Les mesures et les structures du contrôle de l'érosion** (p. ex., les bandes tampons, les rideaux d'arbres, les bermes, les bassins de captage des sédiments, la gestion du drainage) : Les mesures végétatives et structurelles peuvent contrôler la quantité, l'énergie et le mouvement de l'eau ou de l'air afin de réduire l'érosion.

En utilisant ces pratiques, on peut obtenir des avantages environnementaux : la réduction des ruissellements d'éléments nutritifs vers les Grands Lacs et les autres voies navigables, la réduction des émissions de gaz à effet de serre, et le renforcement de la résilience face aux changements climatiques.

Nous discuterons ci-après du statut de ces pratiques et des tendances relatives à leur adoption en Ontario.

L'évolution des cultures : Les cultures de l'Ontario ont changé, avec le temps (voir le diagramme, qui présente des données de Statistique Canada), tout comme partout dans le monde. Au cours des deux dernières décennies, la surface du soya s'est accrue jusqu'à ce que cette culture occupe la plupart des terres cultivables de l'Ontario, en 2011 (27 %). Cette croissance ressemble à celle du soya partout dans le monde. La surface du maïs s'est accrue au cours des décennies précédentes, dans les années 1960 à 1980. Le pourcentage des terres cultivables de l'Ontario dans les trois principales cultures annuelles a augmenté de 28 % en 1976 à 57 % en 2011, comme l'indique le graphique. Les tendances sont similaires dans les autres pays, en réaction à la demande du marché. Pendant de nombreuses décennies, les surfaces de foin et de pâturages ont diminué en raison de la diminution des troupeaux de bœufs et des troupeaux laitiers. La science a

L'évolution des cultures de l'Ontario de 1976 à 2011



démontré que les cultures vivaces comme le foin et les pâturages profitent de la santé du sol. En effet, on assiste alors à une diminution des perturbations ainsi qu'à une augmentation de la matière organique et de la stabilité des agrégats du sol.

Les cultures annuelles comme le soya et le maïs impliquent souvent du travail du sol ou de la culture avec des charrues ou d'autres matériels, à moins que l'on choisisse d'utiliser des pratiques agricoles sans labour. La science a démontré qu'un travail du sol excessif a des incidences négatives sur la santé du sol, réduisant la stabilité des agrégats, la matière organique et l'activité biologique dans le sol. La minimisation de la perturbation du sol est un principe de santé du sol.

Travail du sol : Pendant les années 1980 et 1990, de plus en plus de fermes de l'Ontario ont réduit l'intensité du travail du sol. En 2011, 33,1 % des terres étaient cultivées au moyen d'un ensemencement avec travail réduit du sol ou sans labour. Selon les rapports, on a effectué un travail du sol au printemps qui retenait la plupart des résidus de cultures sur la surface pour 29,8 % des terres cultivées. Finalement, selon les rapports, on a effectué un travail du sol au printemps où la plupart des résidus de cultures étaient labourés dans le sol pour 37,1 % des terres cultivées. Nous n'avons pas de bonnes statistiques sur le travail du sol à l'automne. Le travail du sol à l'automne – le sol étant ensuite laissé nu pendant l'hiver – provoque de l'érosion et des ruissellements. La plupart des observateurs croient que le travail du sol a augmenté au cours des dernières années, surtout pendant la récente période de prix élevés des produits agricoles (2007-2013). Mais nous manquons de données solides. Le processus décisionnel agricole, concernant le travail du sol, peut soulever des défis, selon le temps, les parasites, les maladies et d'autres facteurs.

La rotation des cultures : La rotation des cultures désigne le fait de faire pousser différentes cultures l'une après l'autre. Les rotations plus complexes avec plus de cultures au cours d'une période donnée sont généralement meilleures pour la santé du sol que les rotations plus simples. Le défi consiste souvent à trouver des cultures qui généreront des profits tous les ans, en les ajoutant à une rotation. En 2011, 66 % des agriculteurs de l'Ontario ont dit avoir utilisé certaines rotations de cultures. Les scientifiques agricoles croient que la rotation la plus courante, en Ontario, est une rotation limitée entre une culture de maïs et une culture de soya. La rotation entre le maïs, le soya et le blé est également courante. Moins de cultures dominent les terres cultivables de l'Ontario, aujourd'hui, par rapport aux décennies antérieures (voir le graphique, à la page précédente). Cette tendance ressemble aux tendances des autres parties du Canada et des États-Unis, quant aux rotations de cultures. Les rotations complexes soulèvent des défis quant à la gestion d'une plus grande variété de cultures ayant des besoins précis liés à la plantation, à la lutte antiparasitaire et à la récolte.

Les cultures de couverture : Les cultures de couverture sont plantées parmi les cultures commerciales à plusieurs fins, dont l'amélioration de la santé du sol. Les cultures de couverture peuvent couvrir le sol pendant l'hiver ou pousser entre les rangées de cultures commerciales pendant la saison de croissance. Les cultures de couverture ont un coût direct pour les agriculteurs, mais ont habituellement peu de valeur commerciale directe, sauf en tant qu'aliments pour le bétail, dans certaines circonstances.

Les chefs de file de l'Ontario en matière de gestion des sols

Bill et Earl Elgie (Dresden)

Photo : Conseil canadien de conservation des sols

La ferme mixte des Elgie (bouvillons, légumes, plantes de grande culture, sirop d'érable) a près de 700 acres de cultures de couverture (seigle, radis à graine oléagineuse, sarrasin et trèfle des prés). On achète le fumier à l'extérieur et on l'épand sur les champs au-delà de la ferme, pour préserver la santé du sol. Bill et Earl utilisent un système avec travail réduit du sol. En conséquence de ces pratiques, leur sol est très sain – ils ont besoin d'ajouter peu d'engrais minéral azoté.

Photo : Association pour l'amélioration des sols et des récoltes de l'Ontario

Les fermes Vollmershausen (Innerkip)

L'Association pour l'amélioration des sols et des récoltes de l'Ontario a décerné le prix Champion des sols 2016 à la famille Vollmershausen. Cette famille pratique l'agriculture près d'Innerkip, dans le comté d'Oxford, depuis six générations. « Notre objectif est la santé du sol. En tant qu'agriculteurs, nous sommes responsables de gérer les terres et de prendre soin du sol », affirme Tyler Vollmershausen au sujet de leurs efforts de préservation du sol qui comprennent du labour en bandes, du travail sans labour et des cultures de couverture. « Tout a commencé il y a plusieurs années, par une présentation d'un expert en matière de sols, docteure Jill Clapperton, qui nous a expliqué de quelle façon le travail du sol en automne détruit les populations de vers de terre. En une seule présentation, elle a complètement changé la façon dont nous voyions l'agriculture », admet Tyler.

Les avantages comprennent habituellement une amélioration de la production à long terme. Les agriculteurs de l'Ontario s'intéressent de plus en plus aux cultures de couverture. Selon les rapports, de 15 à 20 % des agriculteurs de l'Ontario ont utilisé des cultures de couverture, en 2011. Il peut être difficile de choisir des combinaisons gagnantes de cultures de couverture pour différentes cultures commerciales dans différents sols et lieux géographiques. Cela demande de la patience, des connaissances et de l'expérimentation.

Les amendements organiques du sol : L'ajout de matière organique au sol par l'entremise d'un amendement du sol comme le fumier ou le compost est une autre pratique importante pour maintenir et améliorer la santé du sol. Selon les rapports, environ 20 % des terres cultivées de l'Ontario ont reçu du fumier, en 2011. Le fumier, le compost et les autres amendements organiques ne sont pas toujours disponibles ou économiques dans tous les emplacements. La spécialisation agricole accrue quant au bétail ou aux cultures a souvent suscité la séparation des sources de fumier des terres cultivables ayant besoin d'amendements organiques.

Les mesures de contrôle de l'érosion : L'installation de rideaux d'arbres, de bandes tampons et de voies d'eau gazonnées aide à réduire le ravinement et à filtrer les ruissellements. Au cours des dernières années, on a retiré de nombreuses haies et de nombreux rideaux d'arbres, car de nombreux agriculteurs cherchaient à augmenter la surface de leurs cultures, en ces temps de prix plus élevés des produits agricoles. L'installation de bassins de captage et de sédimentation ainsi que le drainage contrôlé sont des mesures pouvant aider à gérer les ruissellements et le drainage afin de réduire les incidences négatives, lorsqu'on les utilise avec d'autres PGO. Le coût et la complexité de la mise en œuvre des mesures structurelles peuvent être importants.

La réduction du compactage du sol : Le sol compacté mène à une réduction des infiltrations d'eau, de la pénétration des racines et de la dégradation de la structure du sol. Il y a plus de risques de compactage parce que le matériel agricole est devenu plus gros et plus lourd, avec le temps. La réduction du poids des essieux de la machinerie utilisée pour une opération et l'utilisation de pneus moins gonflés ou de chenilles plutôt que de pneus peuvent réduire la force vers le bas, sur le sol.

Appuyer l'adoption de pratiques de gestion optimales (PGO) : Le MAAARO et d'autres partenaires utilisent divers outils pour aider les agriculteurs à adopter les PGO liées au sol, y compris l'évaluation des risques, la planification, l'éducation et les incitatifs. Le processus de planification environnementale à la ferme aide les agriculteurs à identifier les risques pour les sols et à choisir les PGO appropriées

pour régler les problèmes identifiés. Cultivons l'avenir 2 offre du financement pour la planification et la mise en œuvre de PGO liées au sol, comme les cultures de couverture et le contrôle de l'érosion. La nouvelle Initiative de gérance agroenvironnementale des Grands Lacs (IGAGL) offre également du soutien (conseils et planification) quant à des mesures pour la santé du sol par l'entremise du Farmland Health Checkup (bilan de santé des terres agricoles). L'IGAGL offre aussi du soutien financier pour l'adoption de toutes les grandes PGO liées au sol, pour les fermes des bassins versants du lac Érié et du lac Huron. Vous trouverez des renseignements sur les connaissances, l'éducation et les programmes de recherche connexes dans une section ultérieure (voir la page 38).

Le rôle possible de la matière organique du sol dans l'atténuation des changements climatiques

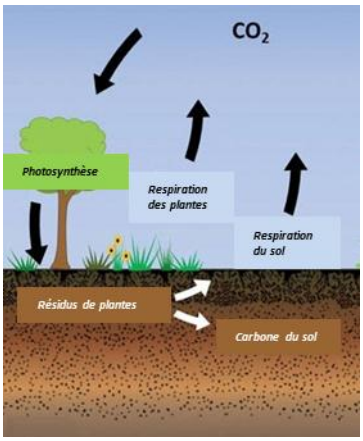
Le carbone qui se trouve dans la matière organique du sol provient du dioxyde de carbone (CO_2) de l'atmosphère. Les PGO décrites dans le présent document aident à fabriquer de la matière organique, et par conséquent, à retirer du carbone de l'atmosphère. Ce retrait peut contribuer à réduire le CO_2, l'un des gaz à effet de serre. La magnitude du potentiel de la matière organique du sol à faire ceci est un sujet de débats parmi les scientifiques. Certains croient que les sols pourraient absorber une grande partie des émissions de gaz à effet de serre du monde (voir Lal 2016 dans Ressources, page 40). D'autres croient que ce potentiel est plus limité (voir VandenBygaart 2016 dans Ressources). Ce qui est plus important, c'est que les mêmes PGO peuvent aussi réduire les émissions d'autres gaz à effet de serre (N_2O, CH_4). Le gouvernement de l'Ontario évalue la possibilité que les pratiques agricoles accroissent la matière organique du sol, et la faisabilité d'offrir des compensations durables pour les émissions de gaz à effet de serre dans le cadre d'un système de plafonnement et d'échange de droits d'émission. Peu importe, l'accroissement de la matière organique du sol présente de nombreux autres importants avantages économiques, environnementaux et sociaux.

On estime actuellement que la plupart des sols agricoles de l'Ontario (82 %) émettent du CO_2 dans l'atmosphère plutôt que d'augmenter le carbone du sol (Agriculture et Agroalimentaire Canada). Il faut d'abord éliminer ces émissions, avant de pouvoir retirer activement du carbone supplémentaire de l'atmosphère.

[1]Le carbone du sol fait partie du cycle du carbone, un processus biologique complexe qui est affecté par de nombreux facteurs (voir le diagramme). Le fait de beaucoup utiliser les pratiques susmentionnées – comme la rotation de cultures, les cultures de couverture, le

[1] Diagramme modifié de « Slowing Climate Change One Highway At A Time » de Doug Romig, Bill Dunn, Amy Estelle et Greg Heitmann, dans Public Roads 78 (4) 2015.

travail réduit du sol et les amendements organiques – confère un important potentiel de fabrication de matière organique du sol. Si de nombreux agriculteurs modifiaient considérablement leurs pratiques, le carbone du sol augmenterait et les émissions de tous les gaz à effet de serre diminueraient suffisamment pour compenser les autres sources d`émissions de gaz à effet de serre.



Il y a des limites biologiques à la quantité de carbone pouvant être incorporée et maintenue dans les sols agricoles, parce qu'on parvient un jour à l'équilibre. Le potentiel d'accroissement de la matière organique du sol varie également en fonction de la géographie, du climat et du type d'écosystème. Par exemple, les forêts et les terres de graminées vivaces (comme les pâturages) ont généralement des niveaux plus élevés de matière organique du sol que les terres cultivées. Le climat humide de l'Ontario augmente le taux de décomposition de la matière organique dans le CO_2, par rapport aux climats plus secs. En revanche, on estime actuellement que le carbone organique des sols agricoles des provinces plus sèches des Prairies s'accroît.

À long terme, on peut faire beaucoup plus pour arrêter et renverser la tendance actuelle de diminution de la matière organique du sol, dans les sols agricoles de l'Ontario. L'augmentation de la matière organique dans les sols agricoles est un moyen de réduire les émissions de gaz à effet de serre de l'Ontario tout en améliorant la santé des sols.

Les renseignements sur les sols et la cartographie des sols

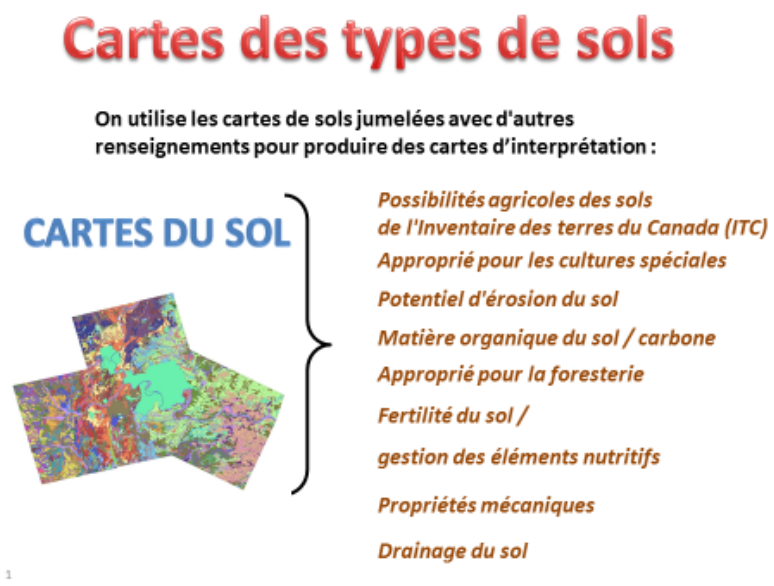
Les renseignements sur les sols prennent de nombreuses formes. Les agriculteurs et leurs conseillers collectent des échantillons de sol afin d'en analyser les éléments nutritifs, la matière organique et les autres paramètres du sol qui sont importants pour la production de cultures. Les méthodes d'agriculture propres au site combinent des PGO et des technologies de soutien à une machinerie agricole moderne pour recueillir des renseignements très détaillés sur les récoltes, l'humidité et le lieu géographique précis. Ces données permettent de produire une carte de rendement très détaillée. On peut l'utiliser pour épandre correctement les éléments nutritifs en fonction des caractéristiques du sol et du rendement prévu de la prochaine récolte.

La quantité de données recueillie augmente très rapidement puisque les innovations technologiques rendent les données sur les sols immédiatement disponibles par l'entremise des ordinateurs de bord, des téléphones intelligents et des tablettes. Les

agriculteurs sont poussés par la concurrence à adopter ces technologies pour devenir plus efficaces. On peut également utiliser ces nouvelles technologies pour obtenir des avantages environnementaux, comme une utilisation plus efficiente et plus efficace des engrais et des pesticides.

Depuis de nombreuses décennies, les agriculteurs et les scientifiques prennent des échantillons de sol et les analysent en laboratoire pour avoir de l'information sur les éléments nutritifs (p. ex., le phosphore, le potassium, le magnésium, le zinc, le manganèse), sur la matière organique, sur l'acidité du sol (pH), et parfois, sur d'autres paramètres. Les agriculteurs analysent habituellement leurs champs à quelques années d'intervalle. Les scientifiques et les experts-conseils peuvent recueillir des échantillons de façon continue ou juste pour une étude en particulier.

Des dizaines de milliers de résultats d'analyses d'échantillons de sols existent partout en Ontario, certains en format numérique et d'autres seulement sur papier. Cette abondance de données n'est pas offerte à des fins d'analyse par les organismes agricoles, les universités ou les gouvernements. Il pourrait y avoir des problèmes de confidentialité à l'égard des échantillons qui proviennent d'organismes privés. Mais même les milliers d'échantillons financés par le gouvernement ne sont pas centralisés ni offerts à des fins d'analyse. L'analyse de ces données faciliterait la surveillance de la santé des sols et de la matière organique du sol.



Les inventaires des sols, la classification et les cartes constituent d'autres formes clés de données sur les sols. Les agronomes pédologues classent les sols en catégories en fonction des types d'horizons de sols qu'ils trouvent, des caractéristiques liées au profil du sol et des principaux attributs du paysage. Ces catégories sont déterminées par les origines du sol, son contenu minéral et organique, sa texture (sable, limon, argile), sa classe de drainage, sa profondeur et sa

position dans le paysage (collines, vallées, etc.).

Les scientifiques ont décrit, échantillonné, classifié et cartographié des sols dans l'ensemble du sud et dans certaines parties du nord de l'Ontario. Les inventaires et la cartographie des sols ont commencé en Ontario il y a plus de 100 ans et se poursuivent par la collaboration des gouvernements fédéral et provinciaux ainsi qu'à l'Université de Guelph. On a mis à jour certaines cartes à plusieurs reprises, tandis que d'autres ont été mises à jour de temps en temps.
On peut interpréter les renseignements sur les sols à différentes fins, pour répondre à la question « Quelle est l'utilité des sols? » On peut le faire pour un vaste éventail d'utilisations, dont l'aptitude agronomique générale, les formes de dégradation (p. ex., l'érosion), l'ingénierie, la mécanique des sols, le drainage des terres, la foresterie et les fosses septiques (voir le diagramme ci-dessus).

La classification de l'Inventaire des terres du Canada (ITC) est l'une des formes d'interprétation les plus souvent utilisées, pour l'aptitude agronomique. Les sols sont classés en cartes d'aptitudes agronomiques présentant les classes de terre agricole 1 à 7. Les classes 1 à 3 sont des terres agricoles à fort rendement et bénéficient d'une plus grande protection par les politiques d'aménagement du territoire de l'Ontario (p. ex., la Déclaration de principes provinciale en vertu de la *Loi sur l'aménagement du territoire*). Ces inventaires et cartes des sols orientent la planification de l'aménagement du territoire pour que les terres agricoles soient protégées à long terme. On les utilise également pour évaluer les emplacements des installations de protection des eaux et d'énergie verte.

Les satellites et les radars transforment également la façon dont on crée les cartes et les inventaires des sols. D'autres territoires comme les États-Unis, l'Europe et l'Australie mettent à jour et modernisent leurs inventaires de sols au moyen de ces nouvelles technologies. De plus, on peut réduire les incidences environnementales de l'érosion des sols en utilisant ces technologies.

Au MAAARO, les cartes et les inventaires de ressources de sols qui sont des« legs » (plus anciens) ont presque tous été numérisés, mais il y a d'importantes lacunes et insuffisances. Bien qu'il y ait des données considérables sur les attributs des sols de l'ensemble de l'Ontario, seule une petite fraction de celles-ci est en format numérique. Actuellement, l'Ontario bénéficie d'une couverture limitée de l'utilisation des terres agricoles et des types de cultures par un système d'information géographique (SIG). Bien qu'il y ait des données altimétriques numériques (des renseignements topographiques dérivés d'un radar), elles ne se rapportent qu'à des régions limitées. Le portail Web Agri Cartes du MAAARO (voir Ressources, page 40) fournit des cartes aux clients et leur permet de créer les cartes dont ils ont besoin. La fonctionnalité d'Agri Cartes et la quantité de données auxquelles il a accès augmentent et s'améliorent continuellement.

L'Ontario effectue déjà des changements afin d'évoluer et d'être plus stratégique, efficace et précis dans ses renseignements sur les sols et sa cartographie. Le 23 avril 2016, l'Ontario et le Canada annonçaient un financement de 5,1 millions de dollars pour des activités provinciales de cartographie des sols au moyen d'un éventail de nouvelles technologies, dont la détection et la télémétrie par ondes lumineuses ou LIDAR, la télédétection, les outils et le logiciel spécialisé du système d'information géographique (voir Ressources, page 40).

La surveillance et la modélisation des sols

Comment peut-on dire si la santé du sol s'améliore ou pas? Comment peut-on savoir s'il y a plus ou moins d'érosion? La matière organique du sol diminue-t-elle ou augmente-t-elle? Ces questions, les agriculteurs, les agents de protection de la nature et les gouvernements du monde entier les posent depuis des années.

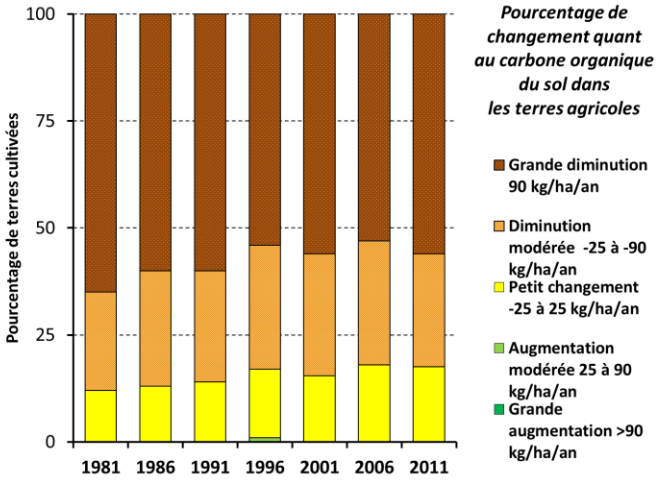
Les agriculteurs veulent savoir si la santé, la fertilité et l'érosion des sols s'améliorent ou empirent, pour chacun de leurs champs. Les organismes agricoles, les offices de protection de la nature et les gouvernements veulent savoir si des changements positifs ou négatifs se produisent dans les sols de l'ensemble du paysage, du bassin versant ou de la province. La mesure de la santé et de l'érosion du sol d'un champ agricole individuel et celle d'une province entière sont des tâches différentes qui nécessitent différentes approches. Finalement, tout le monde veut savoir quelles pratiques de gestion susciteront une amélioration de la santé des sols.

Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) a développé des indicateurs agroenvironnementaux pour évaluer les changements relatifs au carbone du sol, au risque d'érosion du sol et à d'autres facteurs (voir la case de la page suivante). Dans l'ensemble, ces indicateurs suggèrent que la santé des sols et les risques d'érosion ne s'améliorent pas, en Ontario.

Tendances quant au carbone organique du sol et aux risques d'érosion dans les sols agricoles de l'Ontario

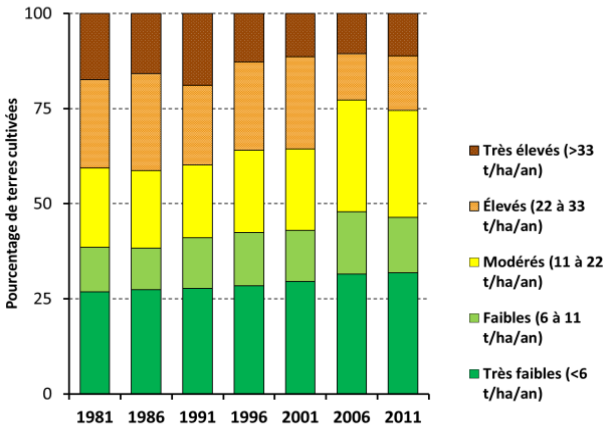
Le carbone organique du sol est connu pour être un facteur important de la santé du sol. Au moyen de sources comme le recensement de l'agriculture qui est effectué tous les cinq ans, l'indicateur agroenvironnemental d'AAC évalue les changements relatifs au carbone organique du sol en fonction des changements quant aux récoltes et aux pratiques agricoles, avec le temps. Les terres cultivées de l'Ontario sont de plus en plus dominées par des cultures annuelles avec divers degrés de travail du sol, de rotations de cultures et d'autres pratiques affectant le carbone du sol, comme nous l'avons indiqué précédemment. Par conséquent, selon les estimations, le carbone organique du sol diminue dans de nombreuses parties de l'Ontario (82 % des terres cultivées) (voir le graphique ci-dessus).

L'évolution du carbone organique du sol dans les terres cultivées



Les scientifiques d'AAC estiment également les risques d'érosion (voir le graphique de gauche). Ils utilisent ces renseignements à l'égard des récoltes, des pratiques agricoles, des caractéristiques du sol et des possibilités d'érosion. Les nombreux sols sablonneux et vaseux de l'Ontario présentent généralement un risque d'érosion plus élevé. En raison de ces facteurs et d'autres facteurs, on estime que 54 % des terres cultivées de l'Ontario ont un risque d'érosion supérieur au taux annuel de régénération du sol. On indiquait certaines améliorations entre 1981 et 2006, dans une proportion plus faible de terres cultivées, dans les catégories de risques plus élevés. Mais cette tendance à l'amélioration ne s'est pas poursuivie en 2011 (voir toutes les données d'Agriculture et Agroalimentaire Canada).

Risques d'érosion sur les terres cultivées



On offre différentes analyses et méthodes aux agriculteurs pour évaluer la santé, la fertilité et l'érosion du sol sur leurs terres. On effectue régulièrement des analyses du sol pour en examiner la fertilité et la matière organique. On élabore de nouvelles analyses pour examiner un plus vaste éventail d'indicateurs de la santé du sol, en Ontario (p. ex., la Soil Health Assessment et le Cornell Soil Health Test sont adaptés à l'Ontario – voir la case). Il existe des outils pour évaluer l'érosion au niveau du champ (p. ex., l'équation universelle des pertes en terre révisée).

L'analyse de la santé du sol à la ferme est adaptée à l'Ontario

On a besoin d'une méthode à la ferme pour évaluer la santé des sols champ par champ. Adam Hayes et Anne Verhallen, des spécialistes du sol du MAAARO, ont travaillé avec des chercheurs (Laura Van Eerd, David Hooker et Bill Deen, à l'Université de Guelph) et les chercheurs d'AAC Ed Gregorich, Craig Drury et Ron Beyaert, afin d'affiner une analyse de la santé du sol et de l'adapter aux conditions de l'Ontario. Actuellement, les indicateurs pour évaluer la stabilité des agrégats, l'azote minéralisable et la matière organique du sol semblent prometteurs.

On dit souvent qu'« il est impossible de gérer ce que l'on ne peut pas mesurer. » Cette maxime souligne la nécessité de surveiller ce qui se passe sur les sols agricoles de l'Ontario et d'utiliser les données existantes à des fins de modélisation mathématique, pour fournir des prédictions éprouvées quant à la façon dont certaines pratiques agricoles affecteront les sols, à l'avenir. L'évaluation de la santé du sol et la modélisation de l'érosion du sol sont deux nécessités cruciales, puisqu'elles contribuent aux recommandations que fait le MAAARO aux producteurs, pour la gestion des sols.

La surveillance des sols de l'Ontario présente plusieurs lacunes et soulève plusieurs défis :

- Nous pouvons adapter les nouveaux outils de modélisation de nos voisins des États-Unis, mais nous avons besoin de meilleures données pour utiliser ces modèles.
- Nous avons atteint les limites des données existantes sur les ressources en terrains de l'Ontario; elles sont insuffisantes pour répondre aux besoins des gouvernements et des clients.
- Il est impossible de répondre aux questions que l'on se pose aujourd'hui sur les sols de l'Ontario au moyen de ces données plus anciennes.
- Les données sur les pratiques de gestion des sols par les agriculteurs à l'échelle du champ sont limitées.

- Il est évident que l'on a de plus en plus besoin d'une analyse de la santé du sol à la ferme qui alimenterait également une base de données sur la santé des sols de l'Ontario à des fins de surveillance.
- En tandem, on a également besoin d'outils pour planifier la santé des sols à la ferme qui alimenteraient aussi la base de données sur la santé des sols.

Les connaissances sur les sols et l'innovation

Les connaissances sur les sols, y compris la recherche, sont cruciales pour la réussite de la gestion de la santé et de l'érosion des sols, tant au niveau de la ferme que dans l'ensemble de l'Ontario. Au cours des deux dernières décennies, le nombre de spécialistes offrant des conseils en matière de science du sol et de gestion du sol a diminué, dans le secteur public. D'autres priorités importantes ont orienté les décisions liées à la dotation en personnel du gouvernement et des organismes, ainsi que la planification de leur travail. Les choses ont commencé à changer en réaction à la reconnaissance du besoin permanent d'offrir des services afin de contribuer au maintien de la santé des sols.

Dans les universités du monde entier, on a mis de moins en moins l'accent sur la science du sol. Un certain nombre d'universités et de collèges de l'Ontario offrent une formation de base en science du sol, et l'Université de Guelph offre des cours plus approfondis. Les universités et collèges de l'Ontario ont une capacité limitée d'offrir certains types de formations techniques en matière de science du sol, tandis que les universités de l'Ouest canadien continuent d'offrir des formations clés en matière de sols.

Des sondages réalisés auprès d'étudiants démontrent une baisse importante du nombre d'étudiants de premier cycle et de diplômés en science du sol, aux É.-U. et au Canada. Certains prétendent que c'est parce que les noms des établissements et des programmes sont devenus plus généralisés (p. ex., sciences environnementales, sciences de la terre ou d'autres noms semblables, plutôt que science du sol). Les capacités liées à la science du sol au sein de l'agroentreprise et du secteur de la consultation sont moins bien documentées, mais il semblerait que nous assistons ici aussi à une baisse des capacités.

Les programmes d'éducation et de transfert des technologies encouragent les agriculteurs à adopter une gamme de pratiques en matière de gestion des sols et de réduction de l'érosion du sol. Les connaissances sont diffusées par l'entremise de nombreux médiums, p. ex., des ateliers et la série de livrets sur les pratiques de gestion optimales préparée par le MAAARO et ses partenaires (voir Ressources, page 40). Le MAAARO et ses partenaires développent également divers produits d'information pour aider les agriculteurs à gérer les sols et ils les mettent continuellement à jour pour rendre compte des changements industriels et technologiques.

Les services et les connaissances sur les sols qui sont mis à la disposition des agriculteurs ont changé, au cours des deux dernières décennies. Le gouvernement offre moins de services de vulgarisation et d'éducation par contact personnel direct. Il offre plus de renseignements par l'entremise de sites Web, des médias sociaux, d'ateliers et d'autres médiums.

La plupart des efforts de vulgarisation du gouvernement consistent désormais à offrir des formations aux employés des agroentreprises, afin que les agroentreprises puissent donner des conseils plus directs aux agriculteurs. Les organismes agricoles jouent également un rôle clé en donnant des renseignements et en travaillant en partenariat avec le gouvernement dans le but de donner des renseignements aux agriculteurs. Par exemple, l'Association pour l'amélioration des sols et des récoltes de l'Ontario et Farm and Food Care travaillent avec le MAAARO et les offices de protection de la nature afin d'offrir des ateliers sur la santé des sols aux agriculteurs.

Le MAAARO collabore avec des chercheurs agricoles en vue d'accroître les connaissances et d'améliorer l'orientation vers les pratiques de gestion optimales liées à la gestion des sols. Il existe une relation de travail particulièrement étroite entre le MAAARO, Agriculture et Agroalimentaire Canada et l'Université de Guelph, chacun contribuant financièrement au progrès des recherches sur la santé et la préservation des sols. Les organismes agricoles participent également aux recherches, notamment les Grain Farmers of Ontario et l'Association pour l'amélioration des sols et des récoltes de l'Ontario.

L'avenir de la santé et de la préservation des sols agricoles de l'Ontario dépend de la dissémination continue et opportune des connaissances sur les sols et du transfert des technologies aux utilisateurs finals. Pourtant, en Ontario, au cours des 25 dernières années, on a assisté à une diminution graduelle de nos capacités d'éducation et de formation en matière de sols, ainsi que de l'expertise du secteur public en matière de science du sol.

Rappel : commentaires et contributions

Le MAAARO et le groupe de travail ont hâte de recevoir les commentaires de tous sur l'ébauche de vision, de buts et d'objectifs (pages 13-17) et les réponses aux questions à débattre (page 19).

Veuillez formuler vos commentaires sur le site Web du MAAARO, dans le Registre environnemental ou à l'adresse de courriel soilhealth@ontario.ca.

Ressources

Agriculture et Agroalimentaire Canada. 2016. L'agriculture écologiquement durable au Canada : Série sur les indicateurs agroenvironnementaux, Rapport nº 4.

Agriculture et Agroalimentaire Canada. 2010. L'agriculture écologiquement durable au Canada : Série sur les indicateurs agroenvironnementaux, Rapport nº 3 http://publications.gc.ca/collections/collection_2011/agr/A22-201-2010-fra.pdf

Agriculture et Agroalimentaire Canada. 1995. La santé de nos sols : vers une agriculture durable au Canada. D.F. Acton and L.J. Gregorich (dir. de publ.) http://sis.agr.gc.ca/siscan/publications/manuals/1995-health/index.html

Agriculture et Agroalimentaire Canada, Service d'information sur les sols du Canada http://sis.agr.gc.ca/siscan/

Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. 2015. État des ressources en sols dans le monde. http://www.fao.org/news/story/fr/item/357221/icode/

Lal, Rattan. 2016. Beyond COP21: Potential and challenges of the "4 per Thousand" initiative. Journal of Soil and Water Conservation 71(1) : 20A-25A http://www.jswconline.org/content/71/1/20A.extract

Le Gouvernement de la France, Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt. 2015. 4 pour 1000. Les sols pour la sécurité alimentaire et le climat. http://4p1000.org/

Ressources Web sur les sols du ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario (MAAARO) http://www.omafra.gov.on.ca/french/landuse/soils.htm

Agri Cartes, ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario http://www.omafra.gov.on.ca/french/landuse/gis/portal.htm

Livrets Pratiques de gestion optimales, ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario http://www.omafra.gov.on.ca/french/environment/bmp_books.htm

Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario, « L'Ontario actualise les cartes des sols pour soutenir les travaux de gérance environnementale des agriculteurs. Les nouvelles données vont faciliter la planification agricole et les initiatives environnementales », 23 avril 2016. https://news.ontario.ca/omafra/fr/2016/04/lontario-actualise-les-cartes-des-sols-pour-soutenir-les-travaux-de-gerance-environnementale-des-agr.html

Sustainable Agriculture Research and Education. 2009. Building Soil for Better Crops, 3e édition. Fred Magdoff et Harold van Es.

http://www.sare.org/content/download/841/6675/file/Building%20Soils%20For%20Better%20Crops.pdf

United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. Soil Health web resources : http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/national/soils/health/

United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. 2012. Farming in the 21st Century –a practical approach to improve soil health. www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE.../nrcs144p2_030943.pdf

United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service. 2002. Glomalin –Hiding Place for a Third of the World's Stored Soil Carbon. Agricultural Research Magazine, septembre 2002. http://agresearchmag.ars.usda.gov/2002/sep/soil

VandenBygaart, A.J. 2016. The myth that no-till can mitigate global climate change. Agriculture, Ecosystems and Environment 216 : 98–99. http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880915300797