



Qu'y a-t-il... sous nos pieds?

Ressource complémentaire d'Envirothon Ontarien

La présente ressource a été élaborée en partenariat
avec la Société canadienne de la science du sol.



Remerciements

Forêts Ontario tient à remercier la Société canadienne de la science du sol (SCSS) pour son apport pendant la préparation du présent document.

La SCSS est un organisme non gouvernemental sans but lucratif pour les scientifiques, les ingénieurs, les technologues, les administrateurs et les étudiants du domaine professionnel de la science du sol. Elle a pour objet de promouvoir la discipline de la science du sol au Canada et de veiller à sa pérennité dans l'avenir. Elle travaille à la réalisation de cet objectif :

- en favorisant l'utilisation intelligente du sol pour en faire profiter l'ensemble de la population;
- en favorisant l'échange d'information et de technologie dans le milieu professionnel de la science du sol;
- en favorisant l'intégration des étudiants dans le milieu professionnel de la science du sol;
- en établissant un lien entre les scientifiques en science du sol, les secteurs public et privé et le milieu universitaire;
- en publiant des travaux de recherche et en favorisant l'application pratique des conclusions de la recherche;
- en représentant le milieu canadien de la science du sol auprès d'organisations et dans les rencontres internationales;
- en soulignant les réalisations des scientifiques canadiens en science du sol.

Table des matières

SECTION 1 – Initiation au sol	8
Qu'est-ce que le sol?	8
D'où vient le sol?	9
Pourquoi le sol est-il important?	11
Menaces pour le sol	11
SECTION 2 – Caractéristiques des sols	14
Couleur du sol	14
Nuancier de Munsell : description des couleurs du sol	15
Composition et couleur du sol	15
Interprétation de la couleur du sol	16
Effet de la matière organique sur la couleur du sol	17
Texture du sol	18
Activités pédagogiques	19
Activité 1 : Déterminer la couleur du sol	19
Activité 2 : Déterminer la texture du sol	19
SECTION 3 – Classification des sols au Canada	21
Ordre brunisolique	21
Ordre chernozémique	22
Ordre cryosolique	23
Ordre gleysolique	24
Ordre luvisolique	25
Ordre organique	28
Ordre podzolique	29
Ordre régosolique	31
Ordre solonetzique	32
Ordre vertisolique	34

Comparaison des systèmes de classification des sols du Canada et des États-Unis	35
Horizonation	35
Corrélation des ordres de sols	36
SECTION 4 – Sols, utilisation du sol et espèces envahissantes	37
Vers de terre envahissants en Amérique du Nord	37
Questions à approfondir	38
Ravageurs terricoles des cultures	38
Les nématodes et le réseau trophique du sol	38
Étude de cas : Une invasion de nématodes!	40
Questions à approfondir	42
Maladies fongiques, bactériennes et virales	43
Insectes envahisseurs des forêts	43
Étude de cas : L'agrile du frêne dans les forêts riveraines	45
Activités pédagogiques : Gestion de l'agrile du frêne	45
SECTION 5 – Sols, utilisation du sol et changement climatique	48
Changement climatique	48
Cycle mondial du carbone	49
Questions à approfondir	49
Le climat, facteur important de la formation du sol	50
Effets des précipitations, de la température et du vent sur la formation du sol	51
Précipitations	51
Température	51
Vent	52
Le sol en tant qu'élément du climat changeant	52
Questions à approfondir	54
Rôle du sol dans le cycle du carbone	55
Bassins de carbone	55
Flux de carbone	55

Ajouts	56
Pertes	56
Bilan de carbone	57
Bilans de carbone dans l'hémisphère Nord	57
Questions à approfondir	58
SECTION 6 – La conversion des terres et ses effets sur le carbone du sol	59
Matière organique du sol et conversion des terres	59
Conversion des terres forestières	59
Conversion des prairies	60
Restitution de la matière organique du sol	62
Questions à approfondir	64
Glossaire	66
Bibliographie	69

SECTION 1 Initiation au sol

Préparé par Daryl Degasse

Qu'est-ce que le sol?

Tout le monde sait plus ou moins ce qu'est le sol, mais on peut lui donner de nombreuses définitions, selon qui en parle et l'usage qu'on veut en faire.

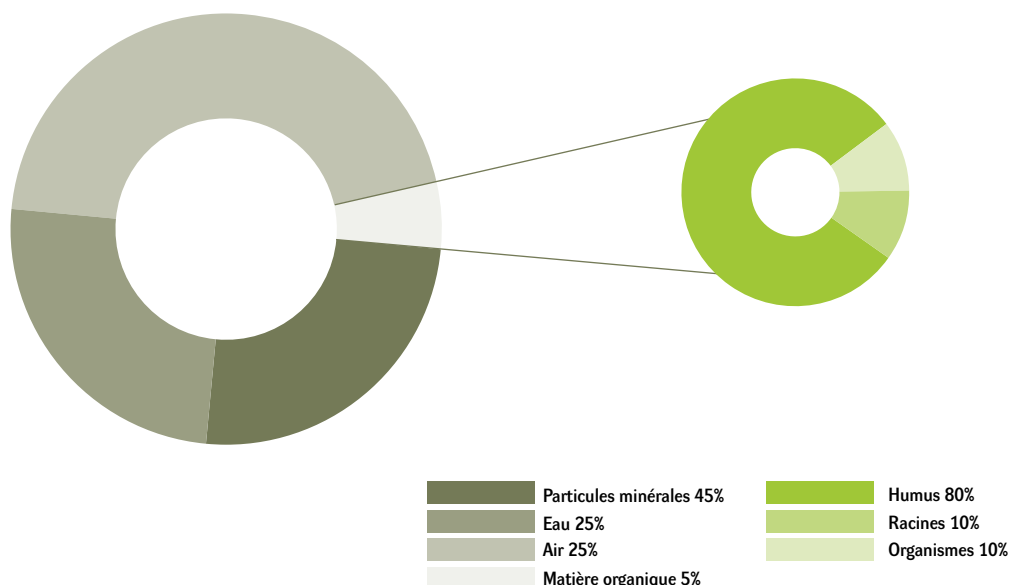
- Le pédologue étudie l'évolution et la fonction des sols.
- L'agronome étudie la capacité des sols à produire différentes cultures.
- Le géomorphologue étudie les paysages et cherche à en comprendre l'évolution.
- L'ingénieur étudie l'aptitude des sols à supporter des structures telles que des routes et des immeubles.

Selon la définition donnée dans le Système canadien de classification des sols, 3^e édition, le sol est « un matériau minéral ou organique non consolidé, d'au moins 10 cm d'épaisseur, qui se trouve naturellement à la surface de la terre, capable de supporter la croissance des plantes ». La profondeur moyenne du sol atteint près d'un mètre, ce qui est infime comparativement au diamètre de la Terre (~6,3 millions de mètres). On pourrait donc dire que le sol est l'épiderme de la Terre.

Le sol est aussi un milieu poreux comme une éponge, qui contient à la fois :

- des matières solides, soit les particules qui composent le squelette du sol, notamment :
 - des minéraux en grains,
 - des matières organiques (vivantes et mortes);
- des interstices, ou espaces vides entre les particules solides, qui contiennent :
 - des liquides (« eau »),
 - des gaz (« air »)

En règle générale, ces éléments sont présents dans les proportions suivantes :



(Source : <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/10t.html>)

D'où vient le sol?

On considère que le sol est constitué sur un matériau parental (un des facteurs formateurs du sol). On pense souvent que le matériau parental est un matériau meuble et météorisé qui provient de l'assise rocheuse sous-jacente, mais ce n'est pas toujours le cas au Canada, où le matériau parental se compose en majeure partie de sédiments déposés lors de la glaciation.

Les glaciers ont abrasé et broyé l'assise rocheuse sous-jacente, et la matière ainsi pulvérisée a été transportée et déposée (fig. 1), puis remaniée sous l'action de l'eau et du vent. Les dépôts qui en ont résulté renferment des matériaux de toutes tailles, du grain de sable jusqu'au bloc rocheux en passant par le limon et l'argile, qui constituent le matériau parental sur lequel sont aujourd'hui formés les sols (fig. 2). On trouve donc des sols qui, même s'ils sont présents dans des régions géologiquement uniformes, sont nettement distincts parce qu'ils proviennent de différents reliefs glaciaires tels que des drumlins, des eskers, des moraines et des chenaux marginaux.

FIGURE 1. *Un glacier au Groenland. On peut remarquer les rayures foncées représentant le matériau érodé qui est incorporé à la glace glaciaire. Photo : Daryl Dagasse*

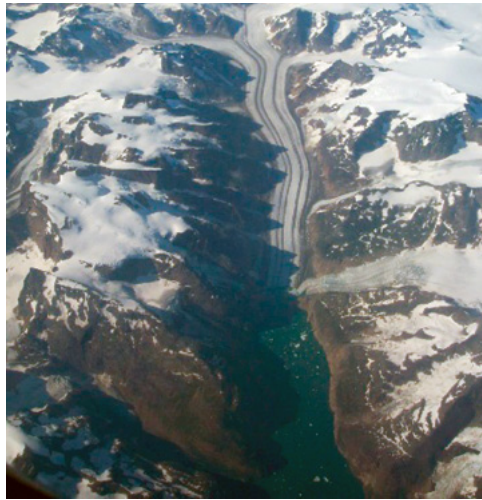


FIGURE 2. *Dépôt glaciaire dans un esker près d'Omeemee, en Ontario. La grosseur des grains varie du sable fin jusqu'aux blocs rocheux. Le carnet de notes indique l'échelle. Photo : Daryl Dagasse*



Le sol témoigne des effets de certains facteurs environnementaux qui sont résumés dans ce qu'on appelle l'équation CLORPT (équation pédogénétique), selon laquelle :

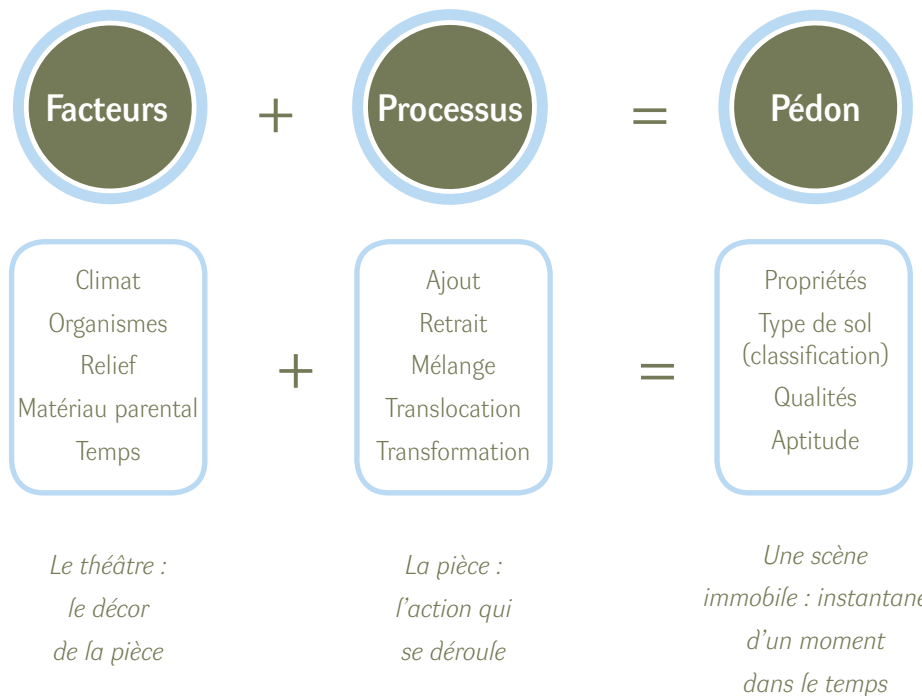
- *CL* représente les effets climatiques, y compris l'eau et la température;
- *O* représente les macroorganismes et les microorganismes;
- *R* représente le relief du paysage;
- *P* représente les effets du matériau parental sur lequel le sol se forme;
- *T* représente la période de temps pendant laquelle le sol se forme.

Le sol est également modifié par un ensemble de processus naturels, par exemple :

- *des ajouts*, y compris des feuilles mortes et de la poussière portée par le vent;
- *des suppressions*, y compris la perte de matière organique par la décomposition, ou la sédimentation par l'érosion;
- *des mélanges* notamment causés par des animaux fouisseurs ou par le soulèvement dû au gel;
- *des translocations* notamment causées par l'entraînement de fines particules de sol vers le bas;
- *des transformations*, comme la décomposition de matière organique.

Ensemble, ces facteurs et processus exercent une action sur le développement du sol visible.

Formation du sol : Facteurs et processus



(d'après Hutchinson, 1965)

Pour en savoir davantage, consulter la **section 2 : Caractéristiques des sols**.

Pourquoi le sol est-il important?

Le sol accomplit de nombreuses fonctions essentielles dans presque tous les écosystèmes (qu'il s'agisse d'une ferme, d'une forêt, d'une prairie, d'un marais, d'un bassin versant suburbain ou d'un milieu urbain). Voici quelques-uns des rôles du sol :

- Il sert de milieu de croissance à toutes sortes de plantes, y compris les cultures agricoles qui nourrissent la population mondiale, en constituant à la fois un support physique et physiologique. Environ 95 % de tous nos approvisionnements alimentaires proviennent du sol.
- Il modifie l'atmosphère en émettant et en absorbant des gaz. On mentionne souvent le dioxyde de carbone comme un important gaz à effet de serre. Or, on s'étonne souvent d'apprendre que le sol contient plus de carbone organique que la litière végétale et l'atmosphère pris ensemble. Le méthane et la vapeur d'eau sont d'autres gaz à effet de serre importants qui sont associés au sol. Pour en savoir davantage, consulter le plan de leçon de la **section 5 : Sols, utilisation du sol et changement climatique**.
- Il fournit un habitat aux animaux vivant dans la terre (par exemple les marmottes et les souris) ainsi qu'aux microorganismes (par exemples les bactéries et les champignons), qui représentent la majeure partie des êtres vivants de la planète. Les sols représentent environ un quart de la biodiversité totale de la planète. On compte davantage d'organismes dans une seule cuillère à soupe de sol sain que d'habitants sur la Terre.
- Le sol absorbe, retient, libère, modifie et purifie la majeure partie de l'eau des systèmes terrestres, et sert donc de filtre vivant pour assainir l'eau avant qu'elle pénètre dans un aquifère.
- Il transforme les nutriments recyclés, notamment le carbone, l'azote et le phosphore, pour que les êtres vivants puissent les utiliser encore et encore.
- Il sert de milieu technique pour la construction de fondations d'immeubles, de plateformes de routes, de barrages et d'autres structures.
- Il préserve ou détruit les objets de fabrication humaine que les archéologues étudient.

Menaces pour le sol

Le sol est l'une des ressources les plus cruciales de la Terre. En fait, aucune vie ne serait possible sans cet élément. Cependant, le sol et les rôles critiques qu'il joue sont souvent méconnus. Le sol est une ressource renouvelable, mais il est fréquemment épuisé par l'érosion et la dégradation qui agissent plus rapidement que les processus naturels pouvant régénérer le sol. La formation de quelques centimètres de sol peut prendre des milliers d'années, alors que l'érosion mondiale atteint environ 3,4 tonnes par personne et par an. Cela représente des dizaines de milliards de tonnes de sol par an, soit à peu près la superficie de la Nouvelle-Écosse. Le sol fertile peut donc être considéré comme non renouvelable sur une échelle de temps humaine.

FIGURE 3. Érosion du sol par écoulement fluvial dans un champ agricole. Photo : Daryl Dagasse



La détérioration du sol tient non seulement à l'érosion (fig. 3), mais aussi à une foule d'autres processus. Pour nourrir une population mondiale dépassant les sept milliards d'habitants, plus de 35 % de la zone libre de glace est consacrée à l'agriculture, et la planète en paie le prix. Le processus de défrichage de la végétation naturelle augmente l'érosion, réduit le carbone organique du sol, épuise les nutriments essentiels et provoque la saturation du sol par l'eau, l'acidification, la salinisation et la réduction de la biodiversité. Selon une estimation de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), environ un tiers des sols de la planète sont moyennement à très dégradés (<http://www.fao.org/global-soil-partnership/fr/>).

Le processus d'urbanisation nécessaire pour loger la population mondiale croissante exerce aussi des effets néfastes. La construction et le pavage au béton et à l'asphalte entraînent le colmatage et la compaction de la surface (fig. 4). De plus, les procédés industriels peuvent contaminer le sol à cause des métaux lourds et d'autres polluants chimiques.

FIGURE 4. Une bande riveraine ou zone tampon de végétation naturelle longe un cours d'eau pour empêcher le sol érodé des champs adjacents d'atteindre l'eau. On remarque aussi que le labour suit les courbes de niveau et a été fait en travers de la pente plutôt que de haut en bas.

Photo : Daryl Dagasse



FIGURE 5. L'urbanisation, y compris les immeubles et les autoroutes, empêche les processus naturels à la surface du sol et fait obstacle à la production agricole.

Photo : Daryl Dagasse



Il est cependant possible d'atténuer ces menaces en adoptant des stratégies de gestion durable du sol. On peut limiter l'érosion en réduisant au minimum le travail du sol et en répandant des résidus de culture pour éviter d'exposer la surface aux effets du vent et de l'eau. On peut également pratiquer la culture en courbes de niveau sur les pentes et incorporer des bandes tampons végétales (bandes riveraines) qui empêcheront le sol érodé de glisser dans les cours d'eau (fig. 5). Les ajouts de résidus de culture et d'autres matières organiques dans le sol peuvent réduire les déséquilibres nutritifs et favoriser la flore microbienne dans un sol sain. Toutefois, pour que les stratégies de conservation et de préservation soient efficaces, tous les intervenants doivent coopérer, des gouvernements fédéraux aux propriétaires fonciers.

« Les civilisations ne disparaissent pas du jour au lendemain. Elles ne décident pas d'abandonner la partie. Le plus souvent, elles faiblissent et finissent par dépérir pendant que leurs sols disparaissent au fil des générations. Les historiens ont tendance à attribuer la fin des civilisations à des événements discrets comme le changement climatique, les guerres ou les catastrophes naturelles, alors que l'érosion du sol a eu des effets profonds sur certaines sociétés anciennes. »

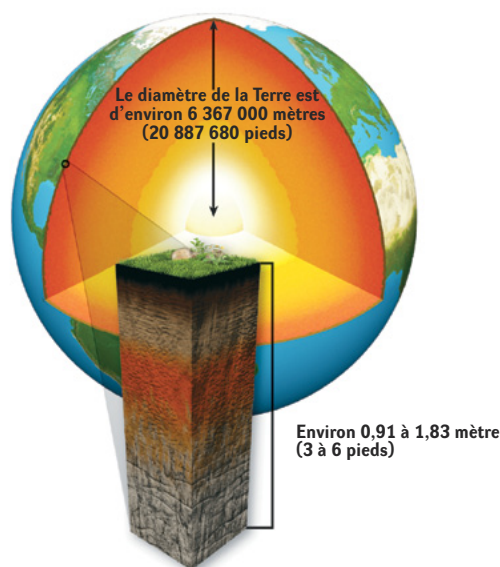
(Tiré de l'ouvrage intitulé *Dirt: The Erosion of Civilizations*, par David R. Montgomery.)

SECTION 2 Caractéristiques des sols

Préparé par Lindsey Andronak, Eryne Croquet, Richard Heck et David Kroetsch

Le sol est une ressource renouvelable, mais il se régénère plus lentement que l'érosion ou la dégradation. La profondeur moyenne du sol atteint près d'un mètre, ce qui est infime comparativement au diamètre de la Terre (~6,3 millions de mètres).

Nous avons besoin du sol pour cultiver des denrées alimentaires, faire pousser des forêts, construire des routes et des autoroutes, fabriquer du béton, des briques et de la poterie, éliminer les toxines de l'eau par filtrage et bien d'autres usages. Le sol est aussi l'habitat des vers, des araignées, des acariens et des microbes.



(Source: soils4teachers.org)

Au sujet de la science du sol...

Les sols sont pratiquement vivants puisqu'ils se développent au cours d'un processus appelé pédogénèse, qui commence à la surface du sol, où la litière organique est incorporée à la fraction minérale inorganique. **La pédogénèse** forme les horizons pédologiques, qui sont habituellement faciles à voir en raison de leurs différentes couleurs. Les horizons pédologiques sont souvent parallèles à la surface du terrain et se distinguent par certaines propriétés pouvant être décrites dans une fosse d'observation, y compris la texture et la couleur.

Les scientifiques en science du sol se servent des horizons pour déterminer comment le sol est formé. Étant donné que les sols réunissent tous les facteurs environnementaux, ils enregistrent en quelque sorte les conditions ambiantes récentes d'un milieu donné. Le type d'horizon formé par un sol relève essentiellement des facteurs pédogénétiques du milieu. Il existe cinq facteurs pédogénétiques principaux : le climat, la topographie, le matériau parental, le temps et les organismes. Ces facteurs influent sur la pédogénèse pour former certains types d'horizon pédologique.

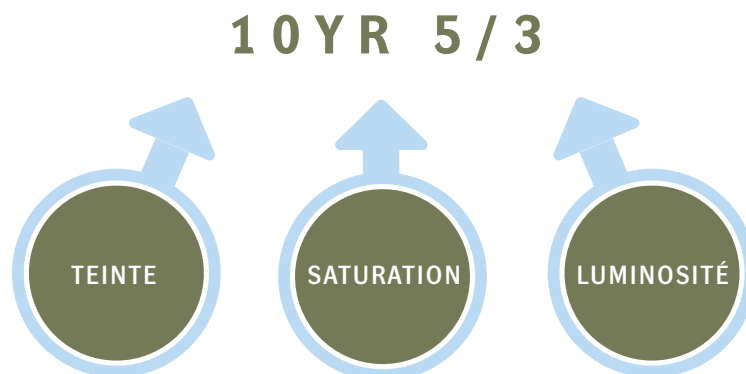
Couleur du sol

La couleur est la première impression que nous avons en regardant la terre nue ou le sol, et les teintes plus vives attirent particulièrement l'attention. Les couleurs apparaissent lorsque le sol se forme sur des sédiments déposés il y a peu de temps. Elles résultent de la météorisation chimique des minéraux présents dans le matériau parental. Par exemple, les rouges sont associés à l'oxydation du fer, c'est-à-dire la rouille.

Nuancier de Munsell : description des couleurs du sol

Rouge, brun, jaune, rouge tirant sur le jaune, brun grisâtre et rouge pâle sont de bons adjectifs pour décrire la couleur des sols, mais ils ne sont pas très précis. Les scientifiques se servent plutôt d'un livret contenant des pastilles de couleur reproduites selon la charte de couleurs Munsell et permettant de comparer directement les sols dans le monde entier. À l'aide du livret et des notations Munsell, l'étudiant en sciences ou l'enseignant peut établir visuellement des équivalences entre les couleurs du sol et les milieux naturels de la région, et les étudiants peuvent apprendre à interpréter et à consigner les couleurs de façon scientifique. La détermination de la couleur du sol grâce aux notations Munsell est l'une des nombreuses méthodes normalisées qui sont employées pour décrire les sols dans les levés pédologiques. Les notations Munsell peuvent servir aussi bien à définir un site archéologique qu'à effectuer des comparaisons aux fins d'une enquête criminelle.

Le système est fondé sur trois variables, soit la teinte (couleur particulière), la luminosité (du pâle au foncé) et la saturation (intensité de la couleur), lesquelles sont présentées sur des planches de couleurs. On définit la couleur d'un sol à l'aide de la notation Munsell qui correspond à la **teinte**, à la **saturation** et à la **luminosité**, par exemple 10YR 5/3. L'échantillon de sol est comparé aux pastilles de couleur pour établir une équivalence visuelle et assigner la notation Munsell correspondante.



Composition et couleur du sol

La couleur du sol et d'autres propriétés telles que la texture, la structure et la consistance servent à distinguer et à définir des horizons pédologiques (couches), et à grouper les sols d'après le système de classification des sols.

Le développement et la répartition de la couleur dans le profil du sol font partie de la pédogénèse (formation du sol). Au cours de la météorisation des sédiments contenant du fer ou du manganèse, les éléments subissent une oxydation. Le fer forme de petits cristaux de

couleur jaune ou rouge, la matière organique se décompose en humus noir et le manganèse forme des dépôts minéraux noirs. Les différents pigments peignent en quelque sorte le sol. Le milieu agit également sur la couleur : les conditions aérobies produisent de larges perspectives de couleur uniforme ou subtilement changeante, tandis que des conditions humides anaérobies (absence d'oxygène) perturbent le flux de couleur en créant des motifs complexes et souvent étonnants, et des points d'accent. Plus loin sous le sol de surface, les couleurs deviennent habituellement plus claires, plus jaunes ou plus rouges.

Interprétation de la couleur du sol

La couleur peut nous en dire long sur la teneur en minéraux et la formation du sol. Les minéraux ferreux sont de loin ceux qui produisent les pigments les plus nombreux et les plus variés dans la terre et le sol.

Les cristaux relativement gros de la goethite créent un pigment jaune omniprésent des sols aérobies. Des cristaux de goethite plus petits produisent des tons de brun. L'**hématite** (minerai de fer dont le nom vient du grec et signifie « sang ») ajoute de riches teintes de rouge. Les gros cristaux d'hématite confèrent une couleur rouge violacé aux sédiments géologiques qui, dans un sol, peuvent provenir du matériau parental géologique. En général, les couleurs de sol associées à la **goethite** (minerai de fer distinct) surviennent plus fréquemment sous les climats tempérés, tandis que les couleurs de l'hématite sont plus courantes dans les déserts chauds et sous les climats tropicaux.

La couleur ou l'absence de couleur révèle des renseignements sur le milieu. Dans un milieu anaérobie, le sol contient une nappe d'eau près de la surface ou de l'eau se tenant au-dessus d'une couche imperméable. Dans de nombreux sols, la nappe d'eau monte pendant la saison des pluies. Lorsque l'eau stagnante couvre le sol, l'oxygène présent dans l'eau est rapidement épuisé et les bactéries aérobies deviennent dormantes. Les bactéries anaérobies utilisent le fer ferrique (Fe^{3+}) présent dans la goethite et l'hématite comme un accepteur d'électrons lors du métabolisme. Pendant ce processus, le fer est réduit en fer ferrique incolore et hydrosoluble (Fe^{2+}), qui retourne dans le sol. D'autres bactéries anaérobies utilisent du manganèse (Mn^{4+}) comme accepteur d'électrons et le réduisent en Mn^{2+} incolore et soluble. Une diminution de pigment donne des couleurs grises au minéral sous-jacent. Si l'eau demeure haute pendant de longues périodes, la zone entière devient grise.

Les sols contribuent à la beauté de nos paysages. Leurs couleurs se mêlent à celles de la végétation, du ciel et de l'eau. Les élèves du cours d'arts et ceux qui souhaitent donner un aspect naturel à leurs œuvres peuvent par exemple y incorporer des pigments obtenus à partir de fines particules de sol coloré.

Lorsque la nappe d'eau redescend, pendant la saison sèche, l'oxygène s'infiltré de nouveau dans le sol. L'oxydation du fer soluble produit de la **lépidocrocite** aux marbrures orangées caractéristiques (dont la formule est identique à celle de la goethite mais qui a un réseau cristallin différent) dans les anfractuosités du sol. Si le sol s'aère rapidement, des marbrures de **ferrihydrate** rouge vif se forment dans les pores et les fissures. Habituellement instable, la ferrihydrate se change en lépidocrocite avec le temps.

Effet de la matière organique sur la couleur du sol

Le sol renferme des organismes vivants et de la matière organique morte (feuilles, aiguilles, pommes de pin, animaux morts), laquelle se décompose en humus noir. Dans les sols de prairie, cette couleur foncée se propage dans les couches superficielles en entraînant des nutriments qui rendent la terre très fertile. À une plus grande profondeur dans le sol, le pigment organique recouvre en surface des amas de sol qui prennent alors une couleur plus foncée à l'extérieur qu'à l'intérieur. La couleur de l'humus pâlit en profondeur alors que les pigments de fer deviennent plus apparents.

Dans les zones boisées, la matière organique s'accumule à la surface du sol. Le carbone hydrosoluble migre dans le sol et entraîne avec lui de l'humus et du fer qui se déposent en bandes humifères noires au-dessus de bandes de fer rougeâtres. On voit souvent une couche blanche, principalement du quartz, se former à la surface, là où était la matière organique que les pigments ont quittée.

Dans les sols humides, la matière organique joue un rôle indirect mais crucial dans le retrait des pigments de fer et de manganèse. Toutes les bactéries, y compris celles qui réduisent le fer et le manganèse, ont besoin d'une source de nourriture. Par conséquent, les bactéries anaérobies se développent bien dans la matière organique concentrée, en particulier les racines mortes. À ces endroits, des marbrures grises se forment.

La couleur du sol témoigne de divers processus chimiques agissant sur le sol, notamment la météorisation de matériaux géologiques, la chimie des actions d'oxydoréduction sur les divers minéraux contenus dans le sol, en particulier le fer et le manganèse, et la biochimie associée à la décomposition de la matière organique. D'autres facettes des sciences de la Terre, telles que le climat, la géographie physique et la géologie, influent toutes sur la rapidité et les conditions de réalisation de ces réactions chimiques.

D'après : Lynn, W.C. et Pearson, M.J. *The Colour of Soil*, *The Science Teacher*, mai 2000.

Texture du sol

La texture est une propriété importante car elle détermine la surface du sol ainsi que sa capacité à retenir les nutriments et l'eau. Il importe donc de connaître la texture du sol et la taille des interstices, notamment pour savoir comment circule l'eau dans le sol et pour comprendre les risques de compaction et d'érosion.

Les sols minéraux se composent de particules de tailles variées. Toute particule d'un diamètre inférieur à 2 mm est considérée comme faisant partie du sol. Les plus grosses particules sont des fragments grossiers. Les particules de sol se divisent en trois catégories : le sable, le limon et l'argile. Les grains les plus gros, soit de 0,05 mm à 2,0 mm de diamètre, sont du sable, ceux de 0,002 à 0,05 mm sont du limon et ceux de moins de 0,002 mm sont de l'argile.

La texture du sol tient à la quantité approximative de particules de chaque catégorie qui se trouvent dans l'échantillon de sol. En tout, 16 classes texturales permettent de décrire la texture du sol. Le triangle des textures montre toutes les classes texturales des sols et indique la quantité de particules de chaque taille qui sont présentes dans chacune d'elles. Sur la figure suivante, A signifie argile, Li signifie limon, S signifie sable et L signifie loam. Par exemple, L-Li-A désigne le loam limono-argileux et S-L, le sable loameux. A-Lo désigne l'argile lourde.

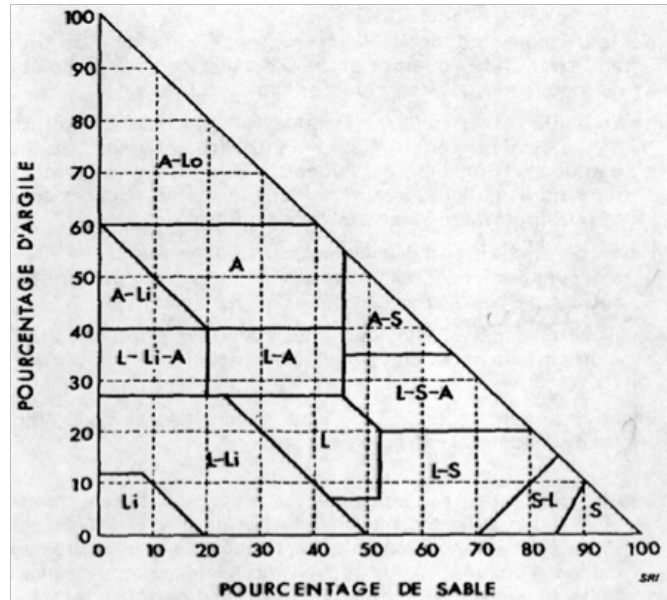


Photo : <http://sis.agr.gc.ca/siscan/glossary/t>

Activités pédagogiques

Dans les deux exercices suivants, vous devrez décrire certaines des caractéristiques du sol que les scientifiques utilisent pour déterminer l'usage optimal d'un sol. Nous décrivons d'abord la couleur du sol à l'aide du nuancier de Munsell, puis nous définirons sa texture à partir de divers échantillons.

Activité 1 : Déterminer la couleur du sol

Nous déterminerons la couleur du sol dans la fosse d'observation à l'aide du nuancier de Munsell.

Marche à suivre

1. Familiarisez-vous avec le nuancier. Chaque planche du livret correspond à une teinte. Les pastilles de couleur de chaque planche sont présentées sous forme de tableau, les saturations se trouvant sur l'axe des abscisses (x) et les luminosités, sur l'axe des ordonnées (y).
2. Exercez-vous à nommer différentes couleurs avec les notations de Munsell et avec les noms de couleur des sols.
3. Prenez un petit échantillon de sol au creux de votre main. Enlevez les cailloux, les racines et les débris.
4. Comparez votre échantillon aux pastilles du livret. De quelle couleur est votre échantillon? Pourquoi?
5. Mouillez l'échantillon et refaites l'exercice. La couleur a-t-elle changé? Veuillez expliquer.

Activité 2 : Déterminer la texture du sol

Nous emploierons la technique de l'évaluation manuelle des textures pour déterminer les classes texturales du sol. Pendant l'évaluation manuelle, vous manipulerez un petit échantillon de sol avec un peu d'eau et utiliserez une clé pour trouver à quelle classe il appartient.

Marche à suivre

1. Prenez un petit échantillon de sol au creux de votre main. Enlevez les cailloux, les racines et les débris.
2. Vaporisez de l'eau sur l'échantillon et mélangez-la au sol.
3. Suivez les étapes de la clé se trouvant à la page suivante pour déterminer la classe texturale de chaque horizon pédologique. Y a-t-il une texture pédologique différente pour chaque horizon? Veuillez expliquer.

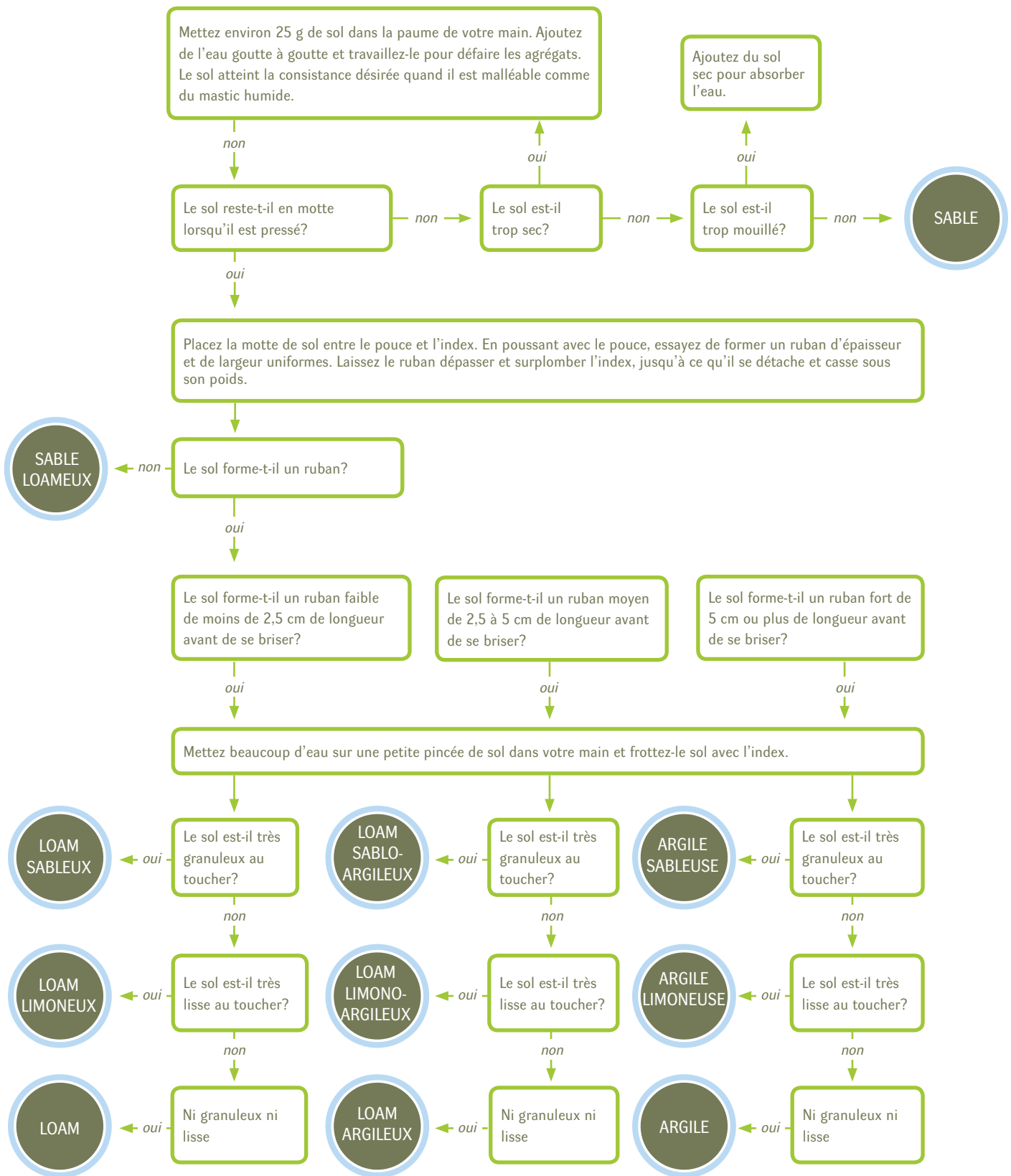


Matériaux nécessaires

Fosse d'observation ou échantillons
Nuancier de Munsell
Triangle ou clé des textures de sol

DÉBUT

Source photo : D'après le schéma de S.J. Thien. « A flow diagram for teaching texture by feel analysis ». Journal of Agronomic Education, 1979, vol. 8, p. 54-55.



SECTION 3 Classification des sols au Canada

Les sols canadiens sont classés selon les critères contenus dans le Système canadien de classification des sols, 3^e édition. Le système permet de classer les sols en grande partie grâce aux caractéristiques morphologiques (couleur, texture, horization, etc.) des pédons, mais aussi grâce à certaines propriétés chimiques.

Dans ce système hiérarchique, chaque niveau est plus détaillé que le précédent. Les catégories sont l'ordre, le grand groupe, le sous-groupe, la famille et la série. L'ordre est la plus grande catégorie et permet de diviser les sols en classes selon le type et le degré de développement qui reflètent les principales différences dans la pédogénèse. Au Canada, on reconnaît dix ordres de sols.

Les rubriques suivantes fournissent une brève description de chaque ordre et des critères de classification connexes.

Ordre brunisolique

Les brunisols se forment sous la végétation forestière. Ils ont comme caractéristique morphologique un horizon Bm de couleur brunâtre (brunisol vient du mot brun). Leur développement est supérieur à celui des régosols, mais ils n'ont pas le degré de développement d'horizons qui est celui d'autres ordres.

L'horizon Bm peut posséder quelques-unes ou la totalité des propriétés suivantes :

- Saturation plus élevée et teinte plus rouge que celles des matériaux sous-jacents;
- Disparition partielle ou complète des carbonates;
- Faible illuviation liée à la présence d'un horizon Ae sus-jacent;
- Changement dans la structure par rapport au matériau parental originel.

Les brunisols présentent un horizon Bm, un Bfj, un mince Bf, ou un Btj de 5 cm ou plus d'épaisseur. On note l'absence d'horizon B solonetzique ou podzolique, d'horizon Bt, de gleyification, d'horizons organiques épais, de pergélisol ou cryoturbation, ou d'horizon A chernozémique.

Les séquences d'horizon typiques des sols brunisols sont Ah, Bm, C ou Ck.

L'ordre brunisolique comporte quatre grands groupes qui se différencient par le genre et la séquence d'horizons (se reporter au tableau).

Grand groupe

Propriété	Mélanique	Eutrique	Sombrique	Dystrique
Horizon	Ah ou Ap épais (≥10 cm)	Ah ou Ap absent ou mince (<10 cm)	Ah ou Ap épais (≥10 cm)	Ah ou Ap absent ou mince (<10 cm)
pH	≥5,5	5,5	<5,5	<5,5
Luminosité de couleur du Ap	humide <4	humide ≥4	humide <4	humide ≥4



Sol de l'ordre brunisolique, exposé dans une tranchée de route se trouvant dans la région de Kootenay, dans le sud-est de la Colombie-Britannique. La végétation était constituée d'une forêt coniférienne de moyenne élévation avec un sous-bois herbeux. On peut voir des couleurs plus brunes près de la surface du sol et de larges fragments grossiers. Le matériau parental était du till. Ce sol est sans doute un brunisol mélanique car le matériau parental provenait de l'assise calcaire. Photo : Eryne Croquet

Ordre chernozémique

Les chernozems sont des sols de prairie qui ont pour caractéristique le noircissement des horizons de surface causé par l'accumulation de matière organique provenant de la décomposition des graminées et des plantes herbacées. Ces sols se trouvent principalement dans la région des Prairies canadiennes, bien que des superficies moins importantes soient aussi présentes dans certaines vallées de la région de la Cordillère, en Colombie-Britannique.

Les chernozems doivent posséder un horizon diagnostique A chernozémique. L'horizon A chernozémique a les propriétés suivantes :

- Horizon Ah ou Ap d'au moins 10 cm d'épaisseur;
- Une luminosité de couleur plus foncée que 5,5 à l'état sec et 3,5 à l'état humide, et une saturation inférieure à 3,5 à l'état humide;
- Une luminosité de couleur d'au moins 1 unité Munsell plus foncée que celle de l'horizon IC;
- Une teneur en C organique de 1 à 17 % et un rapport C/N inférieur à 17;
- Une structure qui n'est ni massive, ni dure, et particulière à l'état sec;
- Une saturation en bases de plus de 80 % où le Ca constitue le cation échangeable prédominant;
- Une température annuelle moyenne du sol ≥ 0 °C;
- Un régime d'humidité du sol qui est plus sec qu'humide;
- Ils peuvent avoir un horizon Ae, Bm ou Bt.

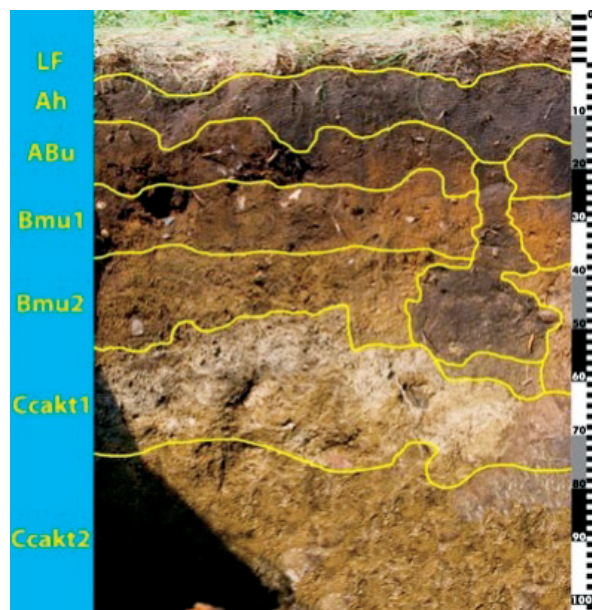
Les séquences d'horizon typiques des chernozems sont Ah, Bm ou Ck.

L'ordre chernozémique compte quatre grands groupes (brun, brun foncé, noir et gris foncé) fondés sur ces propriétés :

Grand groupe

Propriété	Brun	Brun foncé	Noir	Gris foncé
Horizon	Ah ou Ap	Ah ou Ap	Ah ou Ap	Ah ou Ap
Luminosité de couleur (à l'état sec)	de 4,5 à 5,5	de 3,5 à 4,5	<3,5	Ap de 3,5 à 4,5 ou de 3,5 à 5,0
Saturation de couleur (à l'état sec)	>1,5 (habituellement)	>1,5 (habituellement)	≤1,5 (habituellement)	≤1,5 (habituellement)
Pédoclimat	Subaride à semi-aride	Semi-aride	Subhumide	Subhumide

On peut voir des photos sur le site <http://web.unbc.ca/~soc/ggroup/obrc.html> (en anglais).



Sol chernozémique : Notez la couleur foncée de l'horizon de surface, causée par la décomposition de la matière organique. Photo : Kent Watson, Thompson Rivers University

Ordre crysolique

Les sols crysoliques sont les sols gelés des régions du Canada où se trouve le pergélisol. On les rencontre couramment au nord de la limite des arbres et dans les zones alpines. Ils sont associés à la cryoturbation, au pergélisol et à des reliefs intéressants, par exemple des figures géométriques, des réseaux de pierres triés ou non triés, des buttes, etc. La cryoturbation, ou turbation périglaciaire, est le mélange des horizons pédologiques causé par le gel et le dégel du matériau du sol et de l'eau qu'il contient.

Ces sols sont formés sur des matériaux parentaux minéraux ou organiques avec un pergélisol à moins de 1 m de la surface du sol ou à moins de 2 m si le pédon a été fortement cryoturbé. La température annuelle moyenne du sol est ≤ 0 °C.

La séquence typique des horizons cryosoliques varie selon le matériau parental, mais peut être Om, Omz, Cz ou Ah, Bm, C, Cz.

L'ordre cryosolique compte trois grands groupes : les cryosols turbiques, les cryosols statiques et les cryosols organiques. Ils se différencient d'après le degré de cryoturbation et la nature minérale ou organique du matériau parental.

Great Group

Propriété	Turbique	Statique	Organique
Matériau parental	Minéral	Minéral	Organique
Cryoturbation	Sol structuré à figures géométriques	Aucune	Aucune
Pergélisol	À moins de 2 m de la surface du sol	À moins de 1 m de la surface du sol	À moins de 1 m de la surface du sol

On peut voir des photos sur le site <http://soilweb.landfood.ubc.ca/monoliths/cryosol> (en anglais).

Ordre gleysolique

On reconnaît les sols de l'ordre gleysolique à la marmorisation et à la gleyification qui sont associées à des conditions de réduction périodique ou permanente au cours de la pédogénèse du sol. Des conditions de réduction surviennent lorsque le sol est saturé en raison d'une nappe phréatique élevée, de l'accumulation temporaire d'eau au-dessus d'une couche imperméable ou les deux.

Les sols gleysoliques ont un horizon d'au moins 10 cm d'épaisseur qui se trouve à moins de 50 cm de la surface du sol, avec :

- pour tous les sols, sauf ceux avec des matériaux rouges (teinte de 5YR ou plus rouge),
 - des saturations dominantes de couleur de 1 ou moins dans les teintes plus bleues que 10Y avec ou sans marbrures,
 - des saturations dominantes de couleur de 2 ou moins dans les teintes de 10YR ou 7,5YR accompagnées de marbrures marquées de 1 mm ou plus de diamètre dans la coupe transversale, occupant au moins 2 % de la couche de sol,
 - des saturations dominantes de couleur de 3 ou moins dans les teintes plus jaunes que 10YR, accompagnées de marbrures marquées de 1 mm ou plus de diamètre occupant au moins 2 % de la couche de sol;
- pour les matériaux de sols rouges (une teinte de 5YR ou plus rouge),
 - des marbrures distinctes ou marquées d'au moins 1 mm de diamètre occupant au moins 2 % de la couche de sol.

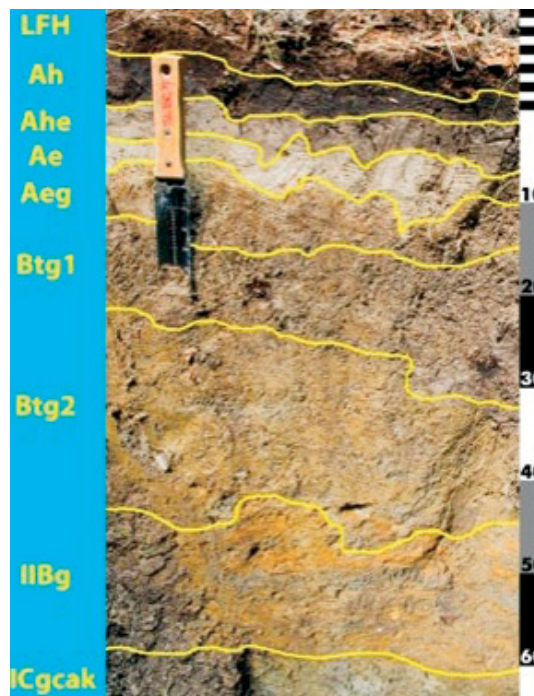
Les marbrures sont des propriétés rédoxomorphiques du sol qui apparaissent sous forme de taches ou de traînées d'une couleur différente, habituellement rougeâtre, jaunâtre ou blanchâtre. Elles sont décrites en fonction de leur taille, de leur répartition et de la différence de couleur entre les parties marbrées et non marbrées du sol.

La séquence d'horizons typique peut être Ah, Btg, Cg.

Il existe trois grands groupes de sols gleysoliques qui divisent l'ordre selon l'épaisseur de l'horizon A et le type de l'horizon B.

Grand groupe

Propriété	Luvique	Humique	Gleysol
Horizon A	Ahe ou Aeg	Ah d'au moins 10 cm d'épaisseur	Aucun horizon Ah ou un horizon Ah <10 cm d'épaisseur
Horizon B	Btg	Aucun Bt	Aucun Bt



Gleysol luvique : Notez les taches oranges à la base de la fosse et l'accumulation de particules à texture plus fine dans l'horizon Btg près du milieu du profil. Photo : Kent Watson, Thompson Rivers University

Ordre luvisolique

Les sols de l'ordre luvisolique ont généralement un horizon Bt illuvial dans lequel une accumulation d'argile silicate provient des horizons supérieurs. Ils se forment dans des endroits bien ou moins bien drainés, sur des matériaux parentaux allant du loam sableux à l'argile, sous un couvert forestier. Ils sont très répandus au Canada.

Les sols doivent avoir une séquence d'horizon éluvial et d'horizon illuvial (Ae et Bt) pour appartenir à l'ordre luvisolique. Les exigences liées à l'horizon Bt sont celles-ci :

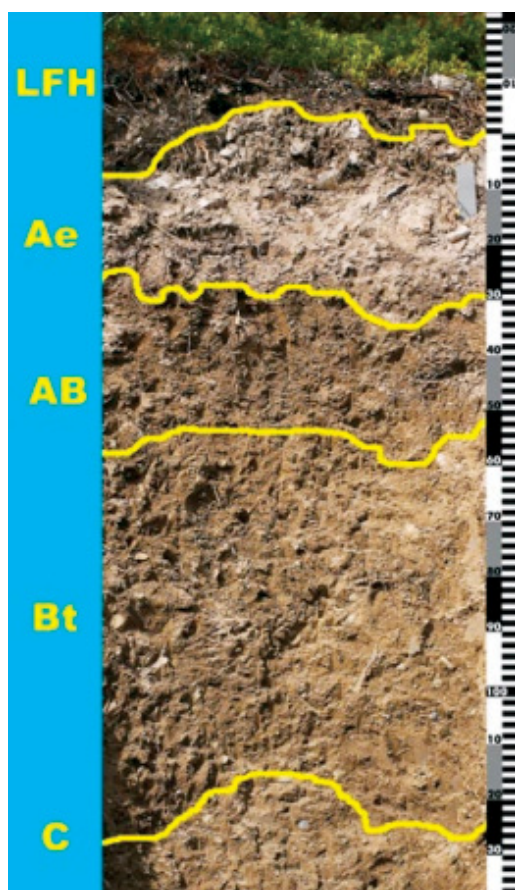
- des enrobements argileux indiquant une translocation d'argile;
- une épaisseur >5 cm;
- un horizon Ah, Ahe ou Ap qui répond aux conditions suivantes :
 - ce n'est pas un horizon A chernozémique,
 - l'horizon A de couleur foncée repose sur un Ae de couleur pâle, qui s'étend jusqu'à 15 cm de profondeur sous la surface du sol,
 - l'horizon A de couleur foncée montre des signes d'éluviation et repose sur un Ae de 5 cm ou plus d'épaisseur,
 - si le régime hydrique du sol est humide ou plus saturé, l'horizon A peut être de n'importe quel genre.

Les luvisols se forment lorsque de l'argile suspendue dans la solution du sol descend dans le profil pédologique pour aller se déposer à une profondeur où le mouvement descendant cesse. La zone d'accumulation maximale d'argile se trouve au-dessus d'un horizon Ck ou C. L'horizon éluvial a couramment une structure lamellaire. La séquence d'horizons typique peut être Ah, Ae, Bt, C.

L'ordre luvisolique est divisé en deux grands groupes qui se différencient par la nature de l'horizon A et la température du sol.

Grand groupe

Propriété	Brun gris	Gris
Horizon A	Ah de mull forestier	Présence ou absence d'un horizon Ah
Horizon B	Horizons éluvial et Bt	Horizons éluvial et Bt
Température annuelle moyenne du sol	≥8 °C	<8 °C



Un luvisol gris vertique formé sur un dépôt glacio-lacustre. Photo : Kent Watson, Thompson Rivers University

Ordre organique

Les sols de l'ordre organique sont particuliers, car ils se composent principalement de sédiments organiques. Ils comprennent les sols connus sous les noms de tourbe, de terre noire, de tourbière ou fen. Ils sont souvent saturés d'eau, et mal ou très mal drainés. On les trouve dans de nombreuses régions du Canada, en particulier dans les dépressions de terrain. Le grand groupe des sols organiques appelés « folisols » se différencie par sa composition de matériaux organiques de hautes terres (foliques), généralement d'origine forestière. Plutôt que la position dans le paysage ou le mauvais drainage, ce sont les précipitations ou la fonte des neiges qui saturent ces sols. Ceux-ci ne sont pas très répandus et on les trouve dans les forêts pluviales tempérées de la Côte de la Colombie-Britannique.

Les pédons organiques sont décrits de manière différente des sols minéraux. Le profil se divise en trois étages : le supérieur (de 0 à 40 cm), l'intermédiaire (de 40 à 120 cm) et l'inférieur (plus de 120 cm).

Les sols organiques contiennent plus de 17 % en poids de C organique (30 % ou plus de matière organique) et répondent aux critères suivants :

- pour les matériaux organiques qui sont couramment saturés d'eau (mousses, carex et autre végétation hydrophile),
 - pour le matériau fibrique de la surface, le matériau organique doit atteindre une profondeur d'au moins 60 cm,
 - pour la couche de surface mésique ou humique, le matériau organique doit atteindre une profondeur d'au moins 40 cm,

- si un contact lithique est présent à une profondeur de moins de 40 cm, le matériau organique doit atteindre une profondeur d'au moins 10 cm,
- un horizon minéral peut être présent dans les sols organiques, pourvu que le matériau organique sous-jacent soit d'au moins 40 cm d'épaisseur;
- pour les matériaux foliques (L, F et H),
 - il faut 40 cm ou plus de matériaux foliques recouvrant le sol minéral ou des matériaux tourbeux,
 - il faut plus de 10 cm de matériaux foliques, s'ils recouvrent un contact lithique ou des matériaux fragmentaires comme des talus.

La séquence d'horizons d'un sol organique saturé est Of, Om, C. Pour les folisols, la séquence est habituellement F, H, O.

L'ordre organique consiste en quatre grands groupes qui se différencient par le degré de décomposition du matériau parental organique et les propriétés de l'étage intermédiaire.

Grand groupe

	Végétation hydrophile			Matériau organique des hautes terres
Propriété	Fibrique	Mésique	Humique	Folique
Composition de l'étage intermédiaire	Fibrique	Mésique	Humique	Matériaux foliques rarement saturés d'eau



Mésisol terrique du périmètre d'inondation du fleuve Fraser, près de Chilliwack. On remarque le milieu saturé, l'important matériau minéral gleyifié à la base de la fosse et l'épais matériau organique qui s'étend sur environ 80 cm. Photo : Eryne Croquet

Ordre podzolique

Les sols podzoliques sont des sols forestiers qui se forment sur des matériaux parentaux de texture moyenne à grossière, sous des climats frais à très froid, et humides à perhumides. Ils ont un horizon B podzolique et un horizon Bf enrichi d'un matériau amorphe composé de matière organique, d'aluminium (AL) et de fer (Fe). On rencontre souvent un horizon Ae blanc qui ressemble à des cendres volcaniques, d'où le nom de « podzol », mot russe signifiant « sous les cendres ».

Les sols de l'ordre podzolique sont définis d'après une combinaison de critères morphologiques et chimiques associés aux horizons B diagnostiques.

Critères morphologiques de l'horizon B podzolique :

- une épaisseur ≥ 10 cm;
- la couleur est noire ou la teinte est soit 7,5YR ou plus rouge, soit 10YR près de la limite supérieure et devient plus jaune en profondeur;
- la saturation est >3 et la luminosité est ≤ 3 ;
- des revêtements bruns ou noirs sur certains grains minéraux;
- une sensation limoneuse au toucher lorsque le matériau mouillé est frotté, à moins qu'il ne soit cimenté;
- une texture plus grossière que celle de l'argile;
- pas d'horizon Bt, ou une limite supérieure de l'horizon Bt qui est à une profondeur supérieure à 50 cm de la surface du sol minéral.

Critères chimiques de l'horizon B podzolique :

- un horizon Bh >10 cm d'épaisseur, avec des luminosités et des saturations ≤ 3 , plus de 1 % de C organique et moins de 0,3 % de Fe extractible au pyrophosphate (Fep) et un rapport C organique/Fep de 20 ou plus;

OU

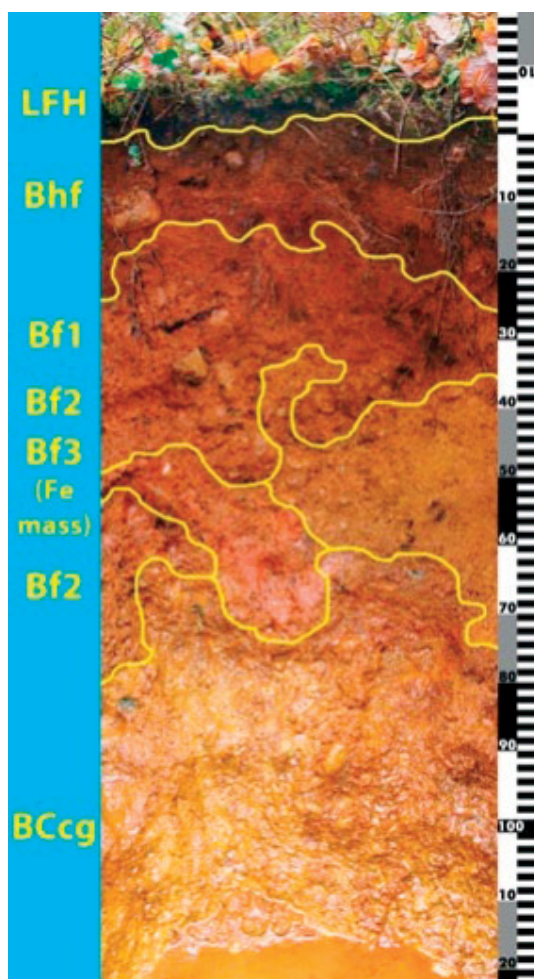
- un horizon Bf ou Bhf d'au moins 10 cm d'épaisseur avec une teneur en C organique $\geq 0,5$ %, un rapport Al + Fep/argile $>0,05$, un rapport C organique/Fep <20 , ou Fep d'au moins 0,3 %, ou encore une luminosité ou une saturation >3 .

La séquence d'horizons typique est Ae, Bf, C ou Ae, Bfc, C.

L'ordre podzolique se divise en trois grands groupes d'après la teneur en C organique et le rapport C organique/Fep de l'horizon B podzolique.

Grand groupe

Propriété	Humique	Ferro-humique	Humo-ferrique
Horizon B	Bh, >10 cm d'épaisseur	Bhf, >10 cm d'épaisseur	Bf ou mince Bhf + Bf, >10 cm d'épaisseur
C organique	>1 %	>5 %	0,5 à 5 %
Pyrophosphate	<0,3 %	>0,3 %	≥0,3 %
C organique : Fep	≥20	<20	<20
Al + Fe extractibles au pyrophosphate	s.o.	≥0,6 % (0,4 % pour les sables)	≥0,6 % (0,4 % pour les sables)



Podzol ferro-humique : Notez l'horizon Bf rouge de 10 à 50 cm, montrant l'accumulation de fer et d'aluminium. Photo : Kent Watson, Thompson Rivers University

Ordre régosolique

Les sols de l'ordre régosolique sont reconnus pour être faiblement développés au Canada et n'ont pas d'horizon B diagnostique. Plusieurs facteurs peuvent expliquer ce manque de développement, comme la jeunesse des matériaux parentaux, l'instabilité des paysages, la nature minérale résistante du matériau parental, des conditions climatiques sèches et froides, etc.

Ces sols sont reconnaissables à l'absence de tout horizon B.

La séquence d'horizons typique est Ah, C.

L'ordre régosolique se divise en deux grands groupes qui se différencient par la présence ou l'absence d'un horizon Ah ou Ap bien développé.

Grand groupe

Propriété	Régosol	Humique
Ah ou Ap	< 10 cm	≥ 10 cm
Bm	Absent ou < 5 cm d'épaisseur	Absent ou < 5 cm d'épaisseur

Ordre solonetzique

Les sols de l'ordre solonetzique se forment sur des matériaux parentaux salins et ont une macrostructure prismatique ou colonnaire dans l'horizon B solonetzique. On les trouve communément dans certaines parties semi-arides à subhumides des Plaines intérieures du Canada.

Ils sont attribuables au lessivage des sels qui sont entraînés vers le bas et se déposent dans l'horizon B. Le lessivage ultérieur enlève les cations alcalins de l'horizon A qui devient acide et forme une structure lamellaire. L'horizon B enrichi de sels produit des peds colonnaires intacts, liés entre eux et parsemés de taches foncées. La partie supérieure de l'horizon B se désagrège lorsque le sodium échangeable est entraîné vers le bas. La solodisation continue provoque le déplacement des accumulations de sel et de carbonates de l'horizon B vers l'horizon C. La solodisation s'arrête là où les eaux salines souterraines rejoignent le solum par capillarité et que la resalinisation peut s'établir.

Les sols de l'ordre solonetzique ont un horizon B solonetzique (Bn ou Bnt). Cet horizon a une structure colonnaire ou prismatique dure à extrêmement dure à l'état sec et un rapport Ca/Na échangeables de 10 ou moins.

La séquence d'horizons peut être Ah, Bn, Csk.

On compte quatre grands groupes de sols solonetziques qui se différencient par les propriétés de l'horizon Ae, la désagrégation de la partie supérieure de l'horizon B et la présence de propriétés verticales.

Grand groupe

Propriété	Solonetz	Solonetz solodisé	Solod		Solonetz verticale
Horizon Ae	Pas d'horizon Ae continu à ≥ 2 cm d'épaisseur	$Ae \geq 2$ cm d'épaisseur	Ae ≥ 2 cm d'épaisseur		Toute caractéristique propre aux solonetz
Horizon B	s.o.		Bnt ou Bn (Structure colonnaire intacte)	AB ou BA distinct (Bnt en désagrégation)	
Caractéristiques verticales	s.o.		s.o.	s.o.	Horizon avec des faces de glissement

On peut voir des photos sur le site <http://web.unbc.ca/~soc/ggroup/bss.html> (en anglais).



Régosol humique orthique formé sur un dépôt laissé par un glissement de terrain il y a environ 4000 ans au mont Cheam, dans la vallée du Fraser, en Colombie-Britannique. L'horizon B est absent et le sol est peu développé dans les horizons supérieurs. Photo : Eryne Croquet

Ordre vertisolique

Les sols de l'ordre vertisolique sont présents dans les matériaux parentaux à $\geq 60\%$ d'argile qui ont un comportement de retrait-gonflement. Ils présentent des fentes de retrait, de l'argilipédoturbation et un mouvement de masse (c.-à-d. faces de glissement). Les argiles soumises au retrait-gonflement se dilatent ou se contractent selon que de l'eau y est emmagasinée ou quitte les couches de silicate de la structure minérale du sol. Lorsque le sol se contracte, il se fend et le matériau des horizons supérieurs tombe dans ces fissures. Lorsque le sol gonfle, les particules glissent et forment des faces de glissement. Le comportement de retrait-gonflement des vertisols suffit à modifier des horizons formés au cours d'autres processus ou à empêcher leur formation.

Les sols de l'ordre vertisolique se définissent par la présence d'un horizon à faces de glissement et d'un horizon vertique. Un horizon à faces de glissement (ss) a plusieurs faces de glissement reconnaissables, et l'horizon vertique (v) présente des intrusions de matériaux déplacés dans le solum qui ont des orientations aléatoires et des formes irrégulières, ainsi que des fentes verticales remplies de matériaux de surface.

Un vertisol orthique peut avoir les horizons suivants : Ah, Bv, Bss, Ckss.

L'ordre vertisolique comporte deux grands groupes qui sont divisés selon la couleur de l'horizon A, et la quantité et la nature de la matière organique incorporée dans le sol.

Grand groupe

Propriété	Vertisol	Humique
Luminosité de couleur de l'horizon A	$\geq 3,5$ (à l'état sec)	$< 3,5$ (à l'état sec)
Saturation de couleur de l'horizon A	Généralement $> 1,5$ (à l'état sec)	Généralement $\leq 1,5$ (à l'état sec)
Horizon A	Difficile à différencier du reste du solum	Facile à différencier du reste du solum
Horizon Ah	< 10 cm d'épaisseur	≥ 10 cm d'épaisseur

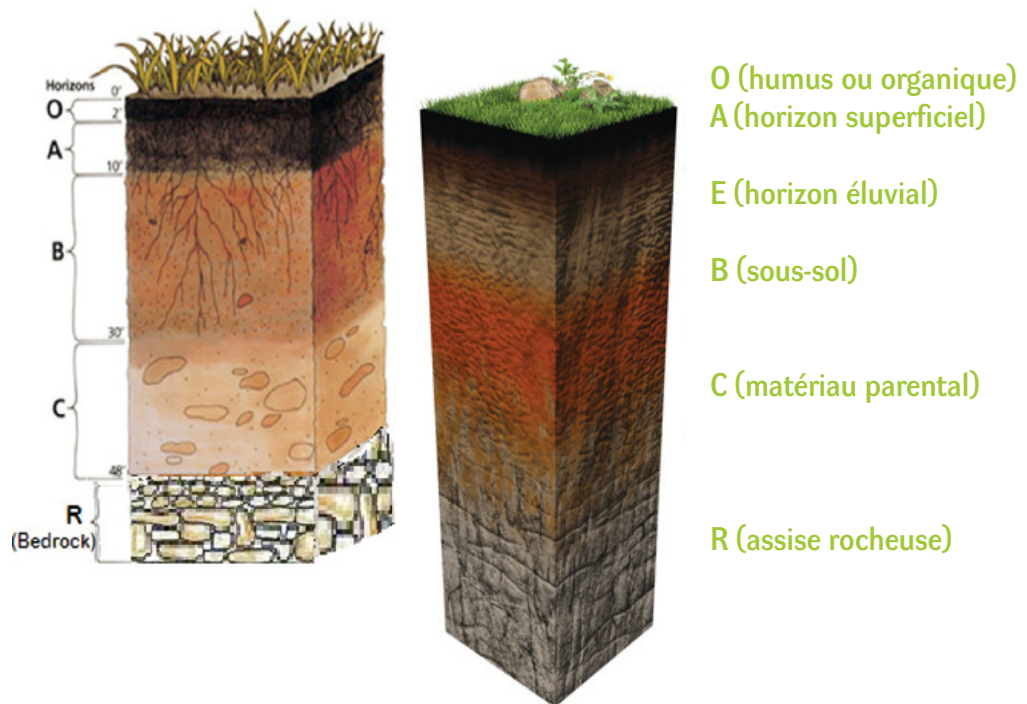
On peut voir des photos sur le site <http://soilweb.landfood.ubc.ca/monoliths/vertisol> (en anglais).

COMPARAISON DES SYSTÈMES DE CLASSIFICATION DES SOLS DU CANADA ET DES ÉTATS-UNIS

Horizonation

Comme le montrent les figures 1 et 2, l'horizonation des profils pédologiques est presque la même dans les deux systèmes, à une différence près. Le système américain inclut un horizon E, ou horizon éluvial. Cet horizon a pour caractéristique principale d'être appauvri en argile ou en oxydes de fer et d'aluminium ou les deux, ce qui forme une concentration de particules sableuses et limoneuses de quartz (ou un autre matériau résistant). Si ces caractéristiques sont présentes dans un profil canadien, l'horizon est appelé Ae, le « e » étant un suffixe (ou un descripteur) de l'horizon A.

FIGURE 6. Profil pédologique typique du Canada. Source photo : Wikipedia



Corrélation des ordres de sols

Il importe de noter que les équivalents suivants sont de nature **générale** et que les caractéristiques particulières des sols varient selon l'ordre. Pour en savoir davantage, on peut consulter le *Système canadien de classification des sols* et *Soil Taxonomy* du département américain de l'Agriculture (USDA).

Ordre de sols américain	Caractéristique déterminante	Ordre de sols canadien
Entisol	Développement limité, provenant surtout du matériau parental	Régosol
Vertisol	Teneur élevée en argile, retrait-gonflement, formation de grandes crevasses	Vertisol
Inceptisol	Développement moyen d'horizons	Brunisol
Ardisol	Sols des régions arides, changement limité par rapport au matériau parental	Certains solonetz
Mollisol	Sols de prairies, riches en matière organique	Chernozem
Spodosol	Sols forestiers, horizons illuviaux contenant de la matière organique, oxydes de fer et d'aluminium	Podzol
Alfisol	Sols forestiers, horizons illuviaux contenant de l'argile	Luvisol
Ultisol	Similaire à l'alfisol mais faible degré de saturation en bases	s.o.
Oxisol	Sol tropical très météorisé	s.o.
Histosol	Couche organique épaisse; sols de tourbière ou de terres humides	Sols organiques
Gélisol	Sols contenant du pergélisol	Crysol
Sous-ordre Aqu ¹	Humidité causée par une saturation d'eau prolongée, gleyification, marmorisation	Gleysol

¹ N'est pas un ordre de sols

SECTION 4 Sols, utilisation du sol et espèces envahissantes

Dès qu'on parle d'espèces envahissantes, on pense à des plantes et à des animaux, par exemple la salicaire pourpre, la moule zébrée et le champignon qui cause la maladie hollandaise de l'orme. Cependant, y a-t-il des espèces envahissantes dans le sol? L'utilisation du sol influe-t-elle sur les espèces envahissantes?

Une **espèce envahissante** est un végétal ou un animal non indigène dont l'introduction cause ou est susceptible de causer du tort à l'économie, à l'environnement ou à la santé humaine. Le terme « envahissant » qualifie les espèces les plus agressives, qui ont une croissance et une reproduction rapides et qui perturbent gravement les régions où elles sont présentes.

Vers de terre envahissants en Amérique du Nord

Les vers de terre sont des invertébrés de la classe des Oligochaeta. Il en existe environ 6000 espèces dans le monde, mais seulement 150 d'entre elles sont largement répandues. Les vers de terre sont connus pour leurs effets bénéfiques sur le sol, en particulier dans les cultures agricoles et les jardins. Ces effets sont par exemple :

- La transformation de la matière organique en humus. L'humus contient des nutriments qui sont plus facilement assimilables par les végétaux et accroît donc la fertilité du sol. Les vers de terre emportent ces nutriments avec eux lorsqu'ils s'enfoncent profondément dans le profil pédologique et les rendent ainsi plus accessibles aux racines;
- Les tubes creusés dans la terre qui favorisent à la fois l'aération et le drainage du sol.

FIGURE 7. *Lumbricus terrestris*, aussi appelé « ver nocturne rampant » (*Wikipedia*).



Questions à approfondir

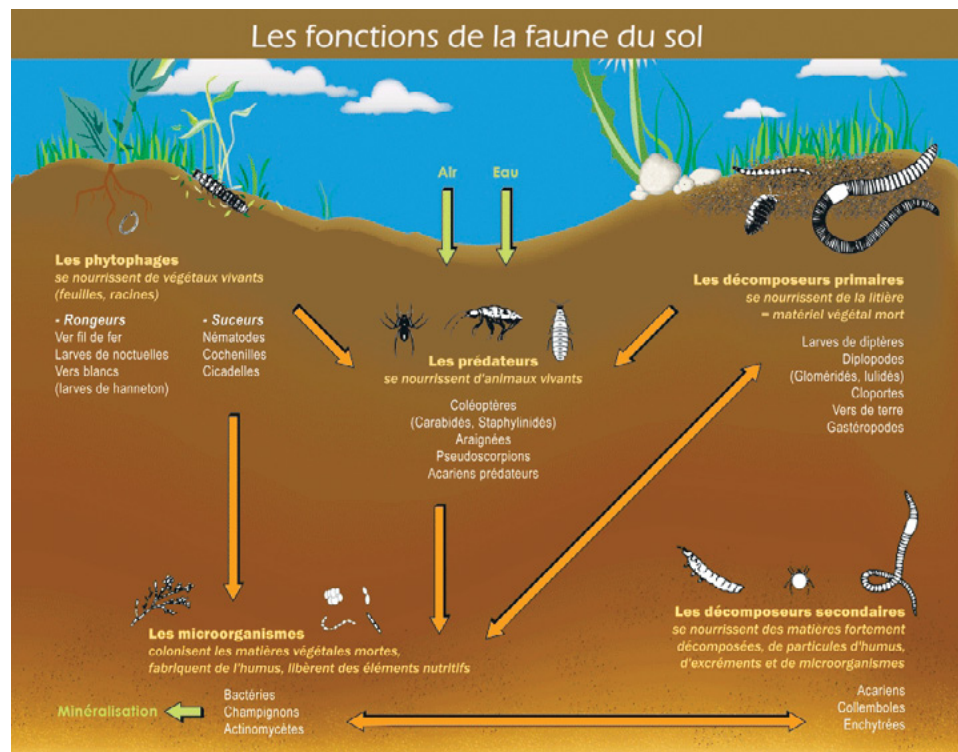
Nous avons énuméré seulement quelques-uns des avantages associés aux vers de terre. En faisant un peu de recherche, vous en trouveriez probablement d'autres. Lisez les articles intitulés Soil and the Forest Floor (Great Lakes Worm Watch, Natural Resources Research Institute) et Earthworm Invaders Have Huge Implications for Forest Health (Soil Horizons, juillet 2015), qui se trouvent à l'annexe 1. Après votre lecture, répondez aux questions suivantes :

1. En quoi le cycle de la matière organique, et plus particulièrement la matière organique végétale, diffère-t-il selon qu'il se déroule dans un sol forestier, un sol de prairie ou un sol agricole?
2. Pourquoi les vers de terre sont-ils considérés comme envahissants dans les écosystèmes forestiers?
3. Quels sont les effets des vers de terre sur les écosystèmes forestiers et pourquoi ces effets sont-ils préoccupants?
4. Comment l'utilisation du sol favorise-t-elle la propagation des vers de terre?
5. Comment pouvons-nous réduire les effets des vers de terre sur les sols forestiers?

Ravageurs terricoles des cultures

Les nématodes et le réseau trophique du sol

D'après une conférence donnée par M^{me} Elaine Ingham (conjointement avec l'American Phytopathological Society)



Le réseau trophique du sol offre une incroyable diversité d'organismes de toutes tailles, des plus infimes bactéries, algues, champignons et protozoaires unicellulaires jusqu'aux nématodes et aux micro-arthropodes plus complexes, en passant par les vers de terre, les insectes, les petits vertébrés et les plantes visibles.

Les organismes qui peuplent le réseau trophique ne sont pas répartis uniformément dans le sol. Chaque espèce et chaque groupe existent là où ils peuvent trouver un milieu, des nutriments et un taux d'humidité appropriés. Ils sont présents partout où il y a de la matière organique, surtout dans les quelques premiers centimètres de sol. La rhizosphère, étroite région du sol formée autour des racines, fourmille de vie, car les racines sécrètent des protéines et des sucres qui attirent bactéries et champignons. Cette zone attire également des organismes prédateurs tels que les protozoaires et les nématodes, qui se nourrissent de bactéries, de champignons et parfois de racines.

Les nématodes sont des vers non segmentés ayant habituellement 50 µm de diamètre et 1 mm de longueur. On estime que les membres du phylum des nématodes (vers ronds) existent depuis un milliard d'années, ce qui fait d'eux l'un des types d'animaux les plus anciens et les plus diversifiés de la planète. Les quelques espèces qui causent certaines maladies de plantes font souvent parler d'elles, mais on en sait beaucoup moins sur la grande majorité des nématodes qui sont utiles au sol.

Une variété étonnante de nématodes fonctionnent à plusieurs niveaux du réseau trophique du sol. Certains s'alimentent sur les racines des végétaux (premier niveau trophique), d'autres sont des brouteurs qui se nourrissent de bactéries et de champignons (deuxième niveau trophique) et quelques-uns consomment d'autres nématodes (niveaux trophiques plus élevés). Les nématodes ont besoin d'une humidité suffisante, de températures modérées et de protection contre la lumière directe du soleil.

La majorité des nématodes sont utiles à l'écosystème du sol et jouent un rôle très important en minéralisant, ou en libérant, des nutriments sous des formes assimilables par les végétaux. Lorsque les nématodes consomment des bactéries ou des champignons, ils produisent de l'ammonium (NH_4^+), car les bactéries et les champignons contiennent beaucoup plus d'azote que la quantité nécessaire aux nématodes. Les nématodes constituent une source de nourriture pour des prédateurs de niveau supérieur, y compris des nématodes prédateurs, des micro-arthropodes et des insectes vivant dans le sol.

Toutefois, certains nématodes nuisent aux humains. Ceux qui se nourrissent de racines de végétaux, en particulier les racines de plantes cultivées, sont des parasites qu'il faut éliminer pour maintenir la productivité agricole. On lutte contre les nématodes parasites en employant plusieurs moyens, dont il existe trois types principaux : la lutte biologique, la lutte culturale et la lutte chimique. En général, la lutte contre les nématodes ne se fait pas à l'aide d'un seul de ces moyens, mais plutôt avec un ensemble de mesures appliquées dans le cadre d'un système de lutte antiparasitaire intégrée.

Lutte biologique : Il est possible pour les sélectionneurs de végétaux de conférer, par croisement, des gènes de résistance naturelle à des espèces végétales cultivées afin d'améliorer leur résistance aux nématodes. Pour les producteurs, cette méthode a l'avantage d'être un moyen de lutte très peu coûteux. Le principal inconvénient réside dans le fait qu'il faut des années pour sélectionner des variétés végétales résistantes et encore plus de temps pour introduire des caractères de résistance dans des variétés commerciales. D'autres moyens de lutte biologique consistent à utiliser des prédateurs naturels ou des pathogènes contre les nématodes. Bien que les agents de lutte biologique tuent les nématodes dans le milieu contrôlé d'un laboratoire, cette méthode n'est pas employée sur le terrain en raison du coût et de la difficulté de produire des agents pathogènes en grande quantité. Cependant, si l'on réussissait à régler certains des problèmes liés à la culture des agents de lutte contre les nématodes, cette méthode pourrait se révéler prometteuse dans l'avenir.

Lutte culturale : La rotation des cultures avec une plante non hôte est un moyen très efficace de limiter la croissance des nématodes. Habituellement, elle consiste à élaborer un système cultural en choisissant des plantes qui peuvent abriter des nématodes et d'autres qui ne le peuvent pas. Ces plantes sont cultivées en alternance chaque année, et la population de nématodes diminue de façon spectaculaire, en-deçà des seuils d'endommagement, au cours des années où la plante non hôte est cultivée. Cette méthode peut fonctionner si le producteur a le choix parmi plusieurs cultures différentes et si le nématode problématique ne dispose pas d'une large gamme de plantes hôtes et ne survit pas dans le sol pendant de longues périodes.

Lutte chimique : Depuis 75 ans, la lutte contre les nématodes se fait également à l'aide de nématicides, soit des produits chimiques peu coûteux qui détruisent les nématodes dans le sol. Les fumigants de sol sont devenus populaires parce qu'ils ne nécessitent pas de rotation de cultures hôtes. Ils réduisent radicalement la population de nématodes dans le sol et sont rentables pour la plupart des cultures. La plupart des nématicides fumigants ont été interdits par l'Environmental Protection Agency (EPA) en tant que produits toxiques pour l'environnement, à l'exception du 1,3-dichloropropène (Telone II), de la chloropicrine (gaz lacrymogène) et du dazomet (Basamid).

Étude de cas : Une invasion de nématodes!

Vous êtes un scientifique de l'environnement qui travaille pour une entreprise d'experts-conseils spécialisés dans les approches écosystémiques de lutte contre les espèces envahissantes. Vous avez reçu un appel de Joseph Wagamese, un agriculteur qui produit du soya et du maïs depuis 35 ans dans son exploitation agricole de 200 acres située dans l'Est de l'Ontario.

C'est le mois de juillet et Joseph a remarqué que son soya était rabougri et avait des feuilles jaunes. Il a d'abord attribué ces symptômes à une carence nutritive, sauf que son plan de gestion du sol avait donné jusque-là d'excellents rendements. En déterrants un plant, il a constaté que les racines étaient chétives, décolorées et apparemment couvertes de kystes blancs. Il n'a jamais rien vu de pareil et ignore de quoi il s'agit. Le problème touche un tiers de la superficie et pourrait se solder par une lourde perte financière! Joseph n'est pas en mesure d'essuyer un tel coup et c'est pourquoi il vous demande de l'aider.

FIGURE 8. *Le champ de soya de Joseph. Source photo : Service coopératif de vulgarisation de l'Université d'État du Kansas.*



FIGURE 9. *Kystes blancs sur les racines d'un des plants de soya de Joseph. Source photo : Paul Bachi*



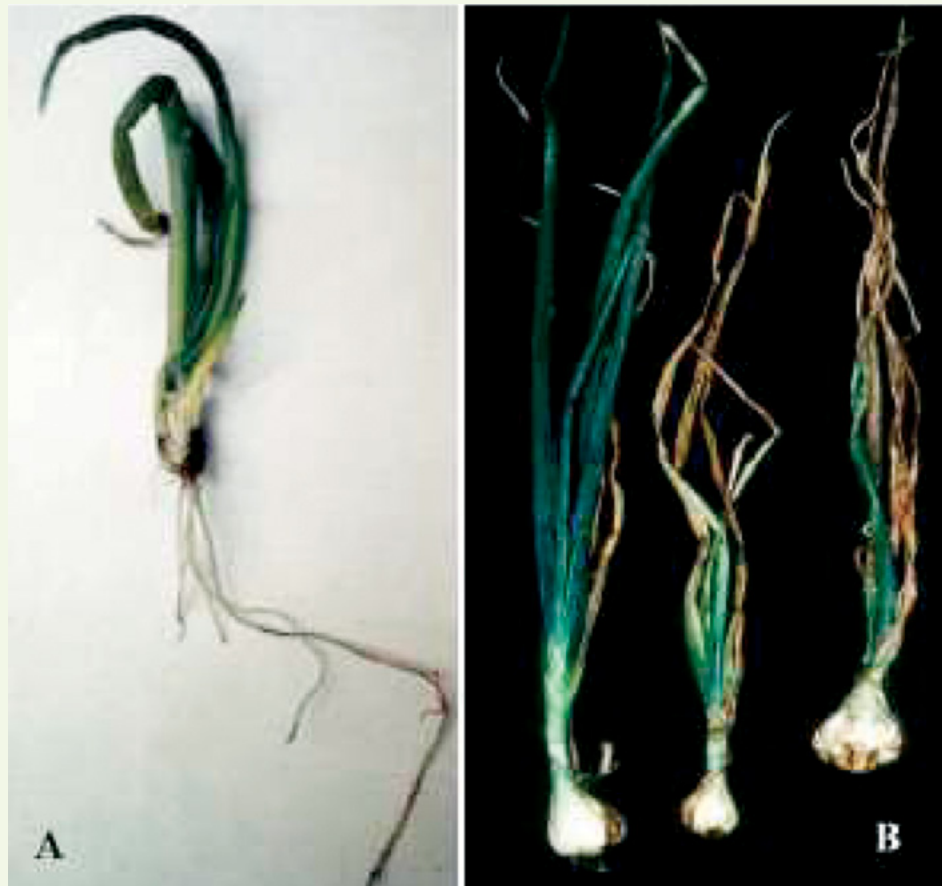
Vous savez que les kystes blancs signalent la présence de nématodes à kyste du soya (*Heterodera glycines*), qui se propagent lentement dans l'ensemble de l'Ontario depuis 20 ans.

Pendant ce temps, Susan Jones, maraîchère de l'Ouest de l'Ontario, a aussi fait appel à vous parce que 20 % de ses cultures d'oignons se fanent dans les champs. Elle cultivait autrefois divers légumes au cours d'une rotation effectuée sur quatre ans, mais lorsque le prix des oignons a augmenté, elle a entièrement converti sa parcelle de cinq acres à la production des oignons. Maintenant dans la troisième année de cette monoculture, elle a remarqué que la base des jeunes plants semble gonflée et que les feuilles se tordent. Les feuilles externes meurent à partir de la pointe et le col a une texture spongieuse.

Vous reconnaissez les symptômes causés par l'anguillule des tiges (*Ditylenchus dipsaci*), nématode qui s'attaque aux cultures de l'Ontario depuis les années 50.

Pour vous préparer à aider Joseph et Susan, vous devez entreprendre une recherche en posant les questions suivantes. Vous avez étudié l'écologie des espèces envahissantes à l'université et par chance, vous avez encore vos notes!

FIGURE 10. Oignons provenant de l'exploitation de Susan. Source photo : Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario.



Questions à approfondir

1. Dans quelle partie du réseau trophique les nématodes se nourrissent-ils?
2. Quels sont les organismes qui se nourrissent de nématodes? Quel est le rôle des nématodes dans le réseau trophique du sol?
3. Pourquoi le nématode à kyste du soya (NKS) pose-t-il un problème pour Joseph? Quel effet a-t-il sur les cultures et sur la sécurité financière de l'exploitation agricole?
4. Pourquoi l'anguillule des céréales et des bulbes (ACB) pose-t-elle un problème pour Susan? Quel effet a-t-elle sur les cultures et sur la sécurité financière de l'exploitation agricole?
5. Selon vous, pourquoi le NKS et l'ACB envahissent-ils les exploitations de Joseph et de Susan? Quelles sont les causes profondes?
6. Quels sont les moyens de lutte biologique contre les nématodes parasites des racines?
7. Quels sont les moyens de lutte culturale contre les nématodes parasites des racines? Quel effet ces moyens de lutte peuvent-ils avoir sur la stabilité financière des exploitations de Joseph et de Susan?
8. Quels sont les moyens de lutte chimique contre les nématodes parasites des racines? Quel serait leur effet sur les nématodes utiles? Quel serait leur effet sur d'autres micro-organismes du sol (bactéries, champignons, protozoaires)? Quels effets à long terme pourraient-ils avoir sur l'écosystème général?
9. Quel moyen ou quel ensemble de moyens de lutte recommanderiez-vous à Joseph? Quel moyen ou quel ensemble de moyens de lutte recommanderiez-vous à Susan?

Voici quelques ressources du Web qui pourraient vous être utiles.

[Anguillule des tiges chez l'oignon et la carotte](#)

[Initiation aux nématodes parasites des plantes](#) (en anglais)

Maladies fongiques, bactériennes et virales

De nombreux types de maladies touchent les cultures. Deux d'entre elles, la rouille du soya et la hernie, sont présentées à l'annexe 2 sous forme d'avis de recherche. Choisissez une maladie des cultures de votre région et créez votre propre avis de recherche.

Insectes envahisseurs des forêts

Des insectes envahisseurs non indigènes causent la défoliation et la mort des arbres dans certaines zones et certains écosystèmes forestiers urbains. Dans les villes, les arbres ont un rôle important parce qu'ils fournissent de l'ombre et un abri contre le vent, limitent le ruissellement des eaux, réduisent la pollution atmosphérique et contribuent à la santé générale des humains. Les dégâts causés par les insectes entraînent des répercussions économiques et sociales considérables. L'enlèvement et le remplacement des arbres morts représentent des coûts élevés pour les municipalités et les propriétaires fonciers. Dans les collectivités tributaires de la forêt, la mort des arbres équivaut à la perte d'une ressource qui fournit des emplois locaux et des produits forestiers à l'ensemble de la société.

Bien que moins évidentes, les conséquences écologiques des insectes envahisseurs touchent particulièrement le sol et les services écosystémiques qu'il fournit, notamment la filtration des eaux et le cycle des éléments nutritifs. Dans de nombreuses forêts, il arrive qu'une seule et même essence d'arbre domine la composition du peuplement. Cette espèce dite « fondatrice » contrôle non seulement la structure forestière, mais aussi les propriétés du sol, les processus et les communautés biologiques. En fait, de nombreux organismes, de la plus infime bactérie jusqu'au plus énorme mammifère, se sont adaptés aux conditions de vie qui règnent auprès d'une essence fondatrice.

La disparition d'une essence fondatrice à cause des espèces envahissantes peut créer de grands vides ou des trous dans le couvert forestier, ce qui entraînera des changements de température et d'humidité. Ces changements peuvent modifier les plantes qui poussent dans la forêt, la décomposition et la circulation de l'eau dans le sol. Dès la mort d'un arbre, de grosses branches et l'arbre tout entier tombent sur le sol de la forêt, ce qui fournit une quantité importante de débris ligneux et de nutriments au sol. Avec le temps, la diminution de la litière produite par les espèces fondatrices et l'accroissement de la litière provenant d'autres essences changent le type d'alimentation des organismes du sol. La composition chimique différente des feuilles issues d'autres essences peut se révéler plus ou moins souhaitable pour certains organismes et avoir des répercussions sur les réseaux trophiques complets.

Quoiqu'on dispose de peu de détails concernant l'effet des insectes envahisseurs sur la santé des sols forestiers, les gestionnaires forestiers doivent déterminer sans tarder s'il faut ou non prendre des mesures pour protéger les précieux services écosystémiques fournis par le sol. L'option la moins coûteuse consiste généralement à laisser d'autres essences se régénérer naturellement dans les vides créés par les arbres morts, mais cette méthode ne réduit pas forcément les effets sur le sol. Entre autres moyens plus proactifs, mentionnons la coupe stratégique de certains des arbres susceptibles avant qu'ils soient infestés par les insectes ou le remplacement de ces arbres par d'autres essences pouvant tenir la même fonction dans l'écosystème forestier. Quelles que soient les mesures prises, il faudra tenir compte des diverses conséquences possibles sur l'écologie, l'économie et la société.

Étude de cas : L'agrile du frêne dans les forêts riveraines

Originaire d'Asie, l'agrile du frêne est un insecte envahisseur qui s'attaque au frêne. Découvert en 2002 à Detroit, dans le Michigan, et à Windsor, en Ontario, il a depuis été repéré partout dans la province de l'Ontario et dans 24 États américains. Les larves de l'insecte se nourrissent en creusant des galeries entre l'écorce et l'aubier, et causent la mort de l'arbre. On prévoit que l'agrile tuera la plupart des frênes d'Amérique du Nord au cours de la prochaine décennie. Les forêts riveraines où domine le frêne sont très répandues dans le Sud-Ouest de l'Ontario.

Dans les milieux forestiers, les zones riveraines assurent la transition entre la terre et l'eau, et jouent donc un important rôle de régulation des écosystèmes aquatiques. L'étroite relation qui existe entre le sol et le cours d'eau signifie que la disparition du frêne dans les forêts riveraines peut toucher directement les cours d'eau en modifiant le microclimat du sol, l'apport nutritif et la filtration de l'eau par le sol. La litière de feuilles de frêne est connue pour sa richesse en nutriments, surtout en azote, comparativement à de nombreuses autres litières. Par conséquent, la disparition des frênes pourrait réduire les concentrations de nutriments et modifier les communautés aquatiques des cours d'eau environnants.

Activités pédagogiques : Gestion de l'agrile du frêne

Vous êtes forestier ou forestière pour un office de protection de la nature près d'Alvinston, dans le Sud-Ouest de l'Ontario. Votre aire de conservation compte plusieurs cours d'eau associés à des forêts riveraines dont la composition en frêne varie entre 10 % et 70 %. Votre territoire est en première ligne de l'infestation et l'on prévoit que d'ici trois ans, l'agrile y décimera la totalité des frênes. Quelle mesure ou quel ensemble de mesures de gestion forestière mettriez-vous en œuvre pour protéger les habitats riverains critiques? Tenez compte des différents facteurs écologiques, économiques et sociaux lorsque vous élaborerez votre plan de gestion. Puisque vous devrez expliquer ce plan aux directeurs de l'office de protection de la nature et au grand public, veillez à fournir les raisons motivant les mesures prévues.

Voici quelques renseignements pour vous aider à répondre aux questions :

1. Le frêne bleu, une essence qui semble moins vulnérable à l'agrile, n'est pas présente en grand nombre dans votre zone mais peuple des habitats riverains similaires et produit une litière riche en nutriments, comme d'autres essences de frêne.
2. D'autres essences telles que l'orme et le caryer sont présentes dans les forêts riveraines de votre territoire et il a été observé que la composition chimique de la litière est similaire à celle du frêne.
3. Des insecticides ont été mis au point pour protéger les frênes contre l'agrile, mais les traitements nécessitent des injections individuelles dans les arbres et demeurent très coûteux.

FIGURE 11. *Agrile du frêne adulte* (Ressources naturelles Canada)



FIGURE 12. *Larve du dernier stade d'agrile du frêne* (Ressources naturelles Canada)

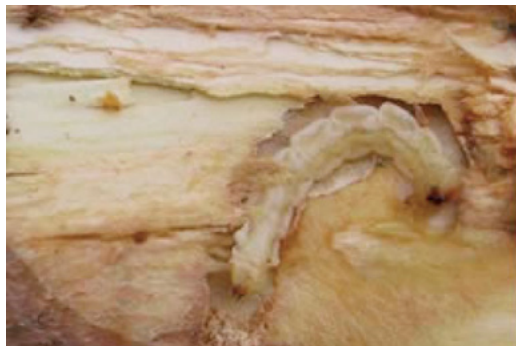


FIGURE 13. *Frênes morts dans des forêts riveraines du Sud-Ouest de l'Ontario*
(Paul Hazlett, Service canadien des forêts)



FIGURE 14. *Tunnels creusés dans des arbres riverains par l'agrile du frêne*
(Paul Hazlett, Service canadien des forêts)



SECTION 5 Sols, utilisation du sol et changement climatique

Préparé par Maja Krzic, Katie Neufeld, Matthew Swallow et Carolyn Wilson

Objectifs d'apprentissage

La présente leçon permettra aux élèves de comprendre :

1. L'influence du climat sur la formation et les propriétés du sol;
2. Le cycle mondial du carbone (C) et le rôle du sol en tant que source et puits, en décrivant le stockage et les transformations du carbone dans le sol;
3. En quoi les différents écosystèmes et les différentes utilisations du sol peuvent donner différents bilans de carbone;
4. La façon dont la conversion de terres indigènes en terres agricoles modifie l'aptitude des sols à conserver le carbone.

Changement climatique

La Terre reçoit les rayons du soleil et sa surface émet de la radiation infrarouge. Dans l'atmosphère, des molécules que l'on appelle des **gaz à effet de serre** (dioxyde de carbone, méthane, oxyde nitreux et vapeur d'eau) absorbent une partie de la radiation infrarouge et la réfléchissent. L'**effet de serre** réchauffe suffisamment les températures pour promouvoir la vie sur Terre. Si la concentration des gaz à effet de serre augmente, la température de la planète a également tendance à s'accroître. Les conditions climatiques de la Terre changent continuellement. Des variations naturelles du climat (**changement climatique**) sont survenues tout au long de l'Histoire. Cependant, le réchauffement climatique actuel est associé à l'augmentation des **gaz à effet de serre** émis par les humains (Brinkman et Sombroek, 1996).

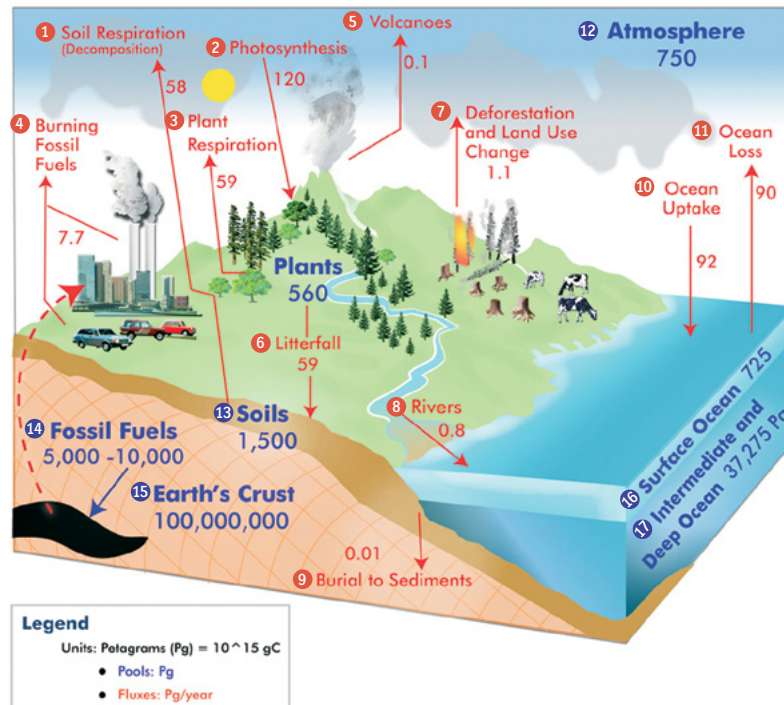
Le sol joue un rôle important dans le changement climatique parce qu'il peut être soit une **source** de gaz à effet de serre (lorsqu'il en produit plus qu'il n'en stocke), soit un **puits** (lorsqu'il en stocke plus qu'il n'en produit), surtout en ce qui concerne le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄) et l'oxyde nitreux (N₂O). Ces gaz sont des sous-produits naturels des processus microbiens du sol, dont certains (p. ex., la respiration et la nitrification) fournissent aussi des nutriments assimilables par les végétaux et contribuent à la stabilité de l'écosystème. Toutefois, si le changement climatique perturbe l'équilibre de ces processus microbiens, le taux des émissions de gaz à effet de serre peut changer rapidement.

Cycle mondial du carbone

Comme toute matière, le carbone effectue un cycle dans le système terrestre (fig. 15). Pour comprendre le cycle du carbone et la façon dont le CO₂ atmosphérique sera modifié, les scientifiques doivent étudier attentivement les points de stockage (**bassins**) du carbone, la période pendant laquelle le carbone y reste et les processus qui lui permettent de passer d'un bassin à l'autre (**flux**). Collectivement, les principaux bassins et flux de carbone de la Terre constituent ce que nous appelons le cycle mondial du carbone.

FIGURE 15. Diagramme du cycle global du carbone (C). Les tailles de réservoir de C (en bleu) sont en petagrammes (Pg) et les flux C (en rouge) sont en Pg par an. (Source: The GLOBE Program)

Le Cycle Global du Carbone



Copyright 2010 GLOBE Carbon Cycle Project, a collaborative project between the University of New Hampshire, Charles University and the GLOBE Program Office. Data Sources: Adapted from Houghton, P.A. Balancing the Global Carbon Budget. Annu. Rev. Earth Planet. Sci. 007.35:313-347, updated emissions values are from the Global Carbon Project. Carbon Budget 2009.

- 1 La respiration du sol
- 2 La Photosynthèse
- 3 La respiration des plantes
- 4 La combustion de combustibles fossiles
- 5 Les Volcans
- 6 La litière
- 7 La déforestation et les changements d'utilisation des terres
- 8 Les Rivières
- 9 Enfouissement des sédiments
- 10 L'absorption par les océans
- 11 La perte d'océan
- 12 L'Atmosphère
- 13 Les sols
- 14 Les combustibles fossiles
- 15 La croûte terrestre
- 16 L'océan surface
- 17 L'océan profonde et intermédiaire

Questions à approfondir

1. Quels sont les gaz à effet de serre les plus communs?
2. Expliquez de quelle façon les gaz à effet de serre contribuent au changement climatique.
3. Quels changements surviendraient dans les communautés microbiennes et végétales de l'Arctique :
 - a. s'il faisait beaucoup plus chaud qu'aujourd'hui?
 - b. s'il faisait beaucoup plus humide qu'aujourd'hui?

Le climat, facteur important de la formation du sol

Conjointement avec le matériau parental, la topographie, les organismes et le temps, le **climat** est l'un des cinq facteurs clés de la formation du sol (Soils of Canada). Le climat influe considérablement sur la formation du sol par les précipitations, la température et le vent.

Sur toute la planète, les sols varient nettement d'une zone climatique à une autre. Par exemple, les sols tropicaux se trouvent dans des régions bénéficiant de températures élevées et de précipitations annuelles abondantes. Ces sols très **météorisés** sont pauvres en nutriments car les ions nutritifs ont été éliminés du profil pédologique par **lessivage**. Une végétation tropicale luxuriante contribue à ramener une partie de ces nutriments dans le sol.

Sous les climats tempérés, comme dans la majeure partie du Canada, la formation du sol est relativement lente car le manteau neigeux et le froid hivernal freinent de nombreux processus de météorisation. Dans les régions du Nord canadien et de l'Arctique, la formation du sol est très limitée et touchée par les processus de congélation-décongélation et les conditions associées au **pergélisol** (fig. 16). Sous les climats secs, un faible taux de précipitations et une évaporation importante forment des sols riches en sels solubles tels que le carbonate de calcium ou le gypse.

FIGURE 16. *Crevasse se formant au bord d'une zone de pergélisol.* (Photo: Wikimedia)



Effets des précipitations, de la température et du vent sur la formation du sol

Précipitations

L'eau de pluie dissout rapidement les sels et les composés ioniques se trouvant à la surface des roches et des matériaux parentaux. De fortes quantités de pluie et une météorisation intense peuvent provoquer le lessivage des nutriments dans le profil pédologique. Le **podzol** (fig. 17) est un exemple de type de sol dans lequel ces processus se déroulent régulièrement. On le trouve souvent dans l'Est du Canada et sur la Côte de la Colombie-Britannique (Soil Classification: Soil Orders of Canada, 2008). Dans ces sols, les composés tels que la matière organique soluble et/ou les oxydes et hydroxydes de fer et d'aluminium descendent dans le profil sous l'horizon A gris et forment un ou des horizons B de couleur vive.

FIGURE 17. Sol podzolique ayant un horizon A gris et des horizons B orangés. (Photo : Maja Krzic, Université de la Colombie-Britannique, Vancouver)



L'eau peut également créer des conditions pédologiques anaérobies (sans oxygène). De nombreux microbes qui ne survivent pas sans oxygène ne peuvent donc pas décomposer la matière organique. Dans des conditions anaérobies, la matière organique s'accumule et mène à la formation des sols de l'ordre **organique**.

Température

La température influe aussi sur la formation du sol. Les températures plus douces favorisent la décomposition de la matière organique ainsi que les réactions chimiques plus rapides, ce qui accélère le processus de météorisation. À mesure que la matière organique se dégrade, du carbone est libéré sous forme de CO₂ ou réduit en molécules organiques par des décomposeurs. À basse température, la décomposition ralentit.

Les cycles de congélation-décongélation qui brisent physiquement l'assise rocheuse ou les sédiments sont un autre exemple de l'impact de la température sur la formation du sol. De l'eau liquide s'infiltré d'abord dans les crevasses de la roche (c.-à-d. le matériau parental). Puis, lorsque l'eau gèle, la glace agrandit ces fissures et de petits fragments rocheux se détachent (fig. 18).

FIGURE 18. *Météorisation de la roche causée par l'effet de congélation-décongélation.* (Photo: Wikimedia)



Vent

Le vent influe sur la formation du sol par l'érosion et le dépôt de substances. Il peut aussi modifier l'effet des précipitations sur le processus de météorisation. Par exemple, des vents forts peuvent accroître la pénétration de la pluie ou de la neige dans les crevasses du matériau parental rocheux.

Le sol en tant qu'élément du climat changeant

Le climat exerce un effet marqué sur la formation du sol. Pensons seulement aux glaciers qui recouvraient jadis la majeure partie du Canada, il y a quelque 10 000 ou 20 000 ans. En se retirant, ils ont eu un effet durable sur le sol et le relief du terrain au cours des processus d'érosion et de dépôt. À l'heure actuelle, la Terre connaît une période de réchauffement. Quels genres d'effets le climat changeant d'aujourd'hui aura-t-il sur la formation du sol?

On prévoit que le changement climatique modifiera directement l'approvisionnement en **matière organique du sol**, les températures et l'**hydrologie**. L'un des changements les plus importants sera le retrait vers le pôle de la limite du pergélisol à la suite de l'accroissement des températures du sol causé par le réchauffement des conditions climatiques. Dans certaines régions du Canada, la douceur du climat entraînera aussi une prolongation de la saison de croissance, ce qui favorisera la pousse d'une végétation capable de protéger le sol contre l'érosion et le ruissellement. Le changement climatique aura aussi des effets indirects sur les sols. Ces effets seront plus apparents dans les régions connaissant des températures plus élevées et des écarts de précipitations plus marqués. On verra par exemple une augmentation de la croissance et de l'utilisation d'eau des végétaux en raison de l'accroissement du CO₂ atmosphérique, une élévation du niveau de la mer, la diminution ou l'accroissement de la couverture végétale causée par le climat et des changements liés à l'effet des humains sur les sols.

L'incidence du changement climatique ne sera d'ailleurs pas uniforme dans tous les écosystèmes. Dans les zones côtières de faible élévation et non protégées, d'importantes inondations d'eau saumâtre favoriseront l'établissement graduel de mangroves du genre *Rhizophora* (fig. 19). Au bout de plusieurs décennies, ces conditions mèneront à la formation de couches pédologiques anaérobies acidosulfatées qui empêcheront la plupart des espèces végétales de pousser.

FIGURE 19. *Palétuvier rouge du Queensland, en Australie.* (Photo : Muriel Gottrop, Wikimedia)



Sous les climats des zones boréales, on prévoit que la réduction progressive du pergélisol entraînera le lessivage des nutriments sur de vastes superficies. En raison du changement climatique prévu, les températures élevées qui sont propices à l'activité microbienne se maintiendront pendant de plus longues périodes, ce qui provoquera une décomposition accrue de la matière organique. Il est probable que l'accroissement de la photosynthèse nette et la période de croissance prolongée (production primaire nette) ne compenseront pas complètement la matière organique perdue. De plus, on s'attend à ce que de plus grandes étendues de sol soient non seulement saturées d'eau (anaérobies) pendant plus longtemps, mais aussi suffisamment tièdes pour soutenir l'activité microbienne. Ces phénomènes causeront probablement le lessivage des nutriments et auront des impacts sur l'environnement. Pour protéger les sols de la planète contre les effets néfastes du changement climatique, il est conseillé aux utilisateurs des terres de prendre les mesures suivantes :

- Gérer les sols de manière à maximiser leur résilience physique grâce à un réseau stable de pores (grands et petits interstices) en maintenant une couverture végétale aussi étendue que possible;
- Employer des méthodes de gestion (p. ex., rotation des cultures, paillage, gestion des résidus de culture, gestion du drainage et autres) qui équilibrent l'apport et la prise de nutriments, tout en maintenant des niveaux de nutriments assez faibles pour réduire les pertes au minimum et assez élevés pour répondre aux besoins occasionnellement accrus des végétaux.

Questions à approfondir

1. Les sols de l'ordre podzolique constituent l'un des dix ordres de sols présents au Canada. À l'aide des renseignements trouvés à la section 3 : Classification des sols au Canada, expliquez comment le climat influe sur la formation des horizons pédologiques d'un autre ordre de sols.
2. Pourquoi des températures plus basses ralentissent-elles la décomposition et la météorisation?
3. Choisissez un écosystème et décrivez en détail la manière dont le changement climatique influera sur l'utilisation des terres de votre choix dans cet écosystème.

Rôle du sol dans le cycle du carbone

Bassins de carbone

Parmi les écosystèmes terrestres, les végétaux et les sols représentent de loin les plus vastes bassins de carbone. On estime à 1500 Pg (un pétagramme de carbone équivaut à un milliard de tonnes métriques de carbone) la quantité totale de carbone présente dans les sols du monde entier. Le flux du carbone qui entre dans ce bassin et en ressort contribue de façon importante à la quantité de carbone rejetée dans l'atmosphère.

Les principaux bassins de carbone sur la Terre sont :

- La croûte terrestre (y compris les combustibles fossiles!)
- Les océans
- Les écosystèmes terrestres (végétaux, animaux, sols et microorganismes)

La majeure partie du carbone présent dans le sol est stocké sous forme de **carbone organique du sol**, qui provient de matériel végétal et de microorganismes morts. Le carbone organique du sol se présente sous de nombreuses formes : des restes de végétaux et d'animaux morts qui ne sont pas encore décomposés, des microorganismes vivants, des composés organiques petits et simples que les microorganismes décomposent facilement, ou des composés organiques plus complexes qui résistent à la décomposition. Plus profondément dans le sol, le carbone organique devient moins abondant. Beaucoup de végétaux morts depuis peu et de petits composés organiques simples forment un bassin de matière organique **labile**, laquelle est très facilement décomposée par les microbes et ne demeure pas dans le sol très longtemps. Une partie de la matière organique labile sera transformée par les microbes en d'autres formes de matière organique qui ne se décomposent pas facilement. C'est ce que l'on appelle la matière organique **récalcitrante** (qui peut comprendre du matériel végétal plus difficile à décomposer). L'équilibre qui existe entre ces deux bassins et le taux de transformation de la matière organique labile en matière organique récalcitrante peuvent déterminer la rapidité avec laquelle la matière organique est décomposée et le carbone est libéré sous forme d'émissions de CO₂. Si elles sont enfouies sous terre ou ne peuvent être décomposées, la matière organique labile et la matière organique récalcitrante peuvent être converties en combustibles fossiles, quoique ce processus se déroule sur une très longue période. Avant que les humains ne commencent à extraire et à brûler les combustibles fossiles (en libérant des bassins de carbone stockés de longue date), ceux-ci étaient éliminés au cours des flux quotidiens et annuels du cycle du carbone.

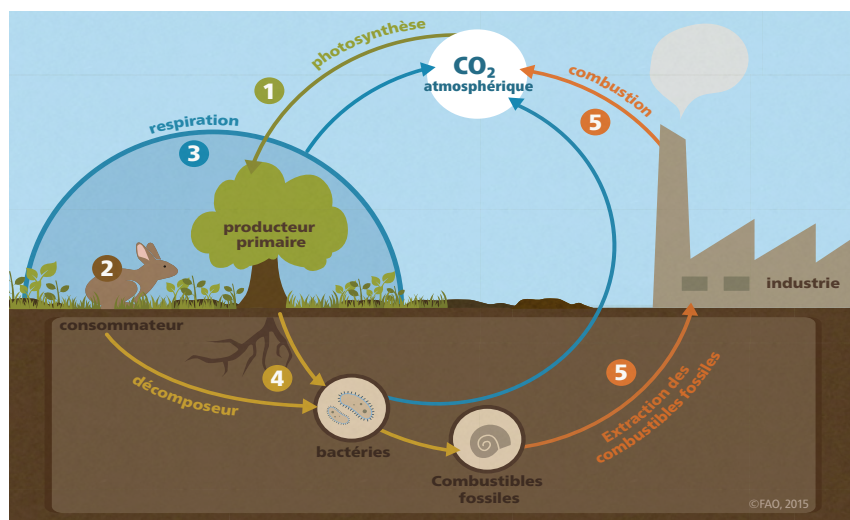
Flux de carbone

On appelle « flux » le déplacement de toute matière d'un endroit à un autre. Le **flux de carbone** est donc le transfert du carbone d'un bassin à un autre. Le flux correspond habituellement à un taux exprimé en unités pour indiquer une quantité de substance qui est transférée pendant une certaine période de temps (p. ex., $\text{g cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ ou $\text{kg km}^{-2} \text{an}^{-1}$). Un seul bassin de carbone peut souvent avoir plusieurs flux, de sorte que du carbone est ajouté et perdu simultanément. Par exemple, l'atmosphère enregistre des entrées associées à la décomposition (CO_2 libéré par la dégradation de la matière organique), aux feux de forêt et à la combustion de combustibles fossiles, et des sorties associées à la croissance des végétaux et à l'absorption du CO_2 par les océans.

Ajouts

L'ajout de carbone dans le sol (appelé **séquestration**) survient lorsque du carbone présent dans l'atmosphère est capté par des moyens physiques, chimiques ou biologiques. Ce processus est principalement réalisé par la **photosynthèse** (fig. 20, n° 1), lorsque les végétaux absorbent le CO_2 de l'air et stockent le carbone dans leur biomasse. Une partie de la biomasse consommée par les animaux est incorporée à la chaîne alimentaire (fig. 20, n° 2). Lorsque les animaux meurent, une partie de la biomasse provenant de leur organisme se retrouve dans le sol où elle s'ajoute au bassin de la **matière organique du sol** (fig. 20, n° 4).

FIGURE 20. Le cycle mondial du carbone (Source: FAO 2015)



Pertes

Les pertes de carbone (qu'on appelle aussi émissions de gaz à effet de serre) surviennent lorsque le sol perd du carbone. Les microorganismes **décomposent** la matière organique en CO_2 ou en CH_4 (méthane) au cours du processus de la **respiration** (fig. 20, n° 3). Les végétaux et les animaux respirent aussi du CO_2 (tout comme les humains), mais dans une moindre mesure que les microbes. Le processus de la respiration microbienne décompose surtout de la matière organique **labile**. En général, les microorganismes préfèrent des températures modérées et de l'eau contenant suffisamment d'oxygène (comme nous, la plupart des microorganismes ont besoin d'oxygène pour survivre). Dans ces circonstances, les microorganismes transforment le carbone en CO_2 et le rejettent dans l'atmosphère.

Lorsqu'il y a trop d'eau et par conséquent, pas assez d'oxygène pour que les microorganismes transforment le carbone en CO₂, certains organismes commencent à transformer le carbone en CH₄. Ce processus est plus lent que la respiration produisant du CO₂; cependant, le CH₄ étant un gaz à effet de serre plus puissant que le CO₂, il peut exercer un effet proportionnellement plus marqué sur le changement climatique.

Le carbone absorbé par les lacs et les océans représente également une perte qui peut survenir à cause du **ruissellement** : au cours d'une précipitation donnée, une partie du sol est entraînée dans les ruisseaux et les cours d'eau, et atteint parfois des lacs et des rivières. Le carbone emprisonné dans le sol en mouvement peut être plus facilement exposé à la décomposition. La perte peut aussi se produire par **lessivage**, lorsque de petits fragments de carbone organique se dissolvent dans l'eau et se déversent dans des plans d'eau. Ce phénomène augmente les stocks de carbone de l'océan et expose le carbone à la décomposition par les organismes aquatiques.

Bilan de carbone

La différence (**bilan du C**) entre les flux de carbone entrant et sortant permet de déterminer si le sol accumule du carbone (**puits**) ou s'il en rejette (**source**). Certains écosystèmes peuvent être une source à un moment donné, et un puits à un autre.

$$\text{Bilan de C} = C_{\text{entrées (photosynthèse)}} - C_{\text{sorties (respiration)}}$$

Par exemple, dans les forêts boréales du Canada, la photosynthèse effectuée par les arbres et les autres végétaux est plus intense en été, lorsqu'il fait plus chaud et plus clair. Quand les arbres et le sol respirent en même temps, la photosynthèse est suffisante pour qu'il y ait un gain net de carbone qui sera absorbé par les arbres eux-mêmes, les animaux et le sol. En été, les forêts sont des **puits** de carbone. Par contre, en hiver, il y a moins de soleil et la photosynthèse réalisée par les végétaux ralentit ou cesse. Les végétaux demeurent cependant en vie et n'arrêtent pas de respirer. Même s'il fait plus froid, les microorganismes continuent de dégrader des composés organiques et de libérer du CO₂. Les forêts deviennent donc une **source** de carbone en hiver. L'évaluation de la photosynthèse réalisée en été et de la quantité perdue en hiver permet de déterminer si les forêts constituent un puits net ou une source nette.

Bilans de carbone dans l'hémisphère Nord

Les écosystèmes septentrionaux sont un bon exemple de ce fragile équilibre. Du point de vue historique, dans les écosystèmes des régions boréales et de la taïga du Nord, le sol est un **puits de carbone**. En raison du froid et de la courte saison de croissance, les végétaux y poussent assez lentement et n'accumulent donc que très insensiblement le carbone dans leur biomasse. Toutefois, le climat froid signifie aussi que la décomposition est encore plus lente; dans les régions où le sol est gelé en permanence et souvent saturé, même la matière organique relativement **labile** peut s'accumuler (ce qui donne des sols **organiques**, ou tourbières). À l'échelle planétaire, jusqu'à 30 % du carbone terrestre peut être stocké dans les sols et les végétaux des écosystèmes septentrionaux.

Le réchauffement climatique signifie que ces écosystèmes se réchauffent aussi. Le pergélisol dans lequel du carbone labile était congelé en couches successives depuis des millénaires se décongèle peu à peu dans les régions boréales et la toundra (fig. 21). Si le milieu devenait plus sec, la décomposition augmenterait de façon spectaculaire (en particulier les émissions de CO₂) et ces systèmes, qui étaient des **puits**, deviendraient des **sources** de carbone.

FIGURE 21. L'effondrement du pergélisol dans une tourbière en Alaska provoque le renversement des arbres qui perdent leur soutien structural. (Photo : Katarina Neufeld, Université de la Colombie-Britannique, Vancouver)



Questions à approfondir

1. Dans des écosystèmes chauds et humides, où le sol enregistre un taux de décomposition très élevé, que doit-il se produire pour qu'un écosystème devienne un puits de carbone?
2. a) Pouvez-vous indiquer une chose que les humains peuvent faire pour qu'un sol qui constitue un puit de carbone devienne une source de carbone?
b) À l'inverse, comment faire pour qu'un sol considéré comme une source de carbone devienne un puits?

SECTION 6 La conversion des terres et ses effets sur le carbone du sol

Matière organique du sol et conversion des terres

Grâce à la photosynthèse, les végétaux créent de la biomasse en captant du CO_2 atmosphérique. Lorsqu'une plante meurt, sa biomasse se décompose dans le sol. Au cours de la décomposition, la biomasse végétale est soit rejetée dans l'air sous forme de CO_2 , soit intégrée dans le sol sous forme de matière organique du sol (MOS). Même la MOS finira par être décomposée et rejetée dans l'air, mais ce sera au cours d'un processus beaucoup plus lent que la décomposition de la nouvelle biomasse végétale. La quantité de MOS présente dans un sol est déterminée en calculant la différence entre la MOS qui est décomposée et la nouvelle biomasse qui est transformée en MOS. En modifiant l'état initial des terres, les humains peuvent changer la quantité de MOS présente dans le sol.

La **conversion des terres** consiste à changer l'état des terres pour un autre usage, par exemple lorsqu'on souhaite utiliser des zones naturelles aux fins d'agriculture, d'extraction de ressources, de logement et d'activité industrielle (fig. 22). La conversion des terres joue un rôle dans les cycles mondiaux du carbone puisque ce processus peut modifier le bilan des ajouts et des pertes de MOS.

FIGURE 22. Conversion de forêts pluviales amazoniennes pour la production de soja. (Photo : C. Azevedo-Ramos, FAO)



Conversion des terres forestières

La conversion des terres forestières s'effectue à un rythme accéléré partout dans le monde. La conversion des forêts à d'autres utilisations, telles que l'agriculture, exige habituellement une coupe intégrale de la végétation forestière et perturbe le bilan de MOS dans le sol. On procède souvent par brûlage, ce qui élimine le reste de la biomasse végétale de la forêt initiale et libère rapidement des gaz à effet de serre qui sont les produits de la combustion. En outre, lorsqu'il n'y a plus d'arbres, le sol est directement exposé aux rayons du soleil. La température du sol mis à nu s'élèvera, ce qui provoquera la transformation d'une grande partie de la MOS restante en dioxyde de carbone. Par ailleurs, dans certaines circonstances, lorsque des zones boisées sont converties en prairies, les nouvelles plantes herbacées ramènent de la MOS dans le sol.

Les émissions de carbone résultant de la conversion des terres forestières peuvent être importantes. En Amérique latine, elles comptent pour 46 % des émissions de dioxyde de carbone de la région. Au Brésil, la conversion des forêts totalise environ 2,5 millions d'hectares chaque année et est à l'origine d'environ 52 % des émissions annuelles de gaz à effet de serre du pays. En Asie du Sud-Est, on convertit de très vastes parcelles de forêts naturelles en plantations pour cultiver de nombreux produits tels que l'huile de palme. Beaucoup de ces forêts sont des tourbières tropicales uniques qui, à l'état naturel, stockent de grandes quantités de carbone (C) du sol, mais qui en rejettent au contraire lorsqu'elles sont converties (fig. 23). La conversion d'un hectare de forêt tourbeuse tropicale à la production d'huile de palme rejettera chaque année, en moyenne, autant de dioxyde de carbone que 12 automobiles pendant les 25 premières années suivant la plantation. Jusqu'à présent, des millions d'hectares de forêts tourbeuses ont été convertis à la production d'huile de palme, et on continue d'en convertir des milliers d'autres chaque année. Dans l'ensemble, le total des émissions provenant de la production d'huile de palme est considérable : il atteint environ 1,4 Gt/an et continue d'augmenter (Programme des Nations Unies pour l'environnement, 2007). Selon les taux d'émissions de 1990, la quantité de carbone rejetée par les tourbières converties représente environ 5 % des émissions de carbone humaines mondiales.

FIGURE 23. Déforestation de forêts tourbeuses de Sumatra pour la production d'huile de palme.
(Photo : « Riau deforestation 2006 » par Aidenvironment, 2006)



Conversion des prairies

Les prairies couvrent environ 40,5 % de la surface terrestre, à l'exception du Groenland et de l'Antarctique. Par nature, les sols de prairie stockent du carbone en produisant de grandes quantités de biomasse racinaire chaque année. Dans le milieu naturel, la végétation prairiale protège le carbone du sol contre l'érosion par le vent, et le sol lui-même contre la lumière directe du soleil. Cependant, le climat qui est propice aux sols de prairie convient également aux cultures agricoles et aux pâturages pour les animaux d'élevage. Partout dans le monde, la plupart des prairies sont converties soit en pâturages, soit en cultures agricoles. Les plantes indigènes des prairies possèdent un large système racinaire qui, lorsqu'il meurt, ajoute de la matière organique dans le sol. Les cultures exigent souvent un travail de la terre qui brise la structure naturelle du sol et y ajoute de l'oxygène. L'accroissement de l'oxygène stimule les microorganismes du sol qui se mettent à dégrader plus rapidement la MOS. Compte tenu de ces deux facteurs, la conversion des prairies en terres agricoles peut provoquer un rejet rapide de MOS dans l'atmosphère. Or, la MOS est le ciment qui favorise une bonne agrégation du sol. La biomasse végétale d'origine étant disparue, l'agent biotique qu'est la MOS ne peut

être remplacé et bientôt, la structure du sol s'affaiblit, ce qui entraîne d'autres problèmes de gestion des terres et accroît les risques d'érosion du sol et de perte de carbone.

FIGURE 24: *Tempête de poussière à Spearman, au Texas* (Photo : Wikimedia)



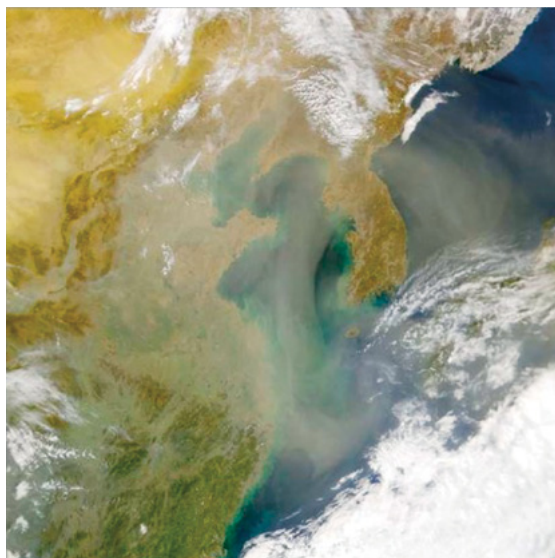
Au début du XX^e siècle, il s'est produit une forte augmentation de la conversion des prairies en terres agricoles aux États-Unis et, dans une moindre mesure, au Canada, lors d'une période de précipitations anormalement abondantes. Lorsque les conditions météorologiques de ce milieu aride à semi-aride sont revenues à la normale, les techniques de gestion inappropriées avaient éliminé toute couverture végétale à la surface du sol, ce qui a accru les risques d'érosion par le vent. De telles décisions liées à l'utilisation du sol ont eu de terribles conséquences lorsqu'une grave sécheresse a sévi dans les années 30 et a rendu impossible toute production agricole

dans les régions concernées. Les grandes tempêtes de poussière (fig. 24) sont alors devenues fréquentes, puisque les mauvaises pratiques de gestion avaient détruit la structure pédologique et en même temps, la matière organique du sol (MOS). En tout, le bol de poussière ainsi créé aux États-Unis a obligé 2,5 millions de personnes à quitter leurs foyers pour aller s'installer dans d'autres régions. Cette immense catastrophe a mené à l'établissement de diverses pratiques de conservation des sols et à la mise en œuvre de programmes visant la protection des sols et le rétablissement de l'équilibre écologique.

Encore aujourd'hui, l'érosion du sol persiste dans une certaine mesure en Amérique du Nord, mais les tempêtes de poussière sont beaucoup moins intenses et moins fréquentes qu'auparavant. Malheureusement, l'agriculture intensive et les pratiques de gestion des terres en vigueur dans d'autres régions du monde telles que la Chine ont créé de nouvelles conditions associées aux bols de poussière qui ont de graves conséquences pour la population et qui sont même visibles de l'espace (fig. 25).

FIGURE 25. Nuages de poussière quittant la Chine continentale et se déplaçant vers la Corée et le Japon.

(Photo: Wikimedia)



Restitution de la matière organique du sol

L'une des stratégies permettant de s'attaquer au changement climatique planétaire consiste à gérer le carbone du sol en réglant l'utilisation des terres. En Amazonie, des projets de reforestation des forêts pluviales montrent que le carbone perdu lors de la conversion des terres peut être récupéré dans l'atmosphère en créant de nouvelles entrées de biomasse dans le sol. De nombreux agriculteurs d'Amérique du Nord et du monde entier ont retenu une leçon à la suite des erreurs commises au début du XX^e siècle : ils limitent maintenant le travail du sol (fig. 26), laissent des résidus de culture au sol après la récolte et sèment des cultures-abris entre les saisons de croissance. Ces pratiques de gestion protègent le sol en prévenant l'érosion par le vent et en fournissant de la biomasse végétale pouvant être transformée en MOS.

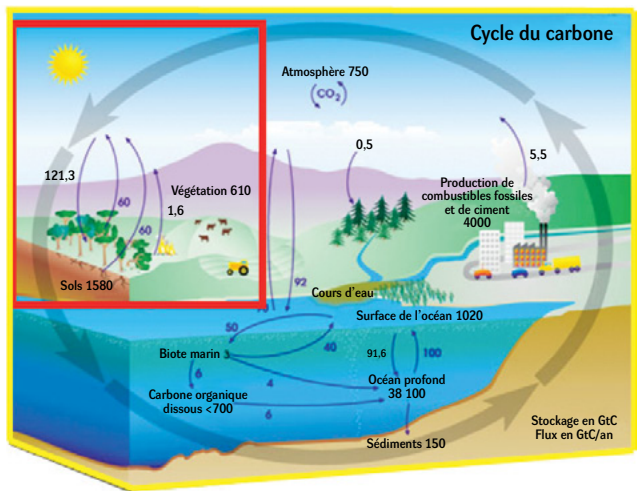
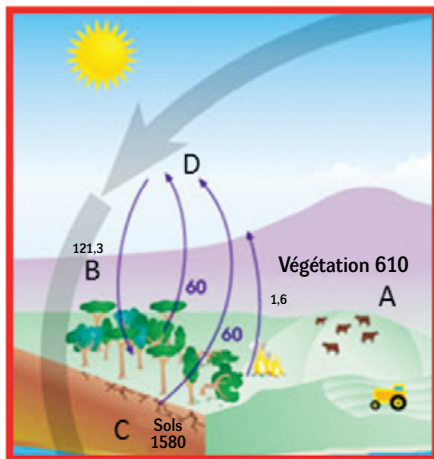
Les agriculteurs qui emploient ces techniques de gestion des terres ont aussi compris que le fait de promouvoir la formation de la MOS dans le sol favorise la croissance des cultures et la productivité à long terme du sol. À titre d'avantage supplémentaire, la MOS ainsi ajoutée aide à extraire du carbone de l'atmosphère. En gérant les terres cultivées et d'autres terres converties en fonction de la MOS, les humains disposent désormais d'un moyen de récupérer le carbone perdu à la suite de la conversion des terres et de mauvaises pratiques de gestion. Ces stratégies peuvent être appliquées partout dans le monde où la MOS est actuellement à risque. Dans l'avenir, la gestion des terres converties en vue d'augmenter la MOS pourrait être un moyen efficace de contribuer à compenser les émissions de carbone provenant d'autres sources humaines.

FIGURE 26. À Mauá, au Brésil, du maïs sans labour traverse les résidus de paille couvrant la surface du sol (photo : FAO).



Questions à approfondir

Schéma réalisé d'après la page « Simple Carbon Cycle », sur Wikipedia. Les chiffres noirs indiquent la quantité de carbone stockée dans cette partie du cycle du carbone en milliards de tonnes et les flèches violettes indiquent la quantité de carbone qui entre dans cette partie du cycle du carbone ou qui en sort.



En vous servant du schéma ci-dessus montrant le cycle du carbone, répondez aux questions suivantes (le corrigé suit) :

1. Dans l'encadré rouge, **A** représente la quantité totale de carbone présente dans la végétation et **B** représente la quantité de carbone prélevée chaque année par les végétaux dans l'atmosphère. De quelle façon **A** et **B** changeront-ils si la conversion des terres réduit la végétation? Les chiffres augmenteront-ils ou diminueront-ils? Pourquoi?
2. Dans l'encadré rouge, **C** représente la quantité totale de carbone présente dans le sol et **D** représente la quantité de carbone du sol perdue chaque année. De quelle façon ces chiffres changeront-ils si la conversion des terres réduit l'entrée de nouvelle biomasse végétale dans le sol et expose le sol au soleil? Les chiffres augmenteront-ils ou diminueront-ils? Pourquoi?
3. Dans l'encadré jaune, on voit les autres sources de carbone et la quantité totale de carbone dans l'atmosphère. En supposant que les émissions de carbone des humains ne changent pas, de quelle façon les effets décrits aux points 1 et 2 influenceront-ils sur le chiffre global correspondant au carbone atmosphérique? Le chiffre augmentera-t-il ou diminuera-t-il? Pourquoi?
4. Quelles parties du cycle du carbone seraient touchées si des pratiques axées sur la gestion de la matière organique du sol étaient employées partout dans le monde? De quelle façon ces pratiques modifieraient-elles les parties du cycle du carbone que vous avez étudiées aux points 1, 2 et 3?

Glossaire

- B Bassins (de carbone)** – Lieux de stockage du carbone.
- Bilan de carbone** – Différence entre les ajouts et les pertes de carbone dans un système; permet de déterminer si un bassin de carbone est un puits ou une source.
- C Carbone organique du sol** – Carbone stocké dans des molécules organiques du sol et provenant de matériel végétal et de microorganismes morts.
- Changement climatique** – Variations climatiques à long terme pouvant être d'origine naturelle, ou être causées ou précipitées par l'activité humaine.
- Climat** – Ensemble des conditions météorologiques qui caractérisent un lieu donné pendant une longue période, y compris la température, l'humidité, le vent, les précipitations et d'autres données météorologiques.
- Conversion des terres** – Changement d'utilisation des terres.
- Cycle mondial du carbone** – Ensemble des grands bassins et des flux de carbone sur Terre.
- D Décomposition** – Processus au cours duquel des organismes (p. ex., des microorganismes, des champignons) dégradent la matière organique en molécules simples non organiques, telles que le dioxyde de carbone.
- E Eau saumâtre** – Eau salée mêlée à de l'eau douce.
- Effet de serre** – Phénomène au cours duquel l'atmosphère terrestre absorbe une partie de l'énergie solaire et réchauffe la surface de la Terre.
- F Flux (de carbone)** – Processus de transfert du carbone d'un bassin à un autre.
- G Gaz à effet de serre** – Gaz qui contribuent à l'effet de serre en absorbant de l'énergie solaire ou terrestre et en la renvoyant sous forme de chaleur (les principaux gaz à effet de serre sont le dioxyde de carbone, le méthane, l'oxyde nitreux et la vapeur d'eau).
- H Hydrologie** – Science appliquée aux propriétés de l'eau sur la Terre, en particulier son écoulement par rapport au sol.
- Hydrologie du sol** – Étude des propriétés, de la répartition et des effets de l'eau sur le sol.
- L Lessivage** – Perte des nutriments hydrosolubles (dissous) du sol, habituellement sous l'action de l'eau.
- M Matière organique du sol** – Résidus végétaux et animaux présents dans le sol à différents stades de décomposition, ainsi que cellules et tissus provenant d'organismes du sol et substances synthétisées par des organismes du sol.
- Matière organique labile** – Matière organique facilement décomposée par les microbes.
- Matière organique récalcitrante** – Matière organique qui résiste à la décomposition par les microbes et qui se dégrade plus lentement que la matière organique labile.
- Météorisation** – Dégradation et changements touchant les roches, le sol et les sédiments à la surface ou près de la surface de la Terre, par l'action d'agents biologiques, chimiques ou physiques ou d'une association de ces agents.
- O Ordre organique** – Ordre de sols (dans le Système canadien de classification des sols) associé à l'accumulation de matières organiques (tourbe) dans un milieu saturé d'eau.

Ordre podzolique – Ordre pédologique de sols (dans le Système canadien de classification des sols) associé à la végétation coniférienne et à un matériau parental rocheux de type igné. Une forte pluviosité (associée à une acidité élevée) provoque le lessivage d’ions des horizons supérieurs vers les profils inférieurs du sol, où le fer et l’aluminium s’accumulent en créant un horizon B de couleur orangée.

P Pergélisol – Sol, roche ou sédiments congelés pendant au moins deux années consécutives.

Photosynthèse – Processus par lequel un végétal transforme du dioxyde de carbone en biomasse végétale et emmagasine de l’énergie pour lui-même et pour tous les autres êtres vivants.

Puits de gaz à effet de serre – Bassin de carbone ou d’azote qui stocke plus de gaz à effet de serre qu’il n’en rejette.

R Respiration – Processus par lequel les organismes libèrent de l’énergie; le dioxyde de carbone est un sous-produit de ce processus.

Ruissellement – Eau de précipitation qui s’écoule à la surface du sol et qui entraîne souvent de la terre dans son sillage.

S Séquestration – Processus par lequel du carbone provenant habituellement de l’atmosphère est ajouté dans un bassin (p. ex., le sol ou les océans).

Source de gaz à effet de serre – Bassin de carbone ou d’azote qui produit plus de gaz à effet de serre qu’il n’en stocke.

Bibliographie

Brinkman, R., et W.G. Sombroek. « Les effets du changement global sur les conditions du sol en relation avec la croissance végétale et la production alimentaire ». Dans Changements du climat et production agricole, des éditeurs F. Bazzaz et W. Sombroek, Chichester (Angleterre), John Wiley & Sons Ltd., 1996.

FAO. Développement durable et lutte contre la déforestation en Amazonie brésilienne: le bon, le mauvais et le pire, par C. Azevedo-Ramos. <http://www.fao.org/docrep/011/i0440f/i0440f03.htm>.

FAO. Les sols contribuent à lutter contre le changement climatique et à s'adapter à ses effets : Les sols jouent un rôle essentiel dans le cycle du carbone, 2015. <http://www.fao.org/3/a-i4737f.pdf>

Palm Oil and Forest Conversion. http://wwf.panda.org/what_we_do/footprint/agriculture/about_palm_oil/environmental_impacts/forest_conversion/

Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUÉ), Global Environmental Facility, Global Environment Centre et Wetlands International. Assessment on peatlands, biodiversity and climate change (sommaire), PNUÉ, Nairobi, 2007.

Soil Classification: Soil Orders of Canada, 2008. <http://soilweb.landfood.ubc.ca/classification/>

Soils of Canada. Review of five factors of soil formation. Université de la Saskatchewan, Saskatoon. www.soilsofcanada.ca/soil_formation/factors.php

Université du New Hampshire. An Introduction to the global carbon cycle, GLOBE Carbon Cycle. <http://globecarboncycle.unh.edu/CarbonCycleBackground.pdf>