

**Texte gracieusement offert par : Terry Tollefson, Département  
des sciences du sol, Université de la Saskatchewan**

**Traduit par : Nicolas Bélanger**

**© 2005, Terry Tollefson, Département des sciences du sol  
Université de la Saskatchewan**

# Les sols et leur environnement

Les trois besoins les plus vitaux de l'être humain sont: (1) la nourriture, (2) le refuge et (3) les vêtements. Le sol est la source principale de ces nécessités. À l'exception de la nourriture tirant son origine des océans, les humains sont totalement dépendants du sol pour s'alimenter. Les plantes supportent la vie animale alors que les humains survivent en consommant les animaux et/ou les végétaux. Plusieurs matériaux de construction de base qu'utilisent les gens (par exemple le bois, les herbacées, les feuilles, la pelouse, les briques, le mortier et le ciment) proviennent directement ou indirectement du sol. Similairement, les matériaux de confection de vêtements (par exemple, le coton, le lin, le jute, le cuir et le caoutchouc) découlent directement ou indirectement du sol. Il est donc évident que le bien-être des êtres humains dépend de la santé des sols.

Le sol est perçu comme une ressource qui se renouvelle lentement. Cependant, le sol est considéré comme une ressource non renouvelable si nous comparons le temps requis pour son renouvellement à celui de l'évolution de l'humanité. La formation du sol se mesure en centaines sinon en milliers d'années. La détérioration de la qualité du sol par des phénomènes comme l'érosion par l'eau et le vent ou la diminution de la matière organique peuvent se faire plus rapidement que le temps nécessaire pour la régénération du sol. La productivité du sol est ainsi diminuée. Une compréhension de la ressource édaphique (sol) nous permettra de reconnaître les problèmes potentiels et d'identifier les solutions.

Les problématiques actuelles requièrent souvent une connaissance élémentaire de la science du sol pour la prise de décisions éclairées. De bonnes terres agricoles sont continuellement retirées de la production pour faire place au développement urbain. Si ce n'est pas fait selon les règles de l'art, l'épandage de résidus municipaux et industriels sur les terres agricoles peut mener à une accumulation de polluants qui peut réduire l'habileté du sol à supporter la vie végétale. Des projets importants de drainage ainsi que la construction de barrage ne peuvent se faire qu'au moment où les impacts sur la ressource édaphique sont bien compris. Ce sont là des exemples de problématiques qui doivent être abordées et pour lesquelles des politiques doivent être développées de façon appropriée.

Il est souhaitable que notre société reconnaisse prochainement sa responsabilité quant à la protection et la conservation de la ressource vitale qu'est le sol (une

ressource que notre société traite présentement avec passablement d'indifférence). Avec plus de connaissances, nous préserverons cette ressource pour les générations à venir.

## **Qu'est-ce qu'un sol?**

Le sol est un mince dépôt géologique non consolidé qui s'est développé et qui continuera à évoluer à la surface de la Terre. Comparativement aux autres couches géologiques terrestres, le sol est un dépôt extrêmement mince. Les géologues divisent la Terre en quatre couches : (1) le noyau interne, (2) le noyau externe, (3) le manteau et (4) l'écorce. L'écorce, la plus mince des quatre couches, varie entre 5 et 70 kilomètres d'épaisseur. Le sol se développe à la surface de l'écorce, excède rarement deux mètres de profondeur et fait souvent moins d'un mètre.

Les sols changent de façon perpétuelle. Ces changements sont à la fois de nature physique et de nature chimique et sont issus de l'altération. L'intensité des processus d'altération et la nature chimique du dépôt géologique influencent la vitesse à laquelle ces changements prennent place. Lorsque l'on compare diverses localisations sur le globe, il est clair qu'il y a une variété importante de la nature et de l'intensité du processus d'altération et de la nature du matériau géologique à partir duquel le sol se forme. Ce n'est donc pas surprenant qu'il y ait une variété presque infinie de types de sols.

La formation du sol est un processus très lent et complexe qui inclut une phase destructive et une phase constructive (synthèse). Les processus destructifs comme l'altération de la roche et des minéraux et la décomposition de la matière organique dominent le processus de formation du sol. Toutefois, les processus constructifs comme la synthèse de minéraux argileux et de la matière organique ainsi que le développement des horizons font aussi partie du processus de formation du sol.

## **Quelles sont les fonctions globales d'un sol?**

### ***Une matrice pour la croissance des plantes***

Le sol est une composante essentielle pour la croissance d'une plante parce qu'elle procure un substrat ferme auquel le système racinaire de la plante peut se rattacher. Le sol est une source d'eau, d'oxygène et de la plupart des seize nutriments essentiels pour les végétaux. La photosynthèse est un processus où

les plantes combinent le carbone, l'hydrogène et l'oxygène en présence de la lumière pour produire des glucides.

### ***Régularise et purifie les apports en eau***

Le sol est une sorte de tampon capable d'absorber, de stocker et de libérer l'eau provenant de la pluie, la neige ou l'irrigation. Cette capacité de stocker ou de libérer l'eau favorise un apport en eau plus régulier pour les plantes et régularise l'écoulement des ruisseaux, des rivières et des eaux souterraines.

Le sol est également un purificateur en filtrant, absorbant et décomposant les substances toxiques dissoutes dans l'eau.

### ***Habitat pour les organismes et système de recyclage de nutriments***

Le sol abrite une population importante et diversifiée de macro- et microorganismes. Ces organismes sont responsables de la décomposition de la matière organique – une composante centrale du recyclage des éléments nutritifs. Le recyclage des nutriments est primordial pour la stabilité des écosystèmes. En l'absence de recyclage, la capacité d'un sol à supporter la croissance des végétaux diminuerait rapidement.

### ***Le cycle global d'énergie***

En combinaison avec les océans, le sol amoindrit l'influence de la radiation solaire incidente sur la température à la surface terrestre. Dans un premier temps, le sol absorbe l'énergie solaire incidente et ensuite reflète une quantité importante vers l'espace. Ce phénomène prévient la hausse de la température globale, ce qui pourrait s'avérer dangereux.

### ***Une matrice pour les projets d'ingénierie***

Le sol est un matériau primaire utilisé pour la construction de routes, de barrages ou de fondations d'immeubles et de ponts. Dans de telles situations, les propriétés comme la compressibilité, la résistance au cisaillement et la stabilité du sol sont plus importantes que la texture ou la fertilité.

### ***Quelles sont les composantes du sol?***

Le sol est fait de quatre composantes:

- La composante minérale, c'est-à-dire les petites particules de roches et minéraux que l'on voit à l'œil nu;
- La matière organique, c'est-à-dire les débris biologiques (plantes ou animaux). La matière organique constitue seulement 1% à 10% du poids total du sol, mais elle influence grandement les propriétés de celui-ci;

- L'air qui occupe les espaces (pores ou vides) entre les particules de sol;
- L'eau et les microorganismes qui remplissent également les pores.

Toutes ces composantes doivent être présentes de façon à donner un sol capable de soutenir la croissance des plantes.

Ces quatre composantes sont à l'origine des phases solide, liquide et gazeuse du sol.

*Les quatre composantes du sol*

<b>Composantes du sol</b>	<b>Phase du sol</b>
minérale	solide
matière organique	solide
solution	liquide
air	gazeuse

***La phase solide***

Comme vous pouvez le constater dans le tableau ci-haut, la phase solide comporte deux types de substances:

- La matière minérale, incluant les fragments de roches;
- La matière organique.

***Les roches fragmentées et les minéraux***

Les **minéraux** sont des substances solides qui possèdent des compositions chimiques bien définies. Chaque minéral détient une structure cristalline unique et d'autres propriétés distinctes (par exemple, la couleur et la dureté). Quelques-uns des minéraux qu'on retrouve communément dans le sol sont les feldspaths, les ferromagnésiens, le quartz, la biotite, la calcite et les micas.

Dans la nature, il est rarissime de retrouver les minéraux à l'état pur. Ce sont habituellement des mélanges, c'est-à-dire les **roches**.

***La composante organique***

La **matière organique** est incorporée dans le sol minéral par l'entremise de la décomposition des plantes, des animaux et des tissus **microbiens**. L'ajout de débris frais aux sols chauds et humides est accompagné d'une hausse rapide des populations de microorganismes et des taux de décomposition. Lorsque la

décomposition des détritits mène à la formation d'un sol de couleur noir foncé et que l'origine de ces détritits n'est pas reconnaissable, nous l'appelons **humus**. L'humus est un produit de décomposition assez stable. Bien que l'humus et la matière organique proviennent de la même source, la décomposition favorise des changements structuraux et chimiques qui créent des différences considérables entre l'humus et la matière organique. Nous comparons les propriétés de la matière organique à celles de l'humus dans le tableau suivant.

*Comparaison des propriétés de la matière organique à celles de l'humus*

<b>Propriété</b>	<b>Matière organique</b>	<b>Humus</b>
couleur	pâle	foncée
taille	morceaux grossiers	feuilletés microscopiques
surface spécifique	faible	élevée
composition chimique	semblable à la matière organique	fortement modifiée, chimiquement complexe
taux de décomposition par les microorganismes	rapide	lente (résiste à une décomposition additonelle)
capacité d'échange cationique	faible	élevée

La matière organique sera étudiée plus en détail un peu plus tard. Pour le moment, même si la matière organique n'est pas présente en abondance dans le sol, acceptons qu'elle influence grandement ses propriétés:

- La matière organique est un puits de nutriments;
- La matière organique augmente la capacité du sol à retenir l'eau;
- La matière organique améliore la structure du sol et accroît sa résistance à l'érosion.

***La phase liquide***

La phase liquide est composée d'eau et d'éléments nutritifs dissous dans l'eau. En science du sol, la solution du sol est le terme le plus souvent utilisé pour désigner cette substance.

La teneur en eau du sol (ou humidité) actionne une gamme d'activités importantes dans le sol:

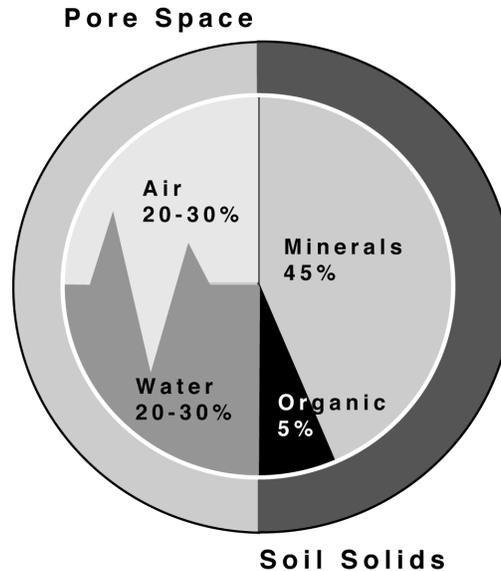
- C'est la matrice à partir de laquelle les nutriments migrent jusqu'à la plante;
- C'est un régulateur efficace de la température du sol;
- Si la teneur en eau du sol diminue, plusieurs réactions physiques et chimiques qui maintiennent la productivité du sol sont ralenties ou stoppées complètement;
- Les microorganismes qui occupent le sol ont également besoin d'eau pour leur survie. S'il n'y a pas assez d'eau, la productivité du sol diminue parce qu'il y a une baisse des populations de microorganismes et de leurs activités.

### ***La phase gazeuse***

Le sol est une matrice poreuse. De ce fait, les vides entre les particules qui ne sont pas saturés en eau renferment de l'air (atmosphère). C'est la phase gazeuse du sol. Ces gaz sont incorporés dans le sol via l'atmosphère et le réseau de pores.

L'atmosphère de la Terre est composée surtout d'azote (78%) et d'oxygène (21%). Le dernier 1% est composé de gaz carbonique, de gaz traces et de vapeur d'eau. Dans l'atmosphère du sol, la concentration en azote est pratiquement la même que celle dans la vraie atmosphère. Toutefois, les concentrations en oxygène et en gaz carbonique peuvent varier beaucoup à cause de la présence d'organismes vivants. La respiration des racines et des microorganismes augmente le CO<sub>2</sub> dans le sol et diminue les niveaux d'O<sub>2</sub>. Les niveaux d'O<sub>2</sub> et de CO<sub>2</sub> sont généralement rapidement normalisés par les échanges gazeux avec l'atmosphère. Cependant, si les pores sont obstrués par une pluie intense ou la compaction du sol, les échanges gazeux entre le sol et l'atmosphère peuvent être réduits ou stoppés complètement pour un certain temps.

La figure suivante présente les proportions idéales entre l'air et l'eau dans le sol pour assurer une bonne productivité des plantes. Il est clair que ces proportions varient de façon dramatique en fonction des alternances d'humectation et de tarissement.



*Composition moyenne des composantes majeures du sol.*

### ***La vie dans le sol***

Le sol supporte une grande diversité végétale. Sous la surface, le sol supporte aussi une grande diversité de microorganismes. Un sol chaud et humide abrite des milliers d'espèces d'organismes de tailles variables, à partir de bactéries unicellulaires et actinomycètes (taille moyenne de 2  $\mu\text{m}$  (2  $\div$  1 000 000 m)) jusqu'aux habitants usuels comme les vers de terre (visibles à l'œil nu). La population de ces organismes est liée à leur taille physique et aux propriétés du sol. Les petits organismes comme les bactéries peuvent atteindre une population se chiffrant dans les milliards par gramme de sol alors que les vers de terre se chiffrant, selon l'espèce étudiée, par centaines ou par milliers dans un mètre carré de sol. La diversité des espèces que l'on retrouve dans le sol est aussi remarquable que le nombre d'individus inventoriés. En 1994, James M. Tiedje a suggéré à partir d'analyses d'ADN que le sol pouvait contenir au moins 10 000 espèces par gramme de sol. Ces microorganismes vivent dans les fissures et les pores ou ils adhèrent sur les surfaces du sol, les particules organiques et les surfaces racinaires. Ces organismes diversifiés sont capables de vivre en (1) consommant d'autres microorganismes ou du matériel organique en dégradation ou en (2) fabriquant leur propre nourriture par l'entremise de procédés chimiques ou photosynthétiques. Ce réseau complexe de producteurs et de consommateurs est à l'origine de la décomposition de la matière organique et conséquemment, du recyclage des nutriments. La capacité du sol à supporter la vie végétale dépend donc de la présence des microorganismes.

## Granulométrie (ou texture), structure et porosité du sol

### *Les fractions granulométriques du sol*

Une évaluation visuelle des sols porte quelqu'un à croire qu'il est composé de petites particules. Un examen plus précis en utilisant un microscope optique divulgue plutôt que le sol est composé de particules de tailles très variables. Dans certains cas, les particules de plus grandes tailles peuvent être visibles à l'œil nu, alors que les plus petites ne sont perçues qu'en amplifiant l'image à l'aide d'un microscope électronique.

La taille des particules est une propriété extrêmement importante parce qu'elle influence grandement les caractéristiques physiques et chimiques du sol. Généralement, les particules de petites tailles influencent de façon plus importante les propriétés du sol que les particules de grandes tailles. De plus, la texture du sol ne change pas rapidement: c'est une propriété du sol qu'on dit constante.

Les particules du sol sont classées selon la taille. Une **fraction granulométrique** est définie comme étant une catégorie de plusieurs tailles continues de particules. Le tableau présente les écarts de tailles pour chacune des fractions granulométriques.

#### *Fractions granulométriques*

<b>Fraction granulométrique</b>	<b>Tailles des particules</b>
sables	2.0 - 0.05 mm
limons	0.05 - 0.002 mm
argiles	< 0.002 mm

Les particules supérieures à 2.0 mm (cailloux, pierres, etc.) ne font pas partie des fractions granulométriques parce qu'elles n'influencent pas les propriétés du sol comme l'apport en nutriments, la capacité de rétention de l'eau et la structure.

### ***La granulométrie (ou la texture) du sol***

Les proportions des différentes fractions granulométriques que les sols contiennent permettent de bien les différencier. La détermination des proportions relatives des sables, des limons et des argiles est la mesure officielle de la **granulométrie** ou de la **texture** du sol. La texture du sol s'exprime en utilisant la fraction granulométrique qui, dans l'ensemble, contrôle les propriétés du sol (par exemple, une argile ou une argile lourde). Une seconde fraction peut être utilisée comme modificateur si celle-ci influence de façon significative les propriétés du sol mais ne les contrôle pas totalement (par exemple, une argile limoneuse ou une argile sableuse). Ce système de nomenclature ne fonctionne pas bien pour un sol qui n'a pas une fraction granulométrique dominante. Dans ces circonstances, le mot **loam** est utilisé. Cependant, on peut également utiliser des modificateurs (par exemple, un loam argileux ou un loam limono-argileux). La proportion de chacune des fractions granulométriques peut varier de façon très significative, mais elles tomberont toujours à l'intérieur des limites d'une seule classe granulométrique. Le triangle des textures de sol présente les différentes classes et leurs limites respectives. Par exemple, notez comment les pourcentages des argiles et des sables varient pour une argile lourde (A-Lo). Le pourcentage des particules argileuses varie entre 60% et 100%, alors que le pourcentage des particules sableuses varie entre 0% et 40%.

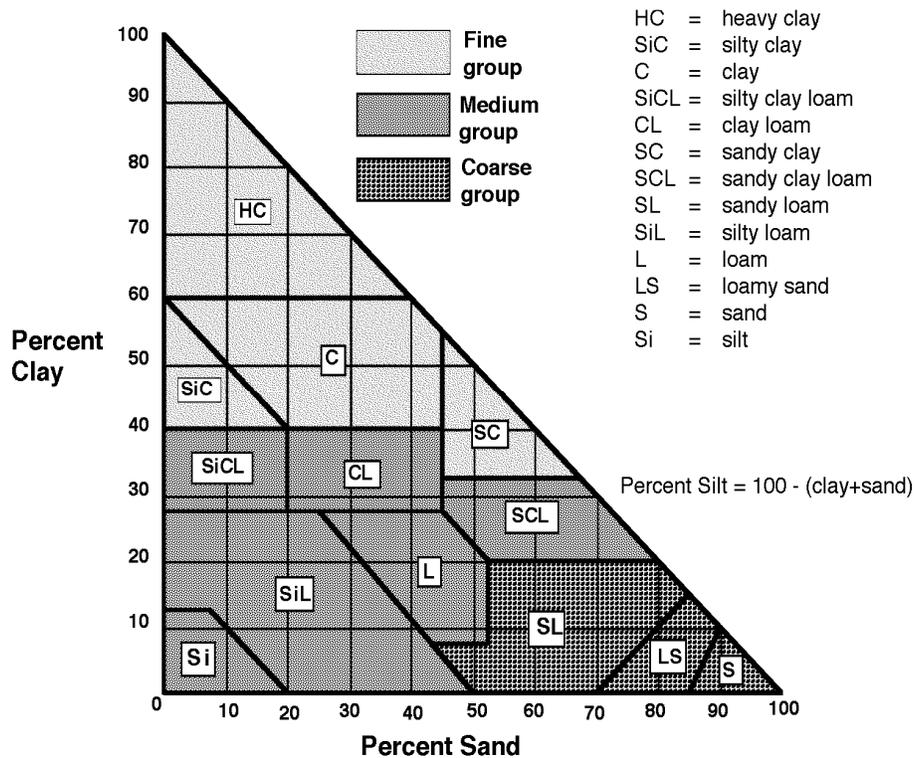
Les expressions générales "grossiers" ou "fin", "léger" ou "lourd" sont communément utilisées pour désigner une texture de sol. Les sols sableux sont souvent désignés comme étant des sols grossiers ou légers et les sols argileux comme étant des sols fins ou lourds. L'expression "grossier" est utilisée parce que les sols sableux sont constitués majoritairement de particules de tailles supérieures ou grossières. L'expression "léger" est utilisée parce que peu de "chevaux vapeurs" sont nécessaires pour leur labour. Les sols argileux sont majoritairement composés de particules fines (ou petites) et le labour de ceux-ci requière de la machinerie procurant beaucoup de "chevaux vapeurs".

La prochaine figure (triangle) présente les pourcentages de sables et d'argiles dans les diverses classes texturales.

Si vous connaissez le pourcentage d'argiles et de sables dans votre sol, vous pouvez déterminer sa classe texturale. Localisez le pourcentage d'argiles à partir de l'axe vertical et projetez une ligne perpendiculaire à cet axe en allant vers l'intérieur. Ensuite, localisez le pourcentage de sables sur l'axe horizontal et projetez une autre ligne perpendiculaire à cet axe horizontal. L'intersection des deux lignes détermine la classe texturale du sol. Le pourcentage de limons est obtenu en additionnant les pourcentages de sables et d'argiles et en soustrayant

ce total à 100, c'est-à-dire  $[100 - (\% \text{argiles} + \% \text{sables})]$ . Par exemple, votre sol est un loam limoneux s'il contient 20% d'argiles et 30% de sables. Le pourcentage de limons dans votre sol est de 50%, soit  $100 - (20\% \text{argiles} + 30\% \text{sables})$ .

Avec un peu d'expérience, une évaluation relativement précise de la classe texturale d'un sol est obtenue en frottant un petit échantillon humecté entre votre pouce et votre index. Le sable est grumeleux, le limon est lisse et glissant et l'argile est collante. On peut subséquemment qualifier cette méthode de "texture au touché".



*Triangle des classes texturales de sol*

### **La porosité du sol**

La nature particulière (ou granulaire) du sol oblige qu'il y ait des espaces vides entre les particules. Ces vides (ou pores) peuvent contenir de l'air, de l'eau ou les deux. Nous savons que la texture du sol est une propriété stable (ou permanente). Ainsi, le volume total de vides (porosité totale) dans un sol donné ne change généralement pas. Les quelques exceptions à cette règle incluent les sols qui subissent une baisse de porosité via le compactage ou encore les sols où la porosité augmente à cause des pratiques de labourage.

Les sols de textures fines contiennent une proportion importante de petites particules. De ce fait, les sols sont prédisposés à produire beaucoup de vides de petites tailles que l'on nomme **micropores**. Les sols grossiers forment des vides plus larges parce qu'ils sont majoritairement constitués de particules de grandes tailles: ce sont les **macropores** et ils permettent une entrée rapide de l'air et de l'eau. Au contraire, les petits vides de sols fins peuvent ralentir la circulation de l'eau et de l'air dans le sol.

Il est important de reconnaître que la taille des micropores est extrêmement petite. Toutefois, le nombre total de vides est très grand. Ainsi, malgré la petitesse des vides, le volume total de vides est normalement plus élevé dans les sols de textures fines.

### ***Le mesurage de la porosité du sol***

La taille individuelle des vides est généralement considérée comme étant une propriété plus importante que la porosité totale. C'est la taille des vides qui contrôle la capacité du sol à transmettre l'air et l'eau, un facteur important pour la croissance des plantes. Le mesurage de la taille individuelle des vides n'est pas une analyse habituelle parce que c'est une tâche exigeante. Au contraire, la porosité totale est relativement facile à estimer si la densité du sol est connue. Le mesurage de la densité d'une substance est un travail standard défini comme étant la masse (poids) par unité de volume d'une substance.

$$Densité = \frac{Poids}{Volume}$$

La densité du sol est généralement exprimée en grammes de sol par centimètres cubes ( $g/cm^3$ ) ou en kilogrammes par mètres cubes ( $kg/m^3$ ). Deux types de mesurage de la densité sont utiles pour caractériser un sol, c'est-à-dire la **densité des particules** (ou **particulaire**) et la **densité apparente**.

La densité particulaire est une mesure du poids par unité de volume des particules seulement. La densité particulaire se détermine facilement en versant un poids connu de sol dans un volume d'eau et mesurant la hausse du volume de l'eau qui résulte du mélange. Les particules de sol sont plus lourdes que l'eau et déplaceront donc un volume d'eau égal au volume des particules. En divisant ensuite le poids de l'échantillon de sol par son volume, vous arriverez à une valeur de densité particulaire. Les minéraux de sol les plus communs ont une densité qui varie entre 2,6 et 2,7  $g/cm^3$ . Une valeur moyenne de 2,65  $g/cm^3$  est communément utilisée.

Au contraire, la densité apparente est une mesure du **poids du sol par unité de volume et incluant les vides**. Un volume donné de particules de sol sera toujours plus lourd que le même volume de sol mais qui enferme les vides. Ainsi, la densité particulaire sera toujours supérieure à la densité apparente.

La **compaction** d'un sol augmente sa densité apparente en forçant physiquement davantage de particules dans un volume donné. La compaction réduit ainsi les espaces vides. Le labourage a l'effet contraire: il réduit la densité apparente du sol. En général, la préparation de terrain, l'amendement en matière organique, la croissance des racines et l'activité des organismes fondeurs tendent à augmenter la porosité du sol et conséquemment, réduire la densité apparente.

Si la densité apparente et la densité particulaire sont connues, la **porosité totale** d'un sol peut être calculée en utilisant l'équation suivante:

$$Porosité \cdot totale = 100 - \left( \frac{porosité \cdot apparente}{porosité \cdot particulaire} \times 100 \right)$$

Le tableau présente des densités apparentes et des porosités pour une gamme de classes texturales.

*La texture du sol et sa relation avec la densité apparente et la porosité*

<b>Classe texturale</b>	<b>Densité apparente (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Porosité (%)</b>
sable	1,55	42
loam sableux	1,40	48
loam	1,20	55
loam limoneux	1,15	56
argile	1,05	60

**Les facteurs influençant la porosité**

La texture du sol et la matière organique sont des facteurs qui influencent de façon très importante la porosité du sol. La texture est un mesurage de la taille des particules. La taille des particules influence à son tour la taille des vides. Les sols de textures grossières ont une proportion élevée de vides de grandes tailles (compte tenu de la grande taille des particules), ce qui mène à un plus petit

volume total de vides. Au contraire, les sols de textures fines ont de petits vides mais une porosité totale élevée.

La matière organique encourage les particules de sol à coller ensemble pour former des granules poreuses. Ces granules exhibent une porosité totale plus élevée que si le sol ne formait pas ces agrégats. Ainsi, les sols de textures fines, riches en matière organique et possédant des structures granuleuses bien développées sont de bons exemples de sols pourvus d'une porosité totale élevée.

Les horizons superficiels tendent à posséder une porosité totale plus élevée que les horizons plus profonds. Ces derniers tendent à avoir peu ou pas de matière organique pour encourager la formation de structures granuleuses. Aussi, le poids des horizons de surface favorise le compactage des horizons inférieurs.

Les systèmes de gestion des récoltes et des sols influenceront la porosité du sol, particulièrement en surface. L'apport annuel de grandes quantités de fumier et la mise en terre d'espèces possédant un système racinaire important (par exemple, les graminées et la luzerne) tendent à augmenter la porosité totale. L'influence du labour sur la porosité du sol se fait de deux façons. L'impact immédiat est de relâcher le sol et d'augmenter sa porosité. À plus long terme, un labour intensif accélère la perte de matière organique et brise les granules, diminuant ainsi les bienfaits de la structure grumeleuse et entraînant la baisse de la porosité. D'autres pratiques de labour peuvent réduire la porosité en compactant le sol de par (1) le travail durant les périodes où les sols ont des teneurs en eau inadéquates ou (2) l'usage d'une machinerie très lourde.

### ***La structure du sol***

Nous comprenons maintenant que la texture du sol est très importante pour déterminer la taille des vides et de la porosité. Ce sont d'importantes propriétés qui contrôlent la vitesse à laquelle l'eau et les gaz circulent dans le sol. La structure du sol est une autre propriété pouvant influencer la taille des vides et la porosité totale et conséquemment, la présence d'eau et de gaz dans le sol.

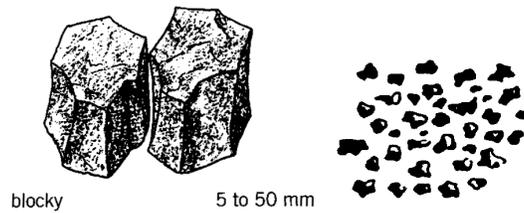
De par les processus physiques, chimiques et biologiques, les particules individuelles s'unissent ensemble pour former des **agrégats**. On retrouve plusieurs tailles et formes. Ces agrégats (et les systèmes de vides) génèrent les différentes structures de sol. Les quatre types de structure de sol sont les suivantes:

1. Polyédrique;

2. Lamellaire;
3. Prismatique;
4. Sans structure.

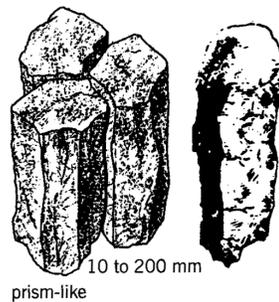
**Les types de structures de sol**

1. Les dimensions horizontale et verticale des structures polyédriques sont à peu près égales.



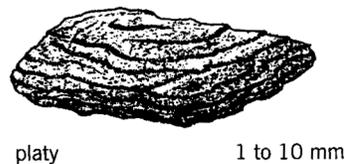
*Structures polyédriques*

2. La dimension verticale de la structure prismatique est supérieure à la dimension horizontale.



*Structures prismatiques: A=prismatique; B=colonnaire*

3. La dimension horizontale des structures lamellaires est supérieure à la dimension verticale.



*Structure lamellaire*

4. Les sols sont dits sans structure lorsqu'ils ne forment pas d'agrégats entre les particules ou encore si les particules forment des structures massives sans disposition ordonnée et définie autour des lignes naturelles de faible résistance.

Certains processus de genèse des sols tendent à produire des structures caractéristiques. Les structures polyédriques sont fréquentes dans les horizons A qui se développent sous une végétation de graminées. Les structures lamellaires sont communes dans les profils de sol assujettis à un lessivage intense. Les structures prismatiques sont généralement associées aux horizons B. Les sols sans structure sont normalement de textures grossières et de faible cohésion. Ces sols sont souvent composés de grains uniques plutôt que d'agrégats.

### ***Le développement de la structure du sol***

Le degré de développement de la structure du sol est partiellement relié à la cohésion (ou adhérence) du sol. Les sols argileux exhibent les plus hauts degrés de cohésion.

Les structures de sol se développent de par les forces physiques, chimiques et biologiques exercées sur les particules. Ces forces fonctionnent de deux façons: (1) elles produisent des forces qui collent les particules ensemble en de plus gros agrégats ou (2) elles produisent des forces qui brisent les agrégats.

Ces deux forces travaillent souvent simultanément. La dessiccation du sol et son tassement subséquent sont le parfait exemple de l'effet combiné de deux forces qui agissent simultanément sur la structure du sol. L'adhérence des particules de sol est supérieure lorsqu'elles se rapprochent les unes des autres lors du tassement. En même temps, ce tassement résulte en un réseau de fissures entre les agrégats, favorisant davantage le développement de structures dans le sol. L'action du gel et du dégel de l'eau ainsi que la pénétration des racines (soit l'enracinement) entraînent également la formation de fissures et le développement de structures.

L'**entrave** (ou la liaison) de particules de sol par l'action des racines et la production de ciments naturels par les **exsudats** des racines et la décomposition de la matière organique sont d'autres exemples de forces qui favorisent l'agrégation des particules. Le développement de la structure du sol peut aussi être accéléré de par les aptitudes de divers organismes (comme les vers de terre) à fouir et mélanger le sol. Ces forces opèrent principalement à la surface et

conséquemment, le sol superficiel tend à montrer un développement structural plus important.

La structure du sol est capitale parce qu'elle modifie les effets de la texture du sol. Par exemple, dans un sol argileux, la circulation de l'eau et des gaz pourrait être suffisamment lente pour limiter la productivité du sol. Un sol argileux possédant un réseau de fissures et une structure bien développée peut voir ses taux d'infiltration (eau et gaz) augmenter dramatiquement.

La résistance à l'érosion est un bénéfice additionnel d'une structure de sol bien développée. La cohésion de petites particules pour former de plus grosses unités (ou agrégats) rend le sol plus résistant à l'érosion (par le vent et l'eau).

### ***Les agrégats à l'intérieur d'autres agrégats***

L'examen d'un agrégat d'assez grande taille démontre qu'il est formé de plus petits agrégats. L'amplification de l'image démontre clairement que ces agrégats de plus petites tailles sont composés d'un très grand nombre de très petits agrégats très stables. Ces agrégats microscopiques sont formés de particules individuelles (argiles, limons et matière organique) liées ensemble par des agents naturels de cimentation comme les polymères organiques et les oxydes de fer et d'aluminium.

La présence d'agrégats de grandes tailles est désirable parce que ceux-ci favorisent la formation de sols possédant des densités apparentes plus faibles et capables d'infiltrer l'eau plus facilement. Bien que les agrégats de grandes tailles soient désirables, ils sont difficiles à préserver. La formation d'agrégats de petites tailles est principalement issue de processus physico-chimiques, alors que ceux responsables de la formation des agrégats de plus grandes tailles sont surtout de nature biologique.

## **Les sols et la capacité d'échange cationique**

### ***Les cations***

Dans l'environnement naturel du sol, plusieurs nutriments requis pour la croissance des plantes sont des cations comme le calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), le magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ), le potassium ( $\text{K}^+$ ), l'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) et l'hydrogène ( $\text{H}^+$ ). Les **cations** sont des ions chargés positivement. Vous allez bientôt découvrir que cette positivité est un facteur très important pour la rétention de l'eau et de la fertilité dans les sols.

## Les argiles

### ***Les propriétés physiques et chimiques des particules argileuses***

Les particules argileuses diffèrent des particules de sables et de limons quant à leur taille et structure. L'examen des particules de sables et de limons révèle qu'elles sont en réalité de petits morceaux de matériaux originels. Les argiles peuvent aussi tirer leur origine des matériaux originels. Cependant, la structure cristalline de la plupart des particules argileuses a été modifiée au moment où les particules ont été transformées à la taille des argiles. Pour cette raison, les argiles sont souvent reconnues comme étant des minéraux secondaires. Une discussion détaillée de la structure des minéraux argileux dépasse les objectifs de ce cours, mais une brève introduction aux caractéristiques des argiles (comme leurs charges négatives et leurs capacités de tassement et de gonflement) nous aidera à mieux comprendre les propriétés particulières des argiles.

### ***Les propriétés électroniques des argiles***

Les particules argileuses détiennent une propriété que les sables et les limons n'ont pas, c'est-à-dire une charge négative. Les sables et les limons ont peu (ou pas) de charges parce que leurs structures cristallines contiennent approximativement la même quantité de charges positives que de charges négatives: les charges opposées d'une particule s'annulent et celle-ci est donc neutre. Le processus d'altération par lequel les argiles sont formées crée un nombre plus élevé de charges négatives que de charges positives. Dans l'ensemble, les argiles sont donc chargées négativement. Ce déséquilibre des charges sur les particules argileuses est corrigé en attirant des charges positives à leurs surfaces, neutralise ainsi les charges négatives en excès.

La charge négative sur les particules argileuses est un peu comme le magnétisme, bien que ce ne soit pas le même phénomène. Si l'on essaye de rapprocher le pôle nord de deux aimants, ceux-ci se repoussent. Toutefois, ils s'attirent si l'on tente de rapprocher le pôle sud d'un aimant au pôle nord d'un autre aimant. De façon semblable, deux particules de sol de charges négatives se repoussent, mais deux particules de charges opposées s'attirent.

Il faut retenir ici que c'est le déséquilibre des charges qui donne naissance aux charges négatives des argiles. Ce déséquilibre est toutefois corrigé en attirant les composantes de sol qui sont chargées positivement (par exemple, l'eau et les nutriments cationiques comme le calcium, l'ammonium et le magnésium). De ce fait, la charge négative d'une particule argileuse favorise la formation d'une

couche d'eau et de cations dissous dans l'eau autour de ces particules. La couche d'eau est plus épaisse dans les sols humides que dans les sols asséchés. Cette propriété électronique des argiles est importante quant aux réserves en eau et en nutriments cationiques. En même temps, les nutriments chargés négativement ne sont pas attirés par les charges négatives des argiles. Ils sont plutôt repoussés. Les principes de l'échange cationique

**Les cations sont des ions chargés positivement. Ils sont naturellement attirés par les particules argileuses chargées négativement.** L'attraction est maximale lorsque les cations sont proches des surfaces argileuses et diminue rapidement plus loin de ces surfaces. Lorsqu'une particule argileuse et un cation s'attirent, le lien formé n'est pas irréversible. L'**adsorption** est le phénomène représentant l'attraction et la rétention d'un cation à la surface d'une particule argileuse. Les cations adsorbés peuvent être remplacés par d'autres cations dans la solution à proximité des surfaces argileuses. Éventuellement, un équilibre est atteint entre la quantité de cations adsorbés et le nombre de cations dans la solution. La quantité de cations adsorbés est de beaucoup supérieure à la quantité de cations dans la solution.

Le nombre et le type de cations adsorbés sur les surfaces d'échange peuvent changer parce que les cations sont (1) perdus par le prélèvement des plantes ou (2) expulsés/lessivés du sol par de larges quantités d'eau de pluie. Dans ce cas, les cations adsorbés sont mobilisés dans la solution pour rétablir l'équilibre entre les cations adsorbés sur les sites d'échange et ceux dans la solution.

En même temps, l'ajout de cations peut se faire via l'altération minérale, la décomposition de la matière organique ou par la fertilisation. Dans ce cas, les argiles adsorbent davantage de cations en provenance de la solution, rétablissant ainsi l'équilibre.

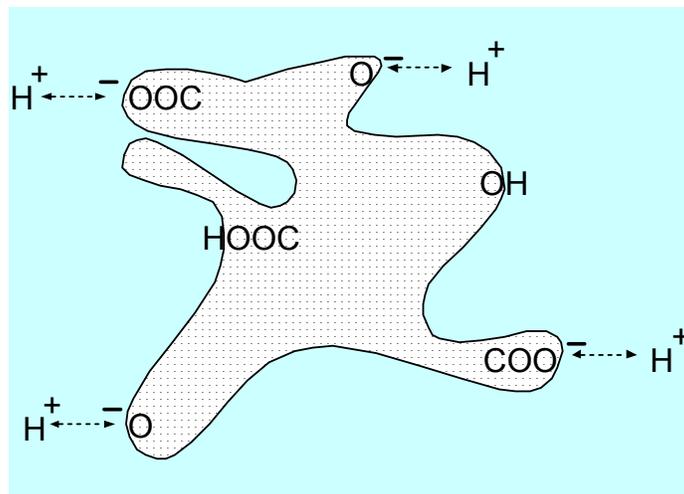
Il y a plusieurs types de cations qui sont attirés par les particules argileuses. Les espèces cationiques qui sont adsorbées dépendent surtout des espèces présentes dans le sol et sa solution. La quantité totale de cations qu'un sol peut adsorber est dite la **capacité d'échange cationique (CEC)**.

### ***La matière organique et la capacité d'échange cationique***

La matière organique hautement décomposée (humus) possède aussi des charges négatives. De ce fait, elle possède également une CEC. La CEC de la matière organique est beaucoup plus importante à des pH basiques qu'à des pH acides. La CEC est variable et dite **dépendante du pH**. À des pH basiques,

l'humus dispose d'une CEC supérieure à celle des argiles. La contribution de l'humus à la CEC totale du sol est très importante, particulièrement dans les sols possédant une faible proportion de particules argileuses. Généralement, **les sols avec de fortes teneurs en argiles et en matières hautement humifiées possèdent des CEC élevées.**

L'humus est défini comme étant des feuillets microscopiques de matière organique hautement décomposée. Ces feuillets ont une forme amorphe (i.e. structure non cristalline) et sont extrêmement petits. Ils détiennent donc une surface spécifique très grande. Cette surface est même plus grande que les argiles.



*Une vue moléculaire de charges (CEC) variables dépendantes du pH pour la matière organique.*

### **Les sables, les limons et la capacité d'échange cationique**

Les sables et les limons sont des particules primaires. Ainsi, contrairement aux argiles et à la matière organique, les sables et les limons n'ont presque pas de charges positives. Cette fraction du sol possède peu (ou pas) de CEC.

### **L'importance de la capacité d'échange cationique**

La capacité du sol à adsorber réversiblement les cations de la solution est d'une grande importance pratique:

- Elle fournit au sol un mécanisme qui permet de résister à la perte de cations dans la solution de sol via le lessivage. Les sols des environnements humides qui possèdent une CEC faible sont particulièrement vulnérables aux pertes par lessivage;
- Les plantes utilisent l'échange ionique pour prélever les nutriments cationiques essentiels. La CEC est ainsi une mesure de la capacité du sol

à mettre en provision les cations disponibles pour les végétaux. Pratiquement parlant, les sols de faible CEC sont rarement productifs à moins que les cations soient majorés par l'entremise de fertilisants chimiques ou organiques.

## **La matière organique du sol**

### ***La variabilité de la matière organique dans le sol***

On perçoit une grande variabilité lorsqu'on examine le contenu en matière organique de divers sols provenant de différentes régions. Le climat et la végétation sont les facteurs contribuant le plus à cette hétérogénéité. Le brun foncé ou le noir sont souvent de bons indices du degré d'accumulation de matière organique dans le sol. Dans les environnements où la matière organique n'accumule pas beaucoup, le sol est brun pâle ou gris. Par exemple:

- Les horizons de surface des sols agricoles dans la prairie d'herbes longues et courtes de l'Ouest canadien varient du brun jusqu'au noir et contiennent entre 1% et 5% de matière organique. Certains sols ont même des valeurs extraordinaires atteignant 10%;
- Les sols forestiers sont habituellement localisés là où l'accumulation de matière organique est beaucoup plus faible. La surface du sol varie du brun pâle jusqu'au gris;
- Les tourbières et les terres inondées sont des extrêmes bien distincts. Les environnements mal drainés (ou très humide) réduisent la quantité d'oxygène présente dans les matériaux organiques de surface. Les taux de décomposition sont alors très lents, favorisant l'accumulation d'un tapis épais de matière organique à la surface.

### ***La production de la matière organique***

Même si la matière organique représente souvent un petit pourcentage de la matrice totale du sol, elle exerce une influence très grande sur les propriétés du sol. Pour bien comprendre comment la matière organique est produite, nous devons vous rappeler le cycle du carbone.

### ***Le cycle du carbone et la production de la matière organique***

De par leur capacité photosynthétique, les plantes sont des organismes capables de puiser l'énergie solaire. À la fin de leur cycle de vie, les plantes sont incorporées au sol sous forme de détrit. Si les conditions environnementales sont favorables, ces détrit à base de carbone sont consommés par un éventail d'organismes macro- et microscopiques. Au cours du processus, ces organismes acquièrent du carbone et de l'énergie. Le gaz carbonique est respiré et les

nutriments inorganiques en excès à la demande cellulaire de ces organismes sont des sous-produits (ou produits secondaires) du processus. Le gaz carbonique est éventuellement retourné vers l'atmosphère et les plantes peuvent à nouveau l'utiliser pour la photosynthèse.

### ***La transformation des détritits en humus***

Lorsque les détritits à base de carbone sont incorporés au sol, ils subissent une série de transformations. Les détritits de plantes sont une source importante de matière organique. Les tissus d'animaux et de microorganismes sont également incorporés. La signature chimique des détritits frais est diversifiée, partant des composantes cellulaires solubles simples jusqu'aux composantes structurales chimiquement complexes. Le contenu cellulaire simple est le premier à être dégradé et ceci se fait rapidement. Les résidus restants, chimiquement plus complexes, sont décomposés plus lentement. Une fois que commence la décomposition du matériau structural, les tissus d'animaux ou de plantes perdent leur apparence externe. Graduellement, les détritits frais disparaissent et sont remplacés par une quantité plus petite de matériaux plus foncés. Ce matériel est un mélange complexe de substances végétales altérées et de nouveaux matériels produits par les décomposeurs. L'humus, un produit très stable, est le nom qu'on donne à ce matériel. L'humus est chimiquement complexe et de ce fait, sa dégradation supplémentaire par les microorganismes se fait lentement. La signature chimique de l'humus comprend une composante protéinique de taille considérable qui provient sans doute des microbes et d'un complexe de matériels dérivés de structures végétales, c'est-à-dire la lignine. Les autres substances humiques détiennent une composition très variable qui n'est toujours pas bien élucidée.

Un sol peut contenir du matériel organique à divers stades de décomposition. Le niveau de décomposition que ce matériel subit a une influence majeure sur le caractère chimique et physique du sol. Ceci est représenté au tableau suivant, où l'on compare les propriétés de détritits frais à celles de l'humus.

### ***Les facteurs affectant le contenu en matière organique dans le sol***

Dans les sections précédentes du document, vous avez appris que la matière organique est une composante favorable pour le sol. Elle améliore les propriétés comme la rétention en eau, la fertilité, la structure, etc. La matière organique accumule dans le sol si le taux d'incorporation de ce matériel à base de carbone est supérieur à son taux de décomposition. Les facteurs climatiques comme la température et la teneur en eau influencent autant la quantité de matière

organique produite que le taux de décomposition par les microorganismes. Ils influencent donc grandement le contenu en matière organique dans le sol.

*Une comparaison des propriétés de l'humus et des détritrus frais*

	<b>Détritrus frais</b>	<b>Humus</b>
couleur	pâle	foncé
taille	grossière	feuille microscopique de la taille des argiles
surface spécifique	faible	élevée, > argiles
structure chimique	simple en comparaison	complexe
taux de décomposition	rapide	lent
capacité d'échange cationique	faible	élevée

***Le contenu de la matière organique dans les sols de la prairie d'herbes longues et courtes***

Les sols se développant dans les prairies de l'ouest du Canada accumulaient beaucoup de matière organique avant l'introduction du labour et des systèmes de production agricole. La végétation indigène dominante de la région était composée d'un éventail d'herbacées et de graminées. La biomasse importante des racines et des tiges de ces espèces permettait l'incorporation annuelle de grandes quantités de matière organique dans le sol. Le climat de la prairie canadienne est semi-aride et comprend une période hivernale de 5 ou 6 mois lorsque la température à la surface du sol est proche ou inférieure au point de congélation. Ces températures ralentissent l'activité des microorganismes et la décomposition de la matière organique. Pour le reste de l'année, les conditions chaudes et humides requises pour décomposer rapidement la matière organique ne perdurent pas très longtemps. Annuellement, le taux de décomposition de la matière organique était donc assez lent, ce qui favorisait l'accumulation de la matière organique (parce que le taux d'accumulation du carbone dépassait le taux de décomposition).

### ***L'impact du labour et des systèmes de production agricole sur la matière organique du sol***

Les conditions menant à la hausse de la matière organique dans les sols de la prairie d'herbes longues et courtes ont changé dramatiquement dès l'introduction du labour et des systèmes de production agricole.

1. Le labour a dramatiquement augmenté l'aération du sol et assombri la surface du sol. Les sols plus foncés absorbent davantage l'énergie solaire que les sols vierges de couleurs plus pâles. La hausse des températures du sol et de l'aération accélère la décomposition de la matière organique par les microorganismes;
2. Les systèmes de production agricole requièrent que les herbacées et les graminées indigènes soient remplacées par des cultures céréalières annuelles. Comparativement aux espèces indigènes, les cultures céréalières produisent un système racinaire de plus petite taille et de biomasse plus faible. La contribution en matière organique via les céréales était davantage réduite parce que plus de la moitié de la biomasse épigée des cultures était exportée lors de la récolte. Cette biomasse ne retournait donc pas au sol;
3. La jachère d'été, un système de production où la terre est cultivée une année mais ne l'est pas l'année suivante, a aussi contribué à la perte de matière organique dans le sol. Pendant l'année de jachère, la végétation était contrôlée par le labour. L'effet combiné du labour extensif et d'un système de production où la matière organique n'était présente qu'à tous les deux ans seulement a accéléré la perte en matière organique. En résumé, les apports en carbone ont dramatiquement chuté et les taux de décomposition ont augmenté, causant ainsi la perte de carbone dans le sol;
4. L'érosion du sol a aussi joué un rôle important dans la perte de fertilité des sols. Avant la culture des terres, les herbacées et les graminées indigènes fournissaient une couverture de protection contre l'érosion du sol. Au contraire, les sols agricoles étaient vulnérables aux forces érosives. L'action du vent et de l'eau redistribuait la matière organique riche en nutriments vers les bas de pentes ou les dépressions dans les champs. Les effets néfastes de l'érosion des hauts de versants sont assez évidents dans l'ouest canadien puisque ces positions sur les versants sont généralement de fertilité marginale.

Les travaux de recherche suggèrent que les sols de la prairie canadienne, cultivés depuis 80 ou 100 ans, ont connu une réduction en matière organique de l'ordre de 30% à 50%. Les pratiques agricoles modernes, incluant moins de

labour, des révolutions culturales plus longues et l'usage plus fréquent de fertilisants, maintiennent mieux le contenu en matière organique et augmentent possiblement légèrement leurs niveaux avec le temps.

### ***La matière organique du sol dans d'autres environnements***

Le bilan des apports en carbone et des taux de décomposition peut être très différent dans d'autres régions caractérisées par des climats différents. Par exemple, on présume qu'une forêt dense équatoriale, où la productivité primaire est la plus grande de tous les écosystèmes, possède un contenu en matière organique élevé. En réalité, les températures élevées et l'humidité élevée de cet écosystème sont associées à des taux de décomposition tellement élevés que les sols accumulent peu de matière organique (même si les apports en carbone sont très importants).

### ***Les autres facteurs affectant le contenu en matière organique dans le sol***

Bien que le climat et la végétation semblent être les facteurs clés pour prédire le contenu en matière organique dans le sol, d'autres facteurs comme la topographie et la profondeur du sol influencent aussi le contenu en matière organique.

Le paysage ondulé de la prairie canadienne redistribue efficacement les précipitations. Les interfluves et les hauts de versants subissent des pertes en eau à cause du ruissellement vers les bas de pentes et les dépressions. Les sols accumulent généralement plus de matière organique dans les zones humides parce qu'elles supportent une végétation productive.

La topographie a moins d'effets sur le contenu en matière organique des sols forestiers. Contrairement aux paysages ondulés de la prairie canadienne, le couvert forestier prévient la redistribution de l'eau le long des versants.

## **Les bénéfices de la présence de la matière organique dans le sol (révision)**

Les effets bénéfiques de la matière organique sur les propriétés du sol ont été identifiés à maintes reprises au cours de ce texte. Révisons maintenant ces bénéfices.

### ***L'amélioration des propriétés physiques du sol***

La matière organique améliore la structure du sol. Plusieurs types d'adhésifs naturels sont produits pendant la décomposition de la matière organique. Ces colles organiques permettent aux particules de se lier ensemble pour former des unités poreuses de plus grande taille, c'est-à-dire les agrégats. Ces unités de plus grande taille sont plus résistantes aux forces érosives comme l'eau et le vent. Les agrégats poreux donnent aux sols une densité apparente plus faible, permettent l'infiltration plus rapide de l'eau, augmentent la capacité des sols à retenir l'eau, favorisent une bonne aération, facilitent l'enracinement des plantes (pénétration) et permettent d'atteindre un état d'ameublissement optimal pour la production agricole.

### ***L'amélioration de la fertilité du sol***

Plusieurs nutriments essentiels pour la croissance des plantes, particulièrement l'azote et le soufre, sont contenus dans les molécules de la matière organique. La décomposition de ces molécules par les microorganismes sépare les nutriments et les rend accessibles pour le prélèvement par les plantes.

L'humus, le sous-produit très stable du processus de décomposition, contribue davantage à la fertilité du sol en augmentant la capacité d'échange cationique. La capacité d'échange cationique permet au sol de (1) mettre en réserve une grande quantité de nutriments cationiques pour les plantes et (2) de les protéger contre le lessivage. Livre pour livre, l'humus possède une capacité d'échange cationique supérieure à celle de la fraction minérale.

## **L'acidité et l'alcalinité du sol**

### ***Qu'est-ce que le pH?***

L'échelle de pH est utilisée pour mesurer la quantité d'ions hydrogène ( $H^+$ ) dans un liquide. Un liquide ayant une forte concentration d'ions  $H^+$  est acide. Il ne faut pas beaucoup d'ions  $H^+$  pour rendre une solution acide. La concentration d'ions  $H^+$  dans une solution d'eau pure est de 0,0000001 moles/litre ( $1 \cdot 10^{-7}$  mol/l) ou approximativement 2 molécules ionisées dans un milliard de molécules d'eau non ionisées. À vrai dire, la concentration est tellement faible qu'il faut exprimer celle-ci en utilisant une échelle logarithmique. Nous nous intéressons donc seulement au changement de l'ordre de grandeur de la concentration des ions  $H^+$  (c'est-à-dire la différence entre 1 et 10, 10 et 100, 100 et 1000, etc.).

### ***D'où viennent les ions H<sup>+</sup>?***

La molécule d'eau se fragmente en deux composantes plus simples, c'est-à-dire l'ion H<sup>+</sup> et l'ion hydroxyle (OH<sup>-</sup>):



L'équilibre entre les concentrations des ions H<sup>+</sup> et OH<sup>-</sup> détermine la nature de la solution.

Si  $\text{H}^+ > \text{OH}^-$ , la solution est **acide**;

Si  $\text{H}^+ < \text{OH}^-$ , la solution est **alcaline**;

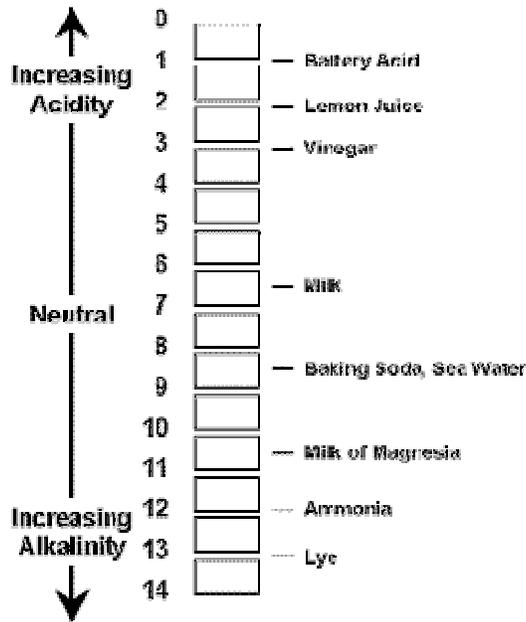
Si  $\text{H}^+ = \text{OH}^-$ , la solution est **neutre**.

N'importe quel processus chimique qui produit ou consomme les ions H<sup>+</sup> ou OH<sup>-</sup> dans la solution de sol changera le pH. Bien que le pH soit déterminé en mesurant la concentration des ions H<sup>+</sup> dans la solution de sol, il est en même temps une mesure indirecte de la concentration des ions OH<sup>-</sup>.

## **Le pH du sol**

### ***L'échelle de pH***

Dans l'exemple ci-dessus, la concentration d'ions H<sup>+</sup> d'une eau pure est de 1\* 10<sup>-7</sup> mol/l. Cette concentration égale un pH de 7. Les valeurs supérieures à 7 sont dites alcalines et celles inférieures à 7 sont dites acides. La figure présente les valeurs de pH pour plusieurs liquides.



*Valeurs de pH pour des solutions communes.*

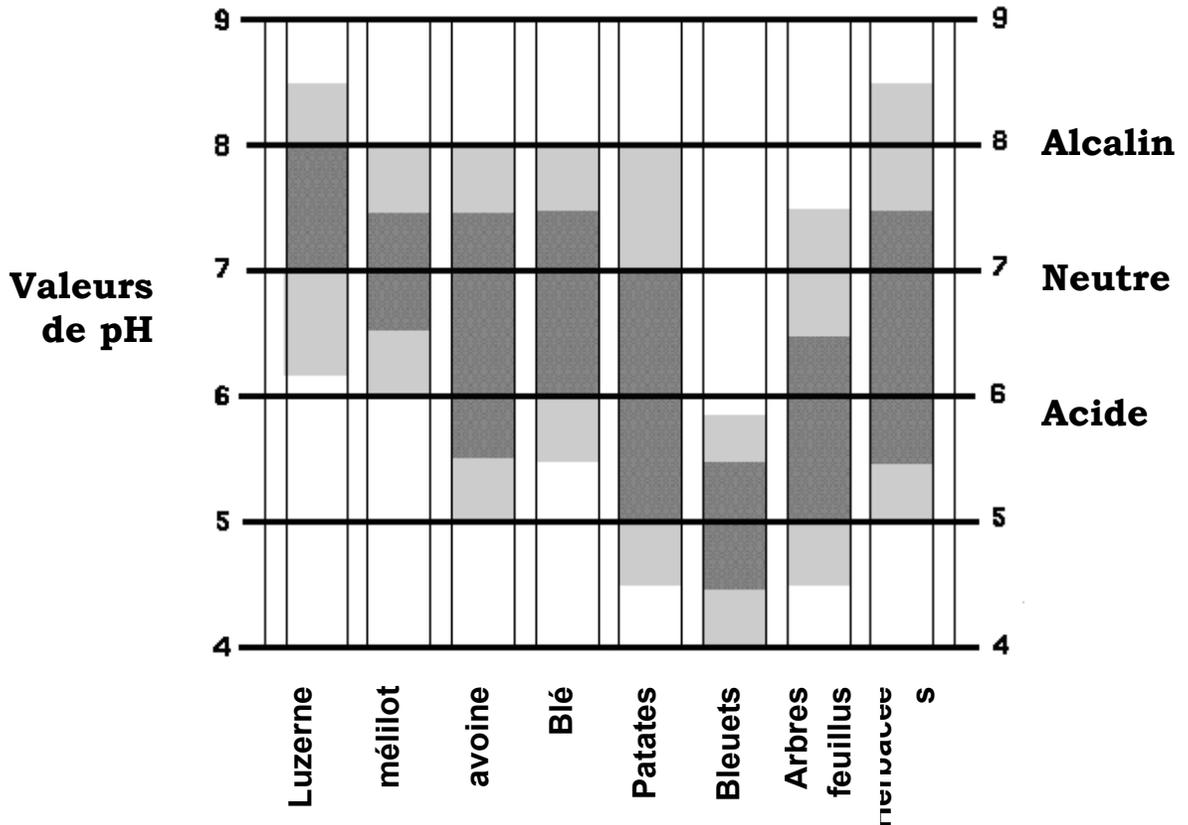
Bien que l'échelle de pH passe de 0 à 14, le pH des sols est rarement inférieur à 4,5 et supérieur à 8,5, particulièrement dans les climats plus secs.

*Échelle de pH et degré d'acidité et d'alcalinité des sols*

très fortement acide (<5,0)	fortement acide (5,0-5,5)	modérément acide (5,5-6,0)	légèrement acide (6,0-6,5)	Neutre (6,5-7,0)	légèrement alcalin (7,0-7,5)	modérément alcalin (7,5-8,0)	fortement alcalin (>8,0)
--------------------------------------	---------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	---------------------	------------------------------------	------------------------------------	--------------------------------

***L'effet du pH sur le sol***

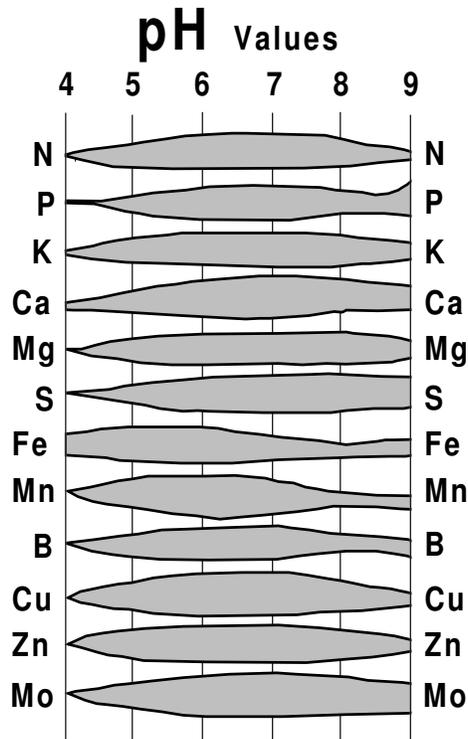
Malgré leurs très faibles concentrations, les ions  $H^+$  et  $OH^-$  exercent une influence significative sur la nature de la solution de sol. L'influence du pH sur la productivité du sol est à la fois directe et indirecte. Elle est directe puisque certaines espèces végétales requièrent un pH de sol particulier pour leur croissance. Elle est aussi indirecte parce que le pH du sol contrôle en partie la disponibilité des nutriments pour les plantes.



*La gamme de pH nécessaire pour la croissance de différentes espèces végétales.*

### ***Le pH du sol et disponibilité des nutriments***

Le prélèvement d'un nutriment peut se faire seulement si ce nutriment existe dans le sol sous une (ou des) forme (s) chimique (s) assimilable (s) par les racines. Le pH du sol gouverne souvent la forme chimique des nutriments dans la solution. La solubilité du calcium et du magnésium diminue dramatiquement à des pH inférieurs à 6,5, mais la solubilité de l'aluminium et du fer augmente. Ces éléments réagissent aussi avec le phosphate (une forme disponible pour les végétaux) pour former des composés peu solubles dans l'eau. Ces réactions réduisent considérablement la disponibilité de ces nutriments pour les plantes, incluant l'ion phosphate. Les plus faibles concentrations de ces ions antagonistes se retrouvent à des pH neutres oscillant entre 6,5 et 7,5. De ce fait, à ces pH, la disponibilité du phosphore pour les plantes est à son maximum.



*L'influence du pH sur la disponibilité des nutriments pour les plantes dans les sols à matrice majoritairement minérale. La partie la plus large de la bande correspond à la disponibilité maximale du nutriment en question.*

D'autres nutriments comme le zinc et le cuivre sont moins solubles dans les sols alcalins et de ce fait, les plantes qui poussent sur de pareils sols peuvent souffrir de certaines carences en zinc et cuivre. Toutefois, ces nutriments sont très solubles dans les sols acides. Une trop grande disponibilité en zinc et en cuivre peut même devenir toxique pour les plantes.

## **Les facteurs affectant la productivité du sol**

L'aptitude d'un sol à produire une culture est souvent utilisée comme mesure de sa qualité. Un bon nombre de caractéristiques influencent la qualité du sol ainsi que sa productivité. Les facteurs influençant la productivité sont les suivants:

- La fertilité du sol;
- La capacité du sol à retenir l'eau;
- L'aération du sol;
- L'acidité/alcalinité du sol;
- Le niveau de sels (salinité) dans le sol;
- L'érosion du sol;

- La contamination du sol;
- La topographie et le drainage;
- La pierrosité du sol;
- Le climat.

### ***La fertilité du sol***

La fertilité du sol est une mesure de sa capacité à fournir les nutriments essentiels pour la croissance des plantes. Les plantes requièrent 16 nutriments essentiels pour leur croissance. Treize de ces nutriments proviennent du sol. Il y a deux facteurs très importants qui affectent la disponibilité de ces nutriments:

- La texture du sol;
- Le contenu en matière organique.

### ***La matière organique et la fertilité du sol***

La décomposition de la matière organique mobilise beaucoup de nutriments essentiels pour la croissance des plantes. Les sols qui possèdent de fortes teneurs en matière organique fournissent donc aux plantes plus de nutriments que les sols pauvres en matière organique.

La présence de la matière organique augmente aussi la capacité d'échange cationique (CEC). La CEC est un indice de la capacité du sol à retenir les ions de charges positives. Ainsi, un sol qui possède une CEC élevée est généralement plus fertile qu'un sol caractérisé par une CEC faible.

### ***La texture et la fertilité du sol***

La texture du sol influence également la CEC. Les particules fines, particulièrement les argiles, possèdent également une CEC. Par conséquent, les sols qui possèdent une forte proportion de particules argileuses (par exemple, une argile lourde, une argile ou une argile limoneuse) détiennent des CEC élevées et sont normalement plus fertiles. Finalement, les sols argiles riches en matière organique seront très certainement fertiles.

### ***L'eau dans le sol***

L'eau est une composante essentielle pour la croissance des plantes. Dans les régions arides et semi-arides, l'aptitude d'un sol à retenir l'eau pendant les périodes plus sèches est un facteur crucial pour déterminer la productivité du sol et le rendement des cultures. Les argiles ainsi que la matière organique sont également d'importantes composantes du sol. Elles déterminent la capacité de rétention en eau du sol. Les sols avec de forts contenus en argiles et en matière

organique sont capables de retenir beaucoup d'eau et de ce fait, ils sont généralement plus productifs sous les climats arides ou semi-arides. La structure du sol peut également influencer le stockage de l'eau en modifiant la vitesse à laquelle l'eau pénètre (s'infiltrer) dans le sol. Les sols qui possèdent des structures peu développées (par exemple, les sols formant des croûtes à la surface) sont plutôt imperméables et de ce fait, il y a ruissellement important à la surface après les pluies (infiltration réduite). Ces sols sont caractérisés par de faibles réserves en eau ainsi que des épisodes d'érosion assez intenses.

### ***L'aération du sol***

Les racines et les microorganismes vivent dans une matrice composée de matériaux solides ainsi que d'un réseau de pores contenant de l'eau et de l'air. L'oxygène est requis pour la respiration cellulaire. Si l'air du sol est complètement épuisé d'O<sub>2</sub>, la productivité des plantes et des organismes du sol en souffre. Nous savons maintenant que l'O<sub>2</sub> dans le sol est renouvelé par les échanges gazeux avec l'atmosphère. Plusieurs facteurs influencent les échanges d'air et/ou les concentrations de O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> dans l'air. Si l'eau dans le sol augmente, l'aération du sol est réduite puisque l'air (léger) est facilement déplacé par l'eau (dense).

Le compactage du sol réduit la quantité totale de pores et le volume occupé par l'air. Le compactage peut aussi ralentir les échanges gazeux entre le sol et l'atmosphère. La croissance rapide des plantes et des microorganismes crée une forte demande pour l'O<sub>2</sub>, menant possiblement à un épuisement de l'O<sub>2</sub>, particulièrement si les échanges gazeux se font lentement. Les sols mal aérés sont souvent engorgés d'eau et sont généralement de fertilité marginale.

### ***L'acidité et l'alcalinité du sol***

Nous savons maintenant que l'acidité et l'alcalinité du sol sont contrôlées par la concentration des ions hydrogène (H<sup>+</sup>) dans la solution de sol. La présence ou l'absence de cet ion modifie l'environnement chimique du sol et les réactions chimiques y prenant place. Par exemple, dans les sols alcalins, certains micronutriments deviennent insolubles et de ce fait, ils ne sont plus assimilables par les plantes. À l'opposé, à des pH acides, ces mêmes micronutriments deviennent tellement solubles qu'ils sont toxiques pour les plantes. La plupart des végétaux poussent très bien dans les sols possédant des valeurs de pH tournant autour de 7 (neutralité). Toutefois, certaines espèces (par exemple le bleuet) poussent mieux dans les sols fortement acides, alors que d'autres (par exemple la luzerne) performant très bien dans les sols alcalins.

### ***La salinité du sol (contenu en sels)***

La salinité du sol est un sujet de recherche très vaste qui dépasse les objectifs que nous nous sommes fixés pour ce cours. Toutefois, les fortes teneurs en sels ont le potentiel de réduire la productivité du sol et la croissance des plantes. De ce fait, il est important d'étudier sommairement ce sujet. Le sel est un terme général utilisé pour décrire un groupe de substances chimiques formées lorsqu'un acide et une base réagissent ensemble. Le sel de table (chlorure de sodium ou NaCl) est l'un des nombreux sels communément retrouvés dans les sols.

Sous certaines conditions, les sels accumulent à la surface du sol.

L'accumulation des sels est généralement causée par la circulation de l'eau et de sels dissous dans la partie superficielle du sol: l'eau évapore mais les sels accumulent à la surface.

Les végétaux maintiennent activement un équilibre délicat entre la concentration des sels dans leurs racines et celles à l'extérieur des racines. Cet équilibre assure le prélèvement des nutriments par les plantes. Si les sels accumulent en trop grande quantité à l'extérieur des racines, l'équilibre est brisé et les plantes prélèvent plus difficilement l'eau. Cela restreint la croissance végétale.

D'importantes accumulations de sels (par exemple, la poussière blanche soufflée de la surface du sol pendant les périodes sèches) peuvent stopper totalement la croissance des plantes ou la limiter à quelques espèces tolérantes. L'acréage contenant des niveaux de sels semblables au Canada est toutefois faible si on le compare à l'acréage total des sols du pays.

### ***L'érosion du sol***

L'érosion est un processus naturel qui résulte au déplacement du sol d'une localisation à une autre. Dans notre préhistoire, le mouvement des glaciers a favorisé l'érosion de quantités gigantesques de sol. Aujourd'hui, les agents érosifs les plus importants sont l'eau et le vent. L'effet des forces érosives naturelles est souvent amplifié par les activités humaines comme le labour, les opérations forestières et le développement industriel et résidentiel. L'érosion entraîne les particules minérales ainsi que la matière organique du sol. Elle brise aussi les agrégats contribuant à la structure du sol. L'érosion favorise donc la baisse de la fertilité du sol, de la capacité de rétention de l'eau et de la performance des récoltes.

Le sol est plus sensible à l'érosion si (1) les particules de sol sont faiblement liées ensemble (structure peu développée), (2) le sol se retrouve sur des pentes

fortes, (3) le sol n'est pas protégé par un couvert végétal et (4) le sol est exposé continuellement à des vents forts ou à des épisodes de fortes pluies (intenses). La perte de la couche superficielle de sol par l'érosion est très grave puisque le sol, même s'il est une ressource dite renouvelable, se renouvelle très lentement: le sol perdu via l'érosion ne sera pas renouvelé en dedans de la durée d'une vie humaine.

### ***La contamination des sols***

Les fortes concentrations d'éléments potentiellement toxiques (contaminants) dans le sol proviennent souvent des activités humaines. Toutefois, elles peuvent provenir entièrement de sources naturelles. Il y a deux principales catégories de contaminants: les composés organiques (riches en carbone) et inorganiques (ne contiennent aucun carbone ou seulement des traces).

Les contaminants organiques les plus dangereux sont ceux provenant de l'industrie, incluant l'industrie des pesticides. La fabrication de pesticides persistants dans l'environnement a été bannie au Canada au milieu des années 70. De ce fait, la contamination des sols agricoles par les pesticides les plus persistants n'est plus un problème sérieux au Canada. D'autres contaminants organiques potentiellement problématiques incluent les composés pouvant accidentellement s'infiltrer dans le sol (par exemple, les biphényles polychlorés (BPC), les dioxines, les furannes et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP).

L'accumulation de contaminants inorganiques est habituellement causée par les activités humaines, mais il se peut parfois qu'un processus naturel en soit la cause. Dans les sols, le matériau d'origine est la principale source naturelle de métaux. À l'occasion, on peut retrouver de fortes teneurs en sélénium, en plomb, en cadmium ou en bore à cause de l'altération du matériau d'origine. Il peut aussi noter des concentrations élevées de métaux dans le sol là où la nappe phréatique est riche en métaux.

Les activités humaines comme l'exploitation minière et le traitement des minerais, l'usage des combustibles fossiles, l'amendement du sol en utilisant les boues d'épuration ou les fertilisants phosphatés peuvent favoriser les teneurs en métaux lourds dans le sol. Ces éléments peuvent entrer dans la chaîne alimentaire via (1) leur prélèvement par les plantes et les microorganismes ou (2) leur mouvement dans l'aquifère. Les métaux lourds comme l'arsenic, le cadmium, le chrome, le cobalt, le cuivre, le plomb, le mercure, le molybdène, le nickel, le sélénium et le zinc sont particulièrement problématiques. Ces métaux

accumulent et persistent dans le sol, particulièrement s'ils sont déposés sur le sol répétitivement. Malheureusement, les effets néfastes de ces métaux sur l'écosystème sont d'assez longue durée.

### ***La topographie et le drainage***

La topographie peut influencer significativement la productivité d'un sol en modifiant les effets du climat. Un paysage ondulé favorise la redistribution de l'eau vers les bas de pentes ou les dépressions. La redistribution de l'eau est accompagnée par des sols de hauts de pentes plus sèches, dégradées et moins fertiles que les sols de bas de pentes. En fin de compte, la productivité des hauts de pentes est souvent considérablement plus faible que celle des sols de bas de pentes. Les paysages ondulés sont souvent riches en broussailles et en terres inondées dans les bas de pentes. Ces créatures ne sont pas du tout souhaitables pour la production agricole parce qu'ils sont très improductifs. Un paysage à une surface plane connaît moins de variabilité et il est généralement plus attrayant pour l'agriculture. Toutefois, un paysage qui possède de vastes créatures de terres inondées dispose d'une richesse d'ordre écologique parce qu'il offre de parfaits habitats pour les oiseaux aquatiques et d'autres espèces fauniques.

Nous avons appris que la température du sol est influencée par la position sur la pente. En Amérique du nord, les pentes orientées vers le sud reçoivent davantage d'énergie solaire que les pentes orientées vers le nord. Les pentes vers le sud sont donc plus chaudes. Sous les climats secs, les pentes vers le sud sont souvent moins productives que les pentes vers le nord à cause de la plus importante perte en eau par évaporation. Toutefois, dans les régions caractérisées par une saison de croissance plutôt courte, les pentes vers le sud sont préférables parce qu'elles se réchauffent plus rapidement. Ainsi, les pentes vers le sud sont caractérisées par une saison de croissance plus longue que les pentes vers le nord.

### ***La pierrosité***

Les sols qui se sont développés sur des tills sont souvent riches en fragments grossiers. Les fragments grossiers varient du petit caillou (gravier) jusqu'à la très grosse roche. Dans les environnements agricoles, les grosses pierres peuvent endommager les équipements pour l'ensemencement et la récolte. L'enlèvement de ces grosses pierres coûte beaucoup d'argent et c'est aussi un inconvénient.

### ***Le climat***

Lorsqu'il s'agit d'expliquer la productivité d'un sol, le climat a souvent le dernier mot! Plusieurs sols de bonne qualité sont peu productifs parce qu'ils se sont développés sous un climat très sec ou caractérisé par une saison de croissance trop courte. Au contraire, **certains** sols dont les caractéristiques indiquent un potentiel de productivité modeste peuvent tout de même offrir une productivité intéressante sous des climats plus favorables.