NOTIONS FONDAMENTALES

Les engrais minéraux représentent des sources concentrées d'azote, de phosphore et de potassium. La quantité de chacun de ces éléments figure sur l'étiquette.

L'agriculteur veut pouvoir choisir les sources d'éléments nutritifs et les modes d'application les plus susceptibles de satisfaire les exigences de ses cultures sans entraîner de gaspillage. Il lui sera plus facile d'atteindre ses objectifs s'il connaît les besoins de chaque culture et s'il comprend les modes de déplacement des éléments nutritifs dans le sol, dans l'eau et dans l'atmosphère.

Ce chapitre donnera des renseigements sur les points suivants :

- la nature des éléments nutritifs;
- le déplacement des éléments nutritifs dans des cycles;
- les exigences des cultures en éléments nutritifs;
- l'alcalinité et l'acidité des sols;
- les raisons pour lesquelles une partie des éléments nutritifs épandus n'est pas assimilée par les cultures;
- le devenir de 1'engrais et des autres éléments nutritifs appliqués;
- le diagnostic des symptômes de carence.

LES ÉLÉMENTS NUTRITIFS : DÉFINITIONS

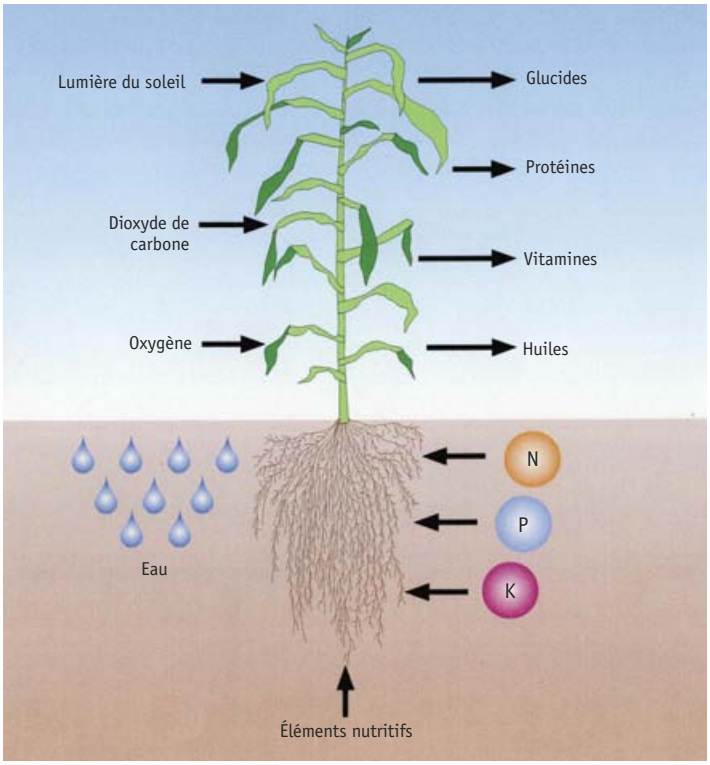
Les éléments nutritifs sont des éléments chimiques, ou de simples composés formés à partir de ces derniers, et dont les plantes ont besoin pour leur croissance et leur développement. Les éléments les plus courants dans les plantes sont le carbone, l'hydrogène et l'oxygène, qu'on trouve dans l'air et dans l'eau. Tous les autres éléments nutritifs se trouvent dans le sol.

Les cultures ont besoin de six éléments nutritifs en quantités relativement importantes. Ces éléments sont souvent appelés des **macro-éléments**. Les autres éléments sont nécessaires en très petites quantités, souvent moins de un kilogramme par hectare par année. On les appelle **oligo-éléments**.

Les engrais minéraux représentent des sources concentrées d'azote, de phosphore et de potassium. La quantité de chacun de ces éléments figure sur l'étiquette.

Les éléments nutritifs se présentent sous forme **organique** ou **inorganique** (minérale). Les composés organiques sont produits par des organismes vivants et contiennent du carbone. De leur côté, les composés inorganiques sont le produit de réactions chimiques ou de la dégradation de composés organiques. Par exemple, les protéines sont une forme organique de l'azote; le nitrate et l'ammonium en représentent des formes inorganiques ou minérales.

Les éléments nutritifs se trouvent naturellement dans le sol sous une forme inorganique résultant de l'altération atmosphérique des minéraux. Les éléments nutritifs absorbés par les organismes vivants peuvent être convertis en formes organiques pour constituer la structure des plantes, des animaux et des micro-organismes. Les éléments nutritifs se trouvant dans les organismes vivants reprennent des formes inorganiques lorsque ces organismes meurent et se décomposent.



Les plantes vertes convertissent la lumière, l'eau, l'air et les éléments nutritifs en formes assimilables par les humains et les animaux. Sans ces transformations les éléments nutritifs ne seraient pas disponibles.

ÉLÉMENTS NUTRITIFS ESSENTIELS PROVENANT DU SOL	
MACRO-ÉLÉMENTS	**SYMBOLE**
Calcium	Ca
Magnésium	Mg
Azote	N
Phosphore	P
Potassium	K
Soufre	S
OLIGO-ÉLÉMENTS	**SYMBOLE**
Bore	B
Chlore	Cl
Cuivre	Cu
Fer	Fe
Manganèse	Mn
Molybdène	Mo
Nickel	Ni
Zinc	Zn

La gestion de deux incontournables : le sol et les éléments nutritifs

Les éléments nutritifs sont indispensables à la croissance et à la reproduction des plantes, mais ils ne sont pas les seuls intrants nécessaires aux cultures.

La capacité du sol d'entretenir les plantes et de leur fournir eau, oxygène et chaleur est tout aussi cruciale. Un manque de n'importe lequel de ces facteurs affecterait directement la croissance des plantes et pourrait même empêcher la culture d'assimiler certains éléments nutritifs présents dans le sol. Pourquoi ne pas jeter un autre coup d'œil au programme actuel de gestion du sol : s'il tient compte seulement de la quantité d'éléments nutritifs assimilables par les cultures, il n'est probablement pas satisfaisant.

Pour que les éléments nutritifs assimilables soient utilisés adéquatement, le sol doit avoir une bonne structure, un drainage approprié et une bonne capacité de retention de l'humidité. Pour de plus amples renseignements, consulter les fascicules sur les « Pratiques de gestion optimales » intitulés *Gestion du sol*, *Grandes cultures* et *Cultures horticoles*.

Les cultures sont incapables d'extraire suffisamment d'éléments nutritifs d'un sol qui est en mauvais état.

Les cultures absorbent aussi des éléments nutritifs qui ne leur sont pas utiles mais dont les animaux ont besoin, par exemple :

Cobalt	**Co**
Iode	**I**
Chrome	**Cr**
Sodium	**Na**
Sélénium	**Se**

Les organismes du sol s'accaparent parfois l'azote de façon temporaire, laissant les cultures en déficit.

LE CYCLE DES ÉLÉMENTS NUTRITIFS

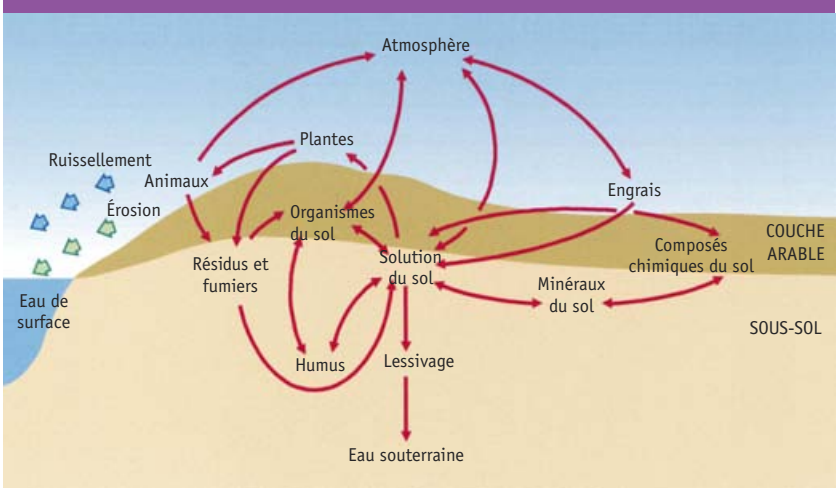
Les éléments nutritifs traversent constamment des cycles sous différentes formes dans le sol. À mesure qu'ils réagissent, les éléments nutritifs sont utilisés par les plantes, éliminés du sol ou encore convertis en formes non assimilables.

L'élaboration d'un bon programme de gestion des éléments nutritifs passe d'abord et avant tout par la compréhension fondamentale du cycle des éléments nutritifs. Il faudra notamment apprendre les diverses formes des éléments nutritifs, ce qui influe sur la disponibilité d'éléments nutritifs précis et comment ils s'échappent du cycle.

Les éléments nutritifs existent dans le sol sous de nombreuses formes dont quelques-unes seulement sont utiles aux plantes. Peu importe que les éléments nutritifs soient appliqués sur le sol sous forme organique (p. ex. fumier) ou inorganique (p. ex. engrais commerciaux), ils doivent se trouver sous forme inorganique pour être assimilés par les plantes.

Dans un sol qui n'est pas gelé, les activités chimiques et biologiques modifient sans cesse la forme des éléments nutritifs, bien qu'il existe un équilibre quelconque entre les différentes formes. Consulter l'illustration ci-dessous pour avoir une idée générale du cycle que traversent les éléments nutritifs.

CYCLE DES ÉLÉMENTS NUTRITIFS



Les bactéries des nodules des racines de légumineuses fournissent de l'azote au sol.

COMPOSANTES DU SOL

Solution du sol

Par **solution du sol**, on entend le mélange d'eau et de matières dissoutes dans celle-ci. Seule une faible proportion de la totalité des éléments nutritifs du sol se trouvent dans la solution. La plupart des éléments nutritifs sont fixés aux particules de sol ou se trouvent dans la matière organique.

La solution du sol est la composante principale du cycle de tous les éléments nutritifs, car ceux-ci doivent être dissous dans l'eau pour que les plantes puissent les absorber.

Organismes et matière organique du sol

Un sol en santé foisonne d'organismes vivants, depuis les bactéries jusqu'aux vers de terre. Ils sont indispensables au cycle des éléments nutritifs parce qu'ils décomposent la matière organique, libérant ainsi sa richesse en éléments nutritifs. (Consulter le fascicule des « Pratiques de gestion optimales » intitulé *Gestion du sol*, pour de plus amples renseignements sur le sujet.)

Parfois, les organismes du sol sont en concurrence avec les plantes pour l'obtention des éléments nutritifs. Dans certaines circonstances, par exemple, les micro-organismes du sol qui décomposent les résidus pauvres en azote peuvent consommer temporairement une grande partie de l'azote disponible dans le sol, empêchant ainsi les plantes de 1'utiliser immédiatement. Toutefois, cet azote est à nouveau libéré lorsque les micro-organismes meurent et se décomposent à leur tour. L'accaparement temporaire de l'azote peut altérer le rendement d'une culture s'il se produit à un moment où celle-ci en a un grand besoin.

Les bactéries associées aux légumineuses fixent l'azote de l'air. Les résidus de luzerne et de trèfle, en particulier, peuvent ajouter d'importantes quantités d'azote au sol. Lorsque ces residus se décomposent rapidement, une importante quantité d'azote des nitrates peut être libérée dans le sol. Si cet azote n'est pas utilisé par les plantes, une grande proportion risque d'être lessivée vers l'eau souterraine.

ÉCHANGE CATIONIQUE

Les sols fertiles ont la capacité d'approvisionner les cultures en éléments nutritifs au moment où elles en ont le plus besoin. Très souvent, la couche arable de ces sols affiche une teneur relativement élevée en argile et en matière organique (p. ex. loams argileux). L'argile et l'humus sont capables de retenir davantage d'éléments nutritifs que les autres particules du sol.

La capacité d'échange cationique est l'abilité d'un sol à retenir et à échanger certains éléments nutritifs en vue de la croissance des plantes.

Les cations se font souvent concurrence pour l'espace sur les sites d'échanges dans le sol.

Étant donné que les particules d'argile et d'humus sont chargées négativement, les éléments nutritifs qui sont chargés positivement (**cations**) sont attirés vers leur surface. Les éléments nutritifs retenus de cette façon résistent au lessivage mais peuvent être délogés par les racines des plantes.

Ils peuvent également changer de place avec d'autres cations de la solution du sol. Ce remplacement d'un cation par un autre s'appelle **échange cationique**. La capacité du sol de retenir et d'échanger certains éléments nutritifs pour la croissance des plantes s'appelle la **capacité d'échange cationique (CÉC)**.

Les éléments nutritifs échangeables sont facilement assimilables par les plantes et représentent une réserve importante, en particulier de calcium, de potassium et de magnésium. Une petite quantité d'azote sous forme d'ammonium est également retenue par échange cationique.

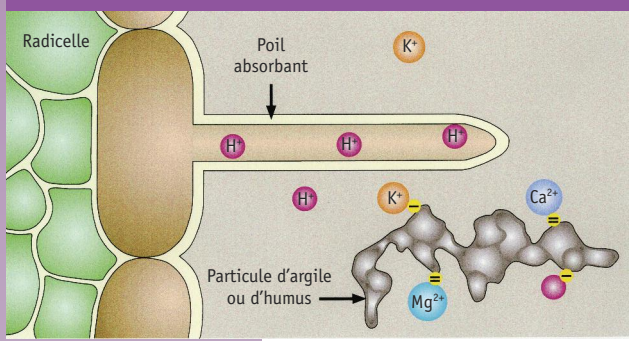
ALTÉRATION ATMOSPHÉRIQUE, MINÉRAUX ET COMPOSÉS CHIMIQUES

La fertilité naturelle des terres agricoles est determinée par deux facteurs clés :

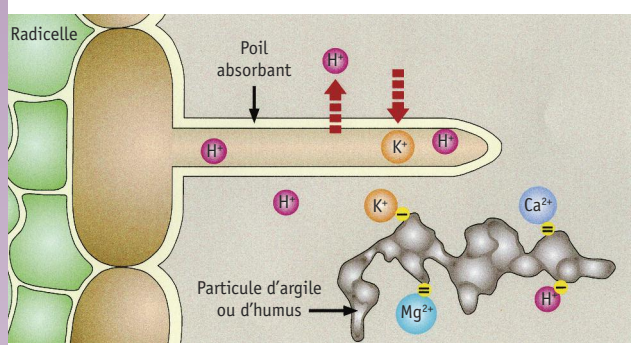
► le type de roc duquel le sol est dérivé;
► les conditions dans lesquelles le sol s'est formé.

C'est pourquoi les différents types de sols ont une fertilité et des propriétés connexes très variées.

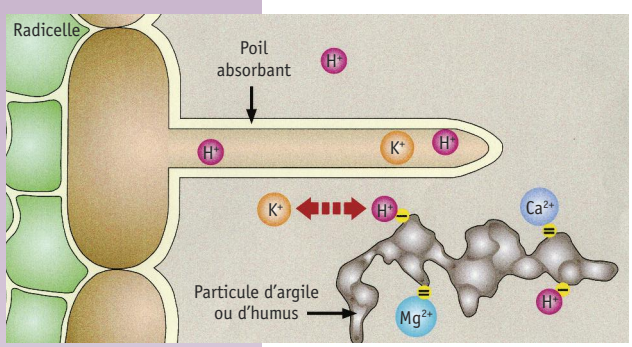
ÉCHANGE CATIONIQUE ET ABSORPTION DES ÉLÉMENTS NUTRITIFS



Les cations des éléments nutritifs se trouvent dans la solution de sol et, aussi, fixés à des particules de sol.



En prenant un cation d'élément nutritif de la solution de sol, la racine libère, en contrepartie, un ion d'hydrogène (H^+) dans la solution de sol.



L'ion H^+ est ensuite échangé contre un cation d'élément nutritif (p. ex. K^+) dans la solution de sol.

H^+	ion hydrogène
K^+	ion potassium
Ca^{2+}	ion calcium
Mg^{2+}	ion magnésium
$^-/^=$	charges négatives à la surface des particules de sol

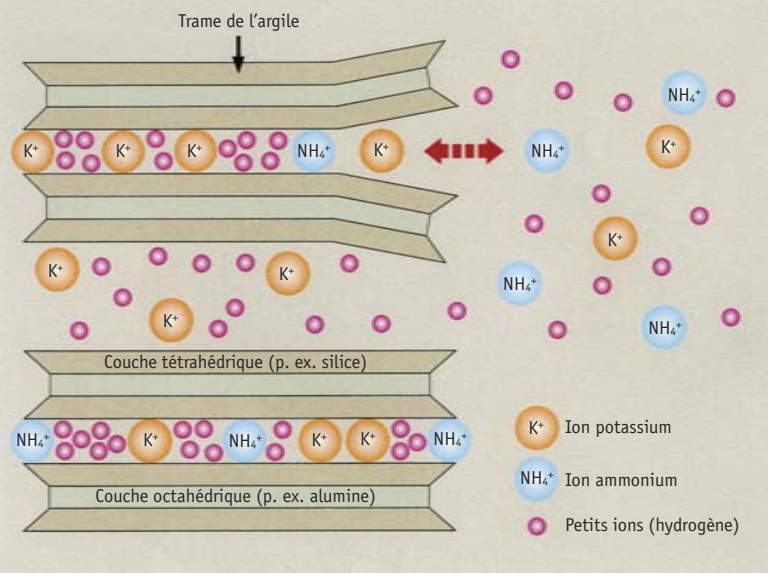
À l'origine, la plupart des éléments nutritifs du sol (à l'exception de l'azote) faisaient partie de la structure chimique du roc. Au cours de nombreux milliers d'années, l'action des forces naturelles, qu'on regroupe sous le terme d'**altérations atmosphériques** (ou météorisation), a décomposé le roc et ses minéraux, libérant une partie de leurs éléments nutritifs sous des formes assimilables par les plantes. Encore aujourd'hui, l'altération atmosphérique continue de libérer graduellement de petites quantites d'éléments nutritifs du roc.

Un bon nombre des réactions chimiques qui se produisent dans le sol détachent les éléments nutritifs de la solution du sol. Certaines de ces réactions produisent des composés insolubles dans l'eau et donc non assimilables par les plantes. Pour que ces éléments nutritifs deviennent biodisponibles, les composés insolubles doivent d'abord subir une décomposition à la suite d'autres réactions dans le sol.

Le pH du sol influe sur la nature des réactions chimiques qui s'y produisent et donc sur les composés obtenus. Le pH influe également sur la solubilité des composés. Par conséquent, la disponibilité de la plupart des éléments nutritifs change si le pH du sol est modifié.

La fixation du potassium ou de l'ammonium par des particules d'argile peut poser problème dans les régions où le sol est très riche en argile, comme la vallée de l'Outaouais.

FIXATION DE L'AMMONIUM ET DU POTASSIUM PAR L'ARGILE



RÔLE DU SOUS-SOL ET DES MATÉRIAUX D'ORIGINE

De manière générale, les sous-sols et les matériaux d'origine du sol sont beaucoup moins fertiles et fournissent une proportion largement inférieure d'éléments nutritifs en comparaison des sols de la couche arable (sol de surface). Plusieurs facteurs expliquent cette situation :

- la plus grande partie du système racinaire de la plante se trouve dans le sol de surface;
- aucun élément nutritif n'a été ajouté dans le sous-sol;
- la disponibilité de nombreux éléments nutritifs est réduite dans les matériaux d'origine alcalins qu'on trouve dans la majeure partie du sud de l'Ontario;
- la matière organique est moins abondante dans le sous-sol;
- une moins grande quantité d'éléments nutritifs a été libérée dans le sous-sol parce qu'il est moins sujet à l'altération atmosphérique que la couche arable.

Néanmoins, le sous-sol peut constituer une importante source d'éléments nutritifs, en particulier par temps sec. Lorsque les plantes puisent la plus grande partie de l'eau du sous-sol, c'est également là qu'elles doivent obtenir les éléments nutritifs. Les éléments nutritifs qui sont prélevés du sous-sol par les plantes à racines profondes s'ajoutent au sol de surface lorsque les résidus de ces plantes pourrissent.

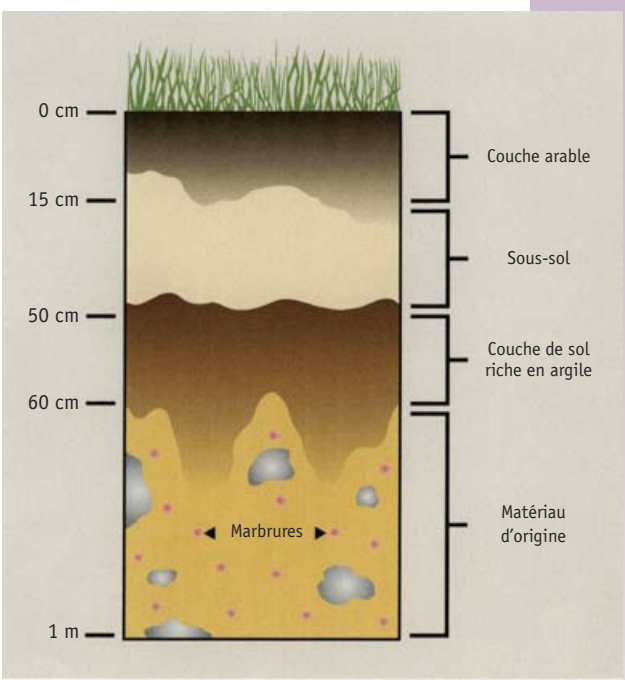
Les cultures à racines profondes amènent certains éléments nutritifs, comme le potassium, vers la couche arable.

AMENDEMENTS DU SOL

Résidus, fumiers et autres matières organiques

Une bonne partie des éléments nutritifs absorbés par les plantes retourne dans le sol dans sous forme de résidus de cultures. Les fumiers restituent la plupart des éléments nutritifs contenus dans les aliments consommés par les animaux. À l'instar des fumiers, d'autres matières organiques comme les boues d'épuration, les biosolides de papetières, les résidus de cultures et les matières compostées constituent d'importantes réserves d'éléments nutritifs.

Les éléments nutritifs sous forme organique sont retenus dans le sol pour être graduellement libérés sous des formes disponibles, à mesure que la matière organique se décompose. Certains des éléments nutritifs provenant de la matière organique sont immédiatement assimilables; le reste le devient avec le temps. Le fumier, par exemple, peut continuer de libérer des éléments nutritifs pendant plusieurs années.



Les sous-sols sont moins fertiles que les sols de surface.

La disponibilité des éléments nutritifs provenant de sources organiques est reliée au ratio carbone-azote (C:N). Plus le ratio des éléments nutritifs se rapproche de celui du sol (12:1), plus la disponibilité de l'azote pour les cultures a des chances de se produire et ce, rapidement.

On appelle **humus** la matière organique qui a pourri et qui est devenue stable. L'humus joue un rôle important dans la capacité du sol de retenir les éléments nutritifs.

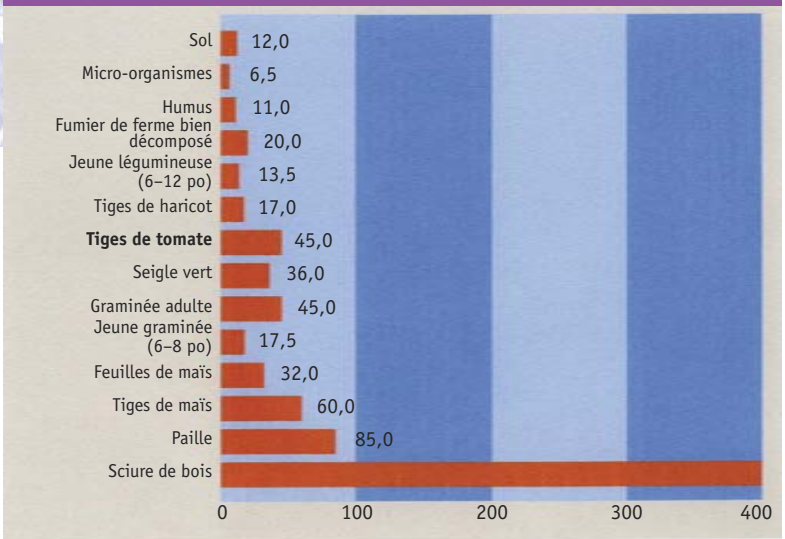
La matière organique du sol : Trouver l'équilibre souhaitable

La matière organique du sol joue un rôle de premier plan dans le maintien de la structure du sol et dans sa capacité à retenir l'eau et les éléments nutritifs. L'augmentation des concentrations de matière organique dans le sol permet d'atteindre ces deux objectifs. Toutefois, il ne faut pas oublier que la libération de l'azote et d'autres éléments nutritifs piégés sous forme organique est fonction de la décomposition de cette matière organique.

La solution se trouve dans le juste équilibre entre la concentration des composés organiques qui resteront longtemps dans le sol (dits stables) et celle de la fraction active qui intervient dans le cycle des éléments nutritifs.

La matière organique qui est riche en carbone par rapport à l'azote (c.-à-d. dont le ratio C:N est supérieur à 30:1) peut entraîner l'immobilisation de l'azote disponible dans le sol et limiter momentanément sa disponibilité pour la croissance de la culture. Au fil du temps, les micro-organismes du sol utilisent une grande part du carbone présent, abaissant ainsi le ratio C:N de façon que l'azote devient à nouveau disponible pour les cultures.

RATIOS C:N DE MATIÈRES COURANTES



La restitution de la matière organique dans le sol permet de boucler le cycle des éléments nutritifs.

Engrais

Dans la plupart des engrais commerciaux, les éléments nutritifs se trouvent sous une forme soluble. Ils pénètrent directement dans la solution du sol et deviennent presque immédiatement assimilables par les plantes. Toutefois, dans l'année suivant l'application, les plantes n'absorbent qu'une partie des éléments nutritifs assimilables épandus.

Étant donné que l'ajout d'éléments nutritifs assimilables dans la solution du sol déséquilibre le cycle des éléments nutritifs, certains éléments nutritifs sont convertis en formes moins assimilables jusqu'à ce que l'équilibre soit rétabli.

Au cours de l'année où l'on fait l'épandage d'un engrais, les cultures absorbent les proportions suivantes des éléments nutritifs assimilables :

- ► 50 à 70 % de l'azote,
- ► 10 à 30 % du phosphore,
- ► 20 à 60 % du potassium.

La proportion d'éléments nutritifs puisée dans la matière organique au cours de 1'année de l'application est encore moindre.

Certains des éléments nutritifs inutilisés deviendront assimilables dans les années subséquentes et seront relevés dans les analyses de sol.

Les chutes de pluie et de neige apportent au sol des composés azotés et sulfurés.

L'application régulière de phosphore et de potassium à des doses plus élevées que les prélèvements par les cultures augmente souvent les concentrations de ces éléments nutritifs dans le sol. C'est pourquoi l'épandage de ces éléments nutritifs finit à la longue par ne plus être nécessaire.

Une grande part de l'azote libéré par la décomposition du fumier se trouve d'abord liée par les micro-organismes du sol, et ensuite relâchée par eux, bien que pas nécessairement quand la culture en a besoin. La bonne gestion prend en compte ce phénomène au moment de déterminer les doses d'épandage.

Atmosphère

La poussière, les particules de fumée et d'autres polluants atmosphériques atteignent le sol avec la pluie et la neige, ajoutant des quantités infimes de la plupart des éléments nutritifs dans le sol. Les pluies et neiges acides contiennent également d'importantes quantités d'azote et de soufre.

Les sols gorgés d'eau entraînent la perte de nitrate sous forme d'azote gazeux dans l'atmosphère.

Dans le sud de l'Ontario, les précipitations se traduisent, chaque année, par l'ajout d'environ 18 kilogrammes d'azote à l'hectare (16 lb/ac) dans le sol. La quantité de soufre apportée par les précipitations varie entre 8 et 13 kg/ha (7–12 lb/ac) chaque année, et autant se dépose sur le sol sous forme de poussières et de particules fines.

De l'ammoniac atmosphérique peut rejoindre le sol après réaction avec de la vapeur d'eau et des composés acides pour devenir de l'ammonium. En outre, l'ammoniac et l'acide sulfurique peuvent produire le smog – de fines particules en suspension dans l'atmosphère.

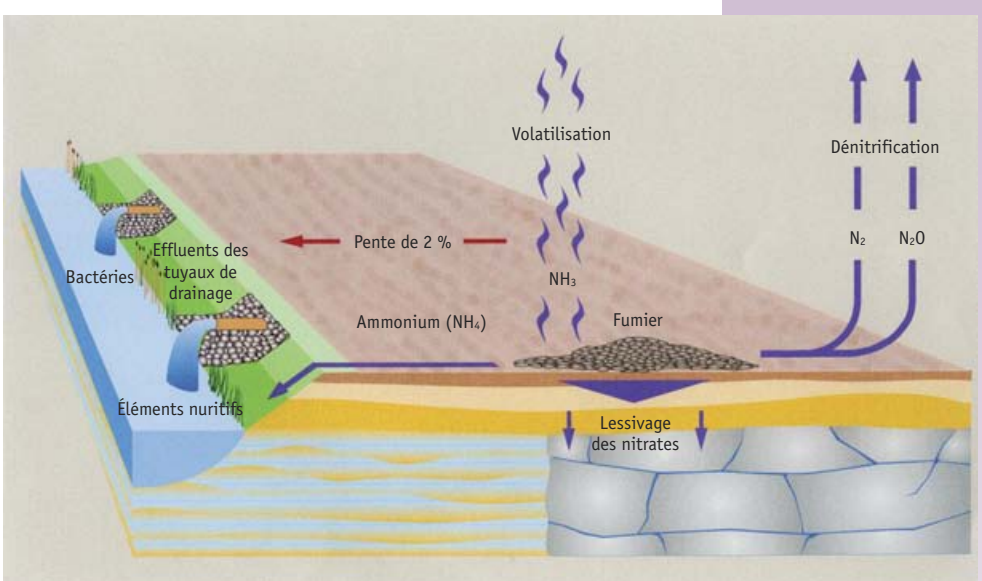
Une saine gestion réduit au minimum les pertes d'éléments nutritifs dans l'atmosphère, les eaux de surface et les eaux souterraines à partir des matières organiques.

Pertes de sol

Les éléments nutritifs des cultures récoltées sont utilisés par le bétail et les humains. Si leurs déchets sont restitués aux terres cultivées, le cycle est alors bouclé avec relativement peu de pertes, à l'exception de l'azote.

Les éléments nutritifs s'échappent du cycle en rejoignant l'atmosphère, les eaux de surface ou les eaux souterraines.

L'érosion éolienne représente un des moyens par lesquels les éléments nutritifs s'échappent du cycle.



RÉSUMÉ DES PERTES POSSIBLES D'ÉLÉMENTS À PARTIR DU CYCLE DES ÉLÉMENTS NUTRITIFS

PROCESSUS	DÉTAILS
VOLATILISATION	• la volatilisation est la perte d'ammoniac libre (NH_3) au profit de l'atmosphère • l'ammonium du fumier (NH_4^+) se transforme facilement en ammoniac • le fumier très riche en NH_4^+ a tendance à produire du NH_3 • le taux de perte dépend de la température, de l'humidité, de la vitesse du vent, de l'humidité du sol, du pH, du couvert végétal, de la pluviosité et de l'infiltration – les plus grandes pertes ont lieu par temps chaud et sec, sous un ciel ensoleillé • les pertes augmentent avec la surface d'exposition – l'enfouissement réduit les pertes
DÉNITRIFICATION	• dans les sols saturés, les micro-organismes transforment les nitrates en azote gazeux (N_2) • dans les sols et milieux de stockage à demi saturés, les nitrates deviennent de l'oxyde de diazote (N_2O) sous l'action des micro-organismes • l'azote du fumier (azote organique et ammonium) qui se transforme en nitrates (nitrification) est aussi sujet à la dénitrification
RUISSELLEMENT ET ÉROSION	• le fumier épandu sur le sol a de fortes chances d'être entraîné par ruissellement • le phosphore et l'azote contenus dans le fumier sont charriés avec les matières érodées et les eaux de ruissellement • le ruissellement et l'érosion s'accélèrent sur les pentes raides, sur les sols à faible taux d'infiltration, sur les sols gelés ou compactés, sur les surfaces dépourvues de végétation ou ayant un couvert végétal clairsemé, et qui sont soumises à de fortes précipitations et à la fonte des neiges
LESSIVAGE	• le lessivage est le déplacement des solutions de sol et de leurs solutés hors du profil de sol et de la zone racinaire • une concentration élevée de nitrates (et/ou de bactéries) dans la zone racinaire et un mouvement net de l'eau à travers le profil de sol sont des conditions indispensables • les sols sableux et graveleux où la nappe phréatique est élevée sont les plus à risque • les principales sources de nitrates sont : ○ le fumier mal entreposé (p. ex. fumier solide ou composté en tas non recouvert sur un sol dénudé) ○ les engrais à base de nitrates ○ les légumineuses soumises à la minéralisation et le fumier laissé en surface
EFFLUENTS DE DRAINAGE	• le mouvement en masse vers un drain souterrain de matières liquides appliquées en surface par voie des fissures et des macropores continus • les éléments nutritifs (N, P et K) et les organismes pathogènes risquent de se retrouver dans les eaux de surface • le phénomène est le plus fréquent sur les sols non travaillés avant l'application
IMMOBILISATION	• les éléments nutritifs sont liés dans le sol par des micro-organismes • les populations microbiennes du sol sont assez nombreuses et diversifiées pour retirer l'azote biodisponible de la solution de sol avant même que les végétaux puissent l'utiliser • l'immobilisation dépend du rapport carbone-azote (C:N) résultant des résidus de cultures et des matières organiques fournis au sol ○ quand des matières riches en carbone et pauvres en azote, telles que la litière de paille ou de sciure de bois, sont ajoutées au sol, les micro-organismes s'accaparent l'azote disponible ○ avec le temps, les micro-organismes finissent par manquer d'aliments et mourir, libérant ainsi l'azote après sa minéralisation
FIXATION	• le phosphate est très réactif dans le sol : il s'associe facilement au calcium, au magnésium, au fer, au manganèse ou à l'aluminium et se fixe aux particules de sol • une faible proportion du phosphate reste en solution en tout temps • la majeure partie du phosphate y demeure sous forme de réserve; il est libéré dans la solution de sol pour compenser l'utilisation par les végétaux

ÉLÉMENTS NUTRITIFS DANS LE SOL ET LES PLANTES

Cette section portera sur les types de macro-éléments et oligo-éléments essentiels à la croissance des cultures, sur leurs fonctions et sur les symptômes de carence.

Les renseignements fournis aideront à diagnostiquer et à prédire les problèmes relatifs aux carences en éléments nutritifs des cultures.

MACRO-ÉLÉMENTS

Azote (N)

Quelle que soit la méthode d'application de l'azote sur le sol, une grande partie sera ultérieurement convertie en nitrates (NO_3^-). Les plantes absorbent la majorité de l'azote sous forme de nitrates, notamment parce qu'il s'agit de la forme inorganique la plus courante dans le sol.

L'azote des nitrates est très soluble dans l'eau et se déplace avec l'humidité du sol, permettant ainsi aux racines de puiser de l'azote à peu près partout dans le sol où elles absorbent de l'eau. Toutefois, en raison de sa solubilité, l'azote des nitrates se lessive très facilement.

La teneur du sol en azote des nitrates peut changer rapidement. Par temps chaud, d'importantes quantités peuvent être libérées par la décomposition de la matière organique. Par temps humide, les nitrates peuvent s'échapper des sols bien drainés par lessivage, ou se soustraire des sols saturés après conversion en azote gazeux (N_2) par les bactéries en vertu du processus appelé dénitrification.

Dans le sol, l'azote de l'urée est converti en ammonium. Toutefois, des conditions chaudes et humides favorisent la transformation d'une grande part de l'ammonium épandu à la surface du sol en ammoniac (gaz), lequel se dissipe dans l'atmosphère.

CHARGE ÉLECTRIQUE		
COMPOSÉ	**SYMBOLE**	**CHARGE ÉLECTRIQUE**
Nitrate	NO_3^-	Négative
Ammonium	NH_4^+	Positive
Ammoniac (gaz)	NH_3	Neutre

VALEUR APPROXIMATIVE DES CULTURES EN ÉLÉMENTS NUTRITIFS

CULTURE	RENDEMENT À L'ACRE		N lb/ac	P_2O_5 lb/ac	K_2O lb/ac	Ca lb/ac	Mg lb/ac	S lb/ac	Cu lb/ac	Mn lb/ac	Zn lb/ac
Luzerne, foin	5	t. imp.	364	65	300	135	25	25	0,07	0,55	0,53
Trèfle rouge, foin	2,5	t. imp.	160	44	150	70	17	7	0,04	0,54	0,36
Fléole, foin	2,5	t. imp.	90	30	90	20	6	5	0,03	0,31	0,20
Orge, grain	60	boiss.	60	24	18	1,5	3	4,5	0,04	0,04	0,09
Orge, paille	1,5	t. imp.	20	16	55	12	3	6	0,02	0,48	0,07
Maïs, grain	150	boiss.	125	63	44	2	8	10	0,06	0,09	0,15
Maïs, tiges	4,5	t. imp.	100	40	145	25	20	15	0,05	1,50	0,30
Avoine, grain	80	boiss.	33	11	10	2	3	5	0,03	0,12	0,05
Avoine, paille	2	t. imp.	11	7	47	8	8	9	0,03	s.o.	0,30
Seigle, grain	45	boiss.	29	12	9	3	4	10	0,03	0,33	0,04
Seigle, paille	2	t. imp.	12	5	32	10	3	4	0,01	0,18	0,09
Blé, grain	80	boiss.	48	23	14	2	12	6	0,06	0,18	0,28
Blé, paille	3	t. imp.	30	5	51	12	6	10	0,02	0,32	0,10
Soya, fèves	40	boiss.	78	17	28	7	7	4	0,04	0,05	0,04
Pommes	500	boiss.	30	10	45	8	5	10	0,03	0,03	0,03
Haricots secs	30	boiss.	75	25	25	2	2	5	0,02	0,03	0,06
Choux	20	t. imp.	80	37	130	20	8	44	0,04	0,10	0,08
Oignons	7,5	t. imp.	38	17	40	11	2	18	0,03	0,08	0,31
Pêches	600	boiss.	35	20	65	4	8	6	s.o.	s.o.	0,01
Pommes de terre	400	boiss.	80	30	150	3	6	6	0,04	0,09	0,05
Épinards	5	t. imp.	36	15	30	12	5	4	0,02	0,10	0,10
Patates douces	300	boiss.	45	8	75	4	9	6	0,03	0,06	0,03
Tomates	20	t. imp.	80	28	160	7	11	14	0,07	0,13	0,16
Navets	10	t. imp.	45	23	90	12	6	s.o.	s.o.	s.o.	s.o.
Arachides	1,25	t. imp.	90	10	15	1	3	6	0,02	0,01	s.o.
Tabac, feuilles	1	t. imp.	56	6	120	75	18	14	0,03	0,55	0,07
Tabac, tiges			35	15	50						

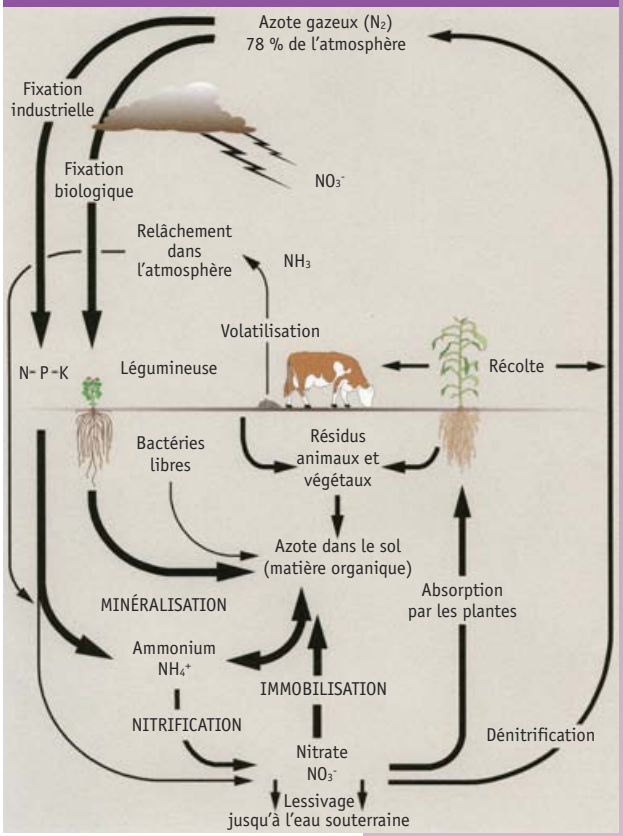
Phosphore (P)

Les phosphates (P_2O_5) sont très réactifs dans le sol : ils se combinent au calcium, au magnésium, au fer ou à l'aluminium, et se fixent aux particules de sol. Seule une petite proportion demeure dans la solution du sol. Les phosphates sont éliminés rapidement de la solution. Par contre, une grande partie des phosphates reste sous forme de réserve et est libérée dans la solution pour remplacer ce qui a été assimilé par les plantes.

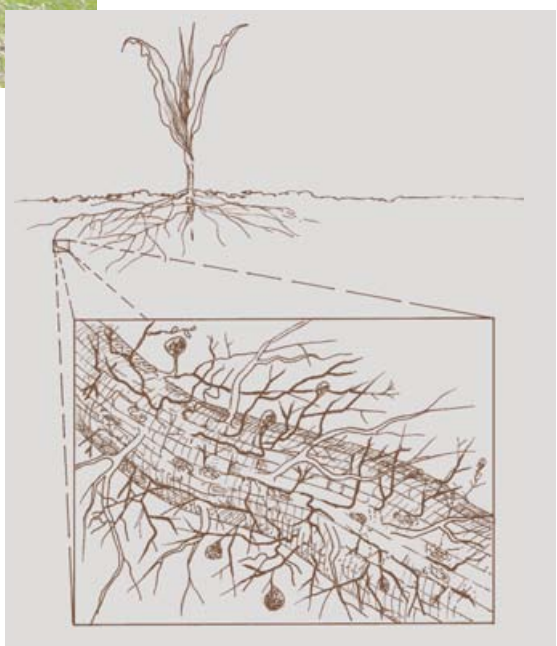
Les phosphates sont peu mobiles dans le sol et ne risquent donc pas d'être lessivés. Le phosphore disparaît du sol principalement en raison de l'érosion. Comme le phosphore ne se déplace pas avec l'humidité du sol, les plantes l'absorbent uniquement quand leurs racines en croissance viennent contact avec lui.

Étant donné que les températures basses ralentissent la croissance des racines et l'absorption des éléments nutritifs, les plantes sont souvent incapables d'assimiler une quantité suffisante de phosphore par temps froid, surtout lorsqu'elles sont petites.

LE CYCLE DE L'AZOTE



Par temps chaud et humide, jusqu'à la moitié de l'azote provenant de l'urée laissée à la surface du sol ou sur les résidus de culture peut s'échapper à l'air libre sous forme d'ammoniac.



Les endomycorhizes vésico-arbusculaires (VAM) sont des champignons symbiotiques qui aident les cultures à puiser dans le sol les éléments nutritifs, en particulier le phosphore.

Le phosphore total se trouvant dans les 15 premiers centimètres (6 po) du sol équivaut à 3000–5000 kg de P_2O_5 à l'hectare (2700–4500 lb/ac), mais moins de 1 % de ce total est assimilable par les plantes.

Potassium (K)

Le potassium se déplace plus facilement dans le sol que le phosphore, mais beaucoup moins que l'azote. L'ion potassium est très soluble dans l'eau et peut être lessivé dans les sols très sablonneux (ou à faible capacité d'échange cationique, CEC).

Les minéraux composant les particules d'argile ont souvent une teneur élevée en potassium. De nombreux sols argileux et loams argileux regorgent de potassium. Par contre, les sols sablonneux sont généralement pauvres en potassium.

Calcium et magnésium (Ca, Mg)

La plupart des sols du sud de l'Ontario proviennent de matériaux riches en calcaire qui ont été broyés et se sont déposés durant la dernière période glaciaire. Dans les régions situées à l'ouest de l'Escarpement du Niagara et dans certaines parties de la vallée de l'Outaouais, la chaux dolomitique prédominait et, aujourd'hui, les sols contiennent des quantités appréciables de calcium et de magnésium.

Les sols de la zone argileuse du nord de l'Ontario contiennent souvent d'abondantes quantités de calcium et de magnésium.

Par contre, les sols formés à partir de chaux calcique ont tendance à être pauvres en magnésium.

Soufre (S)

Dans le sol, le soufre a un comportement similaire à celui de l'azote. Le soufre est absorbé par les plantes sous forme de phosphate (SO_4^{2-}) et il est facilement lessivé. Il y a longtemps, les sols de l'Ontario étaient pauvres en soufre et avaient donc besoin d'être fertilisés en conséquence. Cette situation prévaut encore dans le nord-ouest de l'Ontario.

Sauf dans le nord-ouest de la province, les sols reçoivent suffisamment de soufre des pluies et neiges acides, ce qui élimine la nécessité de fertiliser la majorité des cultures en soufre.

Ces tomates montrent des signes de pourriture apicale, un trouble physiologique qui se produit quand l'insuffisance d'eau dans le sol empêche le calcium de se rendre jusqu'au fruit en croissance. On peut éviter cette carence en calcium par l'irrigation programmée.

Les taux de calcium et de magnésium sont en général assez faibles dans les sols sablonneux et les sols acides comme on en trouve au centre de l'Ontario. Pour plus de renseignements, voir Acidité du sol et chaulage, p. 35.

MACRO-ÉLÉMENTS NUTRITIFS DANS LE SOL ET LES PLANTES

ÉLÉMENT NUTRITIF (FORMES BIODISPONIBLES)	RETENU DANS LE SOL PAR...	SYMPTÔMES DE CARENCE	CONDITIONS PROPICES AUX CARENCES	CONSÉQUENCES D'UN EXCÈS
AZOTE • nitrate (NO_3^-) • ammonium (NH_4^+)	• matière organique • sites d'échange de cations (minéraux et organiques), retenus sous forme d'ammonium	• ralentissement de croissance, baisse de rendement et de qualité • jaunissement généralisé du feuillage • jaunissement des feuilles de graminées, de la base à la pointe, le long de la nervure médiane • chez la plupart des cultures non légumineuses	• fertilisation inadéquate • sols gorgés d'eau	• excès de croissance végétative • augmentation de la verse • retard de maturité • accroissement du risque de maladie
PHOSPHORE • ions phosphate ($H_2PO_4^-$) (HPO_4^{2-})	• matière organique • sols minéraux	• ralentissement de croissance, baisse de rendement et de qualité • coloration pourpre des feuilles de maïs et des céréales • chez la plupart des cultures	• fertilisation inadéquate • marne dans le sol • faible pH	• absorption réduite de zinc
POTASSIUM • ion potassium (K^+)	• matière organique • sites d'échange de cations (minéraux et organiques)	• ralentissement de croissance, baisse de rendement et de qualité • jaunissement des feuilles, débutant sur le pourtour • risque accru de verse • sensibilité accrue à certaines maladies • baisse de survie à l'hiver chez les cultures fourragères • chez la luzerne, la tomate et le rutabaga	• sables et loams	• absorption réduite de magnésium

MACRO-ÉLÉMENTS NUTRITIFS DANS LE SOL ET LES PLANTES

ÉLÉMENT NUTRITIF (FORMES BIODISPONIBLES)	RETENU DANS LE SOL PAR...	SYMPTÔMES DE CARENCE	CONDITIONS PROPICES AUX CARENCES	CONSÉQUENCES D'UN EXCÈS
CALCIUM • ion calcium (Ca^{2+})	• matière organique • sites d'échange de cations (minéraux et organiques) • carbonates du sol (chaux)	• développement anormal des bourgeons • jeunes feuilles tordues et jaunies • cœur noir chez le céleri • cavité pythienne chez la carotte • taches amères chez la pomme et la poire • aussi chez crucifères (choux), pomme de terre, raisin, tabac, tomate	• sols sableux acides • sols non irrigués	• s.o.
MAGNÉSIUM • ion magnésium (Mg^{2+})	• matière organique • sites d'échange de cations (minéraux et organiques) • carbonates du sol (chaux)	• jaunissement du tissu internervaire des feuilles du bas chez carotte, céleri, épinard, maïs, pomme, pomme de terre, raisin, tomate	• sols acides • sols sableux • apport de potasse abondant	• s.o.
SOUFRE • ion sulphate (SO_4^{2-})	• matière organique	• ralentissement de croissance, baisse de rendement et de qualité • jaunissement généralisé du feuillage • chez les fourrages, les céréales et le canola	• nord-ouest de l'Ontario	• s.o.

Symptômes de carences en macro-éléments et en éléments nutritifs secondaires

La plupart des cultures jaunissent et se développent mal en cas de carence en azote.

Un manque de potassium empêche le mûrissement uniforme des tomates.

Chez le maïs, la carence en magnésium cause des rayures sur les feuilles les plus jeunes.

En cas de carence en phosphore, les feuilles de maïs peuvent virer au mauve.

Carence en azote sur des pêches.

Un manque de calcium peut entraîner la pourriture apicale chez les tomates et les poivrons.

Carence en potassium sur des feuilles de luzerne.

Sur le céleri, la carence en magnésium se manifeste par le jaunissement des vieilles feuilles.

Carence en magnésium chez le pommier.

Pour plus de renseignements sur les carences nutritionnelles et la toxicité due à des excès, se référer à la page 34.

Les symptômes visuels et les résultats d'analyses de tissus constituent les meilleurs indicateurs de carences en oligo-éléments.

OLIGO-ÉLÉMENTS

Les oligo-éléments des plantes, leurs cycles dans le milieu ainsi que leurs rôles chez les végétaux n'ont pas fait l'objet d'études aussi approfondies que les macro-éléments. En général, les oligo-éléments sont nécessaires pour assurer le fonctionnement normal des différents enzymes et d'autres substances qui, chez les plantes, régularisent la photosynthèse, la respiration, la croissance et la reproduction.

OLIGO-ÉLÉMENTS DANS LE SOL ET LES PLANTES*

ÉLÉMENT NUTRITIF	SOURCES FERTILISANTES	SYMPTÔMES DE CARENCE	CONDITIONS PROPICES AUX CARENCES	CONSÉQUENCES D'UN EXCÈS
ZINC	• sulfate de zinc	• taches ou stries blanches près de la base des jeunes feuilles • chez le maïs	• sols érodés, à pH élevé, riches en phosphore	• un excès peut nuire à l'absorption d'autres oligo-éléments, entraînant une carence
MANGANÈSE	• sulfate de manganèse, chélates	• jaunissement de tissu internervaire des jeunes feuilles • nervures vert foncé • chez le soya, les céréales, la betterave, la tomate, et les cultures en terres noires	• sols antérieurement mal drainés : terres noires, marnes, sols érodés, sols sableux, à pH élevé	• en sols acides, l'excès de manganèse peut réduire la croissance racinaire • certains cultivars de pommiers ont une écorce qui affiche la « rougeole »
BORE	• borate	• jeunes tissus rabougris et décolorés • avortement possible des bulbes de fleurs • tiges à cœur creux • chez la luzerne, les crucifères (choux), les pommes, le céleri, la betterave et l'épinard	• sols sableux • la majorité des sols (à l'est de l'Escarpement du Niagara) • sols desséchants	• nécrose du pourtour des feuilles • repousse de teinte pâle ou blanchâtre
CUIVRE	• sulfate de cuivre	• feuilles ramollies ou décolorées • pointe des feuilles enroulée • tuniques minces et pâles chez l'oignon • mauvaise coloration des carottes • aussi chez le blé d'automne	• terres noires • sols sableux à texture grossière	• des pulvérisations foliaires trop concentrées peuvent endommager le tissu foliaire
MOLYBDÈNE	• molybdate de sodium	• jaunissement du tissu internervaire • feuilles enroulées et filandreuses • le pourtour des feuilles semble grillé • chez le chou-fleur, le brocoli et l'oignon	• terres noires • sols sableux acides	• un excès de molybdène peut occasionner des symptômes similaires à ceux d'une carence en fer
FER	• fer chélaté	• jaunissement du tissu internervaire • chez le bleuet	• rarement rencontré en Ontario	• s.o.

*En plus de ces éléments nutritifs (dits essentiels pour les plantes), les animaux requièrent aussi du cobalt, du sodium, de l'iode et du sélénium.

Symptômes de carences en oligo-éléments

Chez la luzerne qui est déficiente en bore, les nouvelles pousses sont rougies et rabougries.

Chez le maïs, une carence en zinc cause l'apparition de rayures sur les plus jeunes feuilles.

La pointe des feuilles s'enroule et se nécrose chez les plantes carencées en cuivre.

Ces plants de soya souffrent d'une carence en manganèse.

La carence en bore se traduit par une tige creuse chez les cultures de crucifères comme le brocoli.

Les tiges de céleri montrent des « griffures de chat » en cas de carence en bore.

Toute carence en un élément nutritif peut affecter la croissance de la culture et la qualité du produit récolté. On voit ici du soya souffrant d'une carence en potassium.

ÉLÉMENTS NUTRITIFS : CARENCE ET TOXICITÉ

CARENCE

Les cultures puisent dans le sol assez d'éléments nutritifs pour satisfaire la plupart de leurs besoins. Cependant, les sols ne contiennent pas toujours les éléments nutritifs en quantités suffisantes ou en proportions équilibrées pour répondre aux exigences des cultures sur le plan du rendement ou de la qualité. Toute carence nutritive chez une culture indique que la réserve en éléments nutritifs du sol est insuffisante pour une raison quelconque, notamment :

- certains sols sont susceptibles de manquer d'un élément nutritif donné en raison de la façon dont le sol a été formé;
- certaines cultures ont des exigences nutritionnelles plus élevées que d'autres en ce qui concerne des éléments nutritifs précis;
- certains sols sont dépourvus d'éléments nutritifs à cause de pratiques agricoles antérieures.

TOXICITÉ

Lorsqu'ils sont présents à une concentration excessive, certains éléments nutritifs deviennent toxiques pour les plantes. La marge de sécurité entre le niveau de carence et celui de toxicité varie d'une culture à l'autre pour chaque élément. Elle est très étroite en ce qui concerne le bore. Les cultures de crucifères et la luzerne ont des besoins en bore plutôt élevés, par comparaison à d'autres cultures. En conséquence, au cours de l'année suivant l'application de bore pour des cultures de crucifères, le bore résiduel peut causer des dommages à des cultures sensibles comme le soya, les haricots de grande culture, et les céréales à paille. Des toxicités nutritionnelles sont parfois attribuables à un changement de pH du sol, lequel augmente l'accessibilité de certains éléments nutritifs.

Chlore

Dans le sol, le chlore est essentiellement présent sous forme d'ion chlorure (Cl^-). Le chlorure est très soluble. Dans le sol, une grande partie du chlorure reste dans la solution de sol et est très sujette au lessivage. Bien que certains composés contenant du chlore soient toxiques (p. ex. le chlore gazeux et les produits javellisants), ce n'est pas le cas de l'ion chlorure. Les matières fertilisantes contenant du chlorure peuvent être appliquées sur le sol sans risque de dommages. Par contre, l'ion chlorure contribue à l'« effet de sel » des engrais et les concentrations de chlorure dans le sol peuvent altérer la qualité de certaines cultures spéciales (p. ex. le tabac).

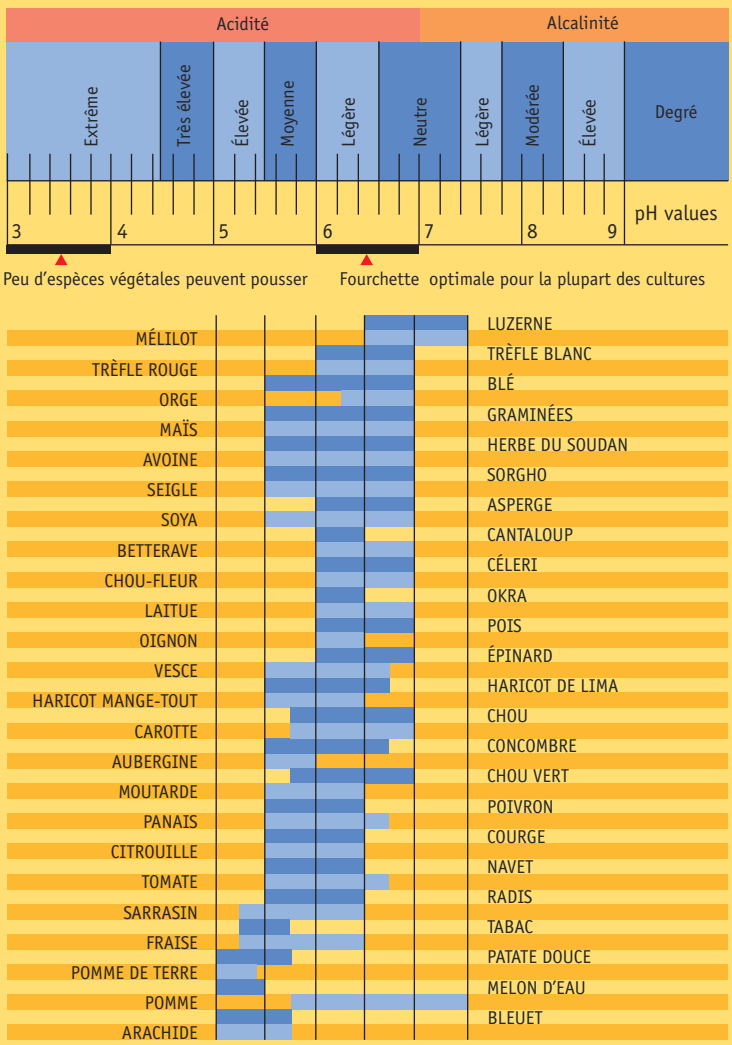
Dans les sols acides, certains éléments nutritifs deviennent toxiques pour des cultures comme le maïs.

ACIDITÉ DU SOL ET CHAULAGE

La disponibilité des éléments nutritifs et la performance des cultures varient selon que le pH du sol de l'exploitation est acide ou alcalin.

En Ontario, les sols vont de légèrement alcalins (pH entre 7,1 et 8,0) à très acides (pH inférieur à 4,0), selon le type de sol et la gestion dont il a fait l'objet. À noter : Seulement 10 % des terres agricoles de l'Ontario ont un pH de 6,0 ou moins.

FOURCHETTES DE pH PRÉFÉRÉES PAR LES CULTURES



Pourquoi les sols deviennent-ils acides?

- L'acidité du sol augmente par suite de l'absorption d'éléments nutritifs par les plantes.
- Le lessivage enlève des éléments nutritifs, comme le calcium et le magnésium, qui ralentissent le taux d'acidification du sol.
- La décomposition de la matière organique entraîne la libération d'acides dans le sol.
- La pluie et la neige sont habituellement acides. Dans le sud, le centre et l'est de l'Ontario, l'effet des précipitations sur le pH du sol est accru en raison de la plus grande acidité de la pluie et de la neige.

Les engrais ammoniacaux abaissent le pH du sol.

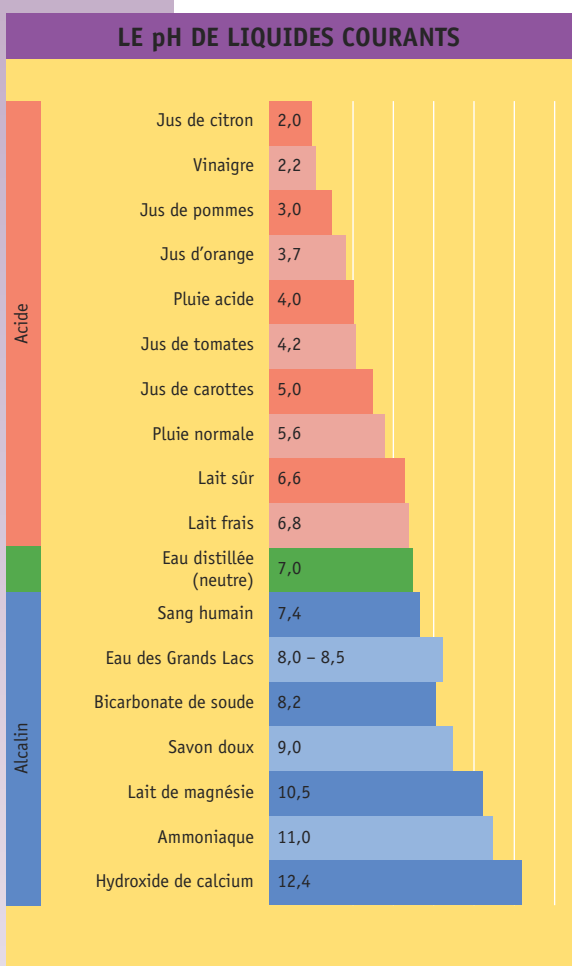
Bien des sols formés à partir de till calcaire contiennent de la chaux et sont donc de nature légèrement alcaline. Le pH de ces sols change très lentement en raison de la chaux qui les compose. Les sols formés à partir d'autres types de roc contiennent peu de chaux et leur pH peut changer assez rapidement. C'est particulièrement le cas des sols sableux.

Au fil des ans, les sols ont habituellement tendance à devenir plus acides à cause de l'érosion et de la fertilisation. En outre, l'application sur le sol de matières contenant de l'azote sous forme d'ammonium peut accélérer l'acidification des sols sensibles.

✔ ***Effectuer des analyses de sol régulièrement dans les terres cultivées pour surveiller tout changement de pH.*** Voir page 56 pour plus de détails.

Normalement, le pH du sol n'augmente pas. Toutefois, le pH du sous-sol est souvent plus élevé que celui du sol de surface. Lorsque le sol de surface est érodé ou que le labour est trop profond, le sous-sol peut se mélanger au sol de surface, ce qui peut faire augmenter le pH de la couche arable.

Lorsque le pH baisse en deçà de 5 dans les sols minéraux, la croissance des cultures ralentit à cause d'une toxicité nutritionnelle – p. ex. toxicité à l'aluminium ou au manganèse chez le pommier.



Les sols sableux ont tendance à devenir acides plus rapidement que les sols plus lourds.

EFFETS DU pH DU SOL

Au fur et à mesure que le sol devient **plus alcalin** (pH plus élevé), la disponibilité du zinc, du manganèse, du bore, du cuivre et du fer diminue davantage.

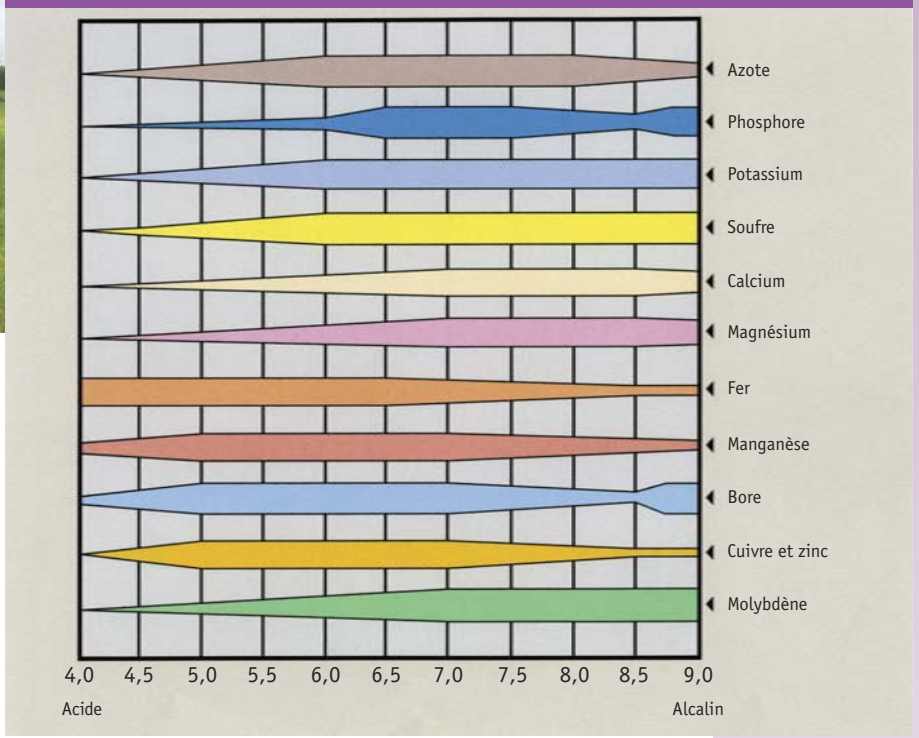
Lorsque le sol devient **plus acide** (pH plus bas),

- la disponibilité du phosphore, du potassium, du calcium, du magnésium et du molybdène diminue;
- la disponibilité du fer, de l'aluminium et du manganèse augmente, souvent à des niveaux toxiques;
- la capacité d'échange cationique de la matière organique du sol s'abaisse;
- l'activité de nombreux micro-organismes du sol (y compris ceux qui fixent l'azote) diminue.

La plupart des cultures donnent leur meilleur rendement quand le pH du sol est supérieur à 6,1. Par contre, il faut cultiver les bleuets et les canneberges dans un sol plus acide pour prévenir les carences en fer et en manganèse. Les pommes de terre et le tabac sont généralement cultivés dans des sols légèrement acides pour que les risques de maladie soient au minimum. La plupart des autres cultures tolèrent un pH supérieur à 7,0, mais aucune n'a besoin d'un sol alcalin.

Les endroits acides se répartissent souvent de façon aléatoire dans les champs. On devrait échantillonner ces endroits séparément.

EFFETS DU pH SUR LA BIODISPONIBILITÉ DES ÉLÉMENTS NUTRITIFS



CORRECTION DE L'ACIDITÉ DU SOL

Pour élever le pH du sol

En Ontario, on utilise le plus souvent la chaux broyée pour relever le pH du sol.

De la chaux agricole est épandue pour élever le pH.

La chaux agricole est habituellement un sous-produit de l'extraction des granulats rocheux.

Pour être efficace, la chaux doit être broyée finement. Les rocs desquels provient la chaux broyée n'ont pas tous la même aptitude à corriger l'acidité. On a créé un indice qui prend en compte ces deux facteurs et permet d'évaluer la chaux.

Les recommandations résultant des analyses de sol reconnues en Ontario sont fondées sur une chaux ayant un indice de 75. Pour la chaux d'un indice différent, les taux d'application doivent être ajustés. (Voir la publication 811F du ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario, intitulée *Guide agronomique des grandes cultures*, pour de plus amples renseignements).

Ces recommandations sont faites pour répondre aux besoins uniques de la culture indiquée sur la feuille de données accompagnant les échantillons de sol. Toutefois, il est préférable de prendre en compte les besoins en pH de toutes les cultures comprises dans la rotation. Un sol acide pourrait s'avérer nécessaire à certaines cultures de grande valeur (p. ex. les pommes de terre ou le tabac). Autrement, les taux d'application de la chaux doivent être établis selon la culture ayant les besoins les plus élevés.

La chaux dolomitique (provenant des carrières de l'Escarpement du Niagara ou de la vallée de l'Outaouais) contient du calcium et du magnésium. La chaux calcique (provenant de la plupart des autres carrières de la province) contient peu de magnésium.

Sur les sols pauvres en magnésium, il vaut mieux utiliser la chaux dolomitique pour corriger à la fois l'acidité du sol et et sa faible teneur en magnésium. Sur les sols qui ont suffisamment de magnésium, on peut épandre de la chaux dolomitique ou calcique.

L'effet de la chaux se fait sentir assez lentement en profondeur (à raison d'environ 1 po/an, soit 2 cm/an). Pour corriger l'acidité de toute la couche arable, la chaux doit être incorporée dans le sol. On obtiendra un mélange très uniforme en épandant la chaux et en travaillant le sol avant de labourer le champ.

On doit cultiver les bleuets en sol acide pour éviter les carences en fer et en manganèse.

Pour abaisser le pH du sol

On peut appliquer du soufre pur pour abaisser le pH de certains sols sur lesquels on fera des cultures exigeant des conditions acides. Toutefois, si le pH initial du sol est supérieur à 7,0, il est à peu près impossible de diminuer le pH en raison de la teneur élevée du sol en calcaire.