

LES PRATIQUES DE GESTION OPTIMALES

Gestion des éléments nutritifs destinés aux cultures



Canada

 Ontario

La Fédération
de l'agriculture
de l'Ontario 



Que sont les pratiques de gestion optimales ou PGO?

- Il s'agit de méthodes éprouvées, pratiques et peu coûteuses qui aident à préserver le sol, l'eau et les autres richesses naturelles dans les régions rurales.

Qui détermine l'admissibilité d'une pratique de gestion optimale?

- Une équipe qui représente les nombreux aspects de l'agriculture et de la propriété de terres rurales en Ontario; elle comprend notamment des agriculteurs, des chercheurs, des gestionnaires de richesses naturelles, du personnel d'organismes de réglementation, du personnel de vulgarisation et des professionnels de l'agro-industrie.

Qu'est-ce que la série « Les pratiques de gestion optimales »?

- Un ensemble de publications innovatrices et primées qui présentent de nombreuses options pouvant être adaptées à vos propres questions et circonstances environnementales.

- Titres actuellement disponibles :

Bandes tampons

Entreposage, manutention et application des pesticides

Gestion de l'agroforesterie et de l'habitat

Gestion de l'habitat du poisson et de la faune

Gestion du sol

Grandes cultures

Les puits

Planification de la gestion des éléments nutritifs

Réduction des émissions de gaz à effet de serre dans les exploitations d'élevage

Cultures horticoles

Gestion de l'irrigation

Gestion des éléments nutritifs

Gestion des fumiers

Gestion des terres à bois

Gestion intégrée des ennemis des cultures

La gestion de l'eau

Pâturages riverains

Semis direct : les secrets de la réussite

Gestion des éléments nutritifs destinés aux cultures

Établissement d'un couvert arboré

Comment puis-je en obtenir un exemplaire?

- Les agriculteurs de l'Ontario peuvent se procurer un exemplaire gratuit de chaque fascicule de la série auprès du ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario.
- Pour acheter un seul exemplaire, pour commander en nombre tous les autres titres ou pour commander un ensemble complet, communiquer avec la Fédération de l'agriculture de l'Ontario, à l'attention du Directeur, PGO, 100, ch. Stone Ouest, bureau 206, Guelph (Ontario) N1G 5L3. Téléphone : 1 800 668-3276
- Pour obtenir un formulaire de commande en ligne, visiter le site : <http://www.omafra.gov.on.ca/french/products/best.html>
- Les prix varient selon le fascicule et le nombre d'exemplaires commandés.

FACTEURS DE CONVERSION DU SYSTÈME MÉTRIQUE AU SYSTÈME IMPÉRIAL

UNITÉS DE MESURE

Bien que le Canada ait adopté le système international (SI), communément appelé système métrique, il y a plus de trente ans, de nombreuses mesures courantes, comme les superficies de terre, sont encore exprimées selon le système anglais (impérial). Pour une question de commodité, la plupart des mesures utilisées dans le présent fascicule sont fournies en unités métriques et en unités impériales. Toutefois, on favorisera exclusivement l'un ou l'autre système selon que l'usage courant, la pertinence, des contraintes d'espaces ou des dispositions réglementaires l'imposent.

CONVERSIONS COURANTES

1 gallon (gal)	=	4,546 litres (L)	1 acre (ac)	=	0,405 hectare (ha)
1 gal	=	1,201 gallon US	1 ac	=	43 560 pieds carrés (pi ²)
1 gal	=	0,161 pi ³	1 lb/ac	=	1,12 kg/ha
1 gal US	=	3,785 L	1 t. c./ac	=	2,25 t/ha
1 gal US	=	0,833 gal imp.	1 gal/ac	=	11,2 L/ha
1 tonne courte (t.c.)	=	0,907 tonne	1000 gal/ac	=	11 200 L/ha
1 livre (lb)	=	0,454 kilogramme (kg)	1000 gal/ac	=	11,2 mètres cubes/hectare (m ³ /ha)
1 tonne (t)	=	2205 lb	1 mètre (m)	=	3,28 pieds (pi)
1 pied cube (pi ³)	=	6,229 gal	1 m	=	39,4 pouces (po)

MÉTRIQUE – IMPÉRIAL (APPROXIMATIONS)

litres par hectare (L/ha) x 0,09	=	gallons par acre (gal/ac)
litres par hectare (L/ha) x 0,36	=	pintes par acre
litres par hectare (L/ha) x 0,71	=	chopines par acre (chop./ac)
millilitres par hectare (mL/ha) x 0,015	=	onces liquides par acre (oz liq./ac)
grammes par hectare (g/ha) x 0,015	=	onces par acre (oz/ac)
kilogrammes par hectare (kg/ha) x 0,89	=	livres/acre (lb/ac)
tonnes par hectare (t/ha) x 0,45	=	tonnes courtes/acre (t.c./ac)
kg/1000 L x 10	=	lb/1000 gal

IMPÉRIAL – MÉTRIQUE (APPROXIMATIONS)

gallons par acre (gal/ac) x 11,23	=	litres par hectare (L/ha)
pintes par acre x 2,8	=	litres par hectare (L/ha)
chopines par acre (chop./ac) x 1,4	=	litres par hectare (L/ha)
onces liquides par acre (oz liq./ac) x 70	=	millilitres par hectare (mL/ha)
tonnes courtes par acre (t.c./ac) x 2,24	=	tonnes par hectare (t/ha)
livres par acre (lb/ac) x 1,12	=	kilogrammes par hectare (kg/ha)
onces par acre (oz/ac) x 70	=	grammes par hectare (g/ha)
livres par tonne courte (lb/t.c.) x 0,5	=	kilogrammes par tonne (kg/t)

TABLE DES MATIÈRES

ii	Facteurs de conversion	54	La planification de la gestion des éléments nutritifs en dix étapes
iii	Table des matières	56	PGO indiquant les besoins en éléments nutritifs
1	Introduction	56	Analyses portant sur les éléments nutritifs et interprétation des résultats
2	L'approche systématique dans la gestion des éléments nutritifs pour les cultures	56	Analyse de sol
4	Économies sur les intrants	67	Différentes méthodes menant à des recommandations de fertilisants
5	Éléments nutritifs et environnement	71	Analyse de tissus végétaux
5	Le phosphore (P) et la qualité de l'eau	73	Analyse de fumier
9	L'azote (N) et la qualité de l'eau	78	PGO concernant l'épandage des éléments nutritifs
11	Les éléments nutritifs destinés aux cultures et les émissions de gaz à effet de serre	78	Efficacité d'utilisation des éléments nutritifs
12	Les éléments nutritifs destinés aux cultures et les organismes pathogènes	80	Le bon taux
14	Les éléments nutritifs organiques et la qualité de l'air	85	Le bon moment
15	Utilisation de l'énergie	92	Le bon endroit
16	Notions fondamentales	104	Il n'en tient qu'à vous!
16	Les éléments nutritifs : Définitions		
18	Le cycle des éléments nutritifs		
25	Éléments nutritifs dans le sol et les plantes		
34	Éléments nutritifs : carence et toxicité		
35	Acidité du sol et chaulage		
39	Sources d'éléments nutritifs		
39	Terminologie relative aux éléments nutritifs		
41	Sources inorganiques		
44	Sources organiques		
50	Matières de source non agricole (MSNA)		



MÉLANGES D'ENGRAIS LIQUIDES

« ANALYSE »	POIDS de 1 gal US (lb)	POIDS de 1 gal imp. (lb)	POIDS de 1 L (lb)	POIDS de 1 L (kg)	GAL IMP./ TONNE	GAL US/ TONNE	LITRE/ TONNE
8-25-3	11,11	13,35	2,94	1,33	165,1	198,4	749,9
6-18-6	10,69	12,85	2,83	1,28	171,6	206,2	779,0
3-11-11	10,45	12,55	2,76	1,25	175,7	211,0	798,8
9-9-9	10,49	12,60	2,77	1,26	175,0	210,2	795,9
7-7-7	10,41	12,5	2,75	1,25	176,4	211,8	801,7
6-24-6	11,07	13,30	2,93	1,33	165,8	199,2	752,4
9-18-9	11,07	13,30	2,92	1,32	165,8	199,2	755
5-10-15	10,7	12,85	2,83	1,28	171,6	206,0	799
2-10-15	10,62	12,75	2,81	1,27	172,9	207,6	784,6
10-34-0	11,6	14,0	3,09	1,40	157,0	188,5	715,8

POUR CONVERTIR AU MÉTRIQUE

%	►	kg/1000 L	multiplier par	10
%	►	kg/tonne	multiplier par	10
mg/L	►	%	diviser par	10 000

POUR CONVERTIR À L'IMPÉRIAL

%	►	lb par 1000 gal	multiplier par	100
%	►	lb par t.c.	multiplier par	20
ppm	►	%	diviser par	10 000

Nota : 1 m³ = 1000 L

INTRODUCTION

Nous avons tous besoin d'éléments nutritifs pour subsister et grandir, et nous comptons sur les cultures pour satisfaire une grande part de nos exigences quotidiennes. Les plantes cultivées transforment les éléments nutritifs comme l'azote, le phosphore et le potassium, en des formes que les humains et les animaux sont capables d'assimiler.

Les cultures ont elles aussi besoin d'éléments nutritifs. Pour connaître une croissance normale, les plantes doivent absolument disposer de ces éléments en quantités adéquates et aux moments opportuns. Le sol fournit un bon nombre des éléments nutritifs requis par les cultures, mais il doit compenser ces dépenses par des sources comme les engrais commerciaux, les fumiers et d'autres matières.

Qu'ils proviennent d'engrais ou d'autres matières fertilisantes, les éléments nutritifs sont des intrants à la fois indispensables et très coûteux de la production culturale. En Ontario, les engrais commerciaux et la chaux qui sont épandus sur les terres cultivées coûtent aux agriculteurs environ 483 millions de dollars chaque année. Sur ces terres arables, on épand aussi le fumier produit par quelque 2,2 millions de bovins, 3,6 millions de porcs, et 47 millions de poulets et dindes.

Le bétail joue un rôle de premier plan dans le cycle des éléments nutritifs en Ontario.



Il faut gérer judicieusement les éléments nutritifs fournis aux terres cultivées si l'on veut préserver la qualité des sols, de l'eau et de l'air.



Peu d'agriculteurs font l'application d'éléments nutritifs à des doses dépassant les recommandations. Il ne s'agit pas là d'une pratique de gestion optimale si l'on ignore coûts, profits et répercussions sur l'environnement. Une déficience de la gestion peut certainement nuire à l'environnement. Qu'on pense, par exemple, à l'épandage d'azote en quantités supérieures aux besoins de la culture. L'excès risque, en effet, d'occasionner le lessivage de nitrates dans le sol et d'entraîner la contamination des eaux souterraines, une ressource inestimable. Le ruissellement conséquent à la fonte des neiges et à des pluies abondantes peut charrier certains éléments nutritifs comme le phosphore vers des cours d'eau, des drains souterrains et des rivières. Par ailleurs, l'érosion des terres peut accentuer la pollution des eaux de surface à cause des sédiments et des éléments nutritifs qui adhèrent aux particules de sol.

À l'opposé, l'épandage d'éléments nutritifs à des niveaux insuffisants ne serait pas non plus une pratique de gestion optimale puisque le rendement et les profits en souffriraient.

En Ontario, nombre de sites naturels indispensables à la vie dépendent de l'écogestion exercée par des propriétaires fonciers individuels, dont la gestion des éléments nutritifs constitue un maillon essentiel.

En observant des pratiques de gestion optimales, on contribue à réduire les dangers pour l'environnement, sans pour autant sacrifier la productivité. Le présent fascicule aidera à comprendre :

- l'importance des éléments nutritifs pour les cultures,
- le comportement des éléments nutritifs dans le sol,
- les sources capables d'augmenter la teneur des éléments nutritifs dans le sol,
- les facteurs qui influent l'apport des éléments biodisponibles,
- les conséquences d'une gestion des éléments nutritifs déficiente.

On y trouvera également des détails sur les pratiques de gestion optimales qui vont de pair avec :

- la détermination de la quantité d'éléments nutritifs à appliquer,
- l'épandage d'éléments nutritifs en vue d'une efficacité optimale.

Une insuffisance d'éléments nutritifs fait chûter le rendement et la qualité des cultures et les profits qu'on peut en tirer.



La réussite en production végétale repose sur une saine gestion des éléments nutritifs. L'épandage périodique de fumier aide à maintenir le niveau des éléments nutritifs et de la matière organique dans le sol.

L'APPROCHE SYSTÉMATIQUE DANS LA GESTION DES ÉLÉMENTS NUTRITIFS POUR LES CULTURES

Appliquer l'**approche systématique** à la gestion des éléments nutritifs exige qu'on prenne du recul pour voir la situation dans son ensemble. Le mode de gestion des éléments nutritifs est fonction de nombreux facteurs propres à chaque exploitation. On peut adopter l'approche systématique dans les cas suivants :

- tous les éléments de l'exploitation, depuis les élevages jusqu'aux épandages et au suivi, sont pris en compte dans le programme de gestion des éléments nutritifs;
- on a fait l'inventaire de tous les éléments nutritifs – organiques ou inorganiques, aussi bien ceux nécessaires aux cultures que ceux déjà assimilés par les cultures ou se trouvant dans le sol;

- ▶ la gestion porte sur tous les éléments nutritifs (liquides ou solides) et prend en considération la superficie des terres cultivées, les objectifs de production, la proximité des ressources en eau, la disposition des installations et des terres agricoles, l'équipement et toute préoccupation relative aux odeurs et à la sécurité;
- ▶ les données du milieu sont identifiées afin qu'on puisse évaluer les limites des installations, les taux d'épandage convenables, et les distances de retrait à respecter jusqu'aux endroits fragiles.

Voici quelques considérations incontournables :

- ▶ niveaux de fertilité de base évalués par des analyses de sols périodiques
 - ▷ connaître les niveaux de fertilité des sols et les besoins des cultures est le meilleur moyen de déterminer les taux d'application nécessaires;
- ▶ besoins spéciaux
 - ▷ certaines cultures de grande valeur doivent satisfaire des besoins nutritifs exceptionnels pour donner des récoltes de qualité, p. ex. le bore chez le rutabaga et le potassium chez la tomate;
- ▶ éléments nutritifs laissés par des cultures antérieures
 - ▷ certaines légumineuses fournissent de l'azote (N) aux cultures faites les années subséquentes – on devrait donc évaluer et prendre en compte la quantité de N contribué par ces cultures;
- ▶ éléments de sources organiques
 - ▷ il n'est pas toujours souhaitable de combler les besoins d'une culture en recourant uniquement à des sources organiques (fumiers, biosolides, légumineuses, etc.), car un excès de certains éléments nutritifs pourrait en résulter;
- ▶ moment de l'application
 - ▷ les cultures doivent avoir accès aux éléments nutritifs à des moments précis pour donner des récoltes de qualité et de hauts rendements;
- ▶ utilisation efficace des éléments nutritifs
 - ▷ on devrait favoriser des pratiques durables qui réduisent le gaspillage tout en répondant aux besoins culturaux et en maintenant la fertilité du sol,
- ▶ production et rentabilité
 - ▷ les rendements maximaux ne correspondent pas habituellement à la meilleure rentabilité,
- ▶ autres aspects de la gestion agricole
 - ▷ la gestion des éléments nutritifs fait partie intégrante du système de production végétale, au même titre que la gestion du sol et de l'eau, la rotation des cultures, la sélection des variétés, les techniques de semis, le travail du sol, et la lutte contre les mauvaises herbes et les ennemis des cultures.



Il vaut la peine de prendre l'inventaire des éléments nutritifs, car leur gestion a des effets sur les cultures à bien des égards :

- croissance,
- date de maturité,
- reproduction,
- facilité de récolte,
- tolérances aux ennemis,
- tolérance aux maladies,
- survie à l'hiver,
- rentabilité,
- résistance à la verse,
- qualité,
- rendement.

ÉCONOMIES SUR LES INTRANTS

Une gestion des éléments nutritifs bien planifiée permet d'économiser de nombreuses façons. Voici quelques avantages que peut apporter une telle planification :

- économies de temps et d'argent en achetant et en épandant seulement les quantités de matières nécessaires,
- meilleure utilisation des ressources en éléments nutritifs de la ferme,
- choix d'occasions offrant des sources d'éléments nutritifs peu coûteuses, notamment le fumier provenant d'une ferme voisine, des biosolides d'épuration, d'autres matières de source non agricole, des engrais commerciaux vendus sous des formes différentes,
- méthodes d'épandage d'engrais plus efficaces à envisager,
- rotations culturales, cultures couvre-sol, gestion des résidus de cultures, pratiques agronomiques qui conservent les éléments nutritifs dans le sol.



La croissance et la qualité d'une culture risquent de souffrir de toute carence en un élément nutritif, quel qu'il soit. On voit sur la photo une culture de soya affichant une carence en potassium.

Qu'est-ce que la comptabilité agro-globale des éléments nutritifs?

C'est une méthode comptable qui prend en compte toutes les quantités d'éléments nutritifs importées à la ferme et toutes celles qui en sont exportées. L'objectif est d'équilibrer les deux dans la mesure du possible.

Les exploitations agricoles qui importent plus d'éléments nutritifs qu'ils en exportent risquent fort à la longue d'accumuler les éléments nutritifs à des niveaux excessifs. À l'opposé, la productivité finirait par diminuer dans les exploitations où l'on ne remplace pas les quantités d'éléments nutritifs exportées dans les cultures ou le bétail vendus.

Il est évident que les exploitations qui vont bénéficier le plus de la planification des éléments nutritifs sont celles où le déséquilibre actuel entre les importations et les exportations est le plus grand.

Nous ferons référence à d'autres titres de la série « Pratiques de gestion optimales », en particulier aux fascicules suivants : *Gestion du sol*, *Gestion des fumiers*, *Gestion de l'eau*, *Planification de la gestion des éléments nutritifs*, *Grandes cultures* et *Cultures horticoles*. L'agriculteur est fortement invité à lire ces publications connexes, car elles l'aideront à mieux situer son programme de gestion des éléments nutritifs dans la gestion globale des ressources propres à sa ferme.



Certaines cultures horticoles requièrent plus de matières fertilisantes pour donner le rendement et la qualité attendus. C'est le cas de ces tomates de transformation en fruits entiers qui requièrent de grandes quantités de potassium pour mûrir uniformément.

ÉLÉMENTS NUTRITIFS ET ENVIRONNEMENT

Chaque effort investi dans la gestion des éléments nutritifs visera avant tout à accroître l'efficacité, par exemple : en satisfaisant les besoins des cultures au moment qui favorisera une croissance et des rendements optimaux, en réduisant au minimum le coût des intrants. Bien entendu, l'efficacité transparaîtra aussi sur le plan de la protection de l'environnement.

L'agriculture représente une des sources de pollution de l'eau par l'azote et le phosphore en milieu rural. Les éléments nutritifs destinés aux cultures risquent de polluer l'eau en quittant les terres cultivées. L'azote des nitrates peut être lessivé vers les eaux souterraines, tandis que les phosphates, liés aux particules de sol, peuvent ruisseler sur les terres vers des eaux de surface comme fossés de drainage, cours d'eau et rivières. La concentration de ces éléments nutritifs à des niveaux supérieurs aux limites tolérées dans l'eau peut être nocive pour les humains, le bétail et la faune.

Le présent chapitre soulignera les répercussions environnementales d'une gestion déficiente des éléments nutritifs, en révélant où et pourquoi ces répercussions deviennent une préoccupation sociétale. Il constitue une mise en contexte pour introduire le prochain chapitre, qui présentera les notions de base sur la chimie des éléments nutritifs.

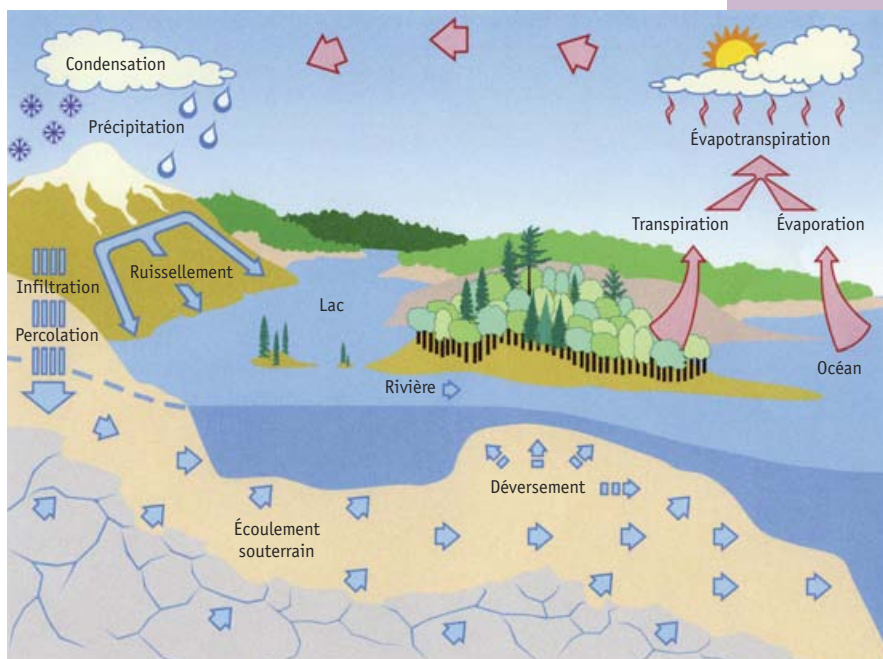
Le phosphore (P) et la qualité de l'eau

Dans l'eau douce non polluée, la croissance des plantes aquatiques, algues y compris, se trouve limitée par la faible concentration de phosphore. Tout ajout de phosphore dans l'eau entraîne une multiplication des algues.

Au cours des dernières décennies, l'eau de certains lacs et de certaines rivières de l'Ontario est devenue impropre à la consommation et à la baignade à cause de la prolifération des algues. Le manque d'oxygène dans l'eau, dû à la surabondance des algues, a aussi causé la mort de poissons et d'autres animaux aquatiques.

Pendant la seconde moitié du XXe siècle, le phosphore est devenu un polluant important dans le bassin hydrographique des Grands Lacs et du fleuve St-Laurent. Le phosphore polluant provenait de nombreuses sources dans les agglomérations urbaines, principalement des effluents d'usines de traitement des eaux vannes, d'égouts pluviaux et des eaux usées industrielles. La plupart de celles-ci étaient attribuables à des sources ponctuelles (c.-à-d. facilement localisées).

Lorsque la gestion est déficiente, des éléments nutritifs peuvent finir par contaminer l'eau de surface (par ruissellement) ou l'eau souterraine (par percolation).



Dans les régions rurales, la pollution provenait surtout d'usines de traitement des eaux vannes de petites municipalités, d'installations septiques inadéquates, d'égouts pluviaux, du ruissellement de fumiers, du ruissellement d'éléments nutritifs depuis des terres cultivées, des eaux de lavage de centres de traite, ou de matériaux érodés du sol. La majorité de cette pollution était imputable à des sources non ponctuelles, c.-à-d. difficilement localisées.

Grâce aux efforts visant à réduire la contamination des eaux de surface par le phosphore, les Grands Lacs ne sont plus menacés comme il y a une vingtaine d'années. Même si certaines parties du Lac Érié montrent encore des concentrations en phosphore supérieures aux espérances, d'autres endroits ont une teneur inférieure au niveau optimal pour les écosystèmes aquatiques. Cette situation est attribuable notamment au retrait du phosphore par les moules zébrées.

Malgré tout, la charge phosphorée de l'eau de surface demeure inquiétante dans les petits cours d'eau et leurs tributaires, où la prolifération excessive des algues peut altérer la qualité de l'habitat aquatique.



Les risques de contamination de l'eau de surface s'élèvent en conséquence à une gestion des éléments nutritifs déficiente. L'érosion du sol et le ruissellement d'eau chargée d'éléments nutritifs peuvent occasionner une surabondance des algues dans les eaux de surface et du même coup la détérioration de la qualité des eaux de consommation et des eaux utilisées à des fins récréatives ou servant d'habitat aux poissons.

L'invasivité des Grands Lacs par des espèces exotiques, comme la moule zébrée, a contribué à la baisse des concentrations d'éléments nutritifs solubles dans ces eaux.



Depuis 2000, on a signalé que certains points des Grands Lacs sont jugés pauvres en éléments nutritifs, tel le phosphore, comparés à des habitats aquatiques sains.



Le phosphore provenant de sources rurales non ponctuelles a favorisé la prolifération excessive des algues et d'autres plantes aquatiques dans certaines parties des Grands Lacs.



Le ruissellement non contrôlé sur une terre cultivée peut entraîner la pollution des eaux de surface.



Le ruissellement provenant du fumier peut causer la contamination des eaux de surface et des approvisionnements d'eau potable.

Les pratiques de conservation des sols (p. ex. travail réduit) et les ouvrages anti-érosion (p. ex. voie d'eau gazonnée) contribuent à réduire l'érosion, le ruissellement, et la teneur en phosphore des terres cultivées.



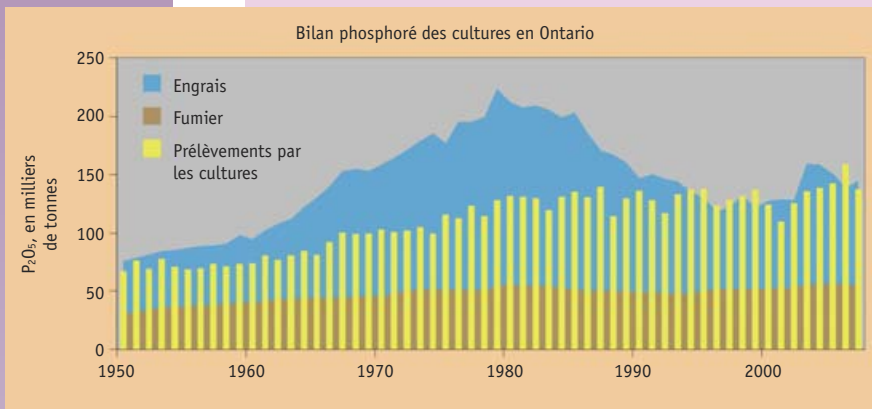
Il est possible de concevoir les structures de stockage du fumier de façon qu'elles captent et entreposent tous les liquides contaminés provenant des installations d'élevage, prévenant ainsi le ruissellement.



La haute concentration de phosphore dans des eaux de surface en milieu rural est attribuable à trois sources :

- une installation septique défectueuse à proximité de l'eau de surface,
- une structure de stockage de fumier ou d'eaux de lavage inadéquate sur la ferme,
- une terre cultivée où l'érosion détache des particules de sol chargées de phosphore.

Bilan phosphoré (P) des cultures en Ontario

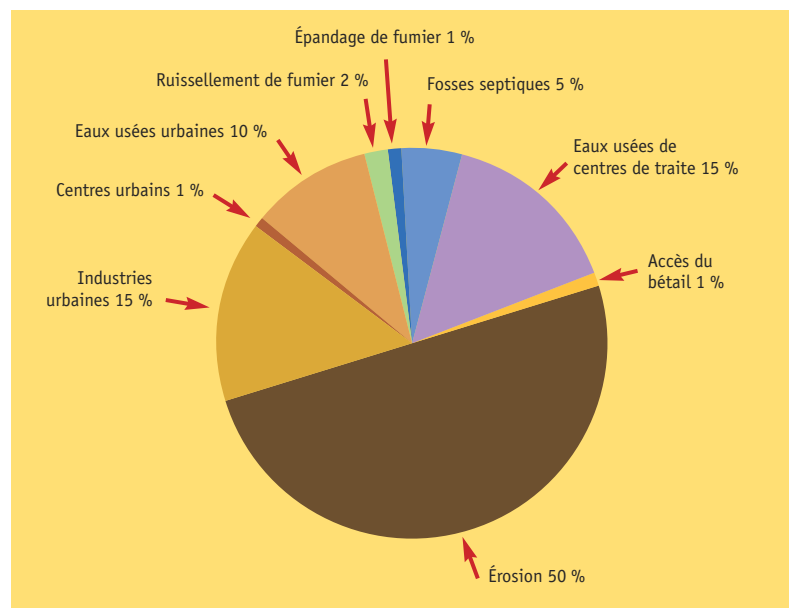


L'utilisation des éléments nutritifs en production culturale a évolué au fil des ans. Cette évolution a eu des effets marqués sur la fertilité des sols, le rendement des cultures, les pratiques de gestion et les répercussions à l'extérieur de la ferme. Le graphique de gauche montre une estimation de la quantité de phosphore prélevé par les cultures comparée au total des apports pour la période 1950-2007. Les intrants incluent les engrais commerciaux et les quantités de phosphore récupérables des fumiers de bovins, de porcs et de volailles.

Entre 1950 et 1980, les épandages d'engrais commerciaux phosphatés ont plus que triplé. Dans la majorité des cas, cette augmentation visait à remédier aux carences que révélaient les résultats d'analyse de sols et à augmenter la teneur des sols en phosphore. Toutefois, certains sols ont accumulé plus de P que d'autres. Des cultures comme la pomme de terre et le tabac nécessitent beaucoup de P, ce qui pousse les teneurs du sol à des niveaux élevés.

Depuis 1980, l'utilisation d'engrais phosphatés a diminué à des niveaux similaires à ceux des années 1960. La richesse des terres agricoles en P est telle que des taux d'épandage au niveau de maintien alimentent la plupart des cultures de façon optimale. Par ailleurs, la gestion améliorée visant la conservation des sols et de l'eau a réduit les pertes de P par les terres cultivées en Ontario. En fait, les apports et les retraits de P sont beaucoup plus proches de l'équilibre qu'ils ne l'étaient il y a quelques décennies.

Source : *International Plant Nutrition Institute*



Voici, dans l'ordre décroissant, les sources qui contribuent à l'élévation des teneurs en phosphore dans un bassin versant type :

- ruissellement des terres cultivées,
- industries urbaines,
- eaux usées de centres de traite,
- eaux usées urbaines,
- installations septiques,
- ruissellement du fumier,
- épandages de fumier,
- accès du bétail à un plan d'eau.

Source : *Fanshawe Reservoir Clean Up Rural Beaches Study*

L'AZOTE (N) ET LA QUALITÉ DE L'EAU

L'azote prend de nombreuses formes dans les terres agricoles. Certaines, comme l'ammonium et l'azote organique, sont liées dans le sol et, par conséquent, risquent peu d'altérer la qualité de l'eau. Par contre, le nitrate (NO_3^-) et l'ammoniac (NH_3) sont deux formes qui ont un effet sur la qualité de l'eau.

Il y a trois grandes sources de pollution par l'azote en milieu rural :

- installations septiques défectueuses
 - ▷ le nitrate provenant des eaux vannes et des déchets ménagers peut contaminer les eaux de surface et les eaux souterraines,
- déjections animales
 - ▷ le nitrate et l'azote sous forme d'ammonium provenant de fumiers dont la manutention, le stockage ou l'épandage sont inadéquats peuvent ruisseler vers l'eau de surface ou s'infiltrer dans le sol et être lessivés jusqu'à l'eau souterraine,
- terres cultivées
 - ▷ le nitrate contenu dans les engrais commerciaux et les fumiers peut atteindre l'eau de surface par ruissellement vers des tuyaux de drainage ou être lessivé jusqu'à l'eau souterraine,
 - ▷ l'azote libéré par la décomposition des résidus de légumineuses fourragères peut être lessivé vers l'eau souterraine si les épandages d'engrais ne sont pas réduits de manière à refléter l'apport azoté de ces cultures.

Sous forme de nitrate (NO_3^-), l'azote peut être lessivé dans le sol jusqu'à l'eau souterraine. La quantité de nitrate lessivée varie selon :

- la quantité d'eau qui traverse le sol,
- la quantité d'azote des nitrates dans le sol,
- le type de sol – les sols sableux et graveleux, de nature perméable, sont plus sujets au lessivage.

Tout excès d'azote des nitrates dans le sol – qu'il soit dû aux engrais, aux fumiers du bétail ou aux engrais verts de légumineuses – peut rendre l'eau souterraine non potable.

L'azote sous forme d'ammoniac est très toxique pour les poissons. La pollution de cours d'eau par des matières riches en ammoniac, comme le fumier liquide, peut causer la mort d'un grand nombre de poissons.

À la campagne, la présence de nitrate dans l'eau souterraine est très préoccupante car seuls les puits privés donnent accès à l'eau. L'ingestion d'eau riche en nitrate peut causer la maladie, en particulier chez les enfants, et aussi une baisse des performances chez le bétail. Selon les Normes de qualité de l'eau potable de l'Ontario, le niveau maximal d'azote des nitrates permis dans l'eau de consommation est de 10 mg/L.

En 1991–1992, *l'Enquête sur la qualité de l'eau souterraine agricole de l'Ontario* a analysé l'eau de 1292 puits privés en milieu rural. De ceux-là, 13,8 % avaient une teneur en azote des nitrates supérieure à 10 mg/L. Les concentrations élevées étaient plus fréquentes dans les puits de surface que dans les puits forés.

La santé des mammifères en bas âge peut être affectée par des concentrations élevées de nitrates dans l'eau de consommation.



L'épandage de fumier après la saison de culture sur des champs ayant une nappe phréatique élevée ou dont l'assise rocheuse est près de la surface peut entraîner le lessivage des nitrates.

Il y a de fortes chances que de hauts niveaux d'azote résiduel subsistent dans le sol lorsque, au cours d'une saison de croissance, on épand plus d'azote que la culture n'en prélève.



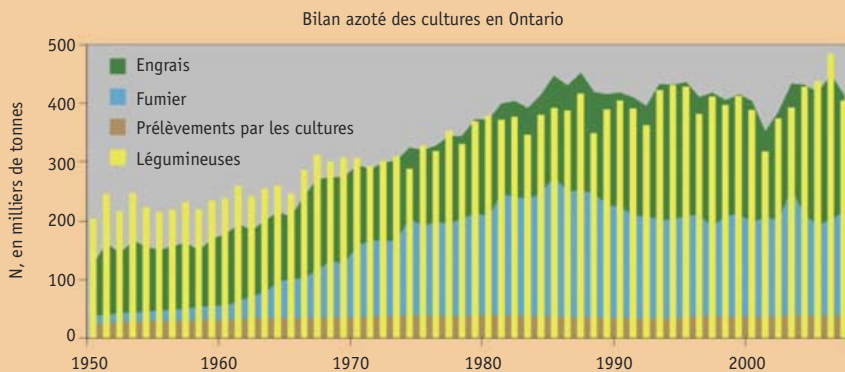
La mise en œuvre de pratiques de gestion optimales relatives aux doses et aux moments d'épandage diminue les risques de lessivage de nitrate vers les aquifères peu profonds.



On peut semer des couvre-sol après la récolte de cultures exigeant beaucoup d'azote afin de capturer (séquestrer) les nitrates et les relâcher pendant la saison de croissance suivante.

Bilan azoté (N) des cultures en Ontario

À l'instar du phosphore, le profil d'utilisation de l'azote a lui aussi évolué au cours des années. Le graphique ci-contre donne une estimation des prélèvements d'azote par les cultures en Ontario en fonction du total des intrants culturaux pour 1950–2007. Sont compris dans les intrants azotés : l'azote fixé par les légumineuses, les engrais commerciaux, et l'azote résiduel des fumiers de bovins, de porcs et de volailles.



Les prélèvements d'azote par les cultures et la fixation d'azote par les légumineuses ont presque doublé depuis les années 1950, en raison de l'amélioration de la gestion des terres, des progrès en génétique et de la hausse des rendements. La contribution en azote des fumiers a augmenté d'environ 40 % pendant cette période.

En fait, pour obtenir un portrait réaliste de la situation, il faut examiner l'utilisation des engrais azotés commerciaux et leur influence sur les prélèvements d'azote par les cultures. Le recours aux engrais azotés commerciaux était douze fois

plus important au milieu des années 1980 – moment où il a atteint son sommet – qu'au milieu des années 1950. Jusqu'en 1970, les prélèvements par les cultures dépassaient encore les apports de N. À compter de ce moment et jusqu'au début des années 1990, les quantités d'azote épandues ont dépassé les prélèvements par les cultures. Toutefois, au cours des quinze dernières années, les épandages et les prélèvements atteignent des niveaux beaucoup plus proches de l'équilibre. Voilà une bonne nouvelle pour l'agriculture et la qualité de l'eau!

Source : International Plant Nutrition Institute

LES ÉLÉMENTS NUTRITIFS DESTINÉS AUX CULTURES ET LES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE

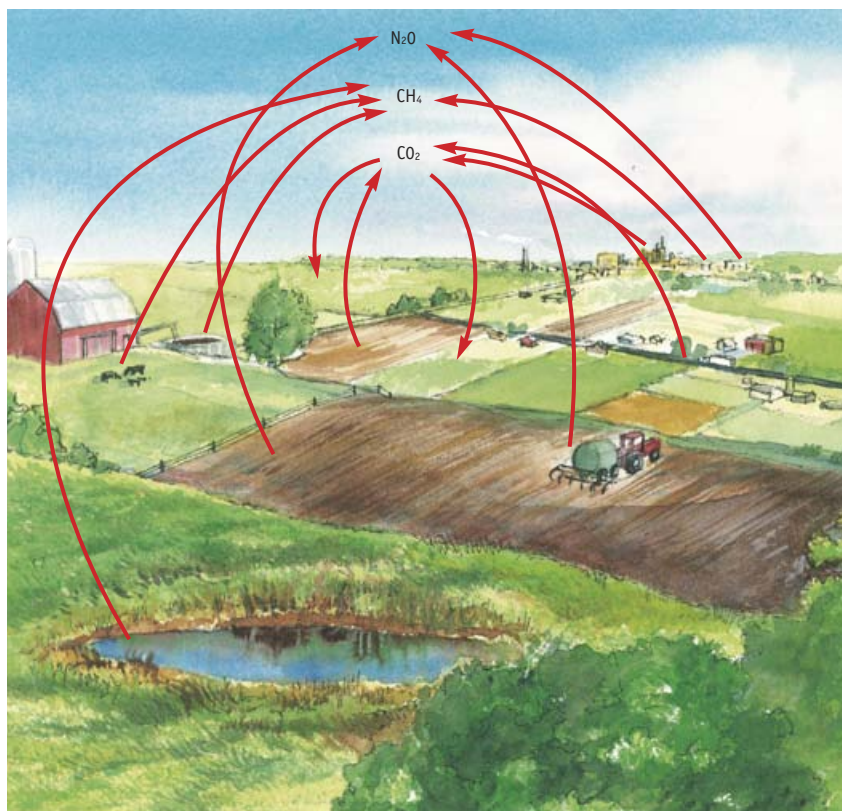
Le changement climatique est lié à l'émission de gaz à effet de serre, tels que le dioxyde de carbone, le méthane et l'oxyde de diazote. Bien que certains gaz à effet de serre se trouvent naturellement dans l'environnement, les émissions croissantes suscitent de plus en plus d'inquiétudes. Au cours du dernier siècle, la température du globe a haussé de 0,74 °C, et l'on croit que ce réchauffement est lié aux niveaux élevés de gaz à effet de serre.

Les gaz en cause sont l'oxyde de diazote, le méthane et le dioxyde de carbone. Le potentiel de réchauffement de chaque composé, par comparaison au dioxyde de carbone, est le suivant :

dioxyde de carbone (CO ₂)	= 1
méthane (CH ₄)	= 23
oxyde de diazote (N ₂ O)	= 296

Autrement dit, l'oxyde de diazote exerce des effets 296 fois plus puissants que le dioxyde de carbone à titre de gaz à effet de serre.

En Amérique du Nord, l'agriculture absorbe presque autant de dioxyde de carbone qu'elle en émet, et peut-être même qu'elle consitue un puits net de CO₂. Le méthane est produit par la digestion des aliments chez les ruminants, par les structures de stockage de fumiers et par les sols imbibés d'eau. Il représente environ la moitié des émissions nettes attribuables à l'agriculture. L'autre moitié est essentiellement due l'oxyde de diazote, qui se dégage sporadiquement depuis le sol et le fumier entreposé.



La dénitrification est la transformation du nitrate en azote gazeux (N₂) – un processus qui se produit naturellement dans les sols saturés.

Toutefois, dans un sol mouillé ou mi-saturé, les conditions moins anaérobies favorisent la production d'oxyde de diazote (N₂O). L'oxyde de diazote est le gaz à effet de serre le plus inquiétant en agriculture, car il a des effets 296 plus puissants que le dioxyde de carbone.

Les fumiers solides sont des milieux surtout aérobies. Cependant, tous les points où les déjections sont saturées (comme le bas d'un tas de fumier) sont susceptibles de produire de l'oxyde de diazote par dénitrification partielle de l'azote.



L'OXYDE DE DIAZOTE PROVENANT DU FUMIER ENTREPOSÉ

En Ontario, tout porte à croire que l'oxyde de diazote (N_2O) est le gaz à effet de serre dont les émissions sont le plus susceptibles d'être réduites.

La production de N_2O par le fumier dépend de la méthode de stockage, de la température et du type de fumier. On associe les plus hauts taux d'émissions à partir de fumiers très humides contenant une grande proportion de litière, qui sont accumulés en tas, à l'extérieur, par temps chaud.

Le taux et l'importance des émissions d'oxyde de diazote depuis le sol ou le fumier entreposé sont fonction de la concentration de l'oxygène dans le sol ou le fumier, de la quantité de N non lié et de C dans ces milieux.

L'OXYDE DE DIAZOTE PROVENANT DES ÉPANDAGES DE FUMIER ET D'ENGRAIS

Dans le fumier épandu, l'azote est présent sous forme organique et sous forme inorganique (NH_4^+).

La fraction organique de N, par minéralisation, devient de l'ammonium (NH_4^+), une forme d'azote disponible pour les plantes, mais la plus grande partie de cet azote organique est transformée en nitrate par nitrification. Or, la nitrification de l'azote du fumier ou de l'ammonium des engrais peut entraîner le dégagement de N_2O .

L'azote nitrifié (NO_3^-) peut être assimilé par la culture ou peut s'échapper par lessivage, mais une certaine part est susceptible de subir la dénitrification, devenant alors une source de N_2O ou de N_2 .



Il peut y avoir production de N_2O à n'importe quel moment dans les zones du sol qui sont saturées d'eau. Une grande part de l'oxyde de diazote provenant des terres cultivées et du fumier est produite durant la fonte des neiges et du sol en fin d'hiver et en début de printemps.

LES ÉLÉMENTS NUTRITIFS DESTINÉS AUX CULTURES ET LES ORGANISMES PATHOGÈNES

Un **organisme pathogène** est tout virus, toute bactérie ou tout protozoaire capable de causer une infection ou une maladie chez les animaux ou les humains. Les organismes pathogènes comprennent des parasites (p. ex. les vers ronds), des bactéries (p. ex. *Salmonella* et *E. coli*) et des protozoaires (p. ex. *Cryptosporidium parvum* et *Giardia*). À noter que la plupart des virus qui affectent les animaux d'élevage le bétail ne se transmettent pas facilement à l'espèce humaine.

Le fumier et d'autres matières nutritives organiques non traitées proviennent d'êtres vivants et, par conséquent, hébergent des bactéries, des virus et des parasites. La diversité et le nombre de ces micro-organismes contribuent au rôle bénéfique du fumier comme amendement du sol. Toutefois, certains de ces micro-organismes sont qualifiés d'agents pathogènes car ils peuvent infecter le bétail et les humains.

Sources d'organismes pathogènes

Les organismes pathogènes qu'on trouve dans l'environnement peuvent provenir de nombreuses sources, telles que :

- systèmes de fosses septiques mal construits,
- eaux de ruissellement issues de fumiers entreposés ou épandus,
- bétail au pâturage,
- animaux de compagnie,
- faune.

Bien qu'ils soient incapables d'éliminer totalement les organismes pathogènes dans les eaux de surface, les programmes de réduction de ces organismes pathogènes doivent prendre en compte toutes les sources de contamination potentielles afin de réduire leur nombre au minimum. Il va sans dire que le traitement des eaux de surface avant son ingestion est une nécessité absolue!



Les animaux au pâturage représentent une source possible d'organismes pathogènes.

SURVIE DES ORGANISMES PATHOGÈNES

Peu d'organismes pathogènes survivent longtemps à l'extérieur de leurs animaux hôtes. La plupart meurent en quelques jours, mais certains restent en vie pendant des mois, selon les facteurs environnementaux. Les facteurs suivants peuvent écourter la survie des organismes pathogènes :

- hautes températures, comme celles atteintes pendant le compostage;
- la congélation et l'alternance entre gel et dégel – contrairement aux températures modérées, qui peuvent prolonger leur vie;
- humidité faible, ensoleillement, dessèchement du sol;
- décomposition du fumier – elle libère des produits chimiques qui tuent certains organismes pathogènes;
- sols acides – les organismes pathogènes survivent plus longtemps dans les sols neutres ou alcalins
 - ▷ le traitement des matières en vue d'élever très haut leur pH permet aussi de détruire les organismes pathogènes;
- absence d'oxygène – le fumier liquide et les parties les plus humides du fumier solide entreposé sont considérés comme des milieux anaérobies, c.-à-d. dépourvus d'oxygène.



L'épandage de fumier qui ne respecte pas les règles habituelles peut favoriser la libération d'agents pathogènes dans l'environnement.

Le sol constitue un filtre efficace pour certains micro-organismes, en retenant la plupart des protozoaires et des bactéries. Les sols riches en matière organique et en argile emprisonnent le plus efficacement les virus. Cependant, les organismes pathogènes sont susceptibles de se soustraire aux filtres du sol par les écoulements préférentiels au travers des macropores (galeries creusées par les vers de terre, et fissures) jusqu'aux aquifères peu profonds ou aux tuyaux de drainage.

Les organismes pathogènes peuvent atteindre l'eau de surface par voie du ruissellement ou grâce au bétail et aux animaux sauvages ayant accès à un cours d'eau et à un ruisseau. En règle générale, l'eau souterraine est moins susceptible de contamination que l'eau de surface. Pour de plus amples renseignements sur les organismes pathogènes et leur survie, on peut se référer au fascicule PGO, *Gestion des fumiers*.



Les bactéries qui infectent le bétail peuvent causer l'infection des humains si des éléments nutritifs organiques venaient en contact direct avec un approvisionnement en eau potable ou à des eaux récréatives. Dans les puits contaminés à cause d'un défaut de construction ou d'une carence de la gestion, on peut maîtriser les bactéries pathogènes par la chloration de l'eau ou par son traitement aux ultraviolets.

LES ÉLÉMENTS NUTRITIFS ORGANIQUES ET LA QUALITÉ DE L'AIR

Les matières nutritives de nature organique sont parfois la source d'odeurs et de pollution de l'air. En outre, le fumier sec et la litière peuvent libérer dans l'atmosphère des poussières et des particules en suspension.

PRINCIPAUX GAZ DU FUMIER

SUBSTANCE	CARACTÉRISTIQUES
DIOXYDE DE CARBONE	<ul style="list-style-type: none"> • inodore • produit par l'activité microbienne (anaérobie* et aérobie)
MÉTHANE	<ul style="list-style-type: none"> • inodore • produit par l'activité microbienne anaérobie
AMMONIAC	<ul style="list-style-type: none"> • odeur vive, forte et irritante • produit par l'activité aérobie et anaérobie • soluble dans l'eau et plus léger que l'air • se diffuse instantanément en milieu ouvert – ce qui en fait davantage une préoccupation à l'intérieur des bâtiments que pendant l'épandage
SULFURE D'HYDROGÈNE ET COMPOSÉS APPARENTÉS CONTENANT DU SOUFRE	<ul style="list-style-type: none"> • le sulfure d'hydrogène peut atteindre des niveaux toxiques, en particulier en lieux clos, causant la mort rapide des humains et des animaux • le sulfure d'hydrogène a l'odeur connue des « œufs pourris » – odeur qui est dégagée par la décomposition anaérobie du fumier • soluble dans l'eau et plus lourd que l'air • les humains sont capables de le déceler ce gaz même à de très faibles concentrations
ACIDES ORGANIQUES VOLATILS	<ul style="list-style-type: none"> • grande diversité de types et de caractéristiques • surtout produits dans des conditions anaérobies • contribue largement aux odeurs attribuées au fumier
COMPOSÉS PHÉNOLIQUES	<ul style="list-style-type: none"> • substances très odorantes • se trouve dans le fumier frais; sa concentration augmente en conditions anaérobies

* « anaérobie » qualifie un milieu pauvre en oxygène

Les genres de gaz produits et leurs quantités varient en fonction du type de fumier et de la méthode selon laquelle il est manipulé. Les milieux aérobies favorisent la formation de gaz comme le dioxyde de carbone et l'oxyde de diazote. Par contre, les milieux anaérobies (p. ex. fumier liquide, centre d'un tas de fumier solide) peuvent produire du sulfure d'hydrogène, de l'ammoniac et du méthane.

Certains gaz restent emprisonnés dans la masse de fumier jusqu'à ce que le fumier soit remué ou déplacé en vue de l'application – ce qui accentue les odeurs au moment de l'épandage.



L'odeur du fumier est la plus forte pendant l'application. Pour la plupart, les gaz responsables des odeurs sont emprisonnés dans la masse de fumier durant le stockage.



Des chercheurs ont identifié plus de 160 substances gazeuses qui sont véhiculées par le fumier.

UTILISATION DE L'ÉNERGIE

Une grande part des coûts associés aux matières nutritives est imputable à l'énergie consommée pour leur fabrication, leur raffinage, leur transport et leur épandage. L'utilisation efficace des éléments nutritifs contribue à abaisser aussi bien les coûts de production des cultures que la consommation de ressources non renouvelables.

L'épandage d'éléments nutritifs effectué seulement quand on en a besoin aide à réduire les coûts et la consommation d'énergie.



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 renseignements 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 l'engrais et des autres éléments nutritifs appliqués;
- le diagnostic des symptômes de carence.

LES ÉLÉMENTS NUTRITIFS : DÉFINITIONS

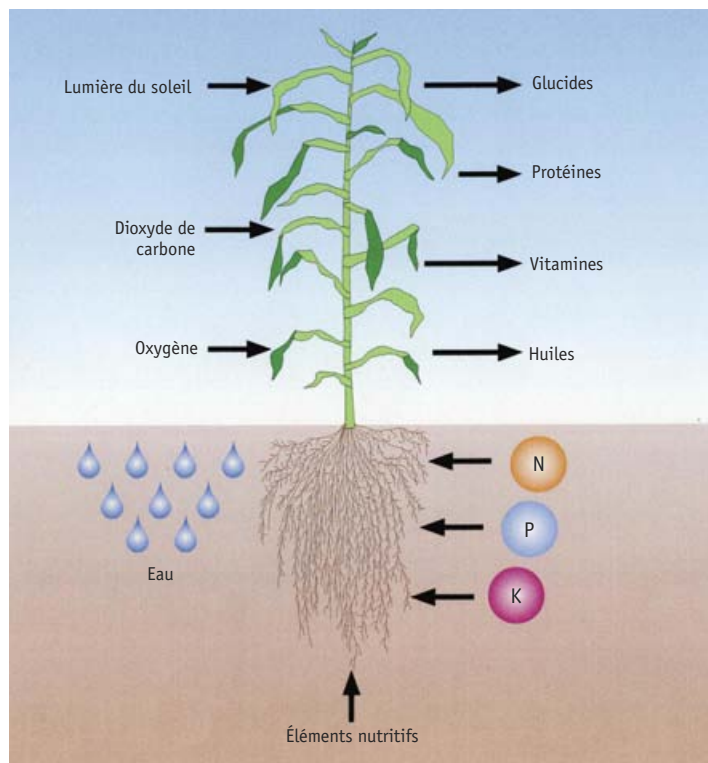
Les éléments nutritifs sont des éléments chimiques, ou de simples composés formés à partir de ces derniers, et dont les plantes ont besoin pour leur croissance et leur développement. Les éléments les plus courants dans les plantes sont le carbone, l'hydrogène et l'oxygène, qu'on trouve dans l'air et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

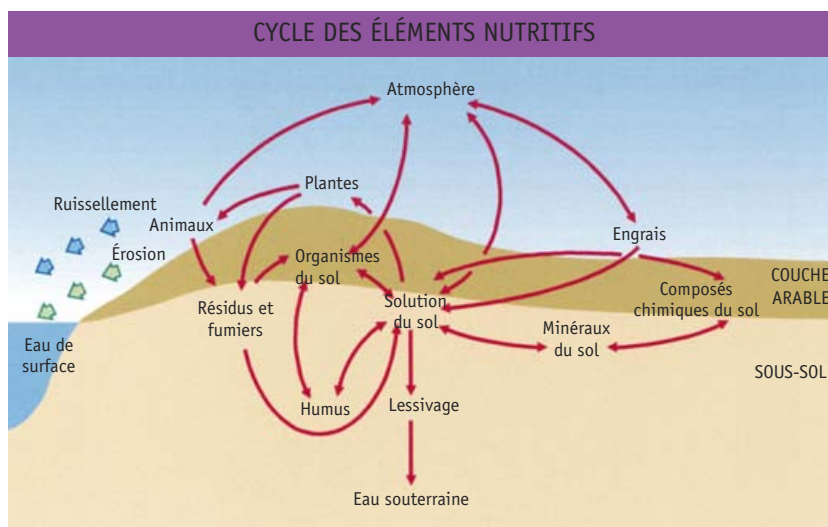
LE CYCLE DES ÉLÉMENTS NUTRITIFS

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.



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.



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

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 l'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 résidus 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.

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 déterminée par deux facteurs clés :

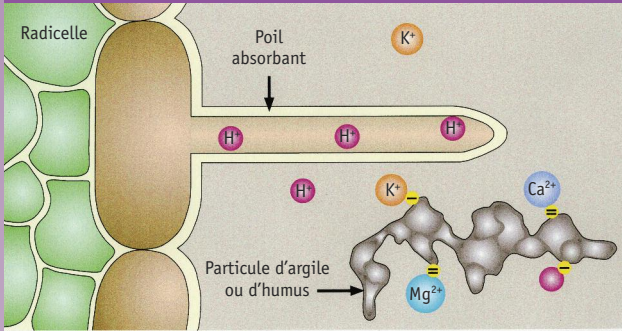
- le type de roc duquel le sol est dérivé;
- les conditions dans lesquelles le sol s'est formé.

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

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.

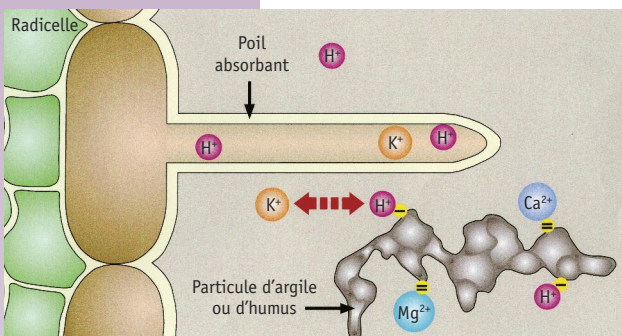
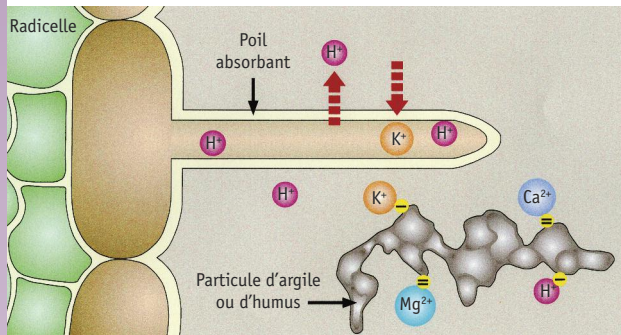
Les cations se font souvent concurrence pour l'espace sur les sites d'échanges dans le sol.

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
- Ca²⁺ ion calcium
- Mg²⁺ ion magnésium
- /- charges négatives à la surface des particules de sol

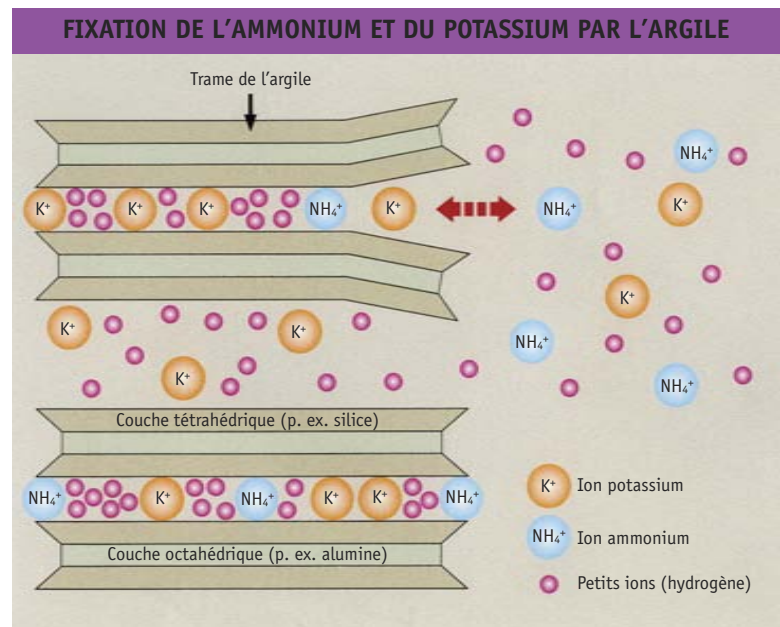
À l'origine, la plupart des éléments nutritifs du sol (à l'exception de l'azote) faisaient partie de la structure chimique du roc. Au cours de nombreux milliers d'années, l'action des forces naturelles, qu'on regroupe sous le terme d'**altérations atmosphériques** (ou météorisation), a décomposé le roc 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 quantités 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.



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.



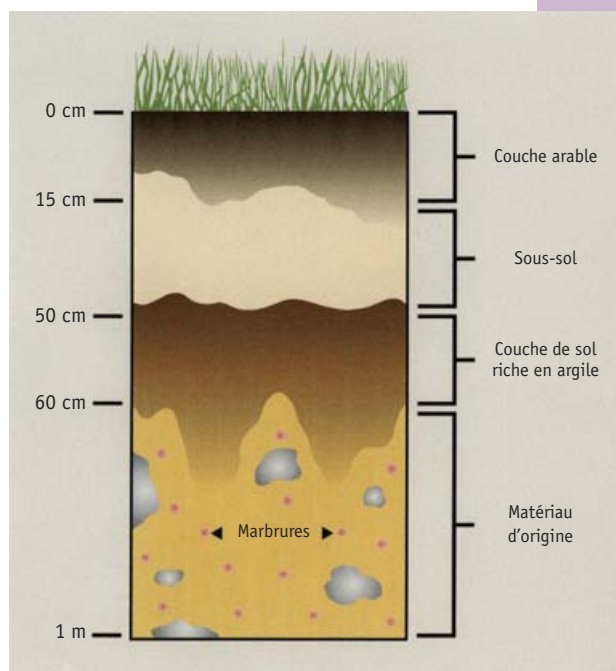
Les cultures à racines profondes amènent certains éléments nutritifs, comme le potassium, vers la couche arable.

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 liée 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.

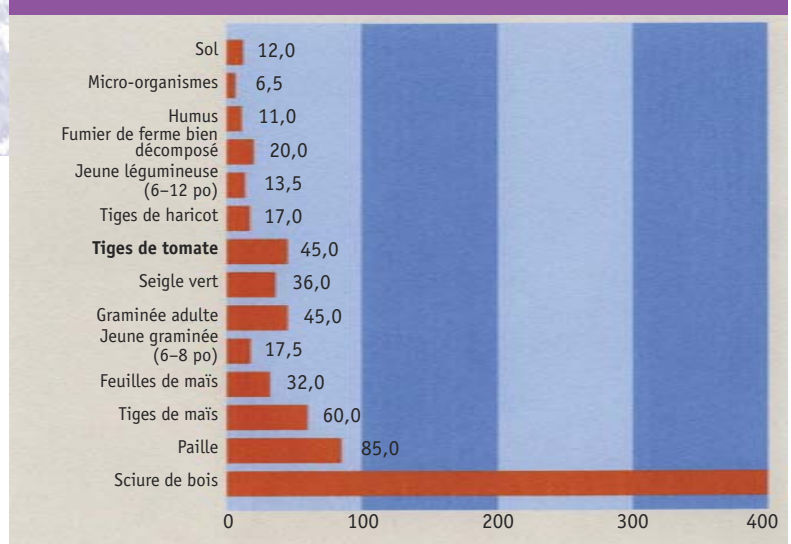
La matière organique du sol : Trouver l'équilibre souhaitable

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



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 l'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.

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

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.

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.

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.

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.

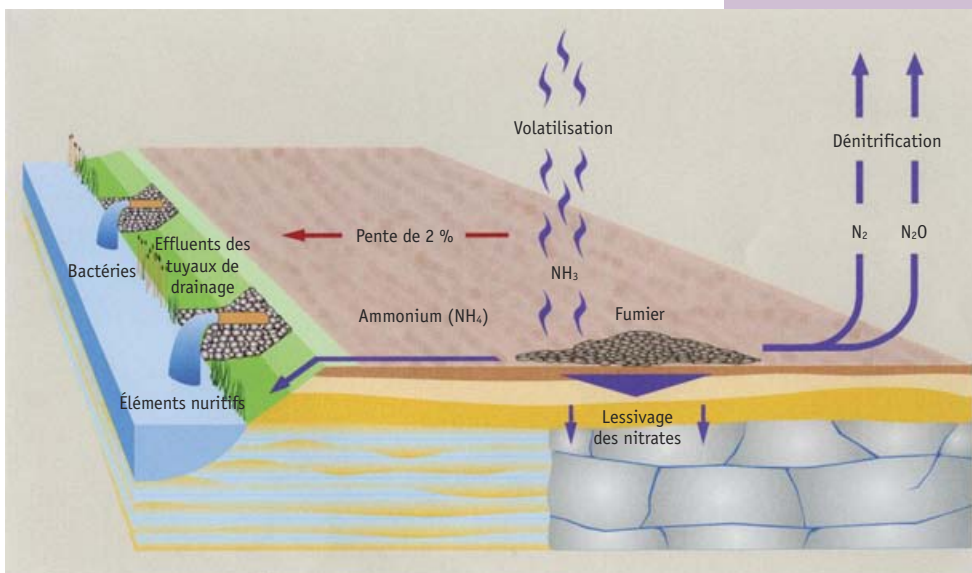


Une grande part de l'azote libéré par la décomposition du fumier se trouve d'abord liée par les micro-organismes du sol, et ensuite relâchée par eux, bien que pas nécessairement quand la culture en a besoin. La bonne gestion prend en compte ce phénomène au moment de déterminer les doses d'épandage.



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



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

PROCESSUS	DÉTAILS
VOLATILISATION	<ul style="list-style-type: none"> • 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	<ul style="list-style-type: none"> • 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	<ul style="list-style-type: none"> • 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'accroissent 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	<ul style="list-style-type: none"> • 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 : <ul style="list-style-type: none"> ◦ 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	<ul style="list-style-type: none"> • 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	<ul style="list-style-type: none"> • 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 <ul style="list-style-type: none"> ◦ 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	<ul style="list-style-type: none"> • 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 ₂ O ₅ lb/ac	K ₂ O 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.

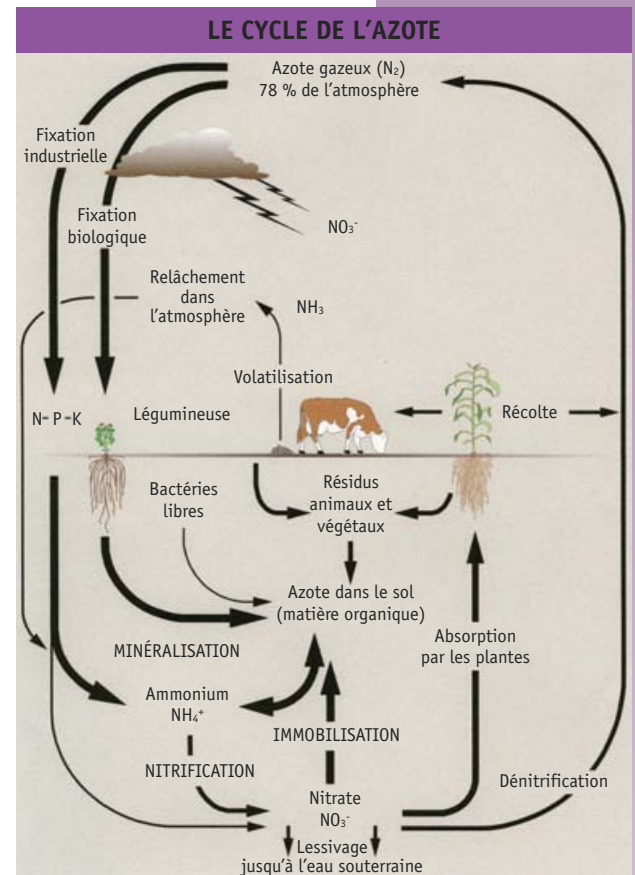
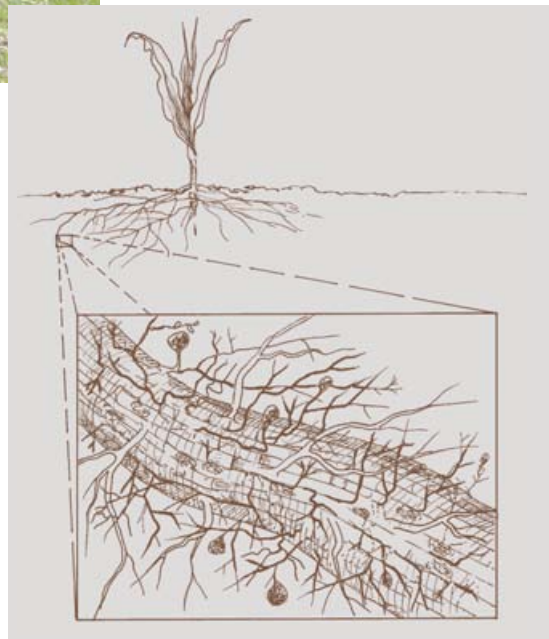
Les phosphates sont peu mobiles dans le sol et ne risquent donc pas d'être lessivés. Le phosphore disparaît du sol principalement en raison de l'érosion. Comme le phosphore ne se déplace pas avec l'humidité du sol, les plantes l'absorbent uniquement quand leurs racines en croissance viennent contact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



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 <ul style="list-style-type: none"> • nitrate (NO_3^-) • ammonium (NH_4^+) 	<ul style="list-style-type: none"> • matière organique • sites d'échange de cations (minéraux et organiques), retenus sous forme d'ammonium 	<ul style="list-style-type: none"> • 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 	<ul style="list-style-type: none"> • fertilisation inadéquate • sols gorgés d'eau 	<ul style="list-style-type: none"> • excès de croissance végétative • augmentation de la verse • retard de maturité • accroissement du risque de maladie
PHOSPHORE <ul style="list-style-type: none"> • ions phosphate (H_2PO_4^-) • (HPO_4^{2-}) 	<ul style="list-style-type: none"> • matière organique • sols minéraux 	<ul style="list-style-type: none"> • ralentissement de croissance, baisse de rendement et de qualité • coloration pourpre des feuilles de maïs et des céréales • chez la plupart des cultures 	<ul style="list-style-type: none"> • fertilisation inadéquate • marne dans le sol • faible pH 	<ul style="list-style-type: none"> • absorption réduite de zinc
POTASSIUM <ul style="list-style-type: none"> • ion potassium (K^+) 	<ul style="list-style-type: none"> • matière organique • sites d'échange de cations (minéraux et organiques) 	<ul style="list-style-type: none"> • 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 	<ul style="list-style-type: none"> • sables et loams 	<ul style="list-style-type: none"> • 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+})	<ul style="list-style-type: none"> • matière organique • sites d'échange de cations (minéraux et organiques) • carbonates du sol (chaux) 	<ul style="list-style-type: none"> • 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 	<ul style="list-style-type: none"> • sols sableux acides • sols non irrigués 	<ul style="list-style-type: none"> • s.o.
MAGNÉSIUM • ion magnésium (Mg^{2+})	<ul style="list-style-type: none"> • matière organique • sites d'échange de cations (minéraux et organiques) • carbonates du sol (chaux) 	<ul style="list-style-type: none"> • jaunissement du tissu internervaire des feuilles du bas chez carotte, céleri, épinard, maïs, pomme, pomme de terre, raisin, tomate 	<ul style="list-style-type: none"> • sols acides • sols sableux • apport de potasse abondant 	<ul style="list-style-type: none"> • s.o.
SOUFRE • ion sulfate (SO_4^{2-})	<ul style="list-style-type: none"> • matière organique 	<ul style="list-style-type: none"> • ralentissement de croissance, baisse de rendement et de qualité • jaunissement généralisé du feuillage • chez les fourrages, les céréales et le canola 	<ul style="list-style-type: none"> • nord-ouest de l'Ontario 	<ul style="list-style-type: none"> • 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.

Carence en azote sur des pêches.



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

Carence en potassium sur des feuilles de luzerne.



Un manque de potassium empêche le mûrissement uniforme des tomates.



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



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



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	<ul style="list-style-type: none"> sulfate de zinc 	<ul style="list-style-type: none"> taches ou stries blanches près de la base des jeunes feuilles chez le maïs 	<ul style="list-style-type: none"> sols érodés, à pH élevé, riches en phosphore 	<ul style="list-style-type: none"> un excès peut nuire à l'absorption d'autres oligo-éléments, entraînant une carence
MANGANÈSE	<ul style="list-style-type: none"> sulfate de manganèse, chélates 	<ul style="list-style-type: none"> 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 	<ul style="list-style-type: none"> sols antérieurement mal drainés : terres noires, marnes, sols érodés, sols sableux, à pH élevé 	<ul style="list-style-type: none"> en sols acides, l'excès de manganèse peut réduire la croissance racinaire certain cultivars de pommiers ont une écorce qui affiche la « rougeole »
BORE	<ul style="list-style-type: none"> borate 	<ul style="list-style-type: none"> 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 	<ul style="list-style-type: none"> sols sableux la majorité des sols (à l'est de l'Escarpement du Niagara) sols desséchants 	<ul style="list-style-type: none"> nécrose du pourtour des feuilles repousse de teinte pâle ou blanchâtre
CUIVRE	<ul style="list-style-type: none"> sulfate de cuivre 	<ul style="list-style-type: none"> 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 	<ul style="list-style-type: none"> terres noires sols sableux à texture grossière 	<ul style="list-style-type: none"> des pulvérisations foliaires trop concentrées peuvent endommager le tissu foliaire
MOLYBDÈNE	<ul style="list-style-type: none"> molybdate de sodium 	<ul style="list-style-type: none"> jaunissement du tissu internervaire feuilles enroulées et filandreuses le pourtour des feuilles semble grillé chez le chou-fleur, le brocoli et l'oignon 	<ul style="list-style-type: none"> terres noires sols sableux acides 	<ul style="list-style-type: none"> un excès de molybdène peut occasionner des symptômes similaires à ceux d'une carence en fer
FER	<ul style="list-style-type: none"> fer chélaté 	<ul style="list-style-type: none"> jaunissement du tissu internervaire chez le bleuet 	<ul style="list-style-type: none"> rarement rencontré en Ontario 	<ul style="list-style-type: none"> 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 le maïs, une carence en zinc cause l'apparition de rayures sur les plus jeunes feuilles.



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

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.



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



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



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).



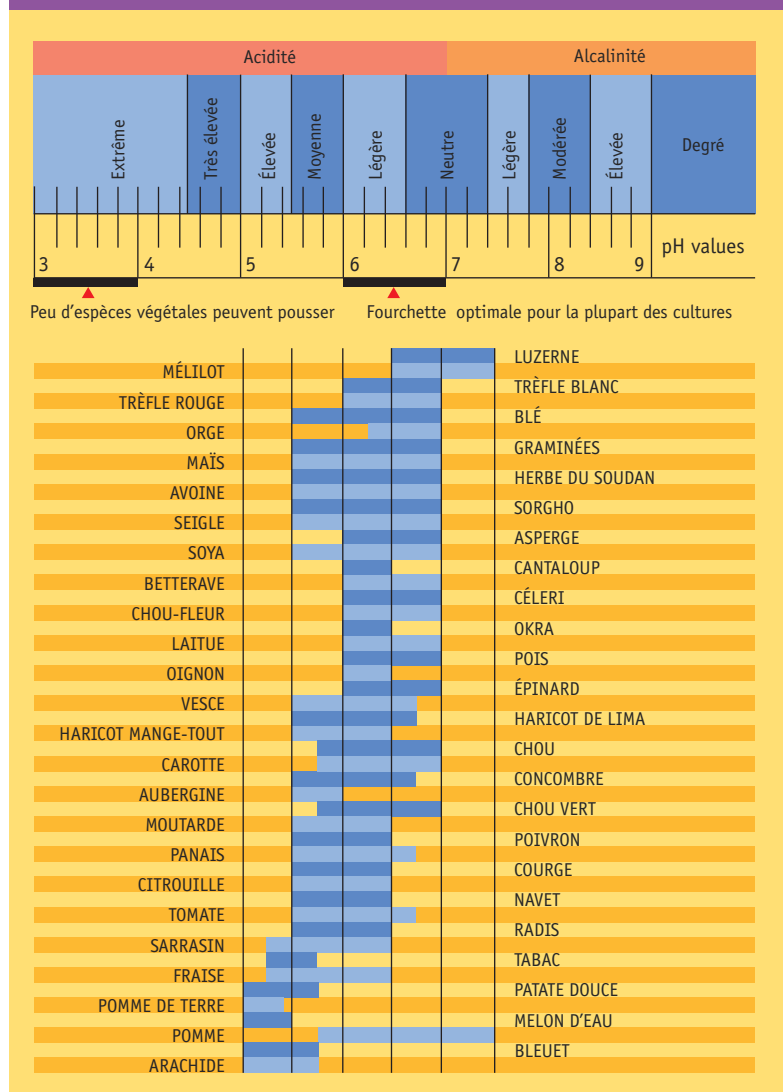
Dans les sols acides, certains éléments nutritifs deviennent toxiques pour des cultures comme le maïs.

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.

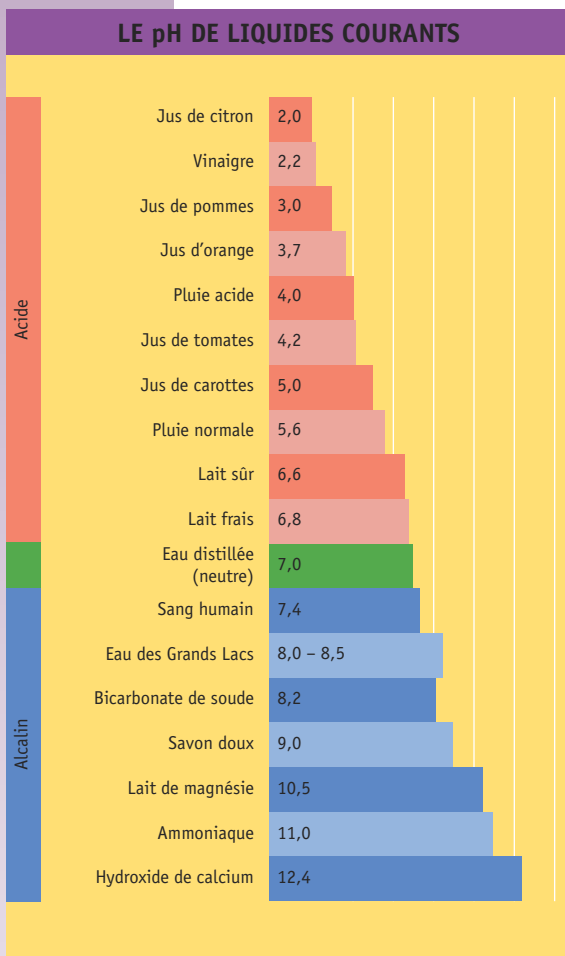
Bien des sols formés à partir de till calcaire contiennent de la chaux et sont donc de nature légèrement alcaline. Le pH de ces sols change très lentement en raison de la chaux qui les compose. Les sols formés à partir d'autres types de roc contiennent peu de chaux et leur pH peut changer assez rapidement.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

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.



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 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.

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.

De la chaux agricole est épandue pour élever le pH.

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

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



SOURCES D'ÉLÉMENTS NUTRITIFS

La plupart des éléments nutritifs absorbés par les plantes sont fournis par le sol même. Parfois, les concentrations de certains éléments nutritifs dans le sol sont trop faibles pour permettre une croissance appropriée.

Comme nous l'avons expliqué plus tôt, on peut épandre des matières sur le sol pour l'enrichir en éléments nutritifs. Ces matières présentent les éléments nutritifs sous forme soit inorganique (p. ex. engrais commerciaux), soit organique (résidus de cultures, fumiers, et biosolides). Ces formes comportent plusieurs types offrant chacune des propriétés, avantages et inconvénients particuliers quant au coût, à la commodité, à la sécurité et à la protection de l'environnement.

Les données du présent chapitre devraient permettre d'élaborer un programme de gestion des éléments nutritifs de deux manières :

- en décrivant la source des matières fertilisantes et leur sort dans le sol;
- en soulignant les avantages et les inconvénients des matières utilisées présentement et celles qu'on envisage d'utiliser.

TERMINOLOGIE RELATIVE AUX ÉLÉMENTS NUTRITIFS

À l'exception du phosphore et du potassium, la teneur en éléments nutritifs de la plupart des matières est exprimée en concentration au poids (p. ex. pourcentage, parties par million, livres à la tonne impériale, kilogrammes à la tonne métrique, etc.) d'éléments nutritifs dans leur forme élémentaire (c'est-à-dire pas en association avec d'autres éléments).

Traditionnellement, les besoins en phosphore et la teneur en phosphore des engrais sont exprimés dans la forme pentoxyde (P_2O_5), communément appelée phosphate. Le potassium est exprimé en potasse (K_2O).

On appelle analyse ou formule la teneur en éléments nutritifs assimilables (biodisponibles) d'un engrais. Elle est exprimée en pourcentage d'azote, de P_2O_5 et de K_2O , respectivement. Par exemple, la formule 8-32-16 contient au moins 8 % d'azote (total), 32 % de P_2O_5 assimilable et 16 % de K_2O (soluble dans l'eau).

TENEUR EN ÉLÉMENTS NUTRITIFS DES MATIÈRES FERTILISANTES COURANTES

MATIÈRE	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	Ca (%)	Mg (%)	S (%)	Cl (%)
ENGRAIS AZOTÉS							
Ammoniac anhydre	82	—	—	—	—	—	—
Nitrate d'ammonium	34	—	—	—	—	—	—
Sulfate d'ammonium	21	—	—	—	—	23,7	—
Nitrate de calcium	15	—	—	19,4	1,5	—	—
Nitrate d'ammonium et de calcium	27	—	—	4	2	—	—
Nitrate de sodium	16	—	—	—	—	—	—
Urée	46	—	—	—	—	—	—
Solutions d'urée et de nitrate d'ammonium (UAN)	28–32	—	—	—	—	—	—
ENGRAIS PHOSPHORÉS							
Superphosphate simple	—	20	—	20	—	12	—
Superphosphate triple	—	46	—	13,6	—	1,4	—
Farine d'os	2–4	*	—	20–25	—	—	—
Phosphate naturel	—	*	—	33	—	—	—
ENGRAIS POTASSIQUES							
Chlorure de potassium (muriate)	—	—	60–62	—	—	—	47
Sulfate double de magnésium et de potassium	—	—	22	—	11	22,7	1,5
Sulfate de potassium	—	—	50	—	1,2	17,6	2,1
ENGRAIS BINAIRES							
Phosphate diammonique (DAP)	18	46	—	—	—	—	—
Phosphate de monoammonium (MAP)	10–13	48–52	—	—	—	—	—
Gypse	—	—	—	22,5	—	16,8	—
Chaux calcique	—	—	—	25–40	0,5–3	—	—
Chaux dolomitique	—	—	—	19–22	11–13	—	—
Sulfate de magnésium	—	—	—	2,2	10,5	14	—
Nitrate de potassium	12	—	44	—	—	—	1,1
Soufre	—	—	—	—	—	30–99	—
Cendres de bois	—	1,8	5,5	23,3	2,2	—	—

*La disponibilité du phosphore de ces matières est très variable.

SOURCES INORGANIQUES (ENGRAIS COMMERCIAUX)

MATIÈRES FERTILISANTES COURANTES

Les engrais commerciaux constituent l'une des principales sources d'éléments nutritifs pour les cultures. Voici quelques-uns des avantages et des inconvénients qu'ils comportent.

ENGRAIS COMMERCIAUX	
AVANTAGES	CONSÉQUENCES
<ul style="list-style-type: none"> les éléments nutritifs sont concentrés dans des matières dont les caractéristiques physiques sont constantes 	<ul style="list-style-type: none"> les matières sont généralement faciles à manipuler, à transporter et à appliquer uniformément et avec précision
<ul style="list-style-type: none"> la teneur en éléments nutritifs est connue et constante 	<ul style="list-style-type: none"> les mélanges faits sur demande répondent aux besoins précis des cultures selon les résultats d'analyses, et l'on n'est pas forcé d'épandre des éléments nutritifs dont la teneur dans le sol est suffisante
<ul style="list-style-type: none"> les éléments nutritifs sont assimilables très rapidement (ou selon un taux de libération prévisible dans le cas d'engrais améliorés) 	<ul style="list-style-type: none"> la période d'application est adaptable, de manière à correspondre aux prélèvements par la culture la surfertilisation au moyen d'engrais très solubles peut occasionner des dommages aux cultures
PRÉOCCUPATIONS	CONSÉQUENCES
<ul style="list-style-type: none"> les matières sont faites de ressources non renouvelables 	<ul style="list-style-type: none"> une écogestion judicieuse s'impose
<ul style="list-style-type: none"> certaines matières (p. ex. l'ammoniac anhydre) peuvent causer des blessures 	<ul style="list-style-type: none"> elles doivent être manipulées avec soin pour que l'application soit sécuritaire



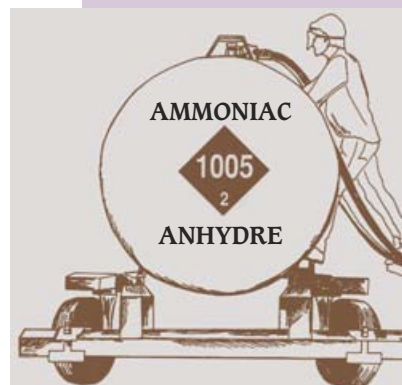
L'ammoniac anhydre est le premier produit résultant de la fabrication des engrais azotés.

La manipulation des matières azotées requiert de strictes mesures de sécurité.

Azote

La plupart des matières utilisées comme engrais azotés sont fabriquées à partir de l'azote gazeux contenu dans l'air et le gaz naturel. L'ammoniac anhydre (82 % N) est le premier produit issu de ce procédé. Toutes les autres matières azotées couramment utilisées sont ensuite fabriquées à partir de l'ammoniac.

Étant donné que le processus de fabrication de l'ammoniac est très simple, il coûte moins à l'unité d'azote que toute autre matière fertilisante azotée. Cependant, les frais liés à la sécurité et à sa manipulation sont plus élevés que pour d'autres matières azotées fertilisantes. (Pour obtenir une comparaison détaillée des matières azotées, consulter la publication 611F, *Manuel sur la fertilité du sol*, du ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario.)



Étapes de la fabrication des engrais azotés

gaz naturel	PLUS	azote gazeux	=	ammoniac anhydre (à 82 % de N)
ammoniac	PLUS	oxygène	=	acide nitrique
ammoniac	PLUS	dioxyde de carbone	=	urée (à 46 % de N)
ammoniac	PLUS	acide nitrique	=	nitrate d'ammonium (à 34 % de N)
nitrate d'ammonium	PLUS	urée	=	solution NAU (à 28–32 % de N)
	PLUS	eau		

La plupart des produits conçus pour améliorer l'efficacité d'absorption de l'azote retardent la libération d'ammonium et de nitrate, des formes solubles de l'azote. Ces produits appartiennent à l'un ou plusieurs des groupes suivants :

- **engrais à libération lente ou contrôlée** – matières contenant de l'azote sous une forme qui retarde sa biodisponibilité, de sorte que l'azote est disponible sur une plus longue période que l'azote provenant des engrais à base d'ammonium, de nitrate ou d'urée. La libération lente ou contrôlée de N est rendue possible par des enrobages de soufre ou de polymères (p. ex. ESN®) ou par l'incorporation dans des composés insolubles ou organiques.
- **inhibiteurs de l'uréase** – des substances qui empêchent l'enzyme uréase d'hydrolyser l'urée. Exemple : Agrotain®, dont l'effet inhibiteur sur l'uréase est attribuable au N-n-butyl-triamide de l'acide thiophosphorique (NBPT).
- **inhibiteurs de la nitrification** – des substances qui freinent l'oxydation biologique de l'ammonium en nitrate. Exemples : N-Serve® (nitrapyrine) et DCD (dicyandiamide).
- **engrais stabilisés** – engrais renfermant des substances qui protègent pendant un certain temps l'urée ou l'ammonium contre toute transformation. Exemple : SuperU®, un engrais azoté qui contient aussi bien le NBPT (inhibiteur de l'uréase) que le DCD (inhibiteur de la nitrification).

En général, l'ammoniac anhydre est l'engrais qui fournit une unité d'azote au plus bas prix.



Phosphore

La phosphorite (phosphate naturel) est insoluble dans l'eau et le phosphore qu'il renferme devient assimilable très lentement par les plantes (jusqu'à 100 ans et même plus). Les matières fertilisantes phosphorées courantes sont faites en traitant le phosphate naturel avec différents acides.

Les produits conçus pour améliorer l'efficacité d'absorption du phosphore y parviennent en retardant la fixation du P dans le sol. Il s'agit de matières organiques ou humiques, ou d'enrobages polymériques qui ralentissent la diffusion des granules vers les sites de fixation dans le sol. Exemple : phosphate de monoammonium (MAP) à formule 11-52-0 et à enrobage de copolymère composé de dérivés des acides itaconique et maléique. Il est commercialisé en Amérique de Nord sous la marque AVAIL.

Certains dépôts de phosphorite sont riches en métaux lourds, tels que le cadmium. La *Loi sur les engrais* (Canada) précise les teneurs maximales acceptables des engrais en ce qui concerne les métaux lourds, de sorte que l'application, pendant 45 ans, d'un engrais quelconque au taux maximum recommandé n'occasionnerait aucune hausse appréciable de la concentration d'un métal lourd dans le sol. La concentration en métaux lourds dans les dépôts de phosphate de la Floride est très basse.

Matières fertilisantes faites à partir de la phosphorite

La phosphorite plus l'acide sulfurique donnent :

- le superphosphate simple (0-20-0), ou acide phosphorique.

La phosphorite plus l'acide phosphorique donnent :

- le superphosphate triple (0-46-0).

L'acide phosphorique plus l'ammoniac donnent :

- le phosphate de monoammonium, MAP (11-52-0) ou phosphate diammonique, DAP (18-46-0).

L'acide superphosphorique et l'ammoniac donnent :

- les polyphosphates d'ammonium (11-37-0).



La phosphorite (phosphate naturel), qui est extraite surtout des mines situées dans le sud des États-Unis, le nord de l'Afrique et la Russie, est la source de presque tout le phosphore qu'on trouve dans les engrais.

La source de potassium la plus fréquente est le chlorure de potassium (muriate de potassium), à 60 % de K_2O . Il est extrait de mines exploitées en Saskatchewan, au Nouveau-Brunswick et aux États-Unis.

Potassium

Le chlorure de potassium (anciennement appelé muriate de potasse) demande peu de traitement : on broie le minerai en granules de chlorure de potassium et de chlorure de sodium, lesquels sont séparés par flottation dans une saumure.

Parmi les autres sources de potassium, notons :

- le sulfate de potassium (50 % de K_2O);
- le nitrate de potassium (44 % de K_2O);
- le sulfate de potasse et de magnésie (22 % de K_2O).



SOURCES ORGANIQUES

Il existe un bon nombre de matières organiques capables de fournir des éléments nutritifs aux terres cultivées. Ce sont, notamment, les résidus de cultures, les fumiers et les composts. Les biosolides et autres « matières de source non agricole » (MSNA) peuvent aussi être utilisés pourvu qu'ils soient approuvés par le ministère de l'Environnement de l'Ontario.

SOURCES ORGANIQUES D'ÉLÉMENTS NUTRITIFS

AVANTAGES

- contiennent de nombreux macro-éléments et oligo-éléments
- fournissent de la matière organique au sol
- fournissent des éléments nutritifs aux cultures pendant plusieurs années suivant l'application
- offrent la possibilité de boucler le cycle des éléments nutritifs en milieux urbain et rural

CONSÉQUENCES

- une bonne source de nombreux éléments nutritifs pour le sol
- améliore la structure du sol
- accroît la capacité de rétention des éléments nutritifs et de l'eau
- facilite le drainage
- les éléments nutritifs ne sont pas tous immédiatement assimilables; certains sont fixés sous des formes organiques
 - avec le temps, cette matière se décompose en des formes assimilables (inorganiques et solubles)
- les éléments nutritifs quittent la ferme sous forme de fruits, légumes, céréales et produits animaux de consommation humaine
- les éléments nutritifs organiques sous forme de biosolides d'épuration et de matières de source non agricole (MSNA) peuvent être retournés au sol
- la nécessité d'éliminer ces déchets en les enfouissant ou en les brûlant est réduite
- les sources d'éléments nutritifs organiques sont dorénavant jugées comme des ressources et non pas comme des déchets à éliminer
- pour des coûts minimes autres que le temps et l'énergie, la plupart de ces éléments nutritifs peuvent être appliqués avec de l'équipement facilement accessible



On ne doit pas ménager les efforts pour épandre le fumier uniformément. Pour de plus amples renseignements sur les PGO relatives à l'application, consulter le fascicule *Gestion des fumiers*, de la série « Les Pratiques de gestion optimales ».



L'ajout de matière organique au sol comporte de nombreux avantages. Toutefois, il ne faut pas négliger de faire analyser les matières organiques à appliquer de façon à savoir exactement ce qu'elles renferment. Pour plus de renseignements, voir page 73.

Nombre de machines utilisées pour appliquer le fumier et les biosolides acceptent une charge par essieu élevée, ce qui augmente les risques de compactage.



FUMIERS DE BÉTAIL

Bien que l'entreposage, la manutention et l'épandage du fumier puissent poser différents problèmes dans les exploitations d'élevage, le fumier constitue néanmoins une ressource importante. Les éléments nutritifs conservés à la ferme réduisent aussi bien le risque de dommages à l'environnement que les dépenses à engager pour l'achat d'engrais.

Teneur variable en éléments nutritifs

Le fumier se compose d'aliments non digérés, de litière, d'aliments gaspillés et/ou d'eau. Selon le type de bétail et la ration alimentaire, le fumier frais peut contenir :

- jusqu'à 80 % de l'azote présent dans l'aliment donné aux animaux;
- jusqu'à 75 % du phosphore présent dans l'aliment donné aux animaux;
- de 80 à 95 % du potassium présent dans l'aliment donné aux animaux.

Le tableau de la page 47 indique la teneur moyenne en éléments nutritifs de différents types de fumiers. À noter que la teneur réelle d'échantillons séparés peut représenter entre le dixième et le double de cette moyenne. Il ne faut jamais oublier la très grande plage des teneurs possibles du fumier en éléments nutritifs — l'utilisation de valeurs moyennes se traduit souvent par des applications d'éléments nutritifs qui ne répondent pas aux besoins des cultures.

La teneur en éléments nutritifs des matières organiques est habituellement exprimée en pourcentage au poids de la forme élémentaire (p. ex. % N, % P, % K).

Le phosphore et le potassium doivent être convertis respectivement en P_2O_5 et en K_2O .

La teneur en azote ammoniacal et en oligo-éléments est habituellement exprimée en milligrammes par kilogramme (mg/kg) ou en milligrammes par litre (mg/L).

Pour convertir :

- des mg/kg en lb/t. imp., diviser par 500 le nombre de mg/kg;
- des mg/L en lb/1000 gal imp., diviser par 100 le nombre de mg/L.

Une partie des éléments nutritifs dont recèle le fumier est extraite du cycle au moment de la récolte. Voir le tableau de la page 26.



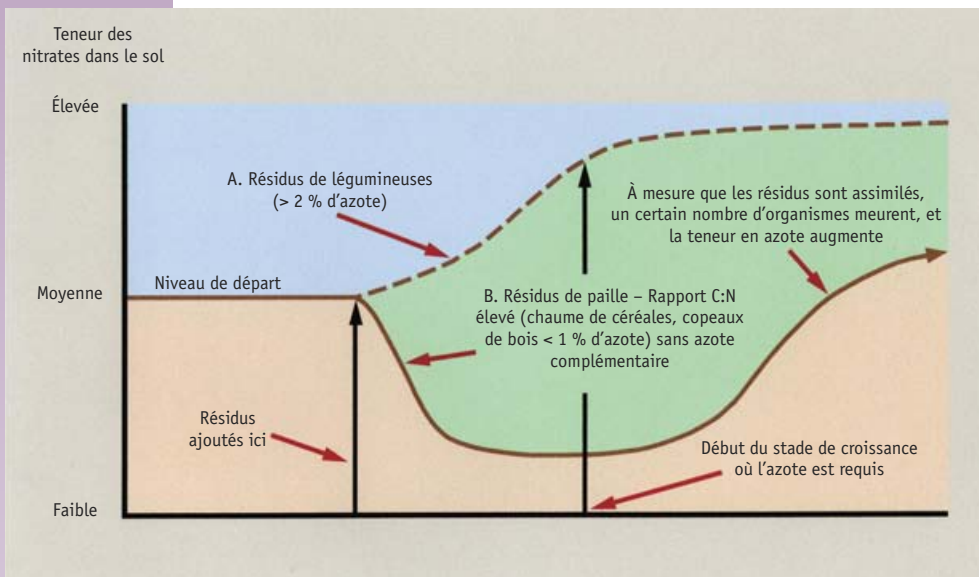
Seule l'analyse régulière du fumier permet d'en connaître la teneur en éléments nutritifs.

Eau

D'importantes quantités d'eau sont souvent ajoutées au fumier, intentionnellement ou autrement, par le nettoyage d'équipements, l'abreuvement des bêtes, la remontée de la nappe phréatique, les précipitations ou le ruissellement. Cette eau dilue la teneur en éléments nutritifs du fumier et augmente la quantité de matières à manipuler ainsi que le coût d'entreposage, de transport et d'épandage.

Litière

Par ailleurs, la litière augmente la teneur en matière organique du fumier mais réduit la concentration de la plupart des éléments nutritifs, en particulier de l'azote. La paille de céréales contient habituellement moins de 1 % d'azote; les copeaux de bois contiennent moins de 0,2 % d'azote. En décomposant ces matières, les micro-organismes du fumier et du sol mobilisent l'azote assimilable.



On voit ici l'effet produit sur la biodisponibilité de l'azote des nitrates par l'enfouissement de deux types de résidus de cultures. Lorsque des résidus de paille sont enfouis (B), les organismes du sol se multiplient rapidement et utilisent la plus grande part de l'azote minéral se trouvant dans le sol. Après quelques semaines, les nitrates commencent à réapparaître et atteignent de nouveau une teneur élevée. De leur côté, les résidus de légumineuses (A, ligne supérieure) font augmenter la teneur en azote des nitrates peu de temps après leur enfouissement.



Lorsque la concentration d'azote dans le sol est déjà faible, l'enfouissement de grandes quantités de litière, en particulier de copeaux de bois, peut réduire la quantité d'azote immédiatement assimilable par la culture.

TENEUR MOYENNE EN ÉLÉMENTS NUTRITIFS DES FUMIERS DE BÉTAIL

TYPE DE FUMIER	MATIÈRE SÈCHE	Total N ¹	NH ₄ -N	P ₂ O ₅ ²	K	Ca	Mg	S	Zn	Cu	Mn	
												%
PORCS	liquide	3,8	0,40	0,265	0,13	0,17	0,12	0,06	0,06	85	30	22
	solide	29,8	0,90	0,258	0,47	0,56	s.o.	s.o.	0,14	172	103	s.o.
VOLAILLE	liquide	10,6	0,83	0,558	0,3	0,3	1,6	0,08	0,08	70	11	64
	solide	52,6	2,37	0,550	1,11	1,17	4,6	0,28	0,16	238	33	204
BOV. LAITIERS	liquide	8,5	0,36	0,153	0,09	0,24	0,49	0,14	0,04	48	17	40
	solide	24,2	0,61	0,128	0,17	0,50	1,54	0,36	0,08	95	29	107
BOV. DE BOUCHERIE	liquide	7,95	0,52	0,179	0,13	0,43	0,7	0,3	0,04	57	14	61
	solide	28,6	0,73	0,101	0,23	0,57	1,5	0,41	0,09	129	36	112
OVINS	solide	31,3	0,76	0,186	0,27	0,70	1,5	0,38	s.o.	170	20	140
CHEVAUX	solide	33,41	0,42	0,068	0,13	0,36	1,7	0,56	s.o.	73	23	113

Les données sur la composition des fumiers proviennent d'analyses effectuées par des laboratoires de l'Ontario entre 1992 et 2004. Les teneurs en oligo-éléments représentent un sous-ensemble de résultats plus petit.

¹ N total = N ammoniacal + N organique

² % P = phosphore total

Année de l'application – Azote

Au cours de l'année suivant l'application du fumier, les cultures ne peuvent absorber qu'une partie des éléments nutritifs appliqués.

ESTIMATION DE LA QUANTITÉ D'AZOTE ASSIMILABLE DU FUMIER

ANNÉE DE CULTURE	AZOTE ASSIMILABLE*
Année de l'application**	40-60 %
1 ^{re} année suivant l'application	1-4 %
2 ^e année	0,5-2 %
3 ^e année	0,2-1%

* exprimée en pourcentage de la quantité totale appliquée

** 80 % dans le cas du fumier liquide de volaille



Dans le cas du fumier de volaille, dont une plus grande part de l'azote est présente sous forme ammoniacale, 75–85 % de l'azote du fumier peut être assimilable au cours de la première année.

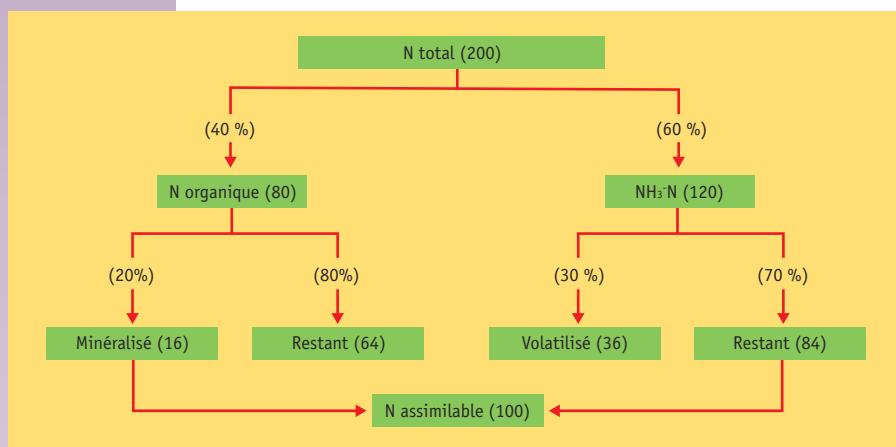
L'azote, sous forme d'ammonium, est immédiatement assimilable par les cultures mais, habituellement, au moins 30 % de cet azote s'échappe du sol. Jusqu'à 30 % de l'azote organique devient assimilable au cours de la première année de culture, selon le type de fumier et la quantité de litière utilisée.

Au mieux, 50 à 60 % de la quantité totale d'azote contenue dans le fumier est assimilable au cours de la première année de culture suivant l'application.

Année de l'application – Phosphore et potassium

Seulement 40 % du phosphore contenu dans le fumier devient assimilable sous forme de phosphore fertilisant au cours de l'année suivant l'application. Le reste du phosphore est absorbé par le sol et se reflétera dans les résultats de l'analyse de sol. Se référer aux résultats de l'analyse pour savoir sous quelle forme se présente le phosphore – disponible ou total. Les conséquences de cette forme sur les calculs du bilan nutritionnel sont importantes.

Le potassium est présent sous forme soluble, et 90 % de la totalité du potassium contenu dans le fumier est assimilable comme fertilisant au cours de l'année suivant l'application.



Au fur et à mesure que la matière organique du fumier se décompose pendant les années qui suivent l'application, elle continue de fournir de l'azote au sol.

RÉSIDUS DE CULTURES

En retournant les résidus de cultures dans le sol :

- on veille à ce qu'une partie des éléments nutritifs absorbés par la culture soit recyclée;
- on contribue à maintenir la teneur en matière organique du sol.

Les résidus laissés à la surface du sol ou près de la surface aident également à réduire l'érosion du sol.

La série des « Pratiques de gestion optimales » offre un fascicule complet consacré au semis direct.

CULTURE PRÉCÉDENTE	AZOTE (LB/AC)
Fourrage établi – moins de 1/3 en légumineuses	0
Fourrage établi – 1/3–1/2 en légumineuses	49
Fourrage établi – plus de 1/2 en légumineuses	100
Légumineuses vivaces enfouies dans l'année des semis	40
Maïs après l'enfouissement de trèfle rouge	73
Maïs après du trèfle rouge (semis direct)	60
Maïs après du soya ou des haricots comestibles	27
Maïs après du maïs à ensilage	12
Maïs après des céréales (paille récoltée)	11
Autres cultures	0



Les résidus de céréales et de gazons sont habituellement pauvres en azote. Comme les micro-organismes du sol requièrent de l'azote pour décomposer de telles matières, la quantité d'azote disponible pour les cultures en croissance peut se trouver temporairement déficiente après l'incorporation de quantités importantes de ces résidus dans le sol.

L'azote capté dans l'air par certaines légumineuses, en particulier les espèces fourragères, peut accroître considérablement l'apport de cet élément nutritif dans le

AUTRES MATIÈRES DE SOURCE AGRICOLE

On trouve aussi des éléments nutritifs dans d'autres matières résiduelles de la ferme, telles que eaux de lavage, eaux de ruissellement provenant de cours d'élevage ou d'entrepôts d'aliments, percolats de serres ou de pépinières.

On devrait considérer ces matières agricoles comme une ressource et les utiliser de manière à tirer profit de leurs avantages.



Les éléments nutritifs contenus dans les eaux de lavage doivent faire l'objet d'une bonne gestion.



En Ontario, l'application de biosolides d'épuration passe par l'approbation préalable du ministère de l'Environnement.

Pour de plus amples renseignements sur l'utilisation des biosolides d'épuration, consulter la publication *Guidelines for the Utilization of Biosolids and Other Wastes on Agricultural Lands* (en anglais seulement) produite par le ministère de l'Environnement de l'Ontario.

MATIÈRES DE SOURCE NON AGRICOLE (MSNA)

BIOSOLIDES D'ÉPURATION

Les biosolides d'épuration sont issus d'usines de traitement d'eaux d'égouts municipales. Ces matières peuvent aussi représenter un amendement de grande valeur pour les terres cultivées.

Des restrictions ont été fixées concernant les périodes et sites d'épandage de biosolides d'épuration et d'autres MSNA afin de réduire au minimum les risques de ruissellement de ces matières tout en tirant le meilleur parti possible des éléments nutritifs qu'elles contiennent. Le ministère de l'Environnement de l'Ontario doit approuver tout site d'épandage avant qu'on puisse y appliquer des biosolides d'épuration.

Il doit s'écouler une certaine période entre le moment de l'application de biosolides et celui de la récolte de cultures fourragères ou fruitières afin que les risques de contamination soient réduits.

Les déchets non traités provenant de fosses septiques, de fosses de décantation et de bassins de rétention ne peuvent pas être épandus sur une terre cultivée sans autorisation préalable du ministère de l'Environnement de l'Ontario.

Parmi les facteurs pris en compte afin qu'on autorise l'application de MSNA sur un site quelconque, mentionnons :

- la teneur en phosphore du sol telle que révélée par analyse,
- le pH du sol,
- la pente du champ,
- la teneur en matière organique du sol,
- la classe de drainage naturel,
- l'épaisseur du sol au-dessus de la roche-mère,
- l'accumulation de neige et la pénétration du gel,
- la profondeur de la nappe phréatique et de la roche-mère, et la distance à tout puits, à tout cours d'eau et à toute habitation.

Les biosolides d'épuration constituent une bonne source de nombreux éléments nutritifs, à l'exception du potassium. Étant donné que les concentrations de phosphore et de zinc dans les biosolides sont souvent élevées, ces matières peuvent s'avérer un excellent moyen de corriger les carences de ces éléments nutritifs dans le sol.

Par contre, la teneur élevée en phosphore signifie aussi que les sols recevant des biosolides d'épuration peuvent se retrouver rapidement avec des teneurs en phosphore excessives.

En Ontario, la plupart des biosolides sont produits par digestion anaérobie. Ils contiennent 3–9 % d'azote (poids sec), dont 30–40 % sous forme d'ammonium.

Les biosolides déshydratés contiennent beaucoup moins d'azote (~ 4 % en poids sec), car une grande partie de l'azote soluble est éliminée avec l'eau.

EXEMPLE D'ANALYSE DE BIOSOLIDE D'ÉPURATION DE SOURCE ANAÉROBIE*

Solides totaux	3 %
pH	7,1

Teneur en éléments nutritifs

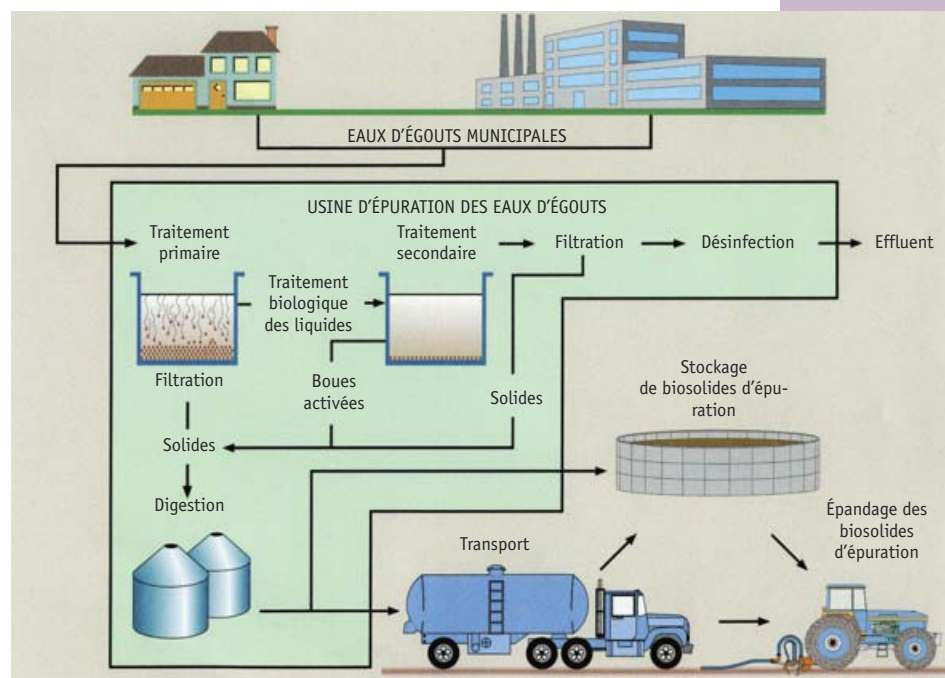
phosphore total	3,67 % **
azote total	6,5 % **
azote ammoniacal	2,3 % **
zinc	500 mg/kg
potassium	traces

* On fait aussi des analyses pour déterminer leur teneur en arsenic, en cadmium, en cobalt, en chrome, en cuivre, en mercure, en molybdène, en nickel, en plomb et en sélénium.

** Pourcentage en poids sec

En outre, la teneur en azote des biosolides d'épuration aérobies est également inférieure à celles des biosolides anaérobies. Une grande partie de l'azote assimilable des biosolides aérobies se trouve sous forme organique.

Des directives portant sur les taux d'application des biosolides d'épuration ont été établies afin de réduire le risque de contamination du sol par des métaux. Les biosolides sont analysés régulièrement (voir page 53) afin qu'on en détermine la teneur en 11 métaux différents; ceux dont la teneur en un métal excède la norme ne peuvent pas être appliqués sur des terres cultivées.



Les biosolides d'épuration provenant d'usines de traitement des eaux d'égouts municipales constituent une bonne source d'éléments nutritifs pour les terres cultivées.

Métaux lourds

Ce terme est utilisé librement pour désigner un groupe d'éléments chimiques – principalement des métaux ayant un poids atomique élevé – qui sont préoccupants pour l'environnement. Quand ils se trouvent à des concentrations suffisantes, ces éléments peuvent nuire à la santé des humains et des animaux ou ralentir la croissance des végétaux. À noter que certains de ces éléments sont des éléments nutritifs indispensables à de plus faibles concentrations. L'effet nocif de ces éléments peut se manifester par une toxicité directe ou par le tort indirect qu'ils occasionnent en faisant concurrence à un autre élément nutritif essentiel, privant ainsi les plantes de cet élément.

Voici les onze métaux réglementés en Ontario :

- | | | | | | | | |
|-----------|----|-----------|----|-------------|----|------------|----|
| • Arsenic | As | • Chrome | Cr | • Molybdène | Mo | • Sélénium | Se |
| • Cadmium | Cd | • Cuivre | Cu | • Nickel | Ni | • Zinc | Zn |
| • Cobalt | Co | • Mercure | Hg | • Plomb | Pb | | |

Il est assez habituel de rencontrer des métaux lourds dans le sol. Cependant, ils peuvent s'y trouver à des niveaux anormalement élevés à cause d'épandages antérieurs de biosolides, de déchets industriels ou de produits antiparasitaires. Parmi les onze métaux lourds qui font l'objet d'une réglementation, quatre sont indispensables aussi bien pour les plantes que pour les animaux, et trois autres sont indispensables pour les animaux. Par ailleurs, il est possible qu'à des niveaux supérieurs à ceux considérés comme essentiels, ces éléments stimulent la croissance. Des concentrations élevées dans le fumier peuvent être attribuables à l'ajout dans les aliments pour animaux de suppléments riches en ces éléments. On a longtemps relié les fortes teneurs en métaux lourds des biosolides d'épuration aux déchets industriels, mais aujourd'hui une sévère réglementation des eaux vannes a presque éliminé cette source de contamination dans la majorité des municipalités. Il est donc interdit d'appliquer sur des terres tout biosolide dont la teneur en n'importe lequel des métaux réglementés dépasse les limites autorisées.

Pour obtenir des renseignements à jour sur les aspects réglementaires de l'utilisation de biosolides d'épuration ou matières de source non agricole (MSNA) aux termes de la *Loi de 2002 sur la gestion des éléments nutritifs*, veuillez consulter le site <http://www.omafr.gov.on.ca/french/agops/index.html>.



Les biosolides d'épuration contribuent de la matière organique et des éléments nutritifs au sol. Il faut suivre à la lettre les directives concernant la manutention et l'application des biosolides.

AUTRES SOURCES D'ÉLÉMENTS NUTRITIFS PROVENANT DE L'EXTÉRIEUR

La société produit une vaste gamme de déchets, notamment des feuilles d'arbres, des ordures ménagères, des copeaux de bois, du papier, de la pulpe et des rebuts de la transformation alimentaire. Bon nombre de ces matières pourraient profiter au sol comme sources de matières organiques et d'éléments nutritifs. Certains déchets, comme la poudre de four à chaux, peuvent également servir à corriger le pH des sols, lorsque cela s'avère nécessaire.

La teneur en éléments nutritifs des déchets dépend du type de matière dont ils proviennent. Ceux qui sont dérivés des feuilles d'arbres, du papier ou du bois sont habituellement pauvres en azote et peuvent nécessiter un apport complémentaire d'azote pour ne pas occasionner une telle carence dans les cultures.

En raison du risque de contamination du sol et de l'environnement, seuls les déchets approuvés par le ministère de l'Environnement de l'Ontario peuvent être appliqués sur les sites approuvés.

Avant qu'une matière ne soit approuvée, l'agriculteur doit prouver :

- que les éléments nutritifs ou la matière organique qu'elle contient profiteront à la culture ou au sol;
- qu'elle ne présente aucun risque pour les cultures, les sols, les personnes, les animaux ou l'environnement.

Les autres directives portant sur l'utilisation de MSNA sur les terres cultivées sont similaires à celles régissant les biosolides d'épuration. (Consulter le document intitulé *Guidelines for the Utilization of Biosolids and Other Wastes on Agricultural Lands.*)



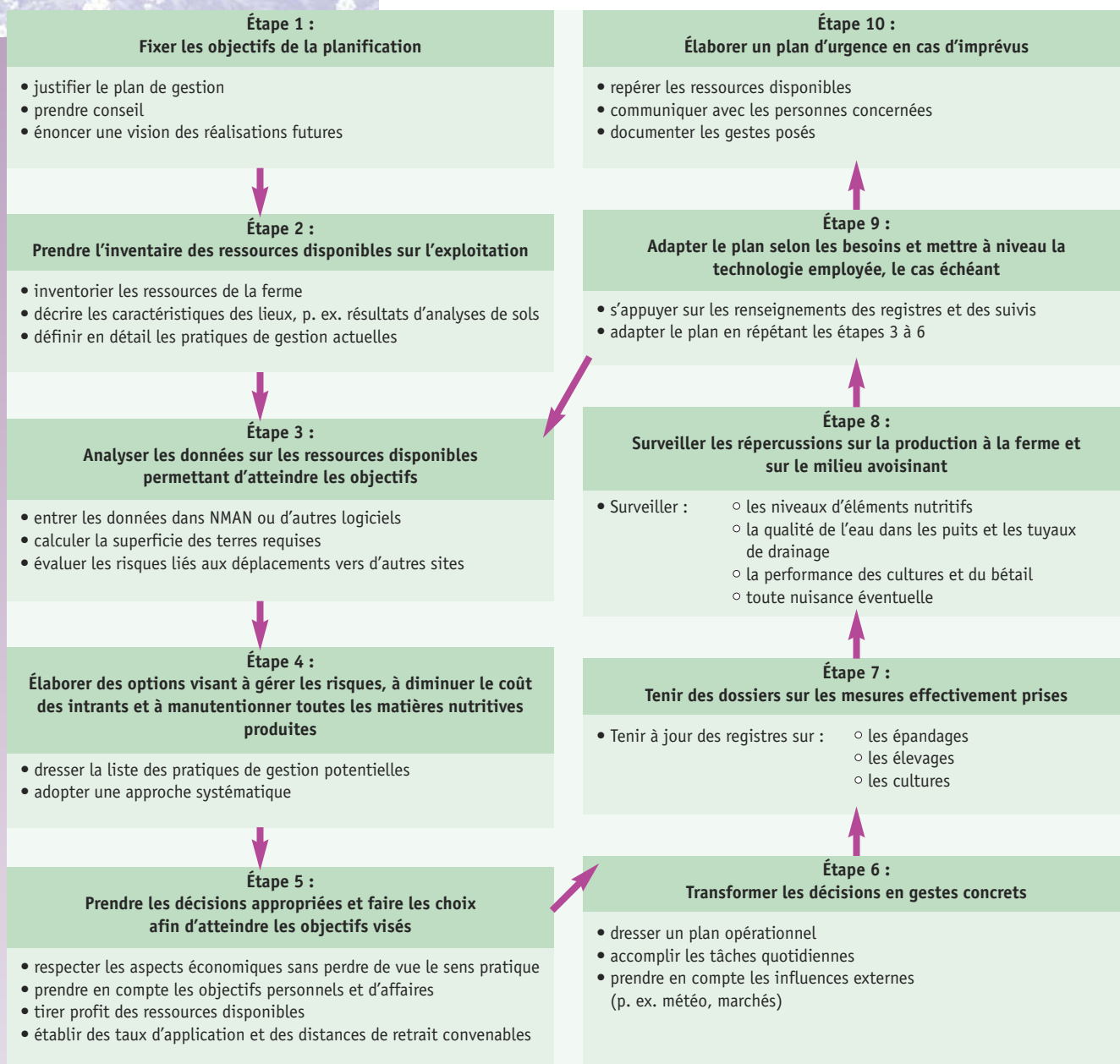
D'autres sources comme les biosolides issus de papeteries peuvent fournir au sol de la matière organique et des éléments nutritifs.

LA PLANIFICATION DE LA GESTION DES ÉLÉMENTS NUTRITIFS EN DIX ÉTAPES

Le diagramme d'implantation ci-dessous donne une vue d'ensemble du cheminement qui mènera à l'achèvement du plan de gestion. Dans les chapitres subséquents, on verra comment élaborer chaque étape et, une fois que tout sera rassemblé, on pourra passer à l'action.

Les chapitres précédents ont fourni beaucoup de renseignements généraux sur l'essentiel des éléments nutritifs. Il est temps que ces nouvelles connaissances soient mises à contribution sur l'exploitation.

Au fil des ans, on a associé la gestion des éléments nutritifs à celle du fumier. Pourtant, les mêmes principes s'appliquent à toutes les matières nutritives disponibles, quelles qu'elles soient : fumiers, MSNA, compost et engrais commerciaux.



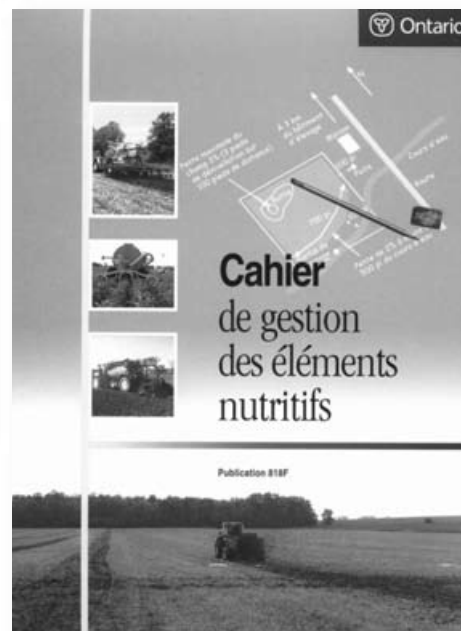
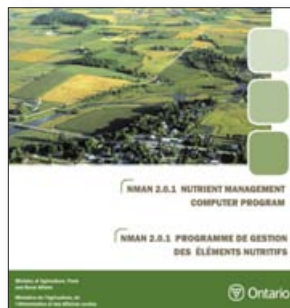
Au cours de la planification,

- ▶ on fait l'inventaire de tous les éléments nutritifs – y compris ceux qui se trouvent dans le sol et dans les cultures en croissance ou récoltées, ainsi que les éléments nutritifs montrant une carence;
- ▶ on applique la gestion à tous les éléments nutritifs – selon les surfaces cultivables, les objectifs de production, la proximité des ressources en eau, la disposition de la ferme, le matériel agricole et les préoccupations relatives à la sécurité.

Le processus prend en compte les renseignements suivants :

- | | | |
|--|-------------|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ▶ taux d'application ▶ distances de retrait ▶ superficies requises | <i>dans</i> | <ul style="list-style-type: none"> ▶ la planification de l'exploitation ▶ les questions d'odeurs et les rapports avec les voisins ▶ les techniques d'application ▶ les pratiques de conservation du sol et de l'eau ▶ les plans d'urgence. |
|--|-------------|---|

Bien comprendre les principes de la gestion des éléments nutritifs destinés aux cultures aidera l'exploitant à élaborer et à mettre en œuvre son plan de gestion. Le prochain chapitre porte sur l'étape 2, c.-à-d. l'évaluation des éléments nutritifs qui existent déjà sur la ferme et dans les champs.



La planification de la gestion des éléments nutritifs est un processus qui s'effectue en profondeur. Elle ne devrait pas pour autant rendre l'existence insoutenable. La progression par étape en facilitera la tâche.

PGO INDIQUANT LES BESOINS EN ÉLÉMENTS NUTRITIFS

Une mauvaise méthode d'échantillonnage peut rendre les résultats peu fiables. Ce chapitre décrit la bonne façon de prélever des échantillons et d'interpréter les résultats.

« Appliquer de l'engrais chaque année, sans une analyse de sol, revient à ajouter un litre d'huile dans le carter avant de démarrer le tracteur, chaque fois. Au mieux, vous gaspillez quelques dollars. Au pire, vous endommagez le moteur (votre sol), ou vous déversez le surplus à un endroit indésirable. »

– Keith Reid,
spécialiste de la
fertilité des sols,
MAAARO



ANALYSES PORTANT SUR LES ÉLÉMENTS NUTRITIFS ET INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

- ✓ Déterminer par analyse la concentration des éléments nutritifs afin de régler correctement les taux d'épandage de fumier et d'engrais.

Ce chapitre fournit des renseignements sur :

- ▶ les méthodes de prélèvement et de manipulation des échantillons;
- ▶ les différents types d'analyse possibles;
- ▶ les avantages et inconvénients de plusieurs modes d'interprétation des résultats d'analyse.

On comprendra l'importance des analyses de sols pour atteindre les objectifs suivants :

- ▶ améliorer la croissance des cultures et leur résistance à la verse;
- ▶ voir l'évolution des teneurs en éléments nutritifs dans le temps;
- ▶ accroître la tolérance des cultures aux insectes et aux maladies;
- ▶ améliorer la maturité et la qualité des cultures récoltées;
- ▶ s'assurer des rendements optimaux;
- ▶ améliorer la rentabilité;
- ▶ protéger l'environnement.

Qu'il s'agisse de fertilité du sol, de pH, de concentrations des nitrates, de tissus végétaux, de fumier ou d'autres matières organiques, demander une analyse en premier lieu. Les carences en éléments nutritifs causent une baisse des rendements et des profits. Les excès sont un gaspillage d'énergie, de temps et d'argent, sans compter qu'on risque de polluer l'environnement.

L'échantillonnage demande du temps et de l'argent, mais les analyses elles-mêmes ne coûtent relativement pas cher. Par exemple, il n'en coûterait que 0,25 \$/acre/an (env. 0,60 \$/ha/an) pour un champ de 20 acres (8 ha) qui serait échantillonné une fois par trois ans, au prix de 15 \$/analyse.

ANALYSE DE SOL

La meilleure façon d'évaluer la fertilité d'un sol consiste à effectuer une analyse de sol approuvée par le MAAARO. Il est impossible prendre de bonnes décisions sur l'application des éléments nutritifs sans d'abord connaître la teneur du sol en éléments nutritifs disponibles. Les analyses de sol sont aussi le seul moyen fiable de déterminer le pH du sol.

- ✓ **faire analyser le sol de chaque champ au moins une fois tous les trois ans.** Les sols sableux nécessitent probablement une analyse plus fréquente, puisque leur teneur en éléments nutritifs et leur pH peuvent changer plus rapidement.

(L'analyse du sol portant sur l'azote des nitrates fait exception : voir page 62).

L'analyse de sol ne constitue pas une mesure exacte de la fertilité du sol, mais elle en offre toutefois la meilleure estimation possible. L'analyse repose sur la réaction de certains produits chimiques avec les éléments nutritifs capables d'être absorbés par les plantes dans l'échantillon de sol. La méthode utilisée dans les analyses de sol ordinaires (phosphore, potassium, magnésium et pH) approuvées par le MAAARO est bien définie et donne des résultats constants. D'autres analyses approuvées permettent de déterminer la teneur du sol en zinc, en manganèse et en azote des nitrates.

Pour la plupart des autres éléments nutritifs, aucune méthode d'analyse n'existe qui permette de faire des recommandations fiables de doses d'engrais à utiliser sur les sols de l'Ontario.

Des analyses de sols régulières facilitent la surveillance des teneurs en éléments nutritifs des champs et la tenue de dossiers. Il faut contacter le laboratoire aussitôt que possible lorsque les résultats d'une analyse pour un champ donné diffèrent beaucoup de la tendance habituelle, afin que l'échantillon soit analysé à nouveau.

L'analyse de sol comprend trois étapes :

1. l'échantillonnage du sol;
2. l'analyse proprement dite;
3. l'interprétation des résultats



Le plan de gestion des éléments nutritifs passe d'abord et avant tout par l'analyse de sol.

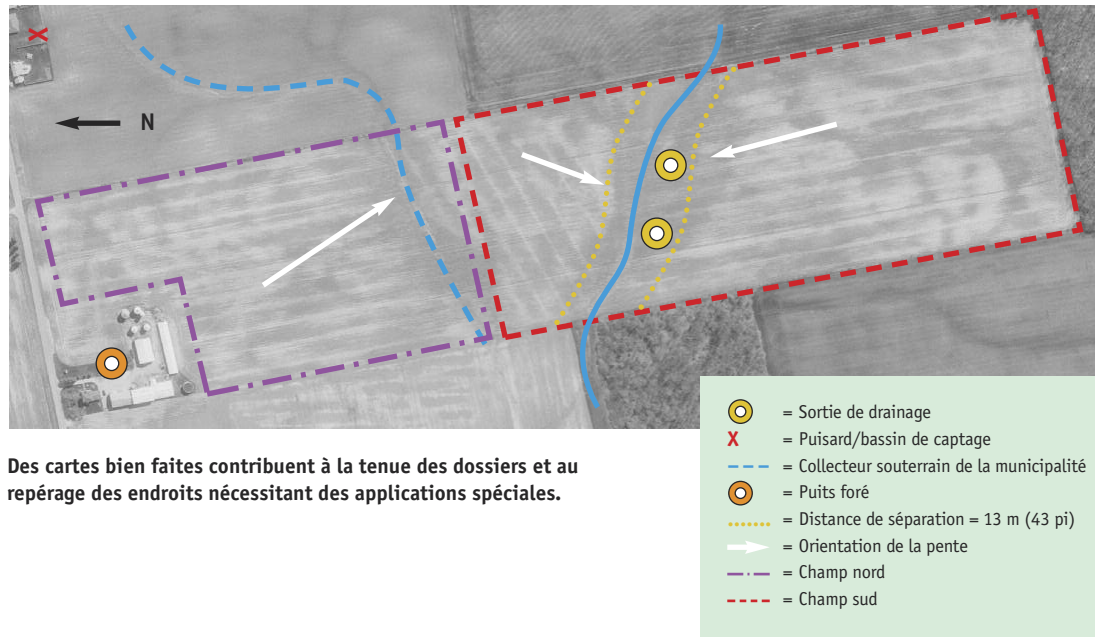
ÉCHANTILLONNAGE DU SOL

L'inexactitude des résultats d'analyse est habituellement attribuable à une erreur ou une négligence dans l'échantillonnage ou dans la préparation de l'échantillon. Voici comment procéder.

Planification de l'échantillonnage

- ✓ **Indiquer sur une carte de sol tous les points à échantillonner** et attribuer à chacun un numéro permanent qu'on utilisera toutes les fois qu'on prélève des échantillons dans le champ.
- ✓ **Géoréférencer les points d'échantillonnage dans les champs où l'on épandra des matières de source non agricole (MSNA)** – les coordonnées GPS d'un coin du champ, ainsi que la direction et la distance de ce coin jusqu'à l'endroit échantillonné constituent le minimum de renseignements exigés.
- ✓ **Délimiter les endroits à échantillonner séparément.**
- ✓ **Marquer sur des cartes toutes les caractéristiques pertinentes des champs à échantillonner**, p. ex. pentes, cours d'eau et limites antérieures du champ.
- ✓ **Garder un registre pour chaque champ** des cultures faites chaque année et des résultats d'analyse de sol passées.

En gestion des éléments nutritifs, on gagne toujours à tenir de bons dossiers sur les cultures faites dans chaque champ, à chaque année, et sur les résultats des analyses de sols passées.



Voici comment prélever un échantillon de sol.

Étape 1



Prendre des carottes de 6 po seulement. Il est important que la profondeur soit constante.

Étape 2



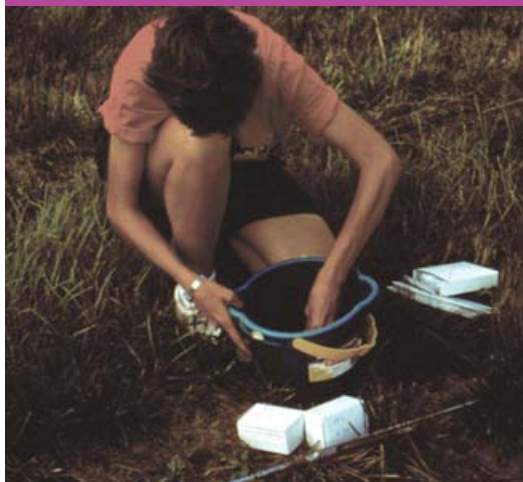
Prélever au moins une carotte par acre (2,5 carottes/ha) en des points choisis au hasard dans le champ. Il est recommandé que chaque échantillon composite représente 25 acres (10 ha) au maximum, afin que les variations de fertilité soient prises en compte dans chaque champ et d'un champ à l'autre.

Étape 3



Utiliser un seau de plastique propre.

Étape 4



Briser les mottes de terre.

Étape 5



Déposer les échantillons bien mélangés dans un sac à échantillon propre, dans le champ.

Étape 6



Marquer chaque échantillon avec une étiquette portant le nom du champ.



Le prélèvement des échantillons quand le sol est friable et se mélange uniformément donne des résultats sur lesquels on peut se fier.

Époque de l'échantillonnage

- ✓ **Prélever les échantillons quand le sol est assez sec pour s'effriter facilement et bien se mélanger**
 - ▶ puisque seulement quelques grammes de sol sont utilisés au laboratoire, il est impératif que le mélange soit uniforme.
- ✓ **Faire sécher à l'air tout échantillon qui est trop humide pour se mélanger facilement;** procéder ensuite au mélange
 - ▶ ne jamais faire chauffer un échantillon pour en enlever de l'humidité, parce que la chaleur peut influencer sur la disponibilité de plusieurs éléments nutritifs.
- ✓ **Dans la mesure du possible, effectuer l'échantillonnage à la même époque de l'année et au même stade dans la rotation culturale,** le cas échéant
 - ▶ chez de nombreuses exploitations, un échantillonnage après la récolte du blé dans une rotation maïs/soya/blé est simple à effectuer et facile à se rappeler, sans compter que les résultats d'analyse sont reçus bien assez tôt pour qu'on puisse planifier le programme de fertilisation.

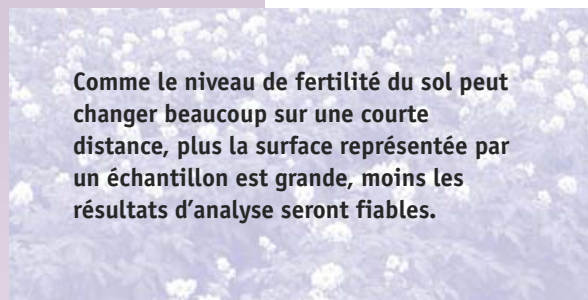
Se référer à la section sur les nitrates du sol pour connaître les exigences spécifiques aux analyses portant sur les nitrates du sol.

Équipement

- ✓ **Utiliser un tube de prélèvement**
 - ▶ le tube facilite le prélèvement et donne des carottes de sol prélevées à la profondeur recherchée, uniformément et sans ennui – habituellement à 15 cm (6 po).

Les tubes de prélèvement de sol sont en vente chez un grand nombre de fournisseurs agricoles et chez certains bureaux locaux de l'Association pour l'amélioration des sols et des récoltes.

- ✓ **Rassembler les carottes dans un seau propre en acier inoxydable ou en plastique**
 - ▶ ne pas utiliser de seaux en métal galvanisé parce que le revêtement contaminerait l'échantillon avec des oligo-éléments
 - ▶ éviter les seaux ayant contenu des produits chimiques (p. ex. nettoyants), car les phosphates trouvés dans les résidus de détergents sont également susceptibles de contaminer l'échantillon.



Comme le niveau de fertilité du sol peut changer beaucoup sur une courte distance, plus la surface représentée par un échantillon est grande, moins les résultats d'analyse seront fiables.



On peut prélever les échantillons avec une pelle ou une truelle, mais un tube de prélèvement est plus commode.



Les zones érodées devraient être échantillonnées individuellement.

Schéma d'échantillonnage

L'échantillon doit être représentatif de la surface choisie.

- ✓ **Recueillir au moins 20 carottes**, même dans les petits champs.
- ✓ **Prélever au moins 2 carottes par hectare** (soit 1 carotte par acre), en couvrant au hasard toute la surface.
- ✓ **Limiter chaque échantillon à 10 hectares** (25 acres) au maximum.

Diviser les plus grands champs en zones de superficie adéquate, lesquelles pourront être traitées séparément si nécessaire.

✓ **Éviter de prélever des carottes dans les endroits suivants :**

- ▶ bandes de fertilisation des années précédentes et mottes de fumier ou de résidus de cultures;
- ▶ endroits où du fumier, de l'engrais ou de la chaux étaient gardés en tas;
- ▶ anciennes bordures de champs ou d'enclos de ferme;
- ▶ dérayures ou surfaces sévèrement érodées;
- ▶ surfaces bordant un chemin.

Échantillonnage dans les champs à fertilité variable

Les champs où l'on trouve d'importantes variations dans la fertilité posent problème autant pour l'échantillonnage que pour la fertilisation. Les échantillons qui représentent en moyenne l'ensemble du champ peuvent entraîner la surfertilisation en certains endroits et, à l'opposé, une carence d'éléments nutritifs ailleurs.

Les applications d'engrais ou de fumier antérieures ont les plus grandes répercussions sur les analyses de sols courantes, un phénomène qui reflète habituellement les limites de champs.

- ✓ **Dans les endroits qui, déjà, étaient divisés en plusieurs petits champs, prélever un échantillon distinct dans chacun des anciens champs et soumettre chaque échantillon séparément.**



Diviser les grands champs en petites zones aux fins de l'échantillonnage.

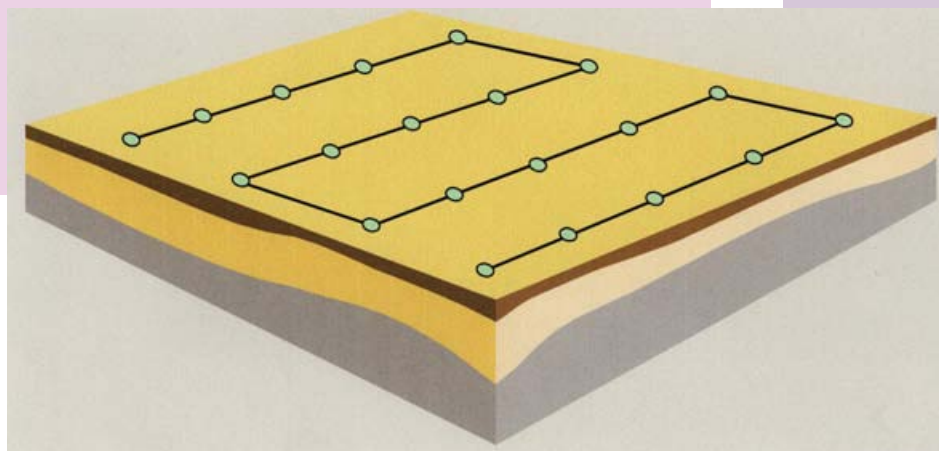


Dans les champs à fertilité variable, échantillonner séparément les sols de types différents, dans la mesure du possible.

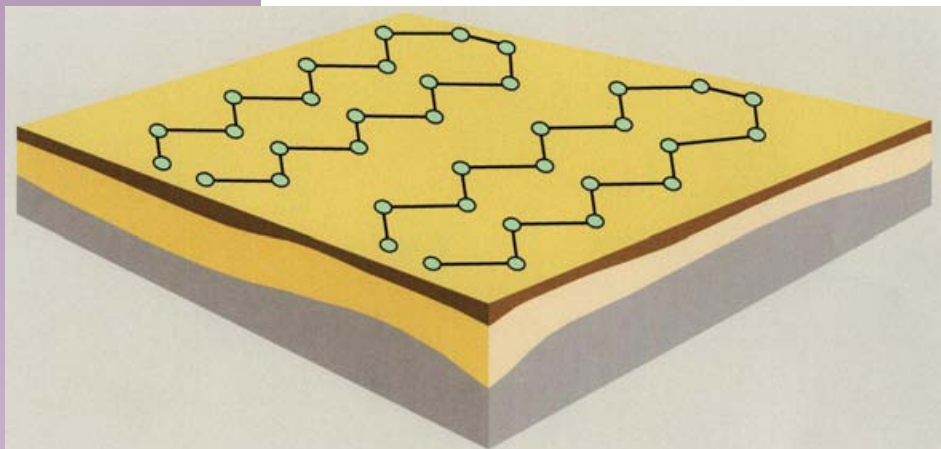
Échantillonnage en grille

Dans certaines régions de l'Ontario, on fait les prélèvements selon une grille. Les échantillons sont prélevés à intervalles réguliers, et les résultats d'analyse sont saisis dans un ordinateur afin de produire une carte montrant les variations de fertilité à travers le champ. La carte est ensuite utilisée par l'opérateur d'un épandeur à débit variable pour appliquer les doses requises d'engrais dans tout le champ.

Voici ce à quoi ressemble l'échantillonnage en grille dans un champ.



Il est plus difficile de choisir les taux d'application eu égard à la variabilité naturelle car elle manque d'uniformité et se révèle souvent imprévisible. Le pH du sol et la teneur du sol en azote des nitrates, en particulier, sont susceptibles de changer avec le relief et la texture du sol. Si des zones d'un champ se démarquent facilement et qu'elles peuvent être fertilisées séparément, il vaut mieux prélever un échantillon distinct dans chaque zone.



Autrement, la meilleure approche est la suivante :

- Échantillonner l'ensemble de la surface au hasard.
- Prendre des échantillons distincts aux endroits où la culture laisse à désirer et présenter ces échantillons séparément.

Faire les prélèvements selon un tracé en zigzag de manière à couvrir la surface uniformément.

Soumission des échantillons

Après avoir prélevé suffisamment de carottes, passer aux étapes suivantes.

1. Mélanger parfaitement les échantillons individuels pour former un échantillon composite.
2. Remplir la boîte à échantillon avec ce mélange.
3. Soumettre l'échantillon au laboratoire de son choix

- pour des renseignements sur les laboratoires d'analyse, consulter un bureau régional du MAAARO ou le site Web du ministère (voir la dernière page de couverture);
- pour des résultats reliés à la recherche ou aux recommandations sur la fertilisation en Ontario, exiger une analyse approuvée auprès d'un laboratoire accrédité.

ANALYSE PORTANT L'AZOTE DES NITRATES EN ONTARIO

Certains sols diffèrent grandement quant à leur capacité à fournir de l'azote aux cultures.

La quantité d'azote des nitrates dans le sol au moment des semis ou de la fertilisation en bandes est parfois un bon indice de sa capacité à fournir de l'azote.

En règle générale, plus la teneur du sol en azote des nitrates est élevée, moins importante est la quantité d'azote à fournir pour obtenir des rendements optimaux. La concentration d'azote dans le sol peut changer brusquement pendant la période de prélèvement des échantillons avant la fertilisation en bandes, de sorte qu'on devrait prendre en compte les conditions climatiques au moment l'échantillonnage pour faire une interprétation juste des résultats d'analyse.



L'analyse de la teneur en azote des nitrates dans les champs de maïs contribue à réduire les risques de contamination des eaux souterraines par des concentrations élevées de nitrates.

Il est utile de déterminer la teneur du sol en azote des nitrates par analyse dans les cas suivants :

- ▶ des cultures exigeant des quantités d'azote relativement importantes;
- ▶ des cultures sujettes à la verse causée par des teneurs élevées en azote;
- ▶ des champs sur lesquels on a épandu régulièrement du fumier ou d'autres matières riches en azote;
- ▶ des champs dans lesquels le lessivage (sols sableux ou graveleux) ou la dénitrification (sols au drainage mauvais ou imparfait) peuvent entraîner la perte d'azote.

Au moment de l'impression, seuls le maïs et l'orge de printemps pouvaient bénéficier de recommandations du MAAARO basées sur les résultats d'analyse portant sur l'azote des nitrates.

Procédure d'échantillonnage pour les analyses de sol portant sur l'azote des nitrates

Pour des recommandations détaillées sur le prélèvement, la manutention et la soumission d'échantillons de sol en vue d'une analyse portant sur l'azote des nitrates, consulter la publication 811F du MAAARO, *Guide agronomique des grandes cultures*.

La profondeur de prélèvement est cruciale. L'azote des nitrates est encore plus mobile dans le sol que le phosphore et le potassium. Les échantillons prélevés à seulement 15 cm (6 po) de profondeur ne donnent pas des résultats fiables sur la concentration de l'azote des nitrates.

✓ Prendre un échantillon de sol séparé, plus en profondeur (30 cm, 1 pi) pour les analyses portant sur l'azote des nitrates.

Mise en garde : L'action microbienne peut changer la teneur en nitrates de l'échantillon s'il n'est pas manipulé de façon adéquate.

- ✓ Refroidir ou congeler l'échantillon aussitôt que possible.
- ✓ Emballer l'échantillon dans un matériau isolant au moment de son expédition vers le laboratoire
 - ▶ on peut faire sécher à l'air l'échantillon en l'étalant en une mince couche sur une feuille de plastique pendant 1–2 jours.

Dans certaines circonstances, on devrait modifier les recommandations d'azote résultant d'une analyse portant sur l'azote des nitrates. C'est le cas, par exemple, du fumier, de légumineuses ou d'autres matières organiques épandus ou enfouis tard en automne ou en début de printemps dans lesquels l'azote n'a pas été converti en nitrate et n'a pas été décelé lors de l'analyse de sol. Des renseignements sur la façon d'ajuster les recommandations en conséquence seront fournis avec les résultats d'analyse.

Aucune recommandation fondée sur les résultats d'analyse portant sur l'azote des nitrates n'a encore été évaluée adéquatement dans les cas suivants :

- ▶ des légumineuses ou du fumier ont été enfouis en fin d'été, à l'automne ou en début de printemps;
- ▶ une culture est mise en terre par semis direct après une culture de légumineuse pérenne.

Pour les analyses portant sur l'azote des nitrates, l'échantillonnage se fait plus profondément que pour les autres analyses de sol.



Les analyses faites sur des échantillons prélevés en début de printemps pourraient ne pas révéler la présence de nitrates dans les matières organiques appliquées à l'automne.

Les Laboratoires d'analyses de sols accrédités par l'Ontario Ltée

Rapport d'analyse de sol

Rapport n° 62269 destiné à J. Lebrun
Reçu le 10/09/08
Imprimé le 15/09/08

Le pH du sol indique s'il y a lieu d'épandre de la chaux.

Les analyses portant sur l'azote des nitrates nécessitent des échantillons séparés, pris plus en profondeur.

Valeurs analytiques						mg/kg	milligrammes par	
N°	Identité du champ	N° assigné par le labo	pH	pH tampon	M. O. (%)	NO ₃ -N	NaHCO ₃	P Bray
1	champ 1, ½ nord	998701	7,1		3,5		28 H	
2	champ 1, ½ sud	998702	7,2		3,2		33 TH	
3	champ 2, ½ nord	998703	6,9		4,0		35 TH	
4	champ 2, ½ sud	998704	5,7	6,8	2,8		25 H	
5	champ 3, ½ nord	998705	7,0		3,8		14 M	
6	champ 3, ½ sud	998706	7,1		3,3		26 H	
7	champ 1, butte érodée	998707	7,6		1,8		50 TH	

L'identité du champ est indispensable pour associer les résultats aux bons sols.

Il est recommandé de chauler les sols dont le pH révèle que la culture a besoin d'un milieu moins acide pour bien se développer. La dose est indiquée par le pH tampon.

Culture prévue :	Identité du champ	Dose d'engrais recommandée (kg/ha)					Chaux recommandée (t/ha)
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mn	Zn	
Maïs*							
1	champ 1, ½ nord	100*	20	0			0
2	champ 1, ½ sud	100*	0	0			0
7	champ 1, butte érodée	100*	0	0	0	4	0
Luzerne établie							
3	champ 2, ½ nord	0	0	0			0
4	champ 2, ½ sud	0	20	0			2
Soya							
5	champ 3, ½ nord	0	20	30			0
6	champ 3, ½ sud	0	0	0			0

*Se référer au logiciel de calcul de N pour le maïs pour obtenir des recommandations précises pour un sol en particulier, un certain niveau de rendement et les conditions prévalant pendant la culture précédente.

La plupart des analyses
sur les oligo-éléments
ne donnent pas des résultats
concluants. Pour le manganèse et
le zinc, l'analyse est reliée à la
teneur du sol en P pour établir
les recommandations de disponibilité.

La saturation en bases
est estimée à partir de
la teneur en cations mesurée.
Elle n'influe pas sur les
recommandations d'engrais.

litre de sol (ppm)										
K	Mg	Ca	Texture	Mn		Zn		Saturation en bases (%)		
				ppm	indice	ppm	indice	K	Ca	Mg
187 TH	112	2049	M					4,1	8,0	87,9
220 TH	167	2236	M					4,3	10,6	85,1
210 TH	127	1242	M					6,0	11,8	68,9
175 TH	158	897	C					5,2	15,2	51,8
108 TH	118	2710	F					1,9	6,6	91,5
160 TH	120	2814	F					2,7	6,5	90,9
235 TH	150	3257	M	2,5	14	1	14	3,3	6,9	89,8

DIFFÉRENTES MÉTHODES MENANT À DES RECOMMANDATIONS DE FERTILISANTS

Les producteurs peuvent recevoir des recommandations de fertilisants bien différentes selon les laboratoires qui les ont faites, à partir d'échantillons pourtant identiques. L'écart entre les recommandations s'explique en partie par l'utilisation de protocoles d'analyse différents. Toutefois, une grande part de l'écart est attribuable à la façon dont on interprète les résultats. La méthode choisie devrait correspondre au potentiel de rendement de la culture en question, au sol, et à la gestion de l'exploitation.

Dans la présente section, on examinera les principes directeurs de certaines méthodes couramment utilisées en Ontario pour faire des recommandations. On en profitera pour souligner les atouts et les faiblesses de chaque méthode.

En gros, il existe deux principales méthodes de gestion des éléments nutritifs. Les deux sont fondées sur les teneurs en éléments nutritifs qui ont été révélées par analyse. Ce sont : la méthode du **niveau de suffisance** et celle du **rehaussement et du maintien de l'état de fertilité**.

NIVEAU DE SUFFISANCE

L'objectif visé par la méthode fondée sur le niveau de suffisance est de maximiser les produits nets résultant des coûts de la fertilisation pendant l'année en cours. Pour qu'une matière fertilisante montre un profit, son apport doit entraîner une réponse de rendements assez grande pour compenser le coût de la fertilisation. En d'autres termes, l'engrais doit occasionner un rendement supplémentaire qui n'existerait pas sans lui.

Il s'ensuit que les teneurs en éléments nutritifs sont habituellement maintenues dans la plage inférieure, où la réponse de la culture est attendue.

Cette méthode n'est liée à aucun engagement financier à long terme. On veut que la fertilisation se traduise en un profit pendant la même saison de croissance. Il y a donc risque de pertes de rendements potentiels dues à une sous-fertilisation.

C'est la raison pour laquelle, on adoptera cette méthode de gestion sur les terres louées à court terme ou lorsque les disponibilités financières sont limitées et qu'aucune immobilisation ne justifie une dépense à long terme.

REHAUSSEMENT ET MAINTIEN DE L'ÉTAT DE FERTILITÉ

L'objectif de cette méthode est d'élever les teneurs en éléments nutritifs à des niveaux où, habituellement, ils ne risquent pas de limiter pas les rendements. On y parvient en apportant au sol plus de phosphore que la culture en prélève. La quantité supplémentaire de P fait augmenter sa concentration dans le sol. De façon pratique, on ajoute suffisamment de P chaque année pour que sa teneur atteigne le niveau recherché dans la période visée qui, typiquement, s'étend sur quatre ans.

Selon cette méthode, on est disposé à accepter des rendements économiques nets réduits, voire négatifs, au cours de la période de rehaussement dans l'espoir de saisir des rendements nets très supérieurs dans l'avenir, fondés sur des récoltes futures plus abondantes et plus uniformes.

Dans cette perspective, la fertilisation est perçue comme une dépense à long terme visant à réduire les risques qu'une carence en fertilité puisse limiter la productivité. Cette approche repose sur l'hypothèse selon laquelle à mesure que la fertilité du sol augmente, la probabilité que la culture réagisse aux apports d'engrais diminue.

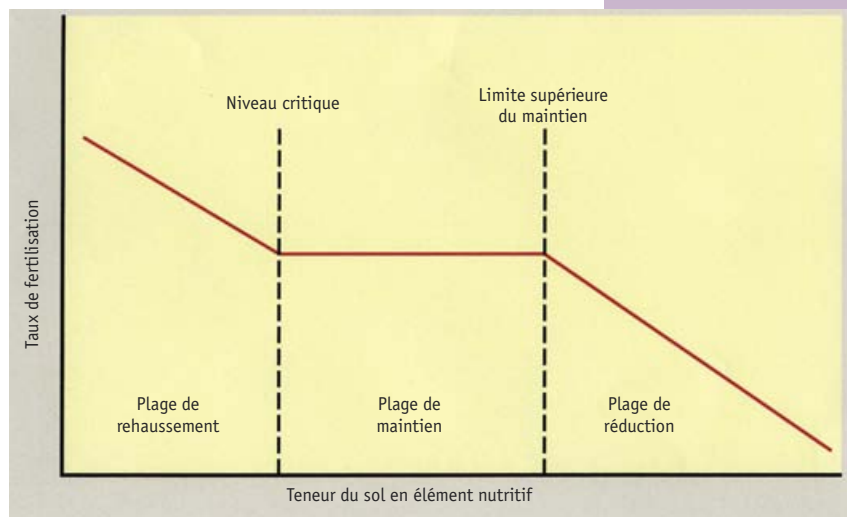
Une telle méthode de gestion convient le mieux aux terres qu'on possède en propre ou qui sont soumises à un bail de location à long terme, lorsque l'encaisse permet de soutenir des coûts de fertilisation élevés.

atouts

- on maintient les teneurs en éléments nutritifs peu mobiles à un haut niveau;
- la méthode donne l'assurance que les éléments nutritifs ne limitent aucunement les rendements.

faiblesses

- les taux de fertilisation recommandés durant la phase de rehaussement entraînent assez rarement, à court terme, des hausses de rendement susceptibles de compenser les coûts additionnels encourus;
- cette méthode ne se prête pas à la gestion des éléments nutritifs mobiles (p. ex. l'azote) car les quantités qui ne sont pas utilisées l'année de l'épandage risquent d'être perdues.



Selon la méthode du rehaussement et du maintien de l'état de fertilité, les apports d'éléments nutritifs comblent les besoins annuels de la culture et poussent les teneurs du sol jusqu'à la cote supérieure. Dans le cas d'un sol dont les teneurs en éléments nutritifs lui valent déjà la cote supérieure, on recommande des taux de fertilisation correspondant aux prélèvements de la culture afin que les niveaux d'éléments nutritifs ne chutent pas.

RAPPORTS DE SATURATION DES BASES

La méthode des rapports de saturation des bases s'applique surtout aux recommandations de potasse et, occasionnellement, à celles de calcium ou de magnésium. Les apports d'éléments nutritifs sont faits en vue d'équilibrer les teneurs en potassium, en calcium et en magnésium du sol selon des proportions précises.

atouts

- on reconnaît qu'il peut exister des antagonismes entre le calcium, le magnésium et le potassium.

faiblesses

- la richesse généralisée en magnésium et en calcium des nombreux sols à l'état naturel en Ontario peut entraîner la recommandation de doses de potassium très élevées et peu rentables;
- les données disponibles qui étayent un pourcentage ou rapport de saturation des bases précis favorisant la rentabilité économique sont rares ou inexistantes.

Dans les sols bien gérés, le rapport K:Ca:Mg peut varier à l'intérieur d'une large fourchette sans aucun effet sur les rendements de cultures, pour autant que la teneur en chacun soit suffisante.

INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS DE L'ANALYSE DE SOL ORDINAIRE DE L'ONTARIO

Les rapports préparés par différents laboratoires peuvent varier dans leur présentation, mais la plupart contiennent les renseignements suivants :

► la quantité recommandée de chaque élément nutritif à appliquer

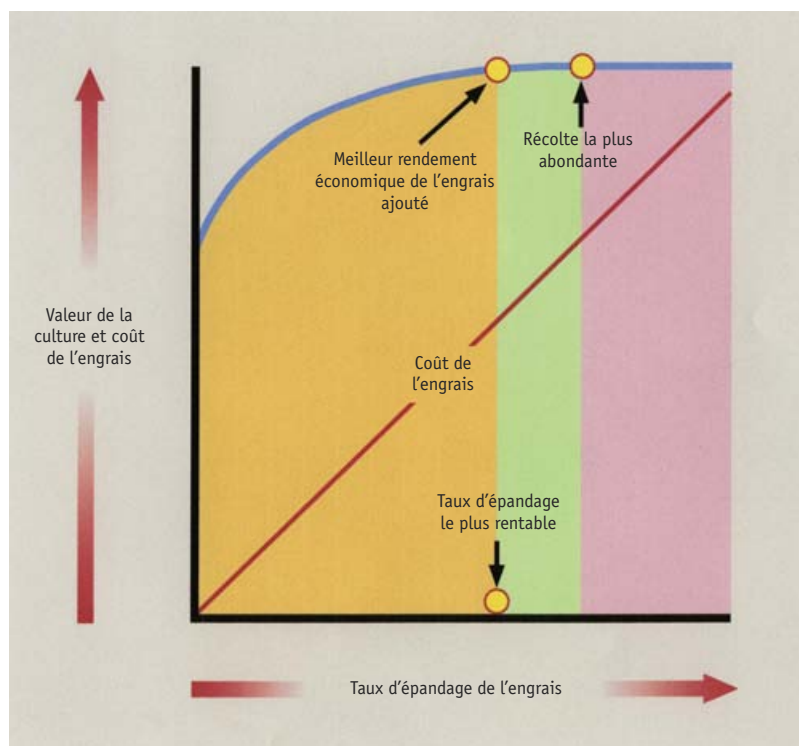
- ▷ les doses proposées font référence à la matière active et doivent donc être converties en quantité de fumier ou de matière fertilisante à épandre;
- ▷ les recommandations de chaulage sont habituellement exprimées en tonnes (métriques) de chaux (d'indice agricole 75) par hectare;

Les résultats peuvent être présentés de plusieurs façons. Les unités suivantes sont à peu près égales :

- parties par million (ppm),
- milligrammes par kilogrammes (mg/kg),
- milligrammes par litre (mg/L).



Au fur et à mesure qu'augmente la teneur du sol en un élément nutritif, la hausse de rendement qu'entraîne l'apport supplémentaire de cet élément devient de moins en moins marquée, et la dose d'épandage la plus rentable diminue.



La réponse des cultures à un apport accru d'éléments nutritifs s'atténue au fur et à mesure que le niveau de fertilité du sol augmente.

► **la teneur du sol en chacun des éléments nutritifs dosés par l'analyse**

- ▷ les recommandations d'éléments nutritifs sont fondées sur cette teneur (valeur numérique), prenant en compte les résultats d'essais en champ;
 - ▷ bien que, habituellement, la teneur soit exprimée en parties par million (ppm), elle est le plus utile en termes d'indice de probabilité que la culture aura une réaction à l'apport de l'élément nutritif;
 - ▷ les besoins en éléments nutritifs des cultures peuvent être déterminés à partir des tableaux qu'on retrouve dans les publications du MAAARO portant sur les recommandations pour différentes cultures (voir page 71);
 - ▷ en consignait les résultats des analyses de sol sur plusieurs années, l'agriculteur peut représenter les changements de fertilité du sol sous forme de tableau révélant un autre indice de la pertinence des doses appliquées.
- la cote du sol pour chaque élément nutritif – un indice de l'abondance ou de la carence pour la culture envisagée et de la réaction probable de cette culture à un apport de l'élément nutritif
- ▷ les cotes peuvent changer selon la culture envisagée;
 - ▷ les cotes aident aussi à adapter les recommandations d'engrais – elles sont des indices suggérant d'augmenter ou de diminuer les taux d'application proposés dans le rapport.

Le tableau suivant montre la signification des cotes pour une culture envisagée.

PROBABILITÉ DE RÉACTION À L'APPORT D'ÉLÉMENTS NUTRITIFS EN FONCTION DE LA TENEUR DU SOL RÉVÉLÉE PAR L'ANALYSE

TENEUR DU SOL	COTE DE RÉACTION	PROFITABILITÉ DE LA FERTILISATION	DOSE D'ENGRAIS OPTIMALE SUR LES SITES RÉCEPTIFS
BASSE	réaction haute (RH)	réaction profitable dans la plupart des cas	élevée
MOYENNE	réaction modérée (RM)	réaction profitable dans la moitié des cas environ	moyenne
HAUTE	réaction faible (RF)	rarement profitable	basse – peut-être engrais de démarrage seulement
TRÈS HAUTE	réaction rare (RR)	très rarement profitable	très basse – souvent engrais de démarrage seulement
EXCESSIVE	réaction nulle ou négative (RN)*	en général, l'application d'engrais n'est pas profitable*	nulle

* L'apport d'un élément nutritif à un sol ayant déjà une teneur supérieure au niveau optimal peut réduire les rendements ou la qualité de la récolte en interférant avec l'absorption d'autres éléments nutritifs.

Les exploitants qui sont tenus de préparer un plan de gestion des éléments nutritifs (PGEN) doivent fonder le taux d'épandage maximal permis de fumier ou d'autres matières organiques sur des résultats d'analyse de sol approuvés par le MAAARO. Envoyer les échantillons à un laboratoire accrédité, demander les analyses de sol approuvées et préciser que le rapport doit fournir les recommandations d'engrais du MAAARO.

Très peu de champs ont une teneur en éléments nutritifs uniforme sur toute leur surface. Même lorsque les analyses révèlent des niveaux d'éléments nutritifs suffisants, il peut se trouver des enclaves à l'intérieur du champ qui réagiront positivement à un apport supplémentaire d'éléments nutritifs.

MÉTHODE PRÉCONISÉE EN ONTARIO

Les doses de phosphore et de potassium recommandées par le MAAARO sont fondées sur le principe du niveau de suffisance. La recherche et l'expérience sur la ferme continuent de montrer que ces doses sont suffisantes dans la plupart des situations, même lorsque le rendement s'élève bien au-dessus de la moyenne.

Les recommandations sont basées sur les résultats d'essais au champ réalisés pour chaque culture en vue d'établir la dose optimale pour chaque niveau de fertilité du sol. La seule dose préconisée est celle qui maximisera le rendement économique de l'apport additionnel d'engrais dans la campagne culturale en cours.

Quand les éléments nutritifs sont épandus comme il est recommandé, la fertilité du sol augmente graduellement si les doses recommandées correspondent ou dépassent les prélèvements faits par la culture.

Les rendements économiques des cultures affichent des unités d'augmentation décroissantes au fur et à mesure qu'on augmente les doses d'engrais, de sorte qu'à un certain point l'augmentation des profits est inférieure à la hausse des coûts. Le taux d'application des éléments nutritifs le plus profitable donne une récolte légèrement inférieure au rendement cultural maximum.

Sur les sols auxquels les résultats d'analyse attribuent une cote de réaction faible (RF) ou rare (RR) pour un élément nutritif donné, l'apport de cet élément nutritif, bien souvent, ne rapporte pas. Certains agriculteurs choisissent néanmoins un taux d'application correspondant au prélèvement

par la culture afin de maintenir élevée la fertilité du sol et de pourvoir à une éventuelle réaction de la culture. Lorsque l'analyse attribue la cote de réaction RF (faible), on peut s'attendre à une hausse de rendement dans moins de un cas sur deux.

Recommandations générales

On peut trouver des recommandations générales pour combler les besoins des cultures en éléments nutritifs aux endroits suivants :

- les publications du MAAARO portant sur les recommandations pour différentes cultures (voir ci-dessous);
- le logiciel de gestion des éléments nutritifs « NMAN » et son cahier d'exercices – disponibles auprès du MAAARO;
- le site Web du MAAARO à www.ontario.ca/cultures.

Toutes les recommandations d'engrais et d'éléments nutritifs sont élaborées en vue d'apporter le meilleur rendement économique, dans la majorité des cas.

Pour des renseignements plus détaillés ou de l'information spécifique à une culture, consulter les publications suivantes du MAAARO :

Publication 298, *Flue-Cured Tobacco Production Recommendations* (en anglais seulement).

Publication 360F, *Recommandations pour les cultures fruitières*

Publication 363F, *Recommandations pour les cultures légumières*

Publication 370F, *Recommandations pour la culture des fleurs et des plantes d'ornement en serre*

Publication 371F, *La culture des légumes de serre*

Publication 383F, *Plantes de pépinière et d'ornement – Culture et lutte intégrée*

Publication 384F, *Recommandations pour la gestion des gazons*

Publication 610, *Production Recommendations for Ginseng* (en anglais seulement)

Publication 611F, *Manuel sur la fertilité du sol*

Publication 811F, *Guide agronomique des grandes cultures*



Pour obtenir des résultats précis, il faut absolument employer les techniques d'échantillonnage préconisées.

ANALYSE DE TISSUS VÉGÉTAUX

L'analyse chimique de tissus végétaux peut servir au diagnostic de problèmes dans le champ ou à l'élaboration de recommandations d'engrais.

Bien que les procédures analytiques soient similaires dans les deux cas, le prélèvement des échantillons et l'interprétation des résultats peuvent différer grandement.



L'analyse de tissus végétaux peut aider au diagnostic de problèmes récurrents en des points précis.

Les conditions suivantes influent sur la concentration des éléments nutritifs :

- niveaux extrêmes d'autres éléments nutritifs,
- basses températures,
- dommages dus à des sels solubles,
- acidité du sol,
- pourridié ou autres maladies,
- ravages par des insectes,
- compactage du sol,
- sécheresse,
- inondation.

L'ANALYSE DE TISSUS EN VUE DE RECOMMANDATIONS D'ENGRAIS

L'analyse de tissus végétaux est la façon la plus fiable d'évaluer l'état nutritionnel des arbres fruitiers et des vignes, puisque ces cultures vivaces ont un système racinaire qui s'étend bien au-delà de la profondeur normale des échantillonnages de sol. On devrait prélever un échantillon de sol au même moment, afin de pouvoir faire une corrélation entre l'état nutritionnel de l'arbre et les conditions édaphiques, comme le pH.

L'analyse des tissus est aussi la meilleure méthode pour identifier la plupart des carences en oligo-éléments chez les cultures. Il faut souligner qu'il vaut rarement la peine de prélever au hasard des échantillons de tissus sur des plantes qui ne manifestent aucun problème, étant donné que la teneur en oligo-éléments de la majorité de nos sols est suffisante. Toutefois, il est avantageux d'effectuer périodiquement des analyses de tissus végétaux dans les champs qui ont des antécédents de carences en certains oligo-éléments, ainsi que chez les cultures de grande valeur.

Ce type d'analyse repose normalement sur le prélèvement d'échantillons à un moment précis de la croissance d'une culture, afin que les résultats soient comparés à des valeurs « critiques » affichées dans des tableaux. L'engrais est appliqué lorsque les teneurs en éléments nutritifs sont inférieures aux valeurs critiques.

Échantillonnage de tissus pour des analyses de routine

Les analyses routinières de tissus sont utiles pour de nombreuses cultures fruitières de verger, chez lesquelles le système racinaire s'étend bien plus profondément que les quinze premiers centimètres (6 po) de sol.

Prélever les échantillons à travers l'ensemble du groupe d'arbres, en échantillonnant séparément les cultivars différents ou les zones montrant des problèmes en particulier.

Les échantillons doivent être prélevés à des stades précis de la croissance de la culture pour donner des renseignements utiles à la recommandation d'engrais.

Chez certaines cultures annuelles de grande valeur, l'analyse périodique de tissus végétaux permet de dépister les accumulations d'éléments nutritifs et de déceler les carences émergentes avant qu'elles n'affectent le rendement.



Des symptômes de carence persistent souvent sur les vieilles feuilles après que la culture se soit rétablie.



On est en train d'élaborer certaines techniques qui utiliseront la couleur des feuilles ou la teneur de la sève en nitrate comme indicateurs de l'état des plantes en ce qui concerne l'azote afin de guider les épandages d'azote en bandes.

L'ANALYSE DE TISSUS EN VUE D'UN DIAGNOSTIC

L'analyse de tissus végétaux est le plus susceptible d'aider à poser un diagnostic sur des cultures qui se développent mal et pour lesquelles ni les symptômes visuels, ni les analyses de sol ont été concluantes.

Il ne faut pas oublier cependant que l'analyse de tissus montre l'état de la culture à l'égard de certains éléments nutritifs uniquement le jour de l'échantillonnage. Elle n'indique pas si la culture en aura suffisamment pour sa croissance durant toute la saison, ni si cette dernière s'est rétablie d'une carence antérieure.

Prélever les échantillons en périphérie de la zone affectée. Les plantes dont les blessures sont légères s'avèrent souvent de meilleurs indicateurs que celles sévèrement rabougries ou mortes.

Interpréter les résultats d'analyse avec prudence, et seulement après avoir soigneusement examiné les conditions édaphiques et culturales. L'application d'un engrais contenant un certain élément nutritif sur une plante dont la teneur en cet élément nutritif est inférieure au niveau critique ne se traduit pas nécessairement en un avantage quelconque.

L'information aidant à interpréter les résultats n'est pas aussi abondante pour les analyses de tissus végétaux que pour les analyses de sol. On a établi des fourchettes de niveaux normaux et critiques pour certaines cultures dont les données accumulées étaient assez nombreuses.

À noter que les mesures présentes s'avèreront utiles seulement pour des cultures dont les échantillons ont été prélevés au même stade de croissance et sur la même partie de la plante que les échantillons de recherche. Par conséquent, il faut absolument que les méthodes d'échantillonnage de tissus préconisées soient suivies à la lettre.

Si un problème se manifeste dans la culture bien avant le stade recommandé pour l'échantillonnage, on pourrait en trouver la cause en comparant les résultats d'échantillons pris dans la zone affectée et à ceux d'échantillons prélevés à quelque distance sur des plantes en santé.

De plus amples renseignements sur l'analyse de tissus végétaux et sur l'interprétation des résultats sont disponibles dans les publications du MAAARO énumérées à la page 71.

ANALYSE DE FUMIER

ÉCHANTILLONNAGE

Les analyses de fumier, comme les analyses de sol, ne donneront des résultats fiables que dans la mesure où l'échantillonnage a été bien réalisé. La composition du fumier peut varier considérablement d'un point à un autre de l'installation de stockage et selon la profondeur d'échantillonnage. Par conséquent, l'échantillon doit être prélevé de façon à représenter toute la masse de fumier, et non pas seulement le fumier qui se trouve en surface. Il faut s'assurer de prendre des sous-échantillons à plusieurs endroits de l'entrepôt ou du chargement, et à différentes profondeurs.

Fumier liquide

Étape 1



Bien remuer le fumier avant de prendre des échantillons.

Étape 2



Prélever au moins cinq échantillons au hasard dans la masse de fumier. On peut prendre les échantillons directement dans l'installation de stockage pleine ou au fur et à mesure qu'elle est vidée.

Étape 3



Dans le cas de grandes installations de stockage, prélever au moins un sous-échantillon supplémentaire par tranche de 200 m³ de matière.

Étape 4



Utiliser un contenant propre, non métallique, et muni d'un couvercle pour le prélèvement des échantillons (p. ex. un seau en plastique de 20 L).

Étape 5



Rassembler les échantillons dans un contenant plus grand, non métallique (p. ex. une poubelle en plastique); garder le couvercle en place sur le contenant sauf pendant l'ajout des échantillons.

Étape 6



Bien mélanger l'échantillon composite.

Étape 7



Prélever dans ce mélange (échantillon composite) l'échantillon à envoyer au laboratoire.

Étape 8



Ne pas remplir les contenants à échantillon à plus la $\frac{1}{2}$ ou des $\frac{2}{3}$ de la capacité totale de chacune, de façon qu'il reste assez de volume libre pour absorber toute augmentation de pression et que le contenant ne risque pas d'éclater. Habituellement, un contenant à échantillon de 500 mL suffit.

Fumier solide

Étape 1



Prélever les échantillons à différentes profondeurs. L'échantillonnage est plus facile à effectuer pendant la vidange de l'installation de stockage. Si un tas de fumier doit être échantillonné à un autre moment, on devra alors utiliser de l'équipement capable de prendre des carottes sur toute la profondeur du tas.

Étape 2



Prélever au moins 10 échantillons de fumier au hasard, dans chaque tas de 100 m³ ou moins. Dans le cas de tas plus gros, augmenter le nombre d'échantillons en conséquence.

Étape 3



Placer ces échantillons dans un grand contenant non métallique muni d'un couvercle (p. ex. une poubelle en plastique), et garder le couvercle en place sauf pendant l'ajout d'échantillons.

Étape 4



Une fois que l'échantillonnage est terminé, verser les échantillons sur une grande surface propre pour faciliter le malaxage. Briser les mottes, hacher et mélanger les matières au moyen d'une pelle propre. Diviser le tas en quatre tas égaux.

Étape 5



Éliminer deux des quarts opposés et rassembler les deux quarts restants. Répéter le processus jusqu'à ce qu'il ne reste plus qu'un échantillon composite d'environ 1 kg.

On peut se procurer des contenants à échantillons auprès du laboratoire qui effectuera l'analyse ou d'un bureau régional du MAAARO.



EXPÉDITION

Lorsque les sous-échantillons ont été parfaitement mélangés ensemble, suivre les cinq étapes suivantes :

1. Remplir à moitié chaque contenant à échantillon et fermer le couvercle fermement;
2. Placer le contenant dans un sac de plastique robuste et fermer le sac solidement.
3. Déposer le sac et la feuille de renseignements dans une boîte avec suffisamment de matériau d'emballage pour prévenir tout dommage.
4. Garder l'échantillon au frais jusqu'à ce qu'il soit apporté au laboratoire ou expédié par service de messagerie;
 - la pression des gaz produits par le fumier peut causer l'éclatement du contenant lorsque l'échantillon est gardé à une température élevée.
5. Les échantillons doivent être livrés au laboratoire dans les deux jours suivant l'expédition;
 - Planifier l'expédition de sorte que l'échantillon ne passe pas le week-end chez le messenger.

PGO CONCERNANT L'ÉPANDAGE DES ÉLÉMENTS NUTRITIFS

« L'efficacité d'utilisation des éléments nutritifs se définit de maintes façons. Plusieurs d'entre elles sont axées sur l'aptitude d'une culture à prélever les éléments nutritifs qui ont été épandus. Des hausses d'efficacité sont facilement réalisables à court terme lorsqu'on réduit les taux d'application. Toutefois, des taux inférieurs au niveau optimal peuvent diminuer l'efficacité à long terme des systèmes culturaux.

L'efficacité durable met l'accent sur :

- l'assurance que tous les éléments nutritifs sont utilisés, et non pas gaspillés,
- la satisfaction des besoins des cultures,
- le maintien de la fertilité du sol. »

– Tom Bruulsema, Ph.D.,
International Plant
Nutrition Institute



Utiliser le bon taux de chaque élément, au bon moment et au bon endroit. Voilà en quelques mots l'objectif des pratiques de gestion optimales relatives à l'épandage des éléments nutritifs.

La difficulté vient du fait qu'on veut atteindre ce triple objectif pour nombre de cultures, de sols et de climats différents, au moyen de machines très variées. Dans le présent chapitre, on propose des PGO qui s'appliquent à des situations courantes dans lesquelles entrent en jeu des forces parfois conflictuelles visant à optimiser la rentabilité, la commodité et la gestion environnementale.

Le chapitre servira de guide pour réaliser notre objectif :

- utiliser le bon taux
 - ▷ en prenant en compte les éléments nutritifs provenant de toutes les sources;
 - ▷ en utilisant des PGO relatives à l'épandage de fumier liquide et de biosolides;
 - ▷ en équilibrant l'apport et les prélèvements d'éléments nutritifs à long terme;
 - ▷ en réglant les épandeurs et le matériel de semences – avec les accessoires de distribution d'engrais;
- choisir le bon moment
 - ▷ en harmonisant les périodes d'épandages et de prélèvements;
 - ▷ en prévenant le compactage du sol;
 - ▷ en adaptant les travaux à la rotation culturale;
- épandre au bon endroit
 - ▷ en visant la plus grande accessibilité par la culture;
 - ▷ en étant extrêmement prudent dans les zones très susceptibles de contaminer l'eau de surface ou l'eau souterraine.

On passera d'abord en revue certaines notions fondamentales de l'efficacité d'utilisation des éléments nutritifs, puisque cette information est au cœur même de tout effort pour améliorer les profits tout en réduisant les répercussions néfastes des épandages sur l'environnement.

EFFICACITÉ D'UTILISATION DES ÉLÉMENTS NUTRITIFS

L'efficacité d'utilisation des éléments nutritifs s'entend de l'aptitude d'une culture à utiliser les éléments nutritifs présents dans le sol. Plus une culture prélève d'éléments nutritifs et en utilise, moins il en reste qui sont exposés à des pertes – notamment par lessivage ou par volatilisation – ou qui sont susceptibles de devenir liés et donc non disponibles.

Les systèmes de gestion des éléments nutritifs axés sur l'amélioration de l'efficacité d'utilisation des éléments nutritifs comprennent des pratiques qui :

- fournissent à la culture la quantité requise d'éléments nutritifs sous des formes que celle-ci peut assimiler (biodisponibles) et au moment où elle en a besoin;
- placent les éléments nutritifs là où les racines sont à même de les prélever;
- réduisent la quantité d'éléments nutritifs (p. ex. nitrates) présents dans le sol au moment où la culture n'est pas à même de les prélever;
- tiennent compte de toutes les sources d'éléments nutritifs biodisponibles et en assurent la gestion;
- interviennent au niveau de la gestion des cultures, des sols et de l'eau afin de favoriser la croissance vigoureuse des cultures.

PGO VISANT À AMÉLIORER L'EFFICACITÉ D'UTILISATION DES ÉLÉMENTS NUTRITIFS

ACTIVITÉ	PGO
ROTATION CULTURALE	<ul style="list-style-type: none"> ✓ pratiquer la rotation des cultures, sachant que la croissance d'une culture est toujours meilleure lorsqu'elle suit toute culture autre qu'elle-même et qu'elle améliore du coup l'absorption des éléments nutritifs ✓ planter une légumineuse ou des plantes fourragères avant une culture ayant des besoins élevés en azote <ul style="list-style-type: none"> ◦ les légumineuses et plantes fourragères fixent l'azote de l'atmosphère, le rendant ainsi disponible pour les cultures subséquentes
SÉLECTION VARIÉTALE	<ul style="list-style-type: none"> ✓ envisager de choisir des cultivars donnant le plus haut rendement pour une quantité fixe d'intrants car ils auront le plus haut niveau d'efficacité d'utilisation des éléments nutritifs et de l'eau
TRAVAIL DU SOL	<p>Dans les systèmes reposant sur le travail réduit du sol :</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ faire des épandages en bandes localisées dans la zone racinaire car ils sont plus avantageux comparés aux applications en pleine surface
SOURCE D'ÉLÉMENTS NUTRITIFS	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ne pas tenter de combler tous les besoins de la culture avec de l'azote provenant du fumier ✓ épandre du fumier pour satisfaire une partie seulement des besoins en N de la culture, et compléter avec une application d'engrais azoté, afin d'éviter de fournir trop de phosphore et afin de compenser le manque d'uniformité de l'épandage du fumier
ÉPOQUE CHOISIE	<ul style="list-style-type: none"> ✓ recourir à des applications fractionnées dans les cultures de céréales et d'oléagineuses, de sorte que la plus grande partie de l'azote est fournie juste avant le prélèvement maximal par la culture
CULTURES-APPÂTS	<ul style="list-style-type: none"> ✓ utiliser des cultures-appâts pendant la contre-saison pour recycler l'azote biodisponible

Les cultures-appâts telles que le radis oléagineux sont des cultures couvre-sol qui sont cultivées dans la contre-saison pour emprisonner les éléments nutritifs lorsqu'ils sont appliqués et les rendre disponibles à la culture de l'année suivante.



Les cultures couvre-sol composées de légumineuses fournissent de l'azote aux cultures subséquentes.



Les cultures couvre-sol aident à prévenir l'érosion des terres et à accumuler de la matière organique dans le sol, ce qui garde davantage d'éléments nutritifs dans le champ.

Améliorer l'efficacité d'utilisation des éléments nutritifs provenant du fumier permet :

- d'augmenter les rendements et de hausser la qualité des produits;
- de réduire les apports de fertilisants et les coûts liés aux épandages;
- de réduire le ruissellement et la contamination des eaux souterraines.

L'atteinte de ces objectifs est difficile à cause de la variabilité des besoins des cultures et des conditions culturales et à cause de l'imprécision dans la détermination des besoins et des taux d'application.

LE BON TAUX

LE BON TAUX – SOMMAIRE DES PGO

PGO	EXPLICATIONS
✓ Faire analyser le sol (voir p. 56–61)	<ul style="list-style-type: none"> demander des analyses régulièrement, en recourant à des échantillons prélevés au même stade de la rotation et au même endroit dans le champ
✓ Faire analyser des tissus (voir p. 71–72)	<ul style="list-style-type: none"> pour les cultures pérennes ou de grande valeur – vérifier la teneur des éléments nutritifs et ajuster les applications en conséquence pour toutes les cultures – diagnostiquer les carences nutritives
✓ Interpréter les résultats d'analyse sur la fertilité (voir p. 68–71)	<ul style="list-style-type: none"> utiliser uniquement les résultats d'analyse qui sont pertinents à chaque situation donnée rechercher les tendances de la fertilité au fil des ans déterminer si le principe de suffisance ou celui du rehaussement et du maintien est approprié à la situation en main fonder ses décisions sur les recommandations faites par le MAAARO
✓ Prendre en compte toutes les sources d'éléments nutritifs	<ul style="list-style-type: none"> prendre en compte les éléments nutritifs disponibles provenant du fumier et de la culture précédente combler les besoins en azote de la culture en recourant à la fois au fumier et à l'engrais
✓ Adapter les taux en fonction des limites environnementales	<ul style="list-style-type: none"> prendre en compte la charge de liquide et le risque de ruissellement vu la profondeur de la roche-mère, la profondeur de nappe phréatique, la pente du champ et la texture du sol
✓ Équilibrer les apports et les prélèvements à long terme	<ul style="list-style-type: none"> satisfaire les besoins en N de la culture élever les teneurs du sol en P et en K aux niveaux désirés et les y maintenir en équilibrant apports et prélèvements à long terme
✓ Régler le matériel d'épandage	<ul style="list-style-type: none"> régler les épandeurs à fumier solide à l'aide des PGO utiliser les PGO pertinentes pour régler tout accessoire de fertilisation attelé à un matériel de semis faire le réglage des épandeurs à fumier liquide en s'aidant des PGO

PRENDRE EN COMPTE TOUTES LES SOURCES D'ÉLÉMENTS NUTRITIFS

Comme le fumier et les légumineuses sont déjà présents sur la ferme, il est logique d'utiliser ces sources d'éléments nutritifs avant d'acheter des engrais.

Quand le fumier est épandu de manière à combler la totalité des besoins en N de la culture, la quantité de P apportée du même coup dépasse la quantité prélevée par la culture. Lorsque cette situation se répète sur plusieurs années, la teneur du sol en phosphore s'élève jusqu'au point où les cultures ne tirent aucun profit de phosphore supplémentaire, et il y a même risque accru de contamination des eaux de surface avoisinantes.

Dans le cas des épandages de fumier annuels, on peut éviter d'accumuler le P en excès en limitant les épandages de fumier de façon qu'ils ne contribuent pas plus que les deux tiers ou les trois quarts des besoins totaux en azote de la culture. Le N restant est alors fourni par un engrais commercial. Lorsqu'on épand du fumier aux deux ans ou plus, on peut épandre le fumier à une dose plus élevée, mais cette dose ne doit pas dépasser les besoins de la culture.

Pour transformer les « déchets » en « ressources », on doit maximiser la disponibilité des éléments nutritifs provenant de ces sources et prendre en compte les éléments nutritifs fournis par les engrais commerciaux.



Il est souhaitable qu'une portion de l'azote soit d'origine minérale (engrais commercial), parce que l'azote contenu dans les matières organiques est libéré à un taux qui varie selon les conditions climatiques. Par exemple, quand le temps est frais et humide, il se peut que la culture ne reçoive pas assez d'azote d'origine organique pour connaître une croissance optimale et donner les meilleurs rendements. En outre, comme l'épandage de fumier manque souvent d'uniformité, certaines parties du champ ne reçoivent pas assez de fumier pour combler les besoins de la culture. L'application en pleine surface d'un engrais azoté aidera à hausser le rendement moyen en veillant à ce que toutes les parties du champ aient reçu une certaine quantité de N.

En réduisant le taux d'application de N provenant du fumier on diminue du coup la quantité de P appliquée. Dans les cas où la teneur en phosphore n'est pas trop élevée, on peut épandre le fumier de façon à combler tous les besoins en P — pourvu que les besoins en N ne soient pas dépassés. Ne pas oublier de prendre en compte le P résiduel des applications antérieures de fumier.

Seulement 40 % du P provenant du fumier est considéré comme biodisponible l'année de l'application — un fait largement attribuable au manque d'uniformité des épandages en pleine surface et à l'imprécision des épandages en localisation, de sorte que les racines ont difficilement accès au phosphore contenu dans le fumier. Au moins 80 % des apports de P finissent par contribuer à l'augmentation de la teneur du sol en P.

L'épandage du fumier est souvent inégal, de sorte que certaines parties du champ sont incapables de combler les besoins de la culture à partir du fumier. Pour contourner ce problème, on peut réduire la dose de fumier et appliquer un engrais azoté commercial en pleine surface pour qu'une certaine quantité d'azote soit distribuée partout dans le champ.



« J'utilise le logiciel NMAN comme un outil pour équilibrer les éléments nutritifs qu'apportent le fumier et les engrais commerciaux. L'équilibrage des apports d'éléments nutritifs nous fait économiser beaucoup sur les coûts de fertilisation. C'est meilleur pour l'environnement et ça nous permet d'obtenir un rendement économique avantageux, à notre avis. »

**– Dave Biesenthal,
Walkerton**

ADAPTER LES TAUX EN FONCTION DES LIMITES ENVIRONNEMENTALES

Certains endroits sont, de par leur nature, plus susceptibles de perdre des éléments nutritifs (en particulier, les nitrates, par lessivage) que d'autres, et les taux d'application devraient être adaptés en conséquence. Au nombre des sols les plus à risque, mentionnons ceux dont le potentiel de ruissellement est élevé, ceux dont la roche-mère se trouve à peu de profondeur et ceux dont les eaux souterraines sont proches de la surface.

Deux facteurs favorisent le déplacement des éléments nutritifs depuis leur lieu d'application :

- les quantités totales appliquées,
- le volume des matières qui transportent les éléments nutritifs.



Dans les champs qui ne reçoivent du fumier qu'une fois aux deux ou trois ans, il vaut peut-être mieux utiliser une dose plus élevée de N provenant du fumier. Il faut s'assurer que cette dose ne dépasse pas les besoins de la culture.

Les éléments nutritifs qui ne sont ni utilisés par la culture ni retenus solidement par le sol sont facilement transportés jusqu'à l'eau de surface ou jusqu'à l'eau souterraine. Ce genre de perte concerne les éléments nutritifs provenant aussi bien des engrais commerciaux que des sources organiques. Le facteur clé relève donc de la gestion : **il faut aligner les taux d'application sur les besoins de la culture.**

Les matières nutritives dites « diluées », comme le fumier et les biosolides, peuvent être épandues à grands volumes pour satisfaire les besoins des cultures en éléments nutritifs. Il ne faut pas perdre de vue que ces matières, en particulier les matières liquides, sont susceptibles de se déplacer du lieu d'épandage soit au moment même de l'application, soit au cours d'une averse de pluie ou d'une fonte de neige subséquente.

Vérifier la fermeture adéquate des sillons créés par le matériel de fertilisation

Dans les pentes où l'on a épandu en bandes du fumier ou des engrais dans le sens de la pente, les rainures laissées par les organes ouvreurs peuvent donner lieu à de l'érosion en rigoles pendant les précipitations subséquentes.

Dans un tel cas, toutefois, le déversement d'éléments nutritifs concentrés directement dans des eaux de surface est une menace bien pire encore pour l'environnement que le déplacement de particules de sol.

On doit donc s'assurer que le matériel est réglé de manière à prévenir cette situation ou se procurer de l'équipement attelé sur la barre-outils qui permet de bien refermer les sillons.

ÉPANDAGES DE FUMIER LIQUIDE ET DE BIOSOLIDES



Ruissellement de surface

Les risques de ruissellement sont d'autant plus élevés que la perméabilité du sol est faible et que la pente du terrain est importante. Autrement dit, il se produit beaucoup plus de ruissellement dans les pentes que sur les terrains plats, et plus aussi sur les terres argileuses que sur les sols sableux.

✓ **Ne pas épandre de matières liquides à des taux favorisant le ruissellement de ces matières depuis le lieu d'épandage.**



Infiltration

Les liquides appliqués à grands volumes peuvent pénétrer dans le sol à la faveur des fissures, des galeries creusées par les vers de terre et d'autres ouvertures de grand diamètre. Cette infiltration peut accroître les risques de contamination des eaux souterraines, et même des eaux de surface s'il y a écoulement préférentiel vers un tuyau de drainage. L'eau souterraine risque davantage d'être contaminée dans les sols où la roche-mère est fissurée près de la surface ou que l'eau souterraine se trouve à faible profondeur.

Les risques de ruissellement en surface sont moindres sur un sol sableux que sur une argile, mais les dangers associés à une infiltration excessive sont eux beaucoup plus grands.

Pour prévenir les écoulements préférentiels dans les fissures larges et les grands trous :

- ✓ **Garder les taux d'application assez bas pour éviter la création de flaques** à la surface du sol;
- ✓ **Faire un travail du sol préalable** pour détruire toutes les fissures larges et toutes les galeries de vers de terre;
- ✓ **Ne faire aucun épandage sur des sols mouillés.**

Pour plus de détails sur les limites précises concernant l'épandage du fumier, consulter le fascicule de la série PGO, *Gestion des fumiers*, ou le logiciel NMAN et son cahier de travail.



Contamination potentielle des eaux de surface par ruissellement du fumier

Le fumier contient des éléments nutritifs et des organismes pathogènes. Tous deux doivent être gardés hors de l'eau. De nombreux facteurs influent sur la distance devant séparer un cours d'eau et l'épandage de fumier, notamment :

- la capacité du sol à absorber l'eau au moment de l'application,
- l'inclinaison du sol près du cours d'eau,
- la texture du sol,
- le type de fumier, la méthode d'application et le volume.

Là où le fumier est appliqué et enfoui quelques jours avant les semis, la distance de retrait à respecter ne sera pas nécessairement aussi grande que sur un sol où du fumier épandu en début de printemps est laissé en surface – pour une pente et une texture données. Dans le cas où l'eau de surface entre dans un cours d'eau sous forme d'écoulement concentré, il serait plus logique de calculer la distance de retrait le long du trajet de l'écoulement plutôt que la distance directe au cours d'eau.

L'application d'éléments nutritifs sur la roche-mère exposée à l'air risque fort de causer la contamination des eaux souterraines et n'entraîne pas une hausse des rendements de culture. Il faut donc garder toute application à au moins 3 mètres (10 pi) de distance.

ÉQUILIBRER LES APPORTS ET LES PRÉLÈVEMENTS À LONG TERME

À long terme, les quantités d'éléments nutritifs apportées au sol (en particulier celles de phosphore) devraient correspondre à peu près aux quantités de ces mêmes éléments nutritifs qui ont été prélevées par les parties récoltées des cultures. Dans les sols pauvres, il convient d'utiliser des taux d'application plus élevés qui, en plus d'assurer des rendements de culture profitables, permettent d'augmenter la fertilité du sol.

Par exemple, dans un assolement de maïs-soya-blé en rotation, les prélèvements nets par les cultures, sur trois ans, seraient de 400 lb/ac de N (dont 190 de la fixation par les légumineuses), 145 de P_2O_5 et 140 de K_2O . L'épandage de 7000 gal/ac de fumier liquide de porcs à l'engraissement, répartis entre le maïs et le blé, fournirait 266 lb/ac de N assimilable, 147 de P_2O_5 et 175 de K_2O , ce qui correspond étroitement aux prélèvements de P et ne dépasse que légèrement ceux de N et de K.

Si le fumier était épandu de manière à combler seulement les besoins du maïs en N, soit au taux d'environ 4000 gal/ac, les apports de phosphate et de potasse seraient déficitaires, et les quantités manquantes devraient provenir soit des réserves du sol, soit d'un engrais commercial.

Parfois, il convient d'envisager l'application d'engrais commerciaux dans une perspective à long terme. Il n'est pas rare, par exemple, qu'on épande un surplus d'engrais dans le maïs afin qu'en bénéficie une culture subséquente de soya.



RÉGLER LE MATÉRIEL DE FERTILISATION ATTELÉ SUR UN ÉPANDEUR OU UN SEMOIR

Le réglage passe par les étapes ci-dessous.

1. Évaluation de l'uniformité d'application :

- ▶ semoirs/planteuses – le taux devrait être uniforme sur toute la largeur du matériel;
- ▶ épandeurs centrifuges (pleine surface) – de façon générale, le débit relatif est le plus haut directement derrière l'épandeur et il diminue régulièrement à mesure qu'on s'éloigne latéralement de la sortie de l'épandeur;
- ▶ lorsque les débits manquent d'uniformité, il faut se référer au manuel de l'utilisateur pour corriger le réglage.

2. Détermination de la largeur d'épandage réelle :

- ▶ semoirs/planteuses — la largeur réelle d'épandage est la largeur du matériel;
- ▶ équipement créant un motif d'épandage — elle correspond à la distance jusqu'aux points où le débit chute à mesure qu'on s'éloigne du point de sortie;
- ▶ la largeur d'épandage correspond à la distance entre les points situés à gauche et à droite de la bande d'épandage où le taux d'application égale la moitié de celui qu'on mesure au centre de la bande.

3. Réglage :

- ▶ 1^{re} méthode
 - ▷ emplir le matériel à un niveau marqué,
 - ▷ circuler jusqu'à ce que la surface couverte corresponde à un acre,
 - ▷ mesurer la quantité requise pour remplir le matériel au même niveau.
- ▶ 2^e méthode
 - ▷ peser le matériel et son contenu,
 - ▷ épandre du fumier sur plusieurs acres,
 - ▷ peser de nouveau le matériel et son contenu;
 - ▷ diviser la différence de poids par le nombre d'acres couverts.

Nota : La surface couverte est égale à la largeur d'épandage réelle multipliée par la distance parcourue.

Pour plus d'information sur le réglage des épandeurs à fumier liquide, voir la fiche technique du MAAARO sur ce sujet. Elle offre des équations permettant de calculer la vitesse de déplacement selon le taux d'application voulu, la largeur d'épandage et le temps nécessaire pour épandre une charge donnée.

Pour connaître les pratiques de gestion optimales concernant le réglage des matériels d'épandage de fumier liquide ou solide, consulter le fascicule de la série PGO intitulé *Gestion des fumiers*.



Une fois que la largeur réelle d'épandage est connue, on obtiendra une grande uniformité d'épandage dans le champ en faisant chevaucher les bandes sur leurs bords extérieurs où le taux baisse de moitié.

LE BON MOMENT

LE BON MOMENT – SOMMAIRE DES PGO

PGO	EXPLICATIONS
✓ Harmoniser la fertilisation et la rotation culturale	<ul style="list-style-type: none"> planifier la rotation de cultures et les épandages de matières nutritives de manière à favoriser l'utilisation maximale des éléments nutritifs
✓ Prévenir le compactage	<ul style="list-style-type: none"> surveiller les conditions d'humidité du sol et les séquences climatiques – planifier les travaux agricoles en conséquence
✓ Coordonner les épandages en fonction du contexte agricole	<ul style="list-style-type: none"> prendre en compte la disponibilité de la manœuvre et de la main-d'œuvre profiter des périodes propices (p. ex. semis printaniers)
✓ Choisir le moment correspondant le mieux aux besoins des cultures	<ul style="list-style-type: none"> en présemis, avec les semences, par fertilisation en bandes, par épandages fractionnés et par fertirrigation
✓ Choisir la saison la plus propice	<ul style="list-style-type: none"> automne c. fin été fin automne c. hiver printemps c. automne
✓ Utiliser des cultures couvre-sol	<ul style="list-style-type: none"> bien gérer le N rémanent
✓ Minimiser les pertes et nuisances possibles (fumier)	<ul style="list-style-type: none"> éviter les périodes pluvieuses ainsi que les journées chaudes et humides être sensible aux besoins des voisins et à leurs préoccupations

HARMONISER LA FERTILISATION ET LA ROTATION CULTURALE

En général, on applique un engrais commercial juste avant le moment où la culture en a besoin, et le bilan économique de cette fertilisation est propre à la culture en question. Par contre, il y a des circonstances où l'on a intérêt à prévoir au-delà du futur immédiat.

La planification des épandages de fumier est plus complexe, puisqu'il faut prendre en compte certaines questions comme la nécessité de vider une installation de stockage ou celle d'éviter tout risque de compactage du sol. Il faut mettre en balance l'utilisation maximale des éléments nutritifs et la disponibilité d'une étendue de terre convenable pouvant accueillir du fumier durant toute l'année.

Le fait de diversifier les cultures dans la rotation permet d'améliorer l'utilisation des éléments nutritifs et de multiplier les occasions d'épandage.





Retarder les travaux dans les champs où le sol est détrempé.

PRÉVENIR LE COMPACTAGE

- ✓ **Ne pas circuler sur un sol détrempé** avec de la machinerie.
- ✓ **Vérifier que les conditions d'humidité requises existent dans toute la couche de sol à travailler**, avant l'application de matières nutritives.
- ✓ **Prévenir le compactage** des façons suivantes :
 - ▶ drainage – installer un réseau de drainage dans les champs qui se drainent mal;
 - ▶ rotations culturales – choisir des cultures fourragères ou céréalières pour prolonger les campagnes de la rotation et ainsi améliorer la qualité du sol;
 - ▶ cultures fourragères – laisser ces cultures en place plusieurs années.
- ✓ **Limitier la circulation** sur le champ.
- ✓ **Restreindre la surface soumise au compactage** – créer un long tracé étroit correspondant aux traces laissées par le matériel agricole, p. ex. pneus radiaux, roues larges, chenilles.
- ✓ **Réduire la pression exercée sur le sol en gardant basse la pression des pneus** et en élargissant ainsi la largeur des traces (pneus radiaux seulement).
- ✓ **Garder la charge par essieu aussi basse que possible**, idéalement moins que 5 tonnes/essieu.

COORDONNER LES ÉPANDAGES EN FONCTION DU CONTEXTE AGRICOLE

- ✓ **Planifier et orchestrer tous les travaux des champs** – en particulier lorsque la période propice est brève, comme lors des semis printaniers.
- ✓ **Envisager différents scénarios** en ce qui concerne l'application des éléments nutritifs pour le cas où les circonstances (météo, disponibilité de l'équipement ou de la main-d'œuvre) empêcheraient les applications telles que prévues, soit l'épandage précoce de P + K en pleine surface, ou le chaulage.

Pour que les cultures de pleine saison, comme le maïs, aient accès aux éléments nutritifs au moment où elles en ont besoin, envisager l'application d'azote en bandes juste avant le prélèvement maximal par la culture.



CHOISIR LE MOMENT CORRESPONDANT LE MIEUX AUX BESOINS DES CULTURES

En général, l'application de l'engrais devrait se faire aussi proche que possible du moment où la culture en a besoin. Cette règle devient impérative dans le cas d'éléments très mobiles dans le sol (p. ex. l'azote) ou encore d'éléments susceptibles de se lier sous des formes non assimilables. Il faut donc mettre en balance les besoins culturaux et la disponibilité de la main-d'œuvre et de la machinerie nécessaires aux épandages d'engrais

Le fumier et les biosolides amènent de nouveaux défis en raison des éléments nutritifs organiques qui doivent se décomposer avant de devenir biodisponibles.

L'azote et le phosphore sont les éléments nutritifs dont l'époque de l'application a le plus de conséquences. En effet, l'azote qui n'est pas prélevé par la culture peut être soumis au lessivage ou à la dénitrification. On ne devrait donc faire aucun apport de N bien avant les semis. Dans le cas de cultures de pleine saison comme le maïs, les occasions de pertes sont nombreuses entre la mise en terre des semences et l'absorption de l'azote par le maïs. Voilà pourquoi il est préférable d'effectuer un épandage de N en bandes juste avant que le maïs en ait le plus besoin. La fertirrigation pousse encore plus loin la mise au point des applications d'éléments nutritifs, en permettant de fractionner les quantités requises sur plusieurs épisodes.

Certaines cultures ont des exigences élevées en phosphore au stade plantules, de sorte qu'une fertilisation de démarrage est souhaitable. Chez les cultures repiquées, comme la tomate, l'ajout de phosphore à l'eau de repiquage a souvent un effet positif en favorisant l'établissement des plants dans leur nouveau milieu. D'autres cultures, telles que le soya, ont des besoins modestes jusqu'à ce que leur système racinaire soit bien développé, ce qui leur permet d'utiliser toute quantité résiduelle d'éléments nutritifs dans le sol aussi efficacement que s'ils étaient appliqués en bandes.



La fertirrigation est un moyen de nourrir les cultures avec des éléments nutritifs dissous dans l'eau que distribue le réseau de micro-irrigation. Ce réseau permet donc à l'agriculteur de fournir aux cultures de grande valeur l'eau et les éléments nutritifs aux doses requises et au moment le plus opportun.

On peut régler à n'importe quel moment la concentration des éléments nutritifs et la quantité d'eau en fonction des besoins changeants de la culture en croissance. Pour de plus amples renseignements, consulter le fascicule des PGO intitulé *Gestion de l'irrigation*.

Définition des modes de fertilisation préconisés par les PGO

Application fractionnée	– la quantité totale de matière fertilisante est partagée en au moins deux applications pendant la saison de croissance
Bandes	– la matière fertilisante est épandue en une bande latérale à proximité de la ligne de culture
Démarrage	– la matière fertilisante est distribuée au moment des semis, en général avec la semence ou près de celle-ci
Présemis	– la matière fertilisante est appliquée avant les semis

CHOISIR LA SAISON LA PLUS PROPICE

Engrais commerciaux

Une saison ou une autre sera la plus propice aux épandages selon les schèmes climatiques saisonniers, la météo locale, l'état du champ, la culture choisie et le matériel de fertilisation.

Chez les cultures horticoles, l'épandage d'un engrais azoté en fin de saison sur un sol sableux peut augmenter les risques de lessivage de l'azote, en particulier lorsque le champ est irrigué à l'extrême.

Fumiers

L'objectif des épandages est de livrer le fumier à la culture en manque d'éléments nutritifs au moment où elle en a besoin et selon la quantité voulue, en causant le moins de tort possible à l'environnement. Le producteur qui prend la peine d'aviser les voisins de son intention d'épandre du fumier apaise souvent bien des inquiétudes. Le tableau de la page suivante donne un résumé des PGO relatives aux épandages en fonction des saisons.

Pour les cultures fourragères et les céréalières, le printemps est l'époque où la croissance et la demande en azote atteignent leur sommet. Le P et le K peuvent être fournis à n'importe quel époque – habituellement en combinaison avec une autre application d'éléments nutritifs.



Pour la majorité des grandes cultures, l'époque la plus propice à l'épandage de la plupart des engrais correspond aux semis, afin de favoriser une croissance précoce et, le cas échéant, en fin de printemps avec toute quantité complémentaire.



Les cultures fourragères sont en mesure d'utiliser les éléments nutritifs des fumiers à des périodes où les autres champs ne sont pas accessibles.

PGO SAISONNIÈRES RELATIVES AUX ÉPANDAGES

SAISON	PGO	POINTS À SURVEILLER :
PRINTEMPS	<ul style="list-style-type: none"> ✓ appliquer sur les cultures ayant les besoins en azote les plus élevés – les cultures à hauts rendements utilisent le N plus efficacement ✓ travailler les bandes de sol avant que les injections soient faites pour prévenir l'écoulement concentré vers les tuyaux de drainage ✓ enfouir dans les 24 heures tout fumier solide ou liquide épandu en pleine surface, et tout fumier liquide distribué par le système d'irrigation ✓ adopter des pratiques de bon voisinage ✓ faire des applications localisées dans les cultures sarclées, p. ex. goutte-à-goutte 	<ul style="list-style-type: none"> • le compactage du sol causé par le poids des épandeurs et la circulation des machines agricoles • le ruissellement dû à des doses excessives ou à de mauvaises pratiques de conservation du sol • la dénitrification – perte de N gazeux depuis les sols détrempés vers l'atmosphère • tout effluent du réseau de drainage – à surveiller quand les tuyaux se vident, cesser l'épandage dès que les effluents sont colorés • érosion en rigoles le long des bandes, et ruissellement • déversements au sein des systèmes d'irrigation ou des matériels montés sur tracteur • odeurs ou embruns extrêmes • dégagement d'ammoniac – enfouir dans les 24 heures
ÉTÉ	<ul style="list-style-type: none"> ✓ épandre le fumier liquide sur les pâturages de graminées et les champs de foin – la terre y est plus sèche et moins sujette au compactage ✓ épandre le fumier liquide sur les cultures fourragères et les pâturages à resemer ou à remplacer dans la rotation ✓ appliquer le fumier liquide en bandes ou en localisation sur les cultures sarclées ✓ appliquer le fumier liquide sur les chaumes de céréales ✓ appliquer le fumier liquide après la coupe d'une culture fourragère, avant le début de la repousse 	<ul style="list-style-type: none"> • la perte d'ammoniac à partir du fumier épandu en surface et non emporté par les pluies • la perte de N par dénitrification • le lessivage éventuel de N non assimilé par la culture • des signes d'érosion en rigoles ou de ruissellement le long des bandes d'injections • l'« étouffement » du fourrage – le choix de faibles doses et l'uniformité d'application préviendra ce problème
AUTOMNE	<ul style="list-style-type: none"> ✓ appliquer le fumier liquide ou solide avant l'établissement de la céréale d'automne ou de la culture couvre-sol ✓ épandre le fumier et l'enfouir après la récolte du maïs ou du soya – aussi tard que possible à l'automne pour que le sol se soit refroidi 	<ul style="list-style-type: none"> • les éventuelles pertes d'ammoniac à partir des applications en surface sur un sol chaud (> 10 °C) • les risques de lessivage si les matières nutritives ne sont pas absorbés par une culture couvre-sol en croissance active – éviter tout épandage sur un sol sableux • les possibilités de dénitrification en début d'automne • le ruissellement et l'altération de la qualité de l'eau • le compactage du sol causé par le poids des épandeurs et la circulation des machines agricoles
HIVER	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ne pas épandre de fumier sur un sol gelé ou enneigé – le stocker 	<ul style="list-style-type: none"> • le ruissellement et l'altération de la qualité de l'eau

Épandage en hiver

L'épandage de fumier en hiver ne constitue pas une pratique de gestion optimale, puisqu'il n'y a aucune culture en place et que les risques de ruissellement vers l'eau de surface sont très élevés.

Toutefois, dans certaines circonstances, l'épandage de matières nutritives peut être nécessaire, et justifié. C'est le cas, par exemple, d'une installation de stockage qui s'est remplie prématurément. Il vaut mieux épandre une certaine quantité de fumier que d'être confronté au débordement incontrôlé du fumier de l'installation.

Pour obtenir plus d'information sur les restrictions applicables aux épandages effectués en hiver, voir la fiche technique du MAAARO portant sur l'épandage de fumier et de matières de source non agricole en hiver.



UTILISER DES CULTURES COUVRE-SOL

Semer des cultures couvre-sol pour réduire les pertes d'éléments nutritifs.

Certaines cultures fixent l'azote, mais toutes en ont besoin pour leur croissance. Les cultures couvre-sol composées de graminées (p. ex. le seigle) et de brassicacées (p. ex. le radis oléagineux) se comportent en excellents chasseurs et récupérateurs de tout azote non utilisé par la culture principale ou laissé par le fumier ou l'engrais.

Les cultures couvre-sol aident à réduire les pertes d'azote par lessivage, ce qui diminue les risques de mouvements des nitrates vers les aquifères peu profonds. En détruisant les plantes couvre-sol, on libère dans le sol les éléments nutritifs que contenaient leurs tissus et on les met à la disposition des cultures subséquentes :

- **les cultures non légumineuses destinées à l'enfouissement** sont utilisées après la récolte comme « cultures dérobées » pour assimiler tout azote inorganique résiduel, et ainsi contrer les pertes;
- **le seigle d'automne** se développe pour autant que la température dépasse le point de congélation, de sorte qu'il peut absorber plus de 25 kg (60 lb) de N soluble en fin d'automne et en début de printemps;
- **le ray-grass annuel** – bien que moins rustique que le seigle – est tout indiqué pour récupérer l'azote résiduel, à condition qu'on le sème avant le 15 septembre
- **les céréales de printemps** mises en terre au mois d'août captent l'azote rémanent à l'automne, sont détruites par les rigueurs de l'hiver, et laissent une culture résiduelle facile à enfouir qui cède la place à des semis précoces du printemps
 - **le sursemis d'une culture dérobée dans des légumes** avant la récolte garde le sol constamment couvert de végétaux et donc mieux protégé contre les pertes d'azote
 - les terres sortant de production en été peuvent être ensemencées d'une culture de saison chaude, telle que **l'herbe du Soudan** ou **le sarrasin** – puisque le sarrasin est peu gourmand, l'herbe du Soudan s'avérerait la culture de choix dans les sols très riches.

Il a été démontré que des cultures dérobées en sous-semis ont effectivement réduit les pertes d'azote lorsqu'un engrais minéral ou du fumier avait été épandu à des taux habituels (90–110 kg/ha). En outre, le contre-ensemencement avec des cultures dérobées peut prévenir jusqu'à 60 % des pertes de N par lessivage, comparé au travail classique du sol effectué en août-septembre.

L'utilisation de l'azote provenant de plantes couvre-sol non légumineuses par la culture subséquentes n'a pas été constante. Néanmoins, certaines estimations portent à croire que 20–30 % de l'azote libéré par la culture dérobée soient biodisponibles pour la culture suivante lorsque la gestion s'avère optimale.

L'avoine semé en fin d'été capte l'azote rendu disponible par un épandage de fumier.



Ne pas laisser des cultures couvre-sol comme le seigle dépasser le stade de maturité normale au printemps sous peine de faire lier l'azote assimilable du sol pendant la décomposition de la paille de seigle.

RÉPERCUSSIONS HORS DE L'EXPLOITATION

Les producteurs qui font des épandages de fumier sont confrontés à la difficile tâche d'atteindre la meilleure efficacité d'utilisation des éléments nutritifs sans pour autant négliger d'autres objectifs d'ordre agronomique, environnemental et social. Dans certaines circonstances, il y a conflit entre 1) les pratiques de gestion des éléments nutritifs visant à fournir le plus d'éléments nutritifs possible, et ce, en recourant à l'épandage de matières nutritives équilibrées dont le fumier, au moment ou près du moment où la culture en a le plus besoin, et 2) les PGO appuyant la prévention du compactage, la synchronisation des travaux des champs, la réduction des émissions de gaz à effet de serre, la baisse du taux de survie des organismes pathogènes dans le fumier et la maîtrise des odeurs.

En tant que gestionnaire des fumiers, le producteur doit prendre en compte toutes ces questions et choisir celle qui convient le mieux au contexte unique de son exploitation agricole au moment de l'épandage envisagé.

En règle générale, l'épandage de fumier au moment où la biodisponibilité des éléments nutritifs est la plus grande entraîne une réduction des effets néfastes sur la qualité de l'air et de l'eau. Il s'agit donc d'une situation gagnant-gagnant : poser le geste écologique est aussi bénéfique pour le porte-monnaie. Toutefois, il y a d'autres conditions à l'épandage de fumier dont il faut tenir compte pour que les voisins ne subissent aucun tort.

Météo

Les conditions climatiques au moment de l'épandage, ou peu après, constituent un facteur déterminant des répercussions de l'application sur l'environnement et le voisinage. Par exemple, une pluie normale peut aider le fumier à pénétrer dans le sol, réduisant du coup odeurs et pertes d'azote, mais une pluie torrentielle aurait l'effet contraire en charriant le fumier non décomposé depuis le champ jusqu'à des eaux de surface. On sait aussi que le temps chaud et humide augmente la volatilisation de l'ammoniac et de substances malodorantes à partir du fumier, pouvant créer de très fortes odeurs. Par ailleurs, le vent aura beau diluer les odeurs, il les transportera néanmoins sur de longues distances.

La fertilisation au moyen de l'équipement d'irrigation à basse trajectoire est conçue pour réduire les odeurs et la dérive pendant l'application.



Planter des cultures brise-vent dans les champs pour réduire les odeurs produites par l'épandage.



Pour éviter la dénitrification, ne pas appliquer de fumier sur un sol déjà riche en azote minéral.

L'application de fumier en vue de combler les besoins d'une culture en azote entraîne une suralimentation de celle-ci en phosphore et en potassium. Répétée sur plusieurs années, cette pratique poussera les teneurs du sol à des niveaux si élevés qu'il y aura risque de nuire à l'environnement. Cette accumulation extrême se produit encore plus rapidement quand on épand à la fois du fumier et des engrais commerciaux sans tenir compte de la valeur nutritive du fumier.



L'injection du fumier liquide sous la surface du sol élimine pratiquement toutes les odeurs.

Voisins

Quel que soit notre lieu d'habitation, on a des voisins et une communauté à quelque distance. Dans la mesure du possible, on devrait éviter d'épandre du fumier lorsque les voisins sont susceptibles d'être dehors et qu'une brise soufflerait les odeurs en direction de leurs maisons.

De nombreuses plaintes pour nuisances dues aux odeurs sont faites peu après que du fumier à été appliqué sur une terre cultivée. Heureusement, un certain nombre de pratiques de gestion permettent de réduire l'intensité des odeurs et leur persistance à condition que l'épandage soit effectué au bon moment et en respectant certaines règles.

LE BON ENDROIT

LE BON ENDROIT – SOMMAIRE DES PGO

PGO

EXPLICATIONS

- ✓ Placer les éléments nutritifs au bon endroit

- placer les éléments nutritifs où la culture y aura accès
- faire des applications en bandes dans les cultures sarclées
- injecter le fumier liquide ou l'enfourir sans tarder
- éviter de causer des dégâts par le sel
- prévenir toute toxicité due à l'ammoniac
- envisager la fertilisation foliaire dans la mesure du possible (p. ex. Mn sur le soya)

- ✓ Garder les éléments nutritifs loin des puits et des eaux de surface

- créer des bandes tampons
- mettre en œuvre les PGO relatives aux distances de retrait par rapport aux eaux de surface, aux puits et aux autres aires fragiles
- bien refermer les sillons d'injection après l'application souterraine de fumier ou d'engrais
- réduire l'érosion et le ruissellement au moyen de la culture en courbes de niveaux, du semis direct et du travail réduit

- ✓ Réduire la contamination des eaux souterraines

- savoir où se trouvent les aires écofragiles des terres cultivées
- mettre en pratique les PGO proposées pour les endroits où se trouvent à peu de profondeur une roche-mère ou un aquifère

LOCALISATION CORRECTE – MÉTHODES

En plaçant les matières nutritives au bon endroit, on a de fortes chances d'obtenir le maximum du rendement cultural et de l'efficacité d'utilisation des éléments nutritifs, c'est-à-dire d'augmenter son bénéfice net tout en minimisant les répercussions environnementales.

Les engrais granulés peuvent être épandus à la volée (en pleine surface), épandus à la volée puis enfouis (incorporés au sol) ou épandus en bandes à la surface du sol ou en profondeur (épandage souterrain en bandes).

Quant à elles, les matières nutritives liquides peuvent être épandues en pleine surface, épandues en bandes au moyen soit de dents ou d'applicateurs par aspersion, ou encore appliquées sur les plantes en croissance (application foliaire ou fertirrigation).

Les applications en bandes sont réalisées avant les semis, avec les semences ou près d'elles (engrais de démarrage ou de démarrage « pop-up ») ou après les semis.

Localisation des matières nutritives — Définitions

Aspersion, par – application de matières liquides en bandes sur le sol

Bandes, en – toute méthode selon laquelle l'engrais est épandu en bandes concentrées, habituellement sous la surface du sol

Bandes à la surface, en – des bandes d'engrais concentrées sont disposées en surface, le long des lignes des cultures sarclées, plutôt que sous la surface du sol

Bandes en profondeur, en – application souterraine, habituellement à 10 cm (4 po) de profondeur

Bandes latérales, en – application souterraine d'engrais entre les rangs

Couverture, en – l'engrais est appliqué en pleine surface sur les plantes

Dents (lames) – application en bandes d'une matière nutritive liquide sous la surface du sol, au moyen de lames montées sur des dents

Fertirrigation – l'engrais est distribué avec l'eau d'irrigation

Foliaire, application – application d'une matière nutritive sur le feuillage

Incorporation (ou enfouissement) – enfouissement en profondeur d'une matière nutritive d'abord appliquée en pleine surface

Injection ponctuelle – la matière nutritive liquide est injectée en points individuels

Localisation avec la semence – l'engrais est placé près de la graine de semence et au même moment; une certaine part de l'engrais peut être en contact avec la graine

Pop-up – terme familier qui désigne la localisation d'un engrais près de la graine de semence

Simultanée, application – de N et de P en même temps

Volée, à la (en pleine surface) – épandage uniforme sur toute la surface du sol

L'application en pleine surface est la façon la plus efficace d'épandre rapidement de grandes quantités de matières nutritives.

Épandage en pleine surface

L'enfouissement d'un engrais épandu en pleine surface augmente son contact avec les racines et accélère donc la croissance de la culture, en particulier pour ce qui concerne les éléments nutritifs peu mobiles, tels que le P et le K. Le matériel agricole de précision aide à éviter les problèmes de distribution de l'engrais.

Application en bandes

L'épandage des engrais granulés en bandes souterraines est réalisé soit par gravité avec des organes ouvreurs, soit avec des semoirs pneumatiques.

L'engrais et la semence peuvent être appliqués simultanément au moyen de semoirs pneumatiques, qui en font la distribution en une bande allant jusqu'à 10 cm (4 po) de largeur. Il existe d'autres techniques selon lesquelles on utilise, par exemple, une ligne pour les semences et une autre pour l'engrais, cette dernière étant située à 5 cm (2 po) de côté et à 5 cm (2 po) sous la ligne de semences.

Les engrais liquides, comme l'ammoniac anhydre et le nitrate d'ammonium et d'urée (NAU), peuvent être appliqués en bandes au moyen de lames montées sur des dents. On peut aussi les appliquer en bandes sur le sol ou les épandre en bandes par aspersion sur le rang (soit à côté d'une roue plombeuse, soit derrière elle).



L'engrais peut être épandu en bandes sur le sol ou sous la surface du sol (en bandes en profondeur).

En pleine surface c. en bandes

L'application en pleine surface est difficilement surpassée pour ce qui concerne la vitesse, la commodité, la sécurité culturale et le coût d'application. Si ce n'était de quelques avantages procurés par l'application en bandes, on s'attendrait que tous les engrais seraient épandus en pleine surface. De toute évidence, l'application en bandes est souhaitable à certains égards. Il faut pourtant savoir quels avantages elle présente pour les différents éléments nutritifs afin qu'on l'utilise à bon escient.



La densité de peuplement des mauvaises herbes est parfois inférieure dans les cultures fertilisées en bandes par comparaison à l'épandage en pleine surface parce que la proportion d'éléments nutritifs disponibles pour la culture est plus grande, à la défaveur des mauvaises herbes.

QUAND FAIRE L'APPLICATION EN BANDES

JUSTIFICATION

CIRCONSTANCES PROPICES

RÉDUCTION DES PERTES DANS L'ATMOSPHÈRE

- il faut épandre l'ammoniac anhydre sous la surface du sol pour éviter les pertes
- l'urée et les solutions de NAU sont sujettes à la volatilisation lorsqu'elles sont laissées en surface; l'épandage souterrain en bandes prévient ces pertes en combinant la fertilisation et l'enfouissement – l'épandage en bandes en surface aurait un effet similaire bien que moindre

RÉDUCTION DES PERTES DANS L'EAU

- la concentration de N et de P dans les eaux de ruissellement est réduite quand ces éléments nutritifs sont placés sous la surface plutôt qu'épandus en pleine surface

RÉDUCTION DE L'IMMOBILISATION

- le phosphate se lie avec de nombreux minéraux du sol pour former des composés insolubles; l'épandage en bandes des engrais phosphatés réduit la surface de contact entre le sol et l'engrais et, par conséquent, retarde l'immobilisation du phosphate – en particulier dans les sols pauvres en phosphore
- certains oligo-éléments sont aussi susceptibles de devenir liés; leur épandage en bandes prolonge la période où ils sont disponibles pour la culture

AUGMENTATION DE LA BIODISPONIBILITÉ (FERTILISATION DE DÉMARRAGE OU EN BANDES LATÉRALES)

- les petites céréales et le maïs requièrent de grandes quantités de phosphate au stade plantule, quand le système racinaire est encore peu développé; le fait de placer l'engrais phosphoré en une bande concentrée près des semences augmente l'accessibilité de la culture au phosphore au moment où elle en a le plus besoin
- certains oligo-éléments (en particulier le zinc) sont également requis en grandes concentrations au stade plantule de la culture
- la biodisponibilité de l'azote et du potassium se trouve parfois réduite par temps sec; l'application en bandes sous la surface augmente les chances que le sol reste humide alentour, ce qui rehausse l'assimilabilité pour la culture – il faut prendre soin de ne pas placer ces éléments nutritifs trop près des racines
- de petites quantités peuvent être épandues à intervalles uniformes à travers le champ

Application foliaire

En raison des risques de brûler le feuillage et de l'impossibilité de fournir de grandes quantités d'éléments nutritifs de cette manière, la technique ne convient pas généralement aux macro-éléments.

Inversement, on applique parfois les oligo-éléments en pulvérisation foliaire parce que la plupart sont assez peu mobiles dans le sol, qu'ils sont requis en faibles doses par les cultures, et qu'ils entraînent une croissance significative.

Fertirrigation

On entend par fertirrigation la distribution d'une matière fertilisante au moyen d'un système d'irrigation. Ce peut être une solution de remplacement intéressante, comparée aux méthodes traditionnelles, pour certains éléments nutritifs sur des cultures en particulier (p. ex. N et S) vu la possibilité de fertilisation tout le long de la saison de croissance.



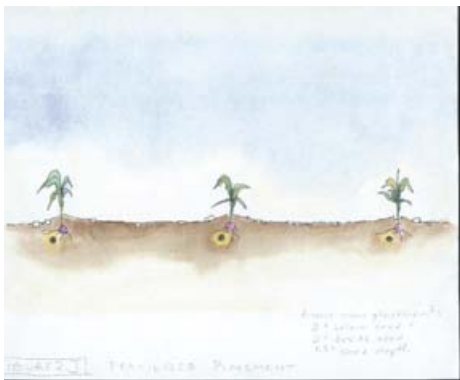
On réalise l'application foliaire en pulvérisant un engrais liquide directement sur le feuillage.

LOCALISATION CORRECTE – AFFINEMENT

Les racines et la localisation

Un des principaux objectifs de la localisation des engrais est de maximiser le contact des racines avec les éléments nutritifs, tout en évitant qu'un excès de sel nuise à la levée ou à l'établissement de la culture. Il s'agit d'une question cruciale aux cours des premiers stades de développement de la plante et de son système racinaire.

Le rendement de culture optimal repose sur la localisation du fertilisant à l'endroit précis où la densité de poils absorbants est la plus grande ou encore à un endroit propice au déplacement de la matière fertilisante vers les racines. L'effet de la localisation se fait le plus sentir avec les éléments nutritifs dont la culture a besoin aux plus hautes concentrations durant les stades de croissance précoces (p. ex. P et Zn chez le maïs).



La localisation correcte de l'engrais ne cause aucun dommage à la plante.



Cette plantule a été brûlée par le sel.

Effet de sel

Par ailleurs, la localisation de l'engrais avec la graine de semence augmente les risques d'un défaut de germination ou d'un retard de levée à cause d'une salinité éventuellement extrême.

Cet effet est étroitement lié à l'indice de salinité spécifique de l'engrais. Par exemple, le KCl (0-0-60) et l'urée (46-0-0) ont les indices de salinité les plus élevés et, par conséquent, représentent un grand danger pour la germination des graines s'ils sont déposés dans le sol avec elles.

À l'inverse, le phosphate monoammonique (MAP), à formule 11-52-0, a un indice faible, de sorte qu'il risque peu de causer des problèmes de germination.

Par contre, l'urée et le phosphate diammonique peuvent tous deux dégager de l'ammoniac libre dans le sol lorsqu'ils sont placés en bandes sous la surface, ce qui peut entraver la germination.

La baisse des taux d'épandage requise est fonction de la concentration de l'engrais dans la bande de fertilisation et de sa proximité à la culture. Lorsque les rangs sont larges, les bandes de fertilisation étroites et que l'engrais est placé avec la graine, il faut nécessairement réduire le taux d'application si l'on ne veut pas compromettre le développement de la culture.

Toxicité due à l'ammoniac

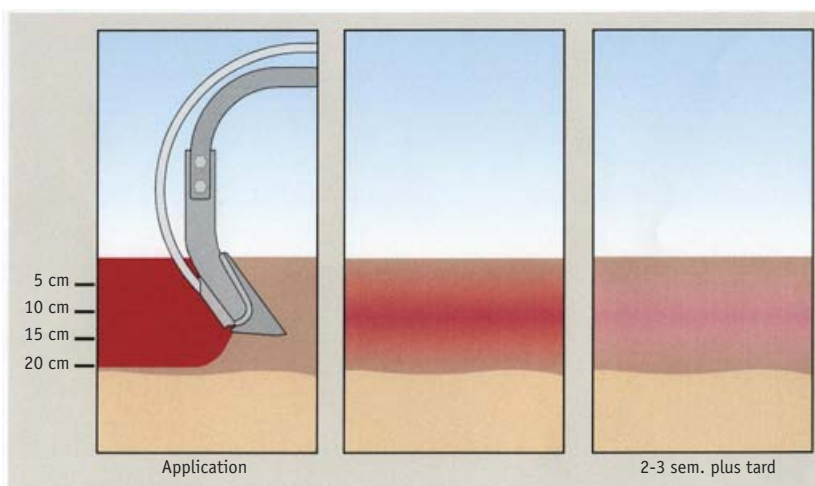
Les racines sont très sensibles aux dommages causés par l'ammoniac. L'ammoniac anhydre épandu en bandes latérales doit être placé à une bonne distance du rang. L'ammoniac appliqué en présemis doit être placé de manière à ne pas venir en contact avec les plantules.

Pour réduire les risques de dommages par l'ammoniac anhydre en présemis :

- faire l'épandage plusieurs jours avant les semis,
- placer l'engrais à au moins 15 cm (6 po) de profondeur,
- rapprocher les injecteurs de façon à réduire la concentration dans chaque bande.

Aussi bien l'urée que le phosphate diammonique (DAP, formule 18-46-0) sont susceptibles de dégager de l'ammoniac. En conséquence, l'emploi de l'un ou l'autre comme engrais de démarrage peut obliger à diminuer de beaucoup la quantité qu'on peut épandre en toute sécurité.

Réduire les pertes par volatilisation en enfouissant la matière fertilisante peu de temps après son application.



La concentration d'ammoniac dans le sol diminue au fur et à mesure qu'il est transformé en nitrate.

Pour obtenir des directives détaillées sur les taux d'épandage maximum sécuritaires, consulter les publications du MAAARO portant sur les recommandations spécifiques de chaque culture. La liste de ces publications se trouve sur la dernière page de couverture.

✓ *Enfouir le fumier aussitôt que possible*

La portion ammonium du fumier peut se volatiliser rapidement, surtout quand le fumier est épandu par temps chaud et venteux. Le taux de déperdition de l'ammoniac est le plus haut immédiatement après l'application du fumier. Il décroît progressivement au fur et à mesure que l'ammonium est soustrait de la masse. L'injection ou l'incorporation dans les plus brefs délais suivant l'épandage mettra fin à la volatilisation et améliorera la biodisponibilité de l'azote venant du fumier.

Là où le fumier est enfoui, l'azote assimilable par la culture printanière subséquente est estimé à environ 50 % de la quantité totale d'azote dans l'échantillon.



L'ammoniac libéré par les engrais peut s'avérer toxique pour les plantes.

GARDER LES ÉLÉMENTS NUTRITIFS LOIN DES PUITES ET DES EAUX DE SURFACE

Il est toujours préférable de garder les éléments nutritifs à proximité des racines de la culture. Mettre en œuvre des PGO relatives à la conservation de l'eau et du sol, et observer les distances de retrait prescrites pour tenter de garder les éléments nutritifs en place.

✓ *Créer des bandes tampons.*

✓ *Garder le sol et les éléments nutritifs en place* au moyen de structures et de PGO favorisant la conservation du sol.

✓ *Rester à distance* – mettre en œuvre les PGO relatives aux distances de retrait par rapport aux eaux de surface, puits et autres aires écosensibles.

Bandes tampons

Les bandes tampons sont conçues pour éloigner les travaux agricoles des eaux de surface et pour réduire les possibilités que le sol et les éléments nutritifs quittent les champs voués à l'agriculture. Ces zones contribuent aussi à la gestion de nombreuses questions environnementales comme l'érosion, les inondations, et l'habitat de la faune et des poissons.



Les bandes tampons sont d'étroites zones de terres couvertes d'une végétation permanente situées en bordure de plans d'eau (cours d'eau, rivières, etc.). Ces petites bandes de terre jouent un rôle de premier plan dans la protection des eaux de surface.

Les bandes tampons aident à empêcher les polluants d'atteindre les sources d'eau :

- en filtrant les sédiments,
- en permettant l'infiltration des liquides à purifier,
- en favorisant l'assimilation des éléments nutritifs par les plantes.

Les sédiments sont emprisonnés dans la végétation dense de la bande tampon, gardés à l'écart des cours d'eau. En particulier, le phénomène de filtration permet de capter le phosphore lié aux particules de sol. La végétation de la zone tampon améliore la structure du sol et favorise la création de canaux par les racines des plantes, améliorant ainsi l'infiltration. Le ruissellement de surface se trouve freiné par l'infiltration et la pénétration dans le sol de l'eau chargée d'éléments nutritifs. Ces mêmes éléments sont ensuite assimilés par les racines en quête de nourriture.

Les bandes tampons sont une barrière physique séparant les activités agricoles et les eaux de surface, réduisant ainsi les risques que des déversements ou des épandages fautifs aient des répercussions directes sur un plan d'eau écosensible.

RÉDUIRE L'ÉROSION ET LE RUISSELLEMENT AU MOYEN DE STRUCTURES DE LUTTE CONTRE L'ÉROSION ET DE PGO FAVORISANT LA CONSERVATION DES SOLS

En dépit de leur immense utilité, même les bandes tampons les mieux gérées sont incapables, à elles seules, de maîtriser les répercussions de l'érosion et du ruissellement qui ont lieu sur des terres cultivées. Une grande part des risques associés au ruissellement des eaux de surface et des écoulements concentrés prenant naissance sur les terres cultivées peut et doit être gérée sur ces terres cultivées au moyen de structures et de pratiques de conservation des sols et de l'eau. Les bandes tampons ne représentent qu'un seul élément du système de conservation : en fait, elles constituent la dernière ligne de défense.

On trouvera beaucoup plus de renseignements sur les bandes tampons dans le fascicule de la série « Les pratiques de gestion optimales » qui porte ce nom.



Structures de lutte contre l'érosion – Elles sont construites dans le champ en vue de réduire les pertes de sol et d'acheminer en sécurité les eaux de surface vers un exutoire adéquatement protégé.

Options de conservation des sols – Elles représentent différentes solutions, depuis les pratiques de travail réduit (p. ex. semis direct, gestion des résidus), jusqu'aux pratiques de gestion visant l'amélioration de la qualité du sol et la maîtrise du ruissellement, en passant par la gestion des pentes (p. ex. cultures en bandes).



Le drainage artificiel constitue peut-être la clé ouvrant la porte sur la mise en œuvre d'autres PGO. Il est en mesure de réduire le ruissellement durant certaines saisons en laissant le sol absorber un volume d'eau accru.

Structures de lutte contre l'érosion – Bassin de captage et de sédimentation utilisés pour contrer des écoulements concentrés

Dans un champ quelconque, la perte de sol et le ruissellement s'effectuent à un taux plus élevé quand les eaux se déversent dans une voie de drainage naturelle commune ou dans des voies d'eau convergentes dont l'effet est de concentrer le débit au fur et à mesure de leur descente. Le déferlement non contrôlé de ces eaux peut entraîner la formation de rigoles et de ravines. On peut atténuer l'érosion en rigoles et le ravinement, voire même les prévenir, au moyen des mesures suivantes :

- ▶ protéger le lit de la voie d'eau en le recouvrant d'une manière quelconque,
- ▶ diminuer la déclivité de la voie d'eau,
- ▶ réduire la longueur de la course de la voie d'eau,
- ▶ détourner l'écoulement sous la surface du sol.

En fait, la plupart des structures de lutte contre l'érosion mettent en œuvre une ou plusieurs de ces mesures. Par exemple, les bassins de captage et de sédimentation réduisent la longueur de la pente et détournent l'eau sous la surface.

On devrait toujours demander conseil auprès d'un spécialiste avant la conception et la construction de tels projets. À titre d'exemple, mentionnons les voies d'eau gazonnées, les colonnes descendantes et puisards, les terrasses, et les bassins de captage et de sédimentation.



Voici un bel exemple d'un bassin de captage et de sédimentation qui a été bien construit. Il est tapissé d'une culture fourragère établie.



Le bassin de captage et de sédimentation consiste en l'aménagement d'une levée de terre et de colonnes descendantes en travers d'une voie de drainage naturelle dans le but de retenir l'eau temporairement puis de l'acheminer vers un tuyau de drainage adéquat. La période de retenue de l'eau est soigneusement conçue de façon à réduire le risque de dommages aux cultures en aval.

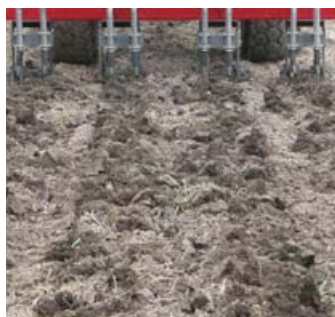
Les structures de lutte contre l'érosion sont conçues pour maîtriser l'érosion et acheminer en sécurité les eaux de surface vers un exutoire adéquat.

Pratiques de conservation du sol

Il ne faut pas sous-estimer l'importance des sols sains près des milieux riverains. La gestion du sol préconisée par les PGO contribue à hausser la qualité des sols et à augmenter leur résistance aux forces érosives en leur apportant de la matière organique, en édifiant leurs structures et en élevant leurs taux d'infiltration.

Les PGO de gestion du sol comprennent notamment le recours à des cultures couvre-sol, à la rotation culturale et au travail réduit.

Les voies d'eau gazonnées sont des canaux nivelés, façonnés en cuvette, et couverts de graminées que l'on aménage dans des voies de drainage naturelles. Dans leur lit, on installe un ou plusieurs tuyaux de drainage souterrain afin de détourner l'eau de ruissellement et de l'acheminer vers un exutoire protégé.



Les méthodes de travail réduit, dont le semis direct, préservent la qualité du sol et freinent l'érosion et le ruissellement.



Des cultures couvre-sol comme le seigle, l'avoine ou l'orge semé en automne emprisonnent les éléments nutritifs et protègent le sol contre l'érosion entre les campagnes culturales.

Les rotations culturales qui incluent des cultures annuelles et pérennes contribuent à l'apport de matière organique et au maintien de la qualité du sol, et elles prolongent les périodes où le sol est couvert.



Dans les terres soumises au travail du sol traditionnel, il faudra de nombreuses années de cultures en rotation avant que s'accumule la matière organique. Par contre, dans les systèmes reposant sur des pratiques de conservation, il n'est pas rare que la teneur en matière organique s'accroisse plus rapidement.

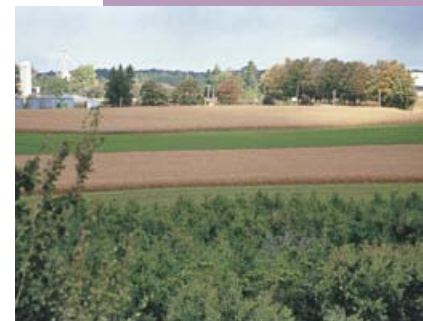
Pour plus de détails, consulter les fascicules de la série « Les pratiques de gestion optimales » intitulés *Gestion du sol* et *Semis direct : les secrets de la réussite*.



Pratiques de conservation des terres cultivées

Les pratiques de conservation des terres cultivées sont des techniques agronomiques conçues pour lutter contre l'érosion du sol en atténuant l'effet des pentes et en augmentant le couvert végétal sans recouvrir aux travaux d'ameublissement du sol. Deux exemples sont illustrés ci-dessous.

Culture en bandes suivant les courbes de niveau – on aménage des bandes alternantes de cultures sarclées, de céréales et de fourrages le long des courbes de niveau en vue de ralentir les eaux de surface et d'accroître les taux d'infiltration.



Distances de retrait

Les épandages d'éléments nutritifs devraient être effectués assez loin des eaux de surface et des eaux souterraines pour que le ruissellement ne puisse les contaminer.

Les distances de retrait (ou distances de séparation) sont mesurées horizontalement du champ fertilisé jusqu'à de l'eau de surface ou à un puits et, verticalement jusqu'à des eaux souterraines. La distance minimale devant séparer une zone d'épandage d'éléments nutritifs et une ressource en eau est fonction des risques associés aux matières qui sont épandues.

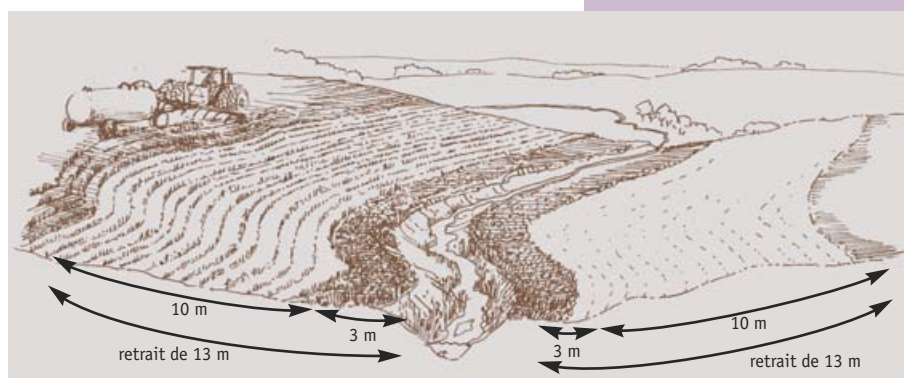
Distance de retrait par rapport à une eau de surface

Dans la plupart des cas, la protection de l'eau de surface est assurée par une zone qui lui est contiguë, sur laquelle on ne fait aucun épandage, et par une autre, plus large et voisine de la seconde, où l'on prend de grandes précautions pour empêcher les éléments nutritifs de se déplacer en utilisant des doses réduites, en enfouissant immédiatement les matières fertilisantes, en améliorant la lutte contre l'érosion, ou en appliquant plusieurs de ces mesures.

Pour les engrais commerciaux, on devrait respecter une distance de retrait de trois mètres (10 pi) par rapport à tout cours d'eau.

Pour les matières organiques, il convient d'augmenter les distances de retrait en fonction du potentiel de ruissellement dans le champ. Sur les sols perméables en bon état, même s'il n'y a pas de risque marqué de ruissellement au moment de l'application, il ne faut pas perdre de vue qu'une pluie subséquente pourrait transporter des éléments nutritifs et d'autres contaminants jusqu'à l'eau de surface.

Culture en bandes suivant les champs – on aménage des bandes de cultures sarclées, de céréales et de fourrages de largeurs constantes en travers d'une pente principale simple. Dans les pentes complexes, cette technique est plus facile à mettre en œuvre que la culture en bandes suivant les courbes de niveau.



On trouvera des renseignements plus détaillés sur les distances de retrait par rapport à l'eau de surface dans le fascicule des PGO intitulé *Gestion des fumiers*.

Distance de retrait par rapport à un puits

Puisque chaque puits constitue une ligne d'accès potentielle à l'eau souterraine, le fait de garder tout élément nutritif à une distance sécuritaire est l'une des méthodes les plus efficaces de protéger les ressources en eau. C'est là le principe qui a mené à l'élaboration des distances de séparation (distances de retrait) minimales entre un lieu d'épandage de matières nutritives et un puits ou une eau souterraine. Le tableau ci-dessous résume les distances de retrait requises par rapport à différents types de puits.

DISTANCES DE RETRAIT ENTRE UN PUIITS ET UN CHAMP OÙ A LIEU L'ÉPANDAGE DE MATIÈRES NUTRITIVES*

TYPE DE PUIITS	ENGRAIS COMMERCIAL	FUMIER	BIOSOLIDES	AUTRES MATIÈRES NUTRITIVES PRODUITES PAR DES FERMES (p. ex. eaux de lavage, jus d'ensilage)
PUITS PRIVÉ (foré à la sondeuse)	3 m (10 pi)	15 m (49 pi)	15 m (49 pi)	15 m (49 pi)
PUITS PRIVÉ (autre type)	3 m (10 pi)	30 m (98 pi)	90 m (295 pi)	30 m (98 pi)
PUITS MUNICIPAL	100 m (328 pi)	100 m (328 pi)	100 m (328 pi)	100 m (328 pi)

*Toutes les distances précisées sont mesurées horizontalement à la surface du sol.

Lessivage des éléments nutritifs

Les éléments nutritifs en solution se déplacent avec l'eau du sol. Le lessivage se produit quand de tels éléments nutritifs (p. ex. nitrates $[\text{NO}_3^-]$) descendent sous la zone racinaire à la faveur des pores du sol. L'importance du lessivage est fonction des facteurs suivants :

- la concentration des éléments nutritifs dans la solution de sol;
- la perméabilité du sol, qui est elle-même influencée par sa texture (les sols sableux et graveleux sont plus perméables que les argiles) et sa structure (p. ex. présence de larges fissures et de macropores);
- la quantité d'eau excédentaire apte à entraîner les éléments nutritifs au travers du profil – quantité plus abondante en fin d'automne et tout le printemps;
- la profondeur de la roche-mère ou de la nappe phréatique – moins de sol signifie une plus grande vitesse de déplacement.

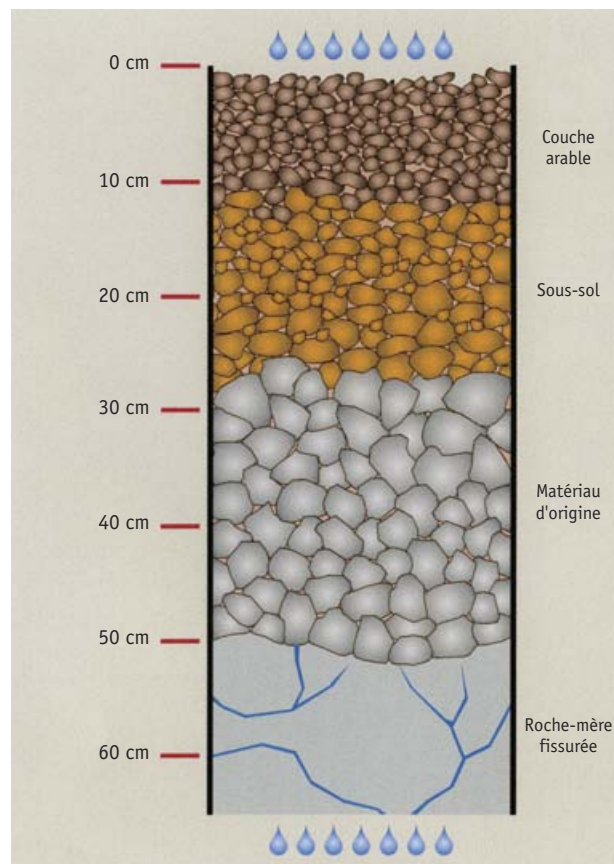
Protection de l'eau souterraine

La majorité de la roche-mère qui forme l'assise des régions agricoles de l'Ontario montre des fissures étendues. Il s'agit là d'un avantage en ce qu'elle peut agir comme une strate pouvant fournir de l'eau de puits. Par contre, cette caractéristique devient une sérieuse inquiétude quand la roche-mère est peu profonde, puisque ses fissures permettent à tout contaminant éventuel de rejoindre un aquifère sans pratiquement être filtré.

Il faut donc prendre de grandes précautions lors d'épandages de matières nutritives dans les endroits où la roche-mère est peu profonde. Habituellement, ces endroits sont le siège de rendements inférieurs aux sols profonds, de sorte que les prélèvements par la culture sont moindres et que l'aptitude du sol à retenir les éléments nutritifs est faible.

✓ **Ne faire aucun épandage d'éléments nutritifs à moins de 3 m (10 pi) d'un affleurement de la roche-mère.**

Pour de plus amples renseignements sur les restrictions applicables aux épandages de fumiers sur des sols peu profonds, se référer au fascicule des PGO *Gestion des fumiers*, mentionné plus tôt.



Les sols peu profonds sur une roche-mère fissurée offrent une protection moindre à l'eau souterraine, vu la minceur de la couche où sont filtrés et dégradés les contaminants éventuels.



L'agriculteur devrait savoir où se trouvent les endroits éco-fragiles sur ses terres cultivées. Observer les PGO relatives aux épandages sur une terre abritant une roche-mère ou un aquifère à peu de profondeur.

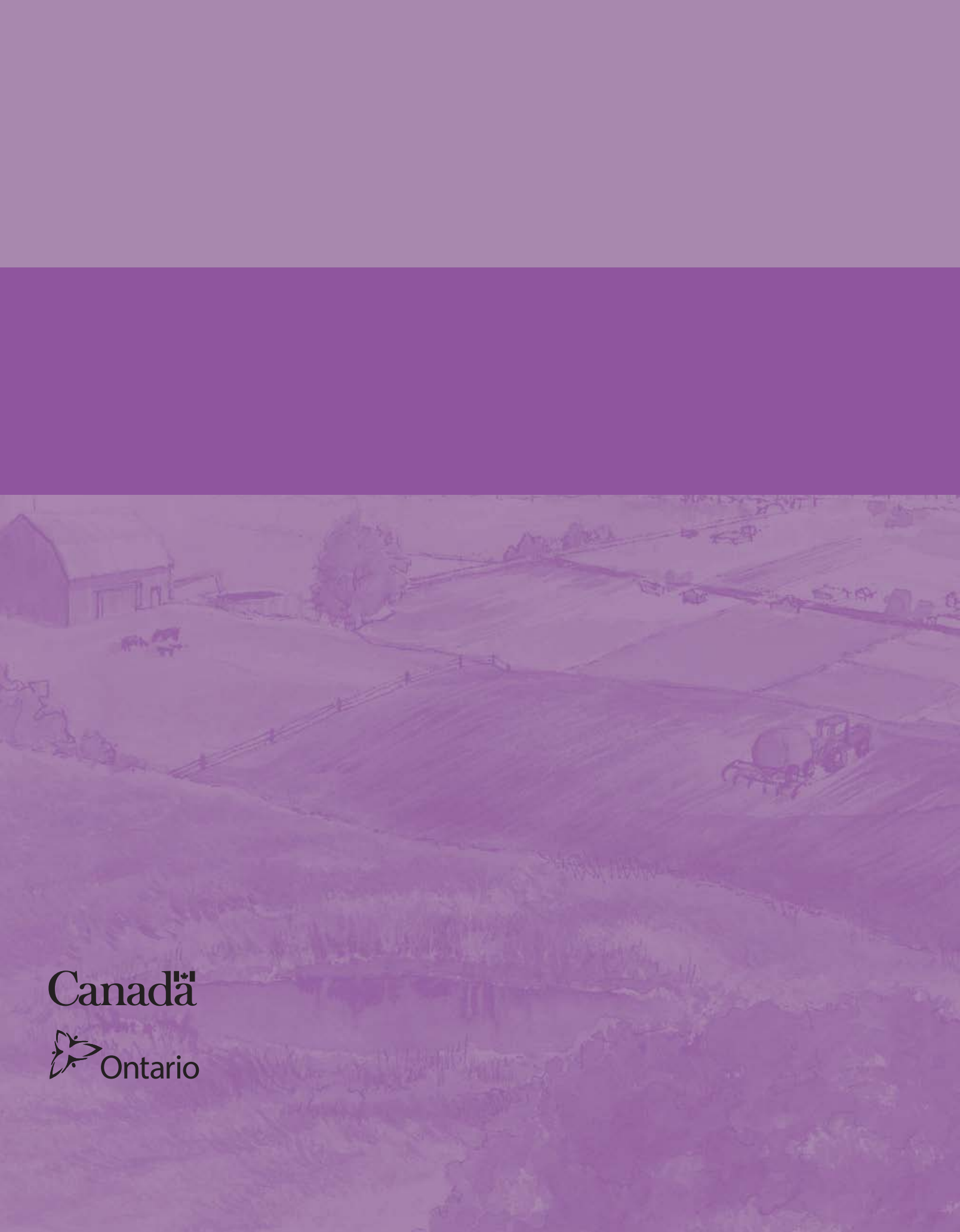
IL N'EN TIENT QU'À VOUS!

Vous seuls pouvez transformer théorie et conseils en gestes concrets. La science et l'expérience sur la ferme font foi des nombreuses bonnes raisons d'élaborer et de mettre en œuvre un plan de gestion des éléments nutritifs pour votre exploitation, sans compter la diligence raisonnable dont vous faites preuve à l'égard de votre collectivité.

Une bonne compréhension des notions fondamentales soutient tout plan bien conçu :

- connaître l'utilité des éléments nutritifs pour les cultures et leurs comportements dans le sol vous aidera à mieux prévoir les besoins de chaque culture;
- comprendre les cycles des éléments nutritifs vous aidera à en prévenir la perte ;
- connaître les avantages et inconvénients des sources d'éléments nutritifs (inorganiques et organiques) favorisera un choix plus éclairé des proportions requises sur votre exploitation.

Consultez ce fascicule souvent, à toutes les étapes de l'élaboration de votre plan de gestion, de sa mise en œuvre et de son adaptation dans les années à venir.



Canada

