

## MODULE 7 – CHAPITRE 14

# Fertilisation

### SOMMAIRE

1. Les analyses de sol – comment les interpréter	3
1.1 pH eau	3
1.2 pH tampon	4
1.3 Matière organique	4
1.4 Aluminium	5
1.5 Phosphore et potassium disponible aux plantes	5
1.6 Calcium, magnésium et capacité d'échange cationique	6
2. Les besoins des légumes	7
2.1 Azote	7
2.2 Phosphore et potassium	8
2.3 Oligo-éléments	9
3. Fertilisation des légumes	11
3.1 Apports d'azote, de phosphore et de potasse	11
3.2 Apport d'oligo-éléments	14
4. Chaulage	16
4.1 Type de chaux	16
4.2 Quelle quantité de chaux mettre ?	16
4.3 Quand chauler ?	17
4.4 Incorporation	17
4.5 Chaulage et éléments mineurs	17
5. Références	17

Un des principes de base de l'agriculture biologique est de « nourrir le sol pour nourrir la plante ». C'est certainement un principe que l'on ne peut pas oublier : il est primordial que le sol soit en bon état pour que les racines des plantes se développent et explorent un volume maximal de sol. Pour cela, il faut que le sol soit bien structuré, donc bien drainé, bien chaulé, riche en matière organique et en activité biologique.

Il est connu qu'un sol en bon état fournit, par l'entremise de la minéralisation de la matière organique, plus de la moitié de l'azote nécessaire aux plantes et la majeure partie du phosphore, même en culture conventionnelle. Dans des conditions idéales de température et d'humidité et avec un taux de matière organique élevé et une bonne activité biologique, cette minéralisation peut parfois suffire à la nutrition azotée des plantes. Toutefois, ces conditions idéales ne se rencontrent pas souvent, particulièrement dans un climat nordique comme le nôtre où la saison est courte et le démarrage de l'activité biologique souvent ralenti par le froid. Il reste alors nécessaire d'apporter du fumier, du compost ou d'autres sources de fertilisation pour atteindre un plein rendement. On doit donc aussi nourrir la plante, pas seulement le sol. Les sections qui suivent portent sur cet aspect de la fertilisation, soit nourrir la plante.

Pour fertiliser en connaissance de cause, il faut analyser les sols et il faut connaître les besoins des légumes. Les données disponibles sur les besoins des légumes au Québec proviennent du *Guide de référence en fertilisation* du CRAAQ (CRAAQ, 2003). Ce guide est conçu pour la production conventionnelle, mais il est aussi valable pour la production biologique, puisqu'il s'agit des besoins des légumes. Il y a toutefois, dans un système biologique, deux différences à prendre en compte lors de l'évaluation de la fertilisation à apporter aux plantes :

- l'azote se libère progressivement avec une fumure organique. Il y a donc moins de perte par lessivage durant la saison de croissance dans un tel système ;
- la fertilisation de base étant sous forme organique, il y a un arrière effet (effet fertilisant plus d'une année suivant l'application) des fumures précédentes. Nous n'avons pas assez de données et il y a trop de variabilité entre les fermes et les sols pour chiffrer cet arrière effet. On peut toutefois supposer que cet arrière effet fournit de 10 à 40 kg/ha d'azote aux plantes, parfois plus.

Il n'est donc pas toujours nécessaire de combler tous les besoins en azote, en phosphore et en potasse indiqués dans les tableaux qui suivent. De plus, lorsque l'on travaille avec une fertilisation organique et des engrais verts, il n'est pas possible de connaître avec précision les quantités de N, de P et de K libérés par ces derniers.

Ce sont donc l'expérience, la connaissance du sol et des amendements utilisés et l'observation des plantes qui permettent de raffiner et d'ajuster la fertilisation. Par exemple, même si les quantités d'azote apportées par le fumier ou le compost sont très élevées, les plantes peuvent quand même être carencées en azote si le sol est très compacté, car l'activité biologique est réduite et l'azote ne se minéralise pas. Au contraire, dans un sol en très bon état, on peut mettre de petites quantités d'azote sans amputer le rendement.

Les tableaux du *Guide de référence en fertilisation* du CRAAQ (CRAAQ, 2003) sont un point de départ, mais ne devraient pas être suivis à la lettre à cause de tous les inconnus qui se rattachent à la fertilisation en système biologique. Pour pouvoir utiliser ces tableaux, il faut avoir en main des analyses de sol.

La lecture de ce chapitre est à compléter avec celle du document intitulé *La fertilisation organique des cultures* de Petit et Jobin (2005). Pour mieux comprendre tous les concepts de base sur les sols, on peut se référer au livre de Dominique Soltner sur le sol (Soltner, 2003).

**ATTENTION** : Un manque de fertilité ne doit pas être confondu avec un drainage déficient ou un sol compacté.

## 1. LES ANALYSES DE SOL – COMMENT LES INTERPRETER

En révélant la richesse du sol en éléments nutritifs, le pH et le taux de matière organique, les analyses de sol nous permettent de fertiliser de façon rationnelle. Elles sont utiles et nécessaires mais sont loin d'apporter toute l'information, en particulier concernant la qualité de la matière organique et la fourniture en azote du sol. Idéalement, pour bien élaborer un plan de fertilisation, il faut jumeler l'interprétation des résultats d'analyses de sol à l'examen physique des sols à l'aide de l'étude du profil de sol. En effet, la structure du sol et l'état du drainage sont souvent plus importants que la richesse en éléments du sol pour la croissance des plantes. Pour plus d'information sur l'évaluation de l'état des sols, voir le guide sur les profils de sol agronomiques (Weill, 2009).

Il est toujours bon de consulter les études pédologiques pour avoir une idée générale du type de sol avec lequel on travaille (Agriculture et Agroalimentaire Canada, 2008, Institut national de recherche et de développement en agroenvironnement). Il est aussi intéressant d'obtenir des analyses du sous-sol (couche juste sous la couche de labour). Cette partie du sol n'est pas beaucoup affectée par la fertilisation et le chaulage. Une telle analyse nous permet cependant de voir si le sol est naturellement acide et quelles sont ses réserves naturelles en phosphore, en potassium et en magnésium.

Au Québec, la méthode d'analyse des éléments nutritifs est l'extraction Mehlich III. Les chiffres dans les tableaux des sections suivantes ( $P_2O_5$ ,  $K_2O$ , Ca, Mg et autres) ne sont valables qu'avec cette méthode d'analyse.

Note : Au Québec on donne les résultats d'analyses pour le phosphore, le potassium, le magnésium et le calcium en kg/ha. Ailleurs, on utilise plutôt les ppm (partie par million). La conversion est la suivante :  $1 \text{ kg/ha} = 1 \text{ ppm} \times 2,24$ .

### 1.1 pH eau

Les valeurs à viser sont les suivantes :

- sol sableux : 6-6,5
- loam : 6,2-6,7
- sol argileux : 6,3-7

Pour augmenter le pH, le mieux est d'utiliser de petites doses de chaux régulièrement (1 à 2 t/ha chaque année en sol argileux ou aux deux-trois ans en sol léger).

Certains sols sont naturellement acides, ce qui rend l'obtention d'un pH adéquat parfois impossible. Dans ce cas, le chaulage en petites quantités, de façon régulière, est à recommander, mais il ne faut pas viser une augmentation drastique du pH. Pour savoir si un sol est naturellement acide, il est possible de se référer aux études pédologiques de comtés, ou encore d'analyser le sous-sol. L'activité biologique est réduite lorsque le pH est faible (acide).

## 1.2 pH tampon

Alors que le pH eau ne permet de mesurer que l'acidité de la solution du sol, le pH tampon permet de mesurer toute l'acidité du sol. C'est ce dernier uniquement qui permet d'évaluer la quantité de chaux nécessaire à apporter (voir plus loin la section sur le chaulage).

## 1.3 Matière organique

En plus de fournir des éléments nutritifs à la plante, la matière organique est en partie responsable de la structure du sol et de sa capacité à retenir les éléments nutritifs. Les valeurs à rechercher sont les suivantes :

- sol sableux : plus de 3 %
- loam : plus de 3,5 %
- sol argileux : plus de 4 %

Ces valeurs sont toutefois très théoriques. La qualité de la matière organique est variable et cette qualité peut être plus importante pour la fertilité du sol que la quantité. Certains sols acides ou mal drainés ont beaucoup de matière organique, car cette dernière s'accumule au lieu de se décomposer. De même, la matière organique s'accumule plus facilement dans les sols en zones froides. On constate souvent que :

- un taux de matière organique normal ou élevé et un pH de 6,5 ou plus indiquent une bonne fertilité ;
- un taux de matière organique élevé, un pH faible (<6) et un drainage déficient indiquent une activité biologique insuffisante et, par conséquent, une fourniture en azote du sol faible. Dans ce cas, il faut chauler, drainer et augmenter l'activité biologique à l'aide d'amendements organiques jeunes et d'engrais verts.

En agriculture biologique, on cherche à faire minéraliser la matière organique pour pouvoir nourrir les plantes. Il faut ensuite compenser les pertes de matière organique par l'apport d'amendements organiques et par la culture de prairies dans la rotation.

#### 1.4 Aluminium

La teneur du sol en aluminium (Al) (tableau 1) permet de faire une estimation de la capacité de fixation d'un sol en phosphore et permet aussi de savoir, dans une certaine mesure, si un sol est podzolique (sol de faible potentiel, sableux, très acide et riche en fer et aluminium). Au Québec, les sols peuvent fixer de 400 à 10 000 kg/ha de phosphore (Tran et Giroux, 1980) et, par conséquent, le rendre non disponible aux plantes. Le fer et l'aluminium sont les principaux facteurs de cette fixation. Plus le pH est bas, donc acide, plus ces deux éléments fixent énergiquement le phosphore. Les podzols fixent beaucoup de phosphore car ils sont riches en fer et en aluminium.

**Tableau 1**  
**Capacité de fixation du phosphore en fonction du type de sol (CRAAQ, 2003)**

Capacité de fixation	Teneur en Al (ppm)	Type de sol
faible	<1 100	variable
moyenne	1 100-1 600	variable
élevée	>1 600	typique des sols sableux podzoliques

#### 1.5 Phosphore et potassium disponible aux plantes

L'analyse de sol nous indique les quantités de phosphore et de potassium disponibles aux plantes. Ces quantités ne sont qu'une fraction du phosphore et du potassium totaux des sols. Les niveaux de richesse selon le Guide du CRAAQ pour la plupart des légumes sont donnés dans le tableau 2. Ces niveaux de richesse sont différents de ceux utilisés en grandes cultures (CRAAQ, 2003).

**Tableau 2**  
**Classe de richesse du sol en phosphore et en potassium pour les**  
**cultures horticoles (adapté de CRAAQ, 2003)**

	<b>Phosphore (P)</b> <b>Résultat de l'analyse en</b> <b>kg/ha</b>	<b>Potassium (K)</b> <b>Résultat de l'analyse en</b> <b>kg/ha</b>
sol pauvre	0 - 50	0 – 100
sol pauvre	51 - 100	101 - 200
sol moyen	101 - 150	201 - 300
sol bon	151 - 200	301 - 400
sol riche	201 - 300	401 - 500
sol très riche	301 - 400	501 - 600
sol excessivement riche	> 401	> 601

Le ratio phosphore/aluminium, aussi appelé taux de saturation en phosphore ( $P/Al \times 100$ ), est une façon plus précise d'exprimer la richesse d'un sol en phosphore. On considère qu'un sol lourd (>30 % d'argile) est excessivement riche lorsque ce ratio dépasse 7,6 % et qu'un sol léger (moins de 30 % d'argile) est excessivement riche lorsque ce ratio dépasse 13,1 %. Ce ratio permet de prendre en compte la capacité de fixation du sol en phosphore.

### **1.6 Calcium, magnésium et capacité d'échange cationique**

Le niveau de calcium dépend de la texture du sol (tableau 3) et de la gestion du chaulage. En général, au Québec, plus le pH est haut, pour une texture donnée, plus le niveau de calcium est élevé. D'autre part, pour un même pH, plus le sol est argileux, plus le niveau de calcium est élevé.

Le niveau de magnésium dépend beaucoup de la texture du sol. Les argiles en sont beaucoup plus riches que les sables (tableau 3). Il y a des risques de carence lorsque le niveau de magnésium dans le sol est de moins de 200 kg/ha, ce qui est en général le cas dans les sols légers. Il faut alors utiliser de la chaux dolomitique.

La capacité d'échange cationique (CEC) (tableau 3) est une mesure de la capacité du sol à stocker les cations (calcium, magnésium, potassium, ions hydrogènes, etc.). Il s'agit d'une mesure de l'ensemble des charges négatives qui se trouvent sur l'argile et la matière organique. La CEC dépend principalement de la texture du sol. Plus il y a de l'argile dans un sol, plus la CEC est élevée et plus il peut stocker les éléments nutritifs. La matière organique a aussi une

influence sur la CEC. Plus il y a de matière organique, plus la CEC est élevée. C'est pour cela que la CEC est très haute dans les sols organiques. Dans les rapports d'analyses de sol, la CEC est calculée (et non mesurée) à partir du pH tampon et des niveaux de calcium, de potassium et de magnésium. Un chaulage important peut donc fausser cette mesure. La CEC calculée est aussi faussée dans les sols calcaires.

Les niveaux moyens de calcium et de magnésium, le pourcentage de saturation en calcium et la CEC sont indiqués dans le tableau 3.

**Tableau 3**  
**Niveaux moyens de calcium, pourcentage de saturation en calcium, en magnésium et CEC en fonction de la texture du sol**

Texture de sol	Niveau de calcium attendu (kg/ha) avec une bonne régie de chaulage	Pourcentage de saturation en calcium attendu (%)	Niveau de magnésium typique (kg/ha) <sup>a</sup>	CEC (meq/100 g)
sol sableux	2 000 à 4 000	55-60	<300	<12
loam <sup>b</sup>	4 000 à 7 000	60-70	300-700	13-24
sol argileux	>7 000	>70 <sup>c</sup>	>700	25-35

- a. Les chiffres concernant le magnésium sont valables pour la plupart des sols au Québec, mais ne sont pas une règle absolue.
- b. Un loam est un sol contenant un mélange de sable, de limon et d'argile. Dans un tel sol, aucune des trois fractions ne domine.
- c. Dans les sols très riches en magnésium, le niveau de saturation en calcium peut être plus bas.

## 2. LES BESOINS DES LEGUMES

### 2.1 Azote

Les besoins en azote des légumes sont en général élevés (tableau 4). Même pour les légumes-racines et la laitue, souvent classés dans la catégorie des légumes peu exigeants en agriculture biologique, on peut voir que les besoins en azote sont quand même appréciables.

Tableau 4

## Recommandations de fertilisation en azote des légumes (CRAAQ, 2003)

Légumes	Besoin N kg/ha
<b>Légumes exigeants</b>	
piment, aubergine	140
chou, brocoli	135
tomate	135
<b>Légumes moyennement exigeants</b>	
cucurbitacées	115
ail, oignon, poireau	110
betterave, radis	110
épinard	120
<b>Légumes peu exigeants</b>	
carotte, panais	80
laitue	70
légumineuses	
haricot jaune ou vert	45-60
pois sec ou vert	20-35

## 2.2 Phosphore et potassium

Les légumes sont surtout exigeants en potassium. Dans le cas du phosphore, il est fort probable que le niveau de mycorhization (voir section 1.3.5, chapitre Production de transplants) des plantes soit élevé en agriculture biologique et donc que les besoins en cet élément soient en réalité moindres que ceux présentés au tableau 5. Les données de ce tableau sont d'ailleurs actuellement en réévaluation par une équipe de chercheurs. Il n'est pas forcément nécessaire de combler tous les besoins. En général, les besoins de fertilisation en phosphore sont assez faibles dans les sols ayant plus de 150 kg/ha de P. Les besoins de fertilisation en potasse sont faibles dans les sols ayant plus de 350 kg/ha de K.



**Tableau 5**  
**Besoin de fertilisation en phosphore et en potassium des légumes. Une moyenne est faite pour**  
**chaque groupe de légumes (adapté du CRAAQ, 2003)**

Analyse de sol (kg/ha)	Piment, aubergine, chou, brocoli	Laitue, ail, oignon, poireau, cucurbitacées, épinard	Betterave, radis, carotte, panais	Pois, haricot, rutabaga, rabiole
<b>Phosphore (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)</b>				
0 - 50	240	185	160	140
50 - 100	215	160	140	120
100 - 150	190	140	110	105
150 - 200	165	120	95	90
200 - 300	120	90	75	75
300 - 400	70	55	50	50
> 400	40	30	30	20
<b>Potassium (K<sub>2</sub>O)</b>				
0 - 100	240	195	230	130
100 - 200	200	165	190	110
200 - 300	160	135	145	90
300 - 400	120	100	100	70
400 - 500	85	70	75	55
500 - 600	45	45	45	40
> 600	23	23	30	20

## 2.3 Oligo-éléments

Les oligo-éléments, aussi appelés éléments mineurs ou éléments traces, sont des éléments nécessaires aux plantes en très petites quantités.

### Interprétation des niveaux d'oligo-éléments

En terre minérale, les principaux oligo-éléments à surveiller sont le bore (Bo), le molybdène (Mo), le zinc (Zn) et le manganèse (Mn). En terre organique, il faut aussi surveiller le cuivre (Cu). Les tableaux 6 et 7 permettent d'évaluer les résultats d'analyse de sol quand aux niveaux d'oligo-éléments. L'extraction Mehlich III est utilisée pour le zinc, le manganèse et le cuivre. L'extraction à l'eau chaude est utilisée pour le bore et le molybdène. Les laboratoires font une extraction Mehlich III pour le bore si la méthode à l'eau chaude n'est pas spécifiquement demandée. Les résultats de l'extraction Mehlich III pour le bore ne peuvent pas être interprétés, car la marge d'erreur est trop élevée.

**Tableau 6**  
**Seuils de carences (ppm) pour les oligo-éléments en terres minérales (CRAAQ, 2003)**

Élément mineur	Pauvre	Moyen	Riche	Application à partir de moins de
Molybdène <sup>a</sup>				0,2 ppm
Bore <sup>a</sup>		0,8-1,1		1,1 ppm (cultures exigeantes)
Cuivre <sup>b</sup>	0-0,3	0,3-0,6	0,6 et plus	non précisé
Cuivre, terres noires <sup>b</sup>	0-30			non précisé
Manganèse <sup>b</sup>	0-5	6-11	12 et plus	pH <6,5, pas d'application ; pH>6,5 et Mn<11 ppm, application requise
Zinc <sup>b</sup>	0-1,8	1,9-2,8	2,8 et plus	pH <6,5 pas d'application ; pH>6,5 et Zn <2,8 ppm, application requise

a. Extraction à l'eau chaude. L'extraction Mehlich III n'est pas calibrée pour cet élément.

b. Extraction Mehlich

### Carences les plus fréquentes

Les carences les plus fréquentes en oligo-éléments pour les légumes sont présentées en résumé dans le tableau 7. Les carences peuvent être difficiles à diagnostiquer. Il est fortement recommandé de consulter un livre avec photos et de consulter des descriptions plus détaillées. Une analyse foliaire permet de confirmer en cas de doute. Lorsqu'on a recours à l'analyse foliaire, il est recommandé de prendre un échantillon dans une zone de champ avec carence et dans une zone de champ sans carence. Il faut aussi vérifier la procédure d'échantillonnage (quelle est la partie de plante à prélever et à quelle période (voir CRAAQ, 2003).

Les carences en manganèse ou en zinc sont plus fréquentes en sol léger. Les carences en bore et en molybdène sont très fréquentes, quel que soit le sol, pour les crucifères. Les carences en bore sont aussi fréquentes pour le céleri-branche, la betterave et la pomme de terre.

Les carences en calcium sont en fait un désordre physiologique dû à la faible mobilité du calcium dans la plante. Le sol n'est pas forcément déficient en calcium. Ce problème est souvent causé par une croissance trop rapide de la plante causée par un excès d'azote ou un régime hydrique irrégulier. Un document détaillé a été écrit sur les carences en calcium par le Comité de Production Végétales du Québec (CPVQ, 1999a).

**Tableau 7**  
**Principales carences observées dans les légumes**

Légumes	Élément mineur souvent déficitaire	Symptôme (Howard et al., 1994) <sup>a</sup>
Crucifères	molybdène	Carence légère facilement visible sur le chou-fleur : limbe petit et pétiole trop grand ; signes d'une carence plus grave : feuilles en forme de cuillère ou encore en queue de fouet, taches diffuses de chlorose
Crucifères	bore	Carence légère facilement visible sur le brocoli : feuilles gaufrées ; signes d'une carence plus grave : cavités brunes dans les tiges, apparition de taches fermes, ocre et huileuses sur l'inflorescence du chou-fleur. Attention, la tige creuse du brocoli et du chou-fleur est souvent liée à un désordre physiologique et non forcément à une carence en bore. Pour le navet ou le rutabaga, il y a des tâches brunes dans la racine qui sont dispersées, groupées ou dans un patron concentriques.
Céleri	bore	Gerçure des pétioles
Céleri	calcium	Cœur noir. Les feuilles atteintes ont les bouts noircis.
Tomate, piment	calcium	Pourriture apicale
Crucifères, laitue	calcium	Nécrose ou brunissement du haut des nouvelles feuilles (brûlure de la pointe ou nécrose marginale)

a. Les symptômes de carence peuvent varier selon les légumes. Il est préférable de consulter des documents avec photos comme le livre d'Howard et al. (1994) ou certains sites internet, tel celui d'Agri-réseau.

### 3. FERTILISATION DES LÉGUMES

#### 3.1 Apports d'azote, de phosphore et de potasse

L'azote est le premier facteur à considérer lors de l'établissement de la fertilisation. Comme les apports d'azote se font principalement avec les composts, les fumiers et les engrais verts, une quantité importante et souvent suffisante de phosphore et de potasse est aussi apportée. Les calculs permettent de vérifier s'il y a lieu de faire une fertilisation complémentaire pour ces deux éléments. Alors que les apports de phosphore sont souvent trop élevés, il est parfois nécessaire de rajouter de la potasse sous forme de sulfate de potassium ou de sulfate de potassium et magnésium.

Pour planifier la fertilisation azotée, les légumes peuvent être divisés en trois groupes :

- légumes exigeants : besoins de 120 à 140 kg/ha de N ;
- légumes moyennement exigeants : besoins de 90 à 110 kg/ha de N ;
- légumes peu exigeants : besoin de 50 à 70 kg/ha.

La section qui suit permet de comprendre les étapes du calcul de fertilisation à l'aide d'un exemple. Les chiffres sont à ajuster en fonction de chaque ferme. Attention :, ces chiffres ne sont pas précis. Ils permettent juste de savoir si, grosso modo, les apports en éléments

fertilisants sont suffisants. En effet, la disponibilité de l'azote du compost est mal connue de même que les apports en éléments disponibles des engrais verts. En ce qui concerne ces derniers, d'une part, leur biomasse racinaire n'est pas connue et, d'autre part, leur effet bénéfique sur le sol renforce leur effet fertilisant, ce qui n'est pas vraiment chiffrable.

### Calcul de fertilisation pour une ferme ayant une régie avec engrais vert d'une année complète

Rotation : Engrais vert de légumineuses ou foin – légumes exigeants – légumes moyennement ou peu exigeants

Matières disponibles pour la fertilisation : compost, fumier de volaille granulé et engrais vert  
La valeur fertilisante de ces trois matériaux est calculée respectivement dans les tableaux 8, 9 et 10.

**Tableau 8**  
**Calcul de la valeur fertilisante d'une tonne de compost**

	<b>N</b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>K<sub>2</sub>O</b>
Analyse (kg/t) <sup>a</sup>	7,6	9,1	5,4
Disponibilité des éléments (%) <sup>a</sup>	30	65	100
Contenu en éléments disponibles (kg/t)	7,6 kg/t X 30 % = 2,3 kg/t	9,1 kg/t X 65 % = 5,9 kg/t	5,4 kg/t X 100 % = 5,4 kg/t

- a. Exemple d'analyse provenant du tableau 6, section 2.7
- b. La disponibilité de l'azote est à estimer en fonction du compost. Pour le phosphore et la potasse, les chiffres sont ceux des fumiers et proviennent du *Guide de référence en fertilisation* (CRAAQ, 2003).

**Tableau 9**  
**Calcul de la valeur fertilisante d'une tonne de fumier de volaille granulé**

	<b>N</b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>K<sub>2</sub>O</b>
Analyse (kg/t)	40	40	20
Disponibilité des éléments (%) <sup>a</sup>	80	65	100
Contenu en éléments disponibles (kg/t)	40 kg/t X 80 % = 32	40 kg/t X 65 % = 26	20 kg/t X 100 % = 20

- a. La disponibilité de l'azote est estimée. Pour le phosphore et la potasse, les chiffres sont ceux des fumiers et proviennent du *Guide de référence en fertilisation* (CRAAQ, 2003).

Dans notre exemple, l'engrais vert a une biomasse sèche de 4 t/ha et contient 3 % d'azote, 0,5 % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et 3,5 % de K<sub>2</sub>O soit 30 kg/t d'azote, 5 kg/t de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et 35 kg/t de K<sub>2</sub>O. Sa valeur fertilisante est calculée dans le tableau 10.

Pour connaître la biomasse de l'engrais vert, il est possible de le couper sur une superficie de un mètre carré et de le peser. Une zone représentative doit être choisie pour faire cette mesure. Cette mesure peut être répétée plusieurs fois dans le même champ. Un sous-échantillon est alors prélevé, pesé humide, séché, puis pesé à nouveau. Le taux de matière sèche peut alors être calculé : (poids sec/poids humide) X 100 %. On peut aussi utiliser les chiffres donnés dans le chapitre sur les engrais verts ou envoyer un échantillon au laboratoire pour être analysé.

**Tableau 10**  
**Calcul de la valeur fertilisante de l'engrais vert**

	<b>N</b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>K<sub>2</sub>O</b>
Analyse (kg/t)	30	5	25
Disponibilité des éléments (%) <sup>a</sup>	60	65	100
Contenu en éléments disponibles (kg/t)	30 kg/t X 60 % = 18	5 kg/t X 65 % = 3,25	25 kg/t X 100 % = 25

a. Voir chapitre sur les engrais verts

Le calcul de l'azote, du phosphore et de la potasse apporté par ces matières fertilisantes est donné dans les tableaux 11 et 12. Dans cet exemple, nous avons fixé la quantité de compost utilisée à 20 t/ha. Cette dose est choisie pour minimiser les apports de phosphore. Le fumier granulé, qui permet d'apporter moins de phosphore pour une même quantité d'azote, est utilisé pour compléter les besoins en azote. La quantité à apporter est estimée en fonction des besoins en azote qui restent à combler après l'apport de compost.

**Tableau 11**  
**Calcul de la fertilisation pour les légumes exigeants (année 1 de la rotation)**

	<b>t/ha de fertilisant</b>	<b>N disponible kg/ha</b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total kg/ha</b>	<b>K<sub>2</sub>O kg/ha total</b>
Apport de l'engrais vert	4	4 t/ha X 18 kg/t = 72 kg	4 t/ha X 3,25 kg/t = 13 kg	4 t/ha X 25 kg/t = 100 kg
Apport du compost	20	20 t X 2,3 kg/t = 46	20 t X 5,9 kg/t = 118	20 t X 5,4 kg/t = 108
Fumier granulé	0,5	0,5 t X 32 kg/t = 16	0,5 t X 26 kg/t = 13	0,5 t X 20 kg/t = 10
<b>Total</b>		<b>134</b>	<b>144</b>	<b>218</b>

**Tableau 12**  
**Calcul de la fertilisation pour les légumes moyennement exigeants (année 2 de la rotation)**

	t/ha de fertilisant	N disponible kg/ha	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total kg/ha	K <sub>2</sub> O kg/ha total
Apport de l'engrais vert	0	0	0	0
Apport du compost	20	46	118	108
Fumier granulé	1 à 2 t selon les légumes	32 à 64	26 à 52	20 à 40
<b>Total</b>		<b>78 à 110</b>	<b>144 à 170</b>	<b>128 à 148</b>

### Commentaires

1. Dans ces calculs, il y a plusieurs risques d'erreur :
  - les arrière-effets des fumures précédentes ne sont pas connus ;
  - la qualité du sol n'est pas prise en compte ;
  - le taux de minéralisation de l'engrais vert peut varier (il peut être plus élevé que ce qui est présenté dans de bonnes conditions de sol et de climat) ;
  - la disponibilité de l'azote du compost peut être plus faible ;
  - lorsque le sol est faible en potassium, il vaut mieux ne pas trop se fier au potassium apporté par l'engrais vert.

Le suivi au champ est donc primordial pour permettre des réajustements.

2. Les apports de phosphore sont élevés et risquent de dépasser les dépôts maximaux autorisés par le REA (règlement sur les exploitations agricoles) si le sol est riche. Si la fertilisation était uniquement basée sur le compost, la situation serait pire en regard du bilan phosphore. Il est possible toutefois de trouver des composts moins riches en phosphore.
3. La quantité de potasse apportée est élevée, il n'y a probablement pas de fertilisation d'appoint à faire à ce niveau. Il faut vérifier avec les analyses de sol quels sont les besoins de la plante.

### 3.2 Apport d'oligo-éléments

Lorsqu'une carence est détectée, les doses d'oligo-éléments à utiliser sont données dans le tableau 13. Il faut bien mouiller le feuillage en utilisant au moins 200 l d'eau par hectare lors de la pulvérisation. Il est préférable de faire l'application le matin lorsque les stomates des plantes sont ouverts, car l'absorption est alors meilleure. Il faut éviter les applications en plein soleil qui peuvent causer des brûlures. Attention : les doses de bore nécessaires pour les betteraves et les crucifères sont toxiques pour les céréales, les haricots, les pois et les concombres.

Une analyse de sol ou de plante indiquant une carence ou une recommandation agronomique est nécessaire pour justifier une application selon les normes du CARTV (Conseil des appellations réservées et des termes valorisants), section 5.4.6.

**Tableau 13**  
**Recommandation d'oligo-éléments en application foliaire en cas de carences observées –**  
**toujours suivre l'étiquette (CPVQ, 1999b, MAAARO, 2007, Valk, 1989)**

Élément	Culture nécessitant souvent un apport	Besoins kg/ha d'élément actif	Exemple de produit <sup>a</sup>	Dose 1 000 L/ha de produit commercial	Date
Bore <sup>b</sup>	Crucifères	0,23-0,46	Solubor 21 %	1,1-2,2 kg (1,1-2,2 g/l/10 m <sup>2</sup> )	1 <sup>er</sup> traitement 10 jours après la reprise des plants, puis 2 <sup>e</sup> traitement : au début de l'inflorescence pour le brocoli et le chou-fleur
	Betterave	0,23-0,70	Solubor 21 %	1 à 3 kg de solubor	1 <sup>er</sup> traitement quand les plants ont 15 cm, puis 2 <sup>e</sup> traitement 15 jours plus tard
	Céleri-branche	0,3	Solubor 21 %	1,4 kg/ha	
Calcium <sup>c</sup>	Poivron, tomate	3,2	Chlorure de calcium 36 %	9 kg	Dès l'apparition des fruits de la première grappe
	Laitue	3,2	Chlorure de calcium 36 %	9 kg	Dès l'apparition des symptômes – la solution doit atteindre le cœur
	Céleri-branche	1,8	Chlorure de calcium 36 %	5 kg	En période de sécheresse ; avant l'apparition des symptômes
Manganèse	Général	0,5-1	Sulfate de manganèse 28 %	1,8-3,6 kg	
Manganèse	Oignon	1-2	Sulfate de manganèse 28 %	3,6-7,2	Dès que les oignons ont deux feuilles vraies
Molybdène	Crucifères	0,1-0,25	Molybdate de sodium 37 %	0,25-0,6 kg (0,25 g l/10 m <sup>2</sup> )	Dès l'apparition des symptômes
Zinc	Général	0,6	Sulfate de zinc 36 %	1,6 kg	

a. Consulter le MIB (Duval et Weill, 2007) pour la liste des produits et vérifier auprès de l'organisme certificateur.

b. Un excès de bore est toxique.

c. Note : Il est préférable de mettre le calcium en irrigation goutte-à-goutte quand c'est possible : 3 à 5 kg/ha de calcium deux fois par semaine selon la sensibilité de la variété. Attention aux dépôts de sel qui peuvent boucher les conduites.

Le cuivre, le zinc et le bore peuvent aussi être appliqués au sol (tableau 14).

Tableau 14

**Recommandation d'éléments mineurs en application au sol en cas de carences observées – toujours suivre l'étiquette (CRAAQ, 2003). Attention : des applications de bore au sol peuvent nuire à certaines cultures sensibles l'année suivante.**

Oligo-élément	Kg/ha d'élément actif	Produit – dose kg/ha <sup>a</sup>
Bore <sup>b</sup>	1 kg à la volée	Borax 11 % : 10 kg/ha
Cuivre	Terres organiques uniquement : 10-20 kg/ha tous les trois ans (vérifier avec l'analyse de sol)	Sulfate de cuivre 25 % : 40-80 kg/ha
Zinc	2-3 kg en bande ; 4-8 kg à la volée	Sulfate de zinc 27,9 % : 7-11 kg/ha en bande 14-28 kg à la volée

a. S'assurer de la conformité d'utilisation et du produit.

b. Attention mis au sol, le bore peut être toxique pour la culture suivante si cette dernière est sensible au bore.

## 4. CHAULAGE

Le chaulage est un facteur important de rendement et de qualité des sols. Le calcium jumelé à un bon pH permet d'optimiser les cycles biologiques et d'améliorer la structure du sol. La plupart des sols au Québec ont besoin d'être chaulés. En effet, la pluviosité importante occasionne des pertes de calcium par lessivage. De plus, d'autres facteurs tels que les pluies acides, l'activité biologique, l'utilisation de certains engrais tendent à acidifier le sol.

### 4.1 Type de chaux

La chaux peut être calcique, magnésienne ou dolomitique (tableau 15), selon sa teneur en magnésium. Normalement, la chaux calcique doit être utilisée sauf lorsque la quantité de magnésium à l'analyse de sol est inférieure à 200 kg/ha. Dans ce cas, il faut utiliser de la chaux magnésienne ou dolomitique afin d'apporter du magnésium.

**Tableau 15**  
**Pourcentage de magnésium selon le type de chaux**

	Pourcentage de carbonate de magnésium (MgCO <sub>3</sub> )	Pourcentage de magnésium (Mg)
Chaux calcique	0-4,9	0-1,4
Chaux magnésienne	5-19,9	1,41-5,7
Chaux dolomitique	>20	>5,7

### 4.2 Quelle quantité de chaux mettre ?

Le pH tampon permet de déterminer quelle quantité de chaux appliquer. Les doses précises sont indiquées dans le *Guide de référence en fertilisation* du CRAAQ (CRAAQ, 2003).



Toutefois, il est facile de calculer de façon grossière les doses de chaux nécessaire pour obtenir un pH de 6,5. La formule est la suivante : quantité de chaux à apporter (t/ha) = (7 – pH tampon) X 10. Par exemple, si le pH tampon est de 6,2, la quantité à apporter est de : (7 – 6,2) X 10 = 8 t/ha. Il faudrait 4 applications de 2 t/ha durant quatre ans. Il faut fractionner les apports de manière à ne pas mettre plus de 2 t/ha/an. Il faut reprendre des analyses de sol après la deuxième ou troisième application, car il est bien probable qu'en fractionnant les apports, il ne soit pas nécessaire de mettre autant de chaux.

### 4.3 Quand chauler ?

Le moment idéal pour chauler est lorsque le sol est sec et que l'on ne cause pas de compaction avec le camion ou l'épandeur à chaux. La date a peu d'importance. Le chaulage peut se faire sur le sol nu, sur un engrais vert, juste après la récolte ou sur une prairie juste après une coupe de foin.

### 4.4 Incorporation

Il faut idéalement mélanger la chaux dans la couche cultivée ou dans sa partie supérieure pour qu'elle agisse. L'utilisation d'un outil à dents ou à disques est idéale. Attention au labour à plat qui envoie toute la chaux en une mince couche à 10-15 cm de profondeur ; mal répartie, elle ne sera pas très efficace.

### 4.5 Chaulage et éléments mineurs

Le chaulage en quantité importante diminue la disponibilité du fer, du manganèse, du cuivre et du zinc. En cas de chaulage important des sols sableux, il y a un risque élevé de carences. Ceci n'est toutefois pas le cas en sols moyen ou lourd.

Au contraire, la disponibilité du molybdène augmente avec le pH. Celle du bore n'est pas affectée par le pH.

## 5. RÉFÉRENCES

Agriculture et Agroalimentaire Canada. *Études pédologiques*. Système d'information des sols du Canada (SISCan). Études pédologiques du Québec, 2008.

<http://sis.agr.gc.ca/siscan/publications/pq/index.html>

<http://sis.agr.gc.ca/siscan/nsdb/detailed/pq/zipfiles.html>.

- Institut national de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA). *Études pédologiques*. [http://www.irda.qc.ca/docs\\_web/etu\\_pedolo.aspx](http://www.irda.qc.ca/docs_web/etu_pedolo.aspx)
- Comité de Production Végétales du Québec (CPVQ). *Nutrition en calcium : problèmes et prévention*, Feuille 99-1, AGDEX 532, 1999a.
- Comité de Production Végétales du Québec (CPVQ). *Répertoire des traitements de protection des cultures*, 1999b. <http://www.craaq.qc.ca/index.cfm?p=32&l=fr&ldDoc=1468>
- Centre de références en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ), *Guide de référence en fertilisation*, 2003, 294 pages.
- Duval, J. et A. Weill. 2007. Manuel des intrants bio (MIB). PSDAB-MAPAQ. <http://www.agrireseau.qc.ca/agriculturebiologique/default.aspx>
- Howard, R. J., J. A. Garland, W. L. Seaman, C. Richard, G. Boivin, T. Christine et P. Venne. 1994. *Maladies et ravageurs des cultures légumières au Canada*, Société canadienne de phytopathologie /Société d'entomologie du Canada, Ottawa, 590 pages.
- Ministère de l'Agriculture de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario (MAAARO), Recommandation pour les cultures légumières, Publication 363F, 2007. <http://www.omafra.gov.on.ca/french/crops/pub363/p363toc.htm>
- Petit, J. et P. Jobin, *La fertilisation organique des cultures*, FABQ, 2005. <http://www.agrireseau.qc.ca/agriculturebiologique/documents/Brochure%20fertilisation15nov.pdf>
- Soltner, D. *Les bases de la production végétale : le sol*. Collection sciences et techniques agricoles, 2003. <http://www.soltner.fr/livrediff.php>
- Tran, T.S. et M. Giroux. « Relation entre les propriétés du sol et la disponibilité du phosphore à la plante », *Agrosol*, octobre 1990.
- Valk, M. *Les oignons*, ministère de l'Agriculture de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario (MAAARO). Agdex 258, Publication 486F, 1989.
- Weill, A. *L'évaluation visuelle de l'état du sol*, Centre de références en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ), 2009, 33 pages.
- Weill, A. *Les profils de sol agronomiques, un outil de diagnostic de l'état des sols*. Centre de références en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ), 2009, 132 pages.