



La fertilisation des plantes ligneuses cultivées en contenant

**Document préparé dans le cadre du Programme Horti-2002 à la
Direction de l'innovation scientifique et technologique**

Saint-Hyacinthe

Décembre 2004

Remerciements

**L'IQDHO remercie le Ministère de l'Agriculture,
des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ)
de son appui financier dans le cadre du Programme
Horti-2002**



Le contenu rédactionnel de ce document a été préparé par :

**Mario Comtois, B. Sc., Biol.
Marc Légaré, d.t.a.**

**Avec la collaboration de :
Marie-Claude Limoges, M. Sc., agr.
Caroline Martineau, B. Sc. Agr.
Brigitte Mongeau, d.t.a.**

Nos remerciements à :

**l'atelier pépinière du comité de l'Horticulture ornementale du
CRAAQ pour l'aide apportée dans la validation du contenu technique
de ce document.**

Luc Fontaine
Jacques André Rioux
Claude Richer
Gisèle Bertrand

Table des matières

Remerciements	2
Avant propos	6
Mario Comtois, B.Sc.Biol., conseiller en pépinière, IQDHO	6
Introduction	7
1. Les substrats	7
1.1 Les propriétés physiques du substrat	7
Les propriétés physiques du substrat :	7
1.1.1 La porosité, la rétention en eau et la rétention en air	8
1.1.2 La diffusivité des gaz	8
1.1.3 La conductivité hydraulique	8
1.1.4 La granulométrie.....	9
1.1.5 La densité apparente	9
1.2 Les propriétés chimiques du substrat	10
1.2.1 Le pH	10
1.2.2 La salinité (conductivité électrique).....	11
1.2.3 La capacité d'échange cationique (C.E.C).....	12
1.2.4 Le contenu en éléments nutritifs des différents constituants du substrat	12
1.2.5 Le rapport C / N.....	12
1.2.6 L'indice de rétention de l'azote (IRN).....	13
1.3 Les échantillons de substrat	14
1.3.1 Considérations techniques	14
1.3.2 Méthode d'extraction	15
1.3.3 Procédure pour mesure-maison du pH et de la salinité ou conductivité électrique	16
1.3.4 Interprétation des résultats	17
1.3.5 Modifications temporaires du pH	19
1.3.6 Comment faire augmenter le pH d'un substrat en cours de culture ?.....	19
1.3.7 Comment faire diminuer le pH d'un substrat en cours de culture ?.....	20
1.3.8 Équilibre entre les différents éléments.....	21
1.4 L'analyse foliaire	22
1.5 Mobilité des éléments minéraux dans la plante	23
2. L'eau 29	
2.1 La salinité ou conductivité électrique	30
2.2 Les effets de l'alcalinité de l'eau sur le pH du substrat	30
2.3 R.A.S. 31	
3. Les engrais à libération lente et contrôlée	32
3.1 Les engrais à libération lente	32
3.1.1 Urée Formaldéhyde (Nitroform, Nutralene) 38-0-0	32
3.1.2 Isobutylidène diurée 31-0-0	32
3.2 Les engrais à libération contrôlée	33
3.2.1 Urée enrobée de soufre (UES)	33
3.2.2 Urée enrobée de soufre et de polymère (Poly-S)	33
3.2.3 Osmocote	33

Table des matières

3.2.4	Nutricote (enrobage de polymère)	34
3.2.5	Nutryon (Polyon)	34
3.2.6	Multicote	34
3.3	Méthodes d'application	37
3.3.1	À la surface des pots	37
3.3.2	Incorporé	37
3.3.3	Poquet (dibbling)	38
3.4	Considérations générales sur les engrais à libération lente ou contrôlée	38
3.4.1	La salinité (C.E.)	38
3.4.2	La température	38
4.	La fertirrigation	40
4.1	Les formulations.....	40
4.2	La fertilisation foliaire.....	42
4.4	Absorption foliaire:.....	42
4.5	La fertilisation foliaire d'un engrais azoté à forte dose.....	43
5.	Programme de fertilisation	44
5.1	Mélange d'engrais à libération contrôlée (E.LC.) de différent temps de libération et fractionnement des doses.	44
5.2	Libération lente et fertirrigation d'appoint.....	45
5.3	Fertirrigation continue ou ponctuelle	45
5.4	Fertilisation d'automne	46
5.4.1	L'azote en automne.....	46
5.4.2	Le potassium en automne.....	47
5.5	Calendrier de fertilisation.....	47
5.5.1	L'application d'engrais à libération lente lors de réempotage au cours de la saison	47
5.5.2	Les quantités d'engrais à libération contrôlée à appliquer.....	47
5.5.3	Calendrier de fertilisation à base d'engrais à libération contrôlée seulement	48
5.5.4	Calendrier de fertilisation avec engrais à libération lente et engrais solubles ou liquides	49
5.5.5	Calendrier de fertilisation avec engrais solubles ou liquides.....	50

Table des matières

Liste des tableaux

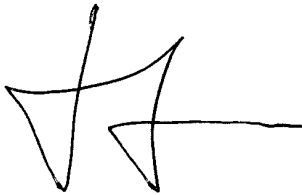
Tableau 1	Disponibilité des éléments selon le pH dans un substrat à base de tourbe ..	11
Tableau 2	Interprétation de différentes mesures de salinité.....	17
Tableau 3	Niveaux souhaitables d'éléments minéraux en <u>production de pépinière</u> (Méthode SME, exprimée en ppm).....	18
Tableau 4	Antagonismes minéraux.....	22
Tableau 5	Teneur moyenne en éléments nutritifs des feuilles de plantes cultivées en contenant	23
Tableau 6	Mobilité des éléments nutritifs à l'intérieur de la plante.....	24
Tableau 7	Symptômes de carences en éléments nutritifs.....	25
Tableau 8	Normes de qualité minérale pour l'eau d'irrigation.....	29
Tableau 9	Classification de l'eau d'irrigation en fonction de son alcalinité.....	30
Tableau 11	Engrais solubles de base entrant dans la confection des formules d'engrais 40	
Tableau 12	Les principales formules d'engrais disponibles sur le marché et leur effet sur le pH du sol	41
Tableau 13	Rapidité d'absorption foliaire	43

Avant propos

Au cours de la dernière année, l'IQDHO a travaillé à mettre à jour les plus récentes connaissances dans le domaine de la fertilisation en pépinière. Le présent guide traite de la fertilisation des plantes ligneuses cultivées en contenant. Les connaissances en fertilisation en milieu artificiel ont beaucoup évolué depuis les 15 dernières années, principalement du côté des plantes annuelles et vivaces. Certaines connaissances ont été empruntées à des recherches dans ce milieu. Le texte présente des informations à jour sur : les substrats utilisés en pépinière, leurs propriétés chimiques et physiques; les méthodes de mesure des différents éléments et les différents types d'engrais. Les engrais solubles et particulièrement les engrais à libération contrôlée qui semblent être la voie à privilégier dans le futur pour optimiser la croissance des plantes et limiter les impacts sur l'environnement.

Également, de nouvelles méthodes d'application sont présentées, de même qu'un programme de fertilisation adapté aux réalités de la production en pépinière québécoise.

Mario Comtois, B.Sc.Biol., conseiller en pépinière, IQDHO



Introduction

La culture en contenant, malgré ses avantages, demande une gestion et un suivi plus serré de la fertilisation que la production en plein champ. Au départ, les terreaux utilisés pour ce genre de culture contiennent souvent peu d'éléments fertilisants et le volume des contenants est limité. Par conséquent, un apport d'engrais ajusté aux besoins des plants doit être régulièrement fourni durant toute la saison de croissance.

Il faut considérer deux éléments complémentaires lorsque l'on veut comprendre les facteurs responsables de la croissance des plantes et l'impact de ceux-ci sur l'équilibre requis par les végétaux : le substrat et l'eau.

La première partie de ce document concerne donc le substrat et ses propriétés physiques et chimiques. Par la suite, différentes techniques pour effectuer des analyses seront traitées et en troisième lieu, un survol des particularités liées à l'eau seront expliquées.

1. Les substrats

Les substrats utilisés en production en pépinière doivent répondre aux quatre fonctions suivantes :

- a) fournir une réserve d'eau ;
- b) fournir une réserve d'éléments nutritifs ;
- c) permettre les échanges gazeux entre l'air et les racines ;
- d) procurer un support à la plante.

Les principales propriétés physiques et chimiques que devrait posséder un terreau sont identifiées ci-dessous et une brève description de chacune d'elle est présentée :

1.1 Les propriétés physiques du substrat

Les propriétés physiques du substrat :

- La porosité ou rétention en eau et rétention en air
- La diffusivité des gaz
- La conductivité hydraulique
- La conductivité hydraulique saturée (percolation)
- La conductivité hydraulique non saturée (force de capillarité)
- La granulométrie
- La densité apparente

1.1.1 La porosité, la rétention en eau et la rétention en air

La porosité représente la proportion du terreau qui n'est pas occupée par de la matière solide. Le volume total des espaces vides, soit la porosité totale, existant à l'intérieur d'un volume de substrat ne permet toutefois pas de connaître la proportion en eau et en air de ce substrat après saturation.

Cette distinction amène donc une subdivision de la porosité totale en micropores et en macropores. L'espace interparticulaire représente les macropores et les micropores. Il n'existe pas de limite fixe séparant les deux types de pores, toutefois, au-delà d'une plage variant entre 30 à 50 microns de diamètre, il s'agit de macropores.

Dans un substrat humide et bien drainé, les macropores sont pratiquement toujours occupés par l'air et les micropores, occupés par l'eau. Pour une porosité donnée, plus le rapport micropores/porosité totale est élevé, plus ce substrat peut retenir l'eau. Ce qui veut dire que la force de capillarité est plus élevée lorsque les pores sont plus fins.

La rétention d'eau et d'air s'exprime en pourcentage de volume, soit le pourcentage de volume versus le volume total du terreau. (63)

1.1.2 La diffusivité des gaz

La porosité totale est divisée en porosité ouverte et en porosité fermée, selon que les pores communiquent ou non avec l'extérieur.

Le réseau de macropores doit être ouvert (continuité des pores) afin de permettre une bonne diffusion de l'oxygène et du gaz carbonique dans le substrat. Ceci favorise la respiration racinaire et la prolifération de micro-organismes aérobies, ce qui donne comme résultante une meilleure croissance de la plante.

Les pores fermés sont des pores emprisonnés dans la phase solide et ne servent ni à la rétention d'eau ni à la rétention d'air. Ils ne font pas partie de la porosité utile. (63)

1.1.3 La conductivité hydraulique

La conductivité hydraulique d'un substrat est sa capacité à faire migrer l'eau. Cette mesure peut s'effectuer avec un substrat sous deux conditions soit : en condition saturée en eau ou en condition non saturée. (63)

La fertilisation des plantes ligneuses cultivées en contenant

La conductivité hydraulique saturée (percolation)

Cette conductivité exprime la capacité d'un substrat à transporter l'eau lorsque ce dernier est saturé. Cette valeur est obtenue par la mesure du débit de percolation au travers d'un échantillon saturé maintenu sous une charge d'eau constante.

Il s'agit d'une valeur importante, car elle indique les risques d'asphyxie racinaire reliés à un ressuyage trop lent. (63)

La conductivité hydraulique non saturée (force de capillarité)

La force de capillarité est responsable de la remontée de l'eau à l'intérieur d'un substrat et de sa distribution uniforme dans la motte. Elle fait en sorte que le substrat peut retenir l'eau malgré la pression exercée par la force de gravité. Pour les productions utilisant des systèmes de subirrigation, la conductivité hydraulique non saturée est une propriété importante pour assurer un approvisionnement adéquat de la plante en eau. (63)

1.1.4 La granulométrie

La granulométrie est la mesure de la dimension et de la forme des particules (ou grains). Cette classification est liée aux différentes tailles des particules.

La granulométrie des particules d'un substrat est importante, car elle a un effet direct sur la porosité. L'emploi de particules fines (ex. sable fin, tourbe noire) augmente la rétention en eau, mais diminue l'aération. L'emploi de particules grossières de granulométrie homogène (ex. sable grossier tamisé, perlite) augmente l'aération, mais diminue la rétention en eau.

Il est faux de penser qu'un mélange de particules grossières et fines donnera nécessairement l'équilibre recherché. Les fines particules ont tendance à colmater (boucher) l'espace compris entre les particules plus grossières et donnent en bout de ligne, un mélange très peu aéré retenant trop d'eau. Il est préférable de mélanger des matériaux de structures différentes (ex. fibres avec agrégats). (63)

1.1.5 La densité apparente

Un des principaux rôles du substrat est de fournir un support à la plante. Il doit donc être suffisamment lourd pour permettre la stabilité de la plante et des contenants en culture sans toutefois être trop lourd, rendant la manutention difficile et augmentant les coûts de transport.

1.2 Les propriétés chimiques du substrat

Les propriétés chimiques du substrat

- Le pH
- La salinité
- La capacité d'échange cationique (C.E.C.)
- Le contenu en éléments nutritifs
- Le rapport C/N
- L'indice de rétention de l'azote (IRN)

1.2.1 Le pH

- Le pH exprime l'activité des ions hydrogènes (H⁺) en solution.
- Il est exprimé selon une échelle de 0 à 14, la neutralité se situe à un pH de 7
[H⁺] > [OH⁻] = pH acide, 0 à 6,9
[H⁺] < [OH⁻] = pH alcalin, 7,1 à 14

Si la concentration des ions H⁺ est plus élevée, le pH est acide. À l'inverse, le pH sera alcalin.

L'importance du pH réside dans le fait qu'il affecte la solubilité des éléments nutritifs dans le sol et dans une solution. Cependant, en culture en conteneur, puisque les éléments nutritifs sont fournis régulièrement, le pH du substrat est moins important. Si la valeur du pH d'un substrat dépasse 6,5, des carences peuvent se produire.

Tableau 1 Disponibilité des éléments selon le pH dans un substrat à base de tourbe

		Valeur de pH	
0-	5,5	6,5	14
Excès possible		Excès possible	
Manganèse		Calcium	
Fer		Azote	
Bore			
Cuivre			
Zinc			
Sodium			
Bonne disponibilité des éléments			
Carence possible		Carence possible	
Calcium		Fer	
Magnésium		Manganèse	
Phosphore		Bore	
Potassium		Cuivre	
Soufre		Zinc	
Molybdène		Phosphore	
		Magnésium (> 8,5)	

1.2.2 La salinité (conductivité électrique)

- La salinité est reliée à la quantité totale d'ions minéraux en solution (principalement les engrais) et d'autres minéraux contenus dans le substrat et l'eau d'irrigation.
- Elle est exprimée en termes de mmhos/cm ou milli-Siemens/cm (mS/cm est l'unité utilisée dans le système international) :
 - 1 mmho/cm correspond à 1 mS/cm (ou 1 dS/m).
- une valeur élevée représente une grande quantité d'ions en solution, ce qui rend plus difficile l'absorption d'eau et d'éléments nutritifs par la plante et peut même brûler les racines.

La salinité devrait en général être inférieure à 1,5 - 2,0 mS/cm en début de culture et se maintenir entre 0,75 et 3,5 mS/cm en cours de culture (selon analyse SME). Il faut garder en mémoire que les plantes s'enracinent mieux dans un substrat contenant peu d'éléments nutritifs.

1.2.3 La capacité d'échange cationique (C.E.C).

La majorité des composantes d'un substrat possèdent une certaine capacité à retenir les éléments minéraux, en particulier les cations (ions chargés positivement tels : NH_4^+ , K^+ , Ca^{++} , Mn^{++} , Mg^{++} , Fe^{++} , Cu^{++} , Zn^{++}).

Un substrat possédant une forte capacité d'échange cationique peut emmagasiner une plus grande réserve en cations qu'un substrat à faible capacité d'échange. La C.E.C. joue donc un rôle dans l'aptitude d'un substrat à retenir les éléments nutritifs, ce qui diminue les pertes par lessivage. La C.E.C. ne s'applique pas aux ions chargés négativement tels que les nitrates (NO_3^-), les phosphates (HPO_4^{2-} et H_2PO_4^-) et les sulfates (SO_4^{2-}).

La plupart des composantes utilisées pour l'élaboration des substrats, y compris le sable, possède une capacité d'échange cationique allant de moyenne à élevée lorsque reportée en terme de poids. En terme de volume, elle est faible. Pour cette raison, la C.E.C. n'est pas un facteur qui mérite énormément de considération dans la production en contenants à l'aide de substrat à base de tourbe. Vu le faible volume de substrat par plante, la disponibilité des éléments nutritifs est principalement dépendante de la fréquence des apports de fertilisants ou de la libération de ces éléments par les composantes du substrat (compost, engrais à libération lente) plutôt que de la C.E.C. du substrat.

1.2.4 Le contenu en éléments nutritifs des différents constituants du substrat

Certaines composantes du substrat libèrent des éléments nutritifs. L'importance de cette libération peut être d'ordre mineur ou majeur. Par exemple, la vermiculite contient une quantité importante de potassium, mais la libération de cet élément est d'ordre mineur pour les plantes ligneuses, les plantes consommant beaucoup plus de potassium que la vermiculite peut en libérer. Par contre, les écorces de certaines espèces de bois dur libèrent du manganèse en se décomposant. La plante consomme peu de cet élément et s'il n'est pas rapidement lessivé, il peut s'accumuler jusqu'à des concentrations toxiques ou encore agir comme ion antagoniste et provoquer une carence en un autre élément (Ex. : fer). Généralement, les intrants organiques à base de bois ou des composts qui ne sont pas compostés sont à proscrire. Règle générale, la valeur nutritive des composantes d'un substrat est faible.

1.2.5 Le rapport C / N

Différents matériaux à base de bois et de ses déchets sont de plus en plus utilisés comme principales composantes de terreaux. L'écorce, les copeaux et la sciure de bois ainsi que d'autres résidus comme la fibre de coco contiennent des complexes carbonés disponibles plus ou moins rapidement pour les microorganismes qui immobilisent l'azote soluble et par conséquent rivalisent avec les besoins de la plante (37,38).

Sous l'action des micro-organismes, la matière organique se décompose pour donner de l'humus. Sachant que 1 kg d'azote (N) est consommé par les micro-organismes pour décomposer 30 kg de carbone (C) (63), il est facile d'imaginer la compétition qui

La fertilisation des plantes ligneuses cultivées en contenant

s'installe autour de cet élément entre les micro-organismes et la plante lorsque le rapport C / N est trop élevé.

Le rapport C / N d'un substrat devrait être inférieur à 25. Les laboratoires d'analyses minérales peuvent facilement doser ce paramètre (63).

Ce facteur n'est cependant pas toujours exact : la résistance naturelle des composantes d'un substrat à la décomposition doit également être prise en considération. Par exemple, un bran de scie provenant d'espèces résineuses est beaucoup plus résistant à la décomposition qu'un bran de scie d'espèces feuillues. Un haut taux de lignines contenu dans la matière organique (fibre de coco) diminue de beaucoup la vitesse de décomposition.

Enfin, plus le rapport surface / volume diminue moins la matière est facilement disponible pour les bactéries (63, 39).

1.2.6 L'indice de rétention de l'azote (IRN)

L'indice de rétention de l'azote quantifie l'immobilisation de l'azote entraîné par les microorganismes saprophytes impliqués dans la décomposition de matière organique.

Il mesure la concentration d'azote utilisé par les bactéries dans la solution du sol (32,35,37, 38, 39, 40, 41, 42, 53,73, 74).

L'immobilisation de l'azote par les bactéries est un sérieux problème rencontré par les producteurs en contenant utilisant des terreaux composés principalement de matière organique non compostée (surtout des morceaux ou des résidus de bois) (39, 63). Ce problème se rencontre principalement dans les mélanges ayant une valeur de C/N élevée. Il n'y a cependant pas de corrélation apparente entre l'augmentation du rapport C/N et les valeurs de l'indice de rétention de l'azote (IRN). En effet, un rapport C/N élevé entraîne une valeur d'immobilisation de l'azote différente selon les matériaux utilisés (voir Rapport C/N) (63, 39, 74).

La méthode d'évaluation de l'IRN est relativement simple et peut à la limite se faire chez le producteur dans un laboratoire élémentaire (32). Une quantité connue de nitrates (75 ppm) est incorporée en solution dans un terreau dépourvu de plante puis mesuré quatre jours plus tard (42,73,74). Cet indice mesure directement la quantité d'azote sous forme de nitrates qui a été utilisée par les bactéries du sol à une température donnée.

Les valeurs sont exprimées dans un intervalle de 0 à 1. Si après quatre jours les bactéries ont utilisé 30 % ou 22,5 ppm des nitrates contenus dans le terreau, celui-ci aura un indice de rétention de l'azote de $0,7 = \frac{100-30}{100}$.

Il n'existe pas de constante qui nous permette de calculer précisément la quantité de N à rajouter en fonction de la valeur de l'IRN. L'expérimentation a cependant démontré que

La fertilisation des plantes ligneuses cultivées en contenant

lorsqu'on obtient une valeur IRN entre 0,5 et 0,7, un apport de 100 à 200 ppm de N à la fertigation habituelle compense les pertes (35, 37,73, 74). Le suivi de la conductivité nous permet de doser approximativement les besoins supplémentaires en azote.

Il existe d'autres moyens pour mesurer la quantité de nitrates immobilisés par les bactéries sur une plus longue période (40), mais la première méthode mentionnée est de loin la plus documentée, la plus accessible et la plus simple. Certains utilisateurs de cette méthode mesurent l'évolution de la concentration d'azote dans le même échantillon sur une période de 40 jours. (53, 73).

Les valeurs de l'IRN des différents intrants qui composent les terreaux conventionnels sont variables d'une source à un autre et par rapport à leur niveau de compostage. Généralement la tourbe est le matériau qui reste le plus stable avec une valeur de 1. La sciure de bois fraîche est le matériau qui est le plus compétitif avec une valeur de 0. Voici un ordre de grandeur de la valeur approximative de plusieurs matériaux entrant dans la composition d'un terreau (40, 41, 53).

Tourbe = 1 > Fibre de coco ou écorce compostée > copeau de bois > écorce > Bran de scie = 0

1.3 Les échantillons de substrat

1.3.1 Considérations techniques

Techniques

Quantité d'échantillons

La prise d'échantillons devrait s'effectuer avec le contenu de plusieurs pots ou caissettes en production. Afin de diminuer les risques d'erreur, il faut prélever plusieurs échantillons (minimum de 5 à 10 par table ou banc de culture). Plus le nombre de prélèvements est élevé, plus les résultats seront représentatifs. On mélange plusieurs prélèvements dans un contenant propre pour en faire un échantillon qui est envoyé au laboratoire.

Méthode de prise d'échantillons:

- a) Prélever plusieurs échantillons de substrat à l'intérieur d'un groupe (minimum de 5 à 10 prélèvements) ;
- b) Mélanger tous les échantillons dans un contenant (très propre et sans trace de détergent) ;
- c) Prélever dans le contenant l'échantillon qui sera envoyé au laboratoire, environ 250 ml (une tasse).

La fertilisation des plantes ligneuses cultivées en contenant

Au moment du prélèvement de l'échantillon de sol, il faut s'assurer que ce dernier soit représentatif d'un ensemble. L'équilibre minéral d'un substrat peut varier en fonction des facteurs suivants :

- type de plante ;
- stade de développement de la plante ;
- date d'empotage des plants ;
- type et grosseur de pot ;
- type de fertilisation ;
- type de substrat ;
- source d'eau d'irrigation.

Un échantillon représentatif d'un ensemble signifie qu'il a été prélevé sur des sujets dont les facteurs ci-haut mentionnés sont identiques ou presque.

La prise d'échantillons de substrat s'effectue là où les racines sont présentes. Si les racines sont absentes en surface de la motte de substrat, il ne faut pas prélever cette partie aux fins d'analyse. En s'évaporant, l'eau du substrat entraîne les sels minéraux vers la couche supérieure de la motte (également zone d'accumulation d'algues), ce qui vient fausser les résultats de l'analyse minérale.

1.3.2 Méthode d'extraction

La méthode SME (soil medium extract), fréquemment utilisée en laboratoire pour l'analyse des substrats artificiels ou à base de tourbe, donne un compte rendu des éléments qui sont disponibles dans la solution du substrat. Il existe aussi une procédure que l'on utilise plus fréquemment en entreprise que l'on nomme 2 :1 qui est décrite ci-dessous

L'utilisation d'une méthode d'analyse demande de la vigilance au moment du prélèvement des échantillons de substrat si des engrais à libération contrôlée sont utilisés. Si un granule est récolté avec l'échantillon de substrat, les résultats d'analyse seront complètement faussés. En aucun cas il ne faut prélever ou écraser un granule pendant la prise d'échantillon.

1.3.3 Procédure pour mesure-maison du pH et de la salinité ou conductivité électrique

Matériel nécessaire

- a) échantillon de substrat contenant de 400 ml ou plus (une grosse tasse par exemple);
- b) 1 tige de verre ou de plastique propre pour brasser l'échantillon
- c) pH-mètre;
- d) conductivimètre (salinimètre);
- e) eau déionisée ou déminéralisée ou distillée (indispensable pour faire le travail et disponible en pharmacie);
- f) solutions standards à pH 4 et 7 pour calibrer le pH-mètre;
- g) solutions standards pour calibrer le salinimètre (concentration adaptée à l'appareil).

Préparation de l'échantillon

- a) Mesurer 100 ml de substrat et le déposer dans le contenant de 400 ml.
- b) Ajouter le double, soit 200 ml, d'eau déionisée ou distillée. En réalité, il faut deux parties d'eau pour une partie de substrat.
- c) Bien agiter avec la tige de verre ou de plastique.
- d) Laisser reposer vingt minutes à une demi-heure.
- e) Agiter de nouveau.
- f) Laisser reposer cinq minutes et prendre les lectures dans le surnageant (partie liquide).
- g) Éviter d'attendre plusieurs heures avant de prendre l'analyse.

Lecture du pH

- a) Effectuer préalablement une calibration à l'aide des deux solutions standards. Cette calibration devrait être faite au minimum une fois par semaine et d'autant plus souvent que l'on utilise l'appareil (il est préférable de la faire à chaque prise d'analyse).
- b) Introduire l'électrode dans le mélange échantillon : eau (ne pas enfoncer l'électrode dans le substrat, il faut que l'électrode trempe uniquement dans le liquide).
- c) Prendre la mesure du pH après stabilisation (laisser tremper l'électrode environ une minute). La lecture de l'appareil donne directement le pH du substrat. La dilution 2:1 n'a pas d'influence significative sur le pH

Lecture de la conductivité électrique (salinité)

- Effectuer préalablement une calibration à l'aide de la solution standard adaptée à l'appareil. Cette calibration devrait être faite au minimum une fois par semaine et plus souvent si l'appareil est utilisé souvent.
- Introduire l'électrode dans le mélange échantillon : eau (ne pas enfoncer l'électrode dans le substrat, il faut que l'électrode trempe uniquement dans le liquide).
- Prendre la mesure après stabilisation (laisser tremper l'électrode environ une minute). Pour obtenir la conductivité du substrat, prenez la lecture de l'appareil.

La fertilisation des plantes ligneuses cultivées en contenant

La méthode 2:1 n'est pas la seule méthode pouvant être utilisée. Certains préfèrent une dilution 3:1 ou 5:1. D'autres préfèrent la préparation d'une pâte saturée d'eau de laquelle on extrait le liquide aux fins d'analyses. La méthode pâte saturée est plus précise que la méthode 2:1 mais plus complexe à exécuter. La méthode 2:1 est très utilisée. Elle donne d'excellents résultats. Elle nous donne une information plus grossière concernant la salinité, mais suffisamment précise pour la plupart des besoins. Les méthodes pâte saturée et 2:1 sont aussi précises l'une que l'autre pour la mesure du pH du substrat.

Le plus important est de toujours conserver la même procédure afin de pouvoir comparer les résultats obtenus d'une analyse à l'autre et d'ainsi être en mesure d'observer les tendances.

1.3.4 Interprétation des résultats

Les normes varient d'une plante à l'autre, d'un stade de développement à un autre et d'une régie de production à une autre. Toutefois, il existe des normes générales communément utilisées.

Tableau 2 Interprétation de différentes mesures de salinité

1 : 2**	SME	Pour Thru	Commentaires
0 à 0,25	0 à 0,75	0 à 1,0	Très bas. Le niveau d'éléments nutritifs peut être trop bas pour soutenir une croissance vigoureuse
0,26 à 0,75	0,76 à 2,0	1,0 à 2,6	Bas. Acceptable pour la culture de semis, multicellules et plantes sensibles aux sels
0,76 à 1,25	2,0 à 3,5	2,6 à 4,6	Normal. Niveau standard pour la croissance de plants établis. Limite haute pour les plantes sensibles aux sels
1,26 à 1,75	3,5 à 5,0	4,6 à 6,5	Haut. Réduction de la croissance et de la vigueur surtout en température haute
1,76 à 2,25	5,0 à 6,0	6,6 à 7,8	Très haut. Risque potentiel de flétrissement dû à la haute salinité. Réduction de croissance et brûlures marginales.
> 2,25	> 6,0	> 7,8	Extrême. Dommages à la majorité des cultures. Lessivage immédiat.

Adapté de: On-site testing of growing media and irrigation water. 1996. British Columbia Ministry of Agriculture

** Méthode basée sur le mélange d'un volume de substrat à 2 volumes d'eau distillée

La fertilisation des plantes ligneuses cultivées en contenant

Tableau 3 Niveaux souhaitables d'éléments minéraux en production de pépinière (Méthode SME, exprimée en ppm)

Élément	Optimum	Excès
PH	5,0-6,5*	<5,0 et > 7,0
Conductivité (2/1)	2,0 à 3,5*	> 3,5
Nitrate (NO ₃ ⁻)	100-199*	> 250*
Ammonium (NH ₄ ⁺)	< 10***	
Phosphore (H ₂ PO ₄)	6-9	> 50*
Potassium (K ⁺)	150-250*	> 350*
Calcium (Ca ⁺⁺)	200-300*	> 400*
Magnésium (Mg ⁺⁺)	70-200*	> 200*
Sulfates (SO ₄)	< 300*	> 300*
Sodium (Na ⁺)	< 100	> 100
Manganèse (Mn ⁺⁺)	0,1 à 3,0**	> 3,0 **
Fer (Fe ⁺⁺⁺)	0,30-3,0**	> 3,0 **
Zinc (Zn ⁺⁺)	0,5-2,0 ^{IV}	> 2,0 ^{IV}
Cuivre (Cu ⁺⁺)	0,01 à 0,3**	> 0,3 **
Bore (B)	0,05-0,5**	> 0,5 **
Molybdène (Mo)	0,01 à 0,1**	> 0,1 **
Chlorures (Cl)	< 50*	> 50 *

Sources : *Ontario, 1999, Matériel de pépinière et plantes paysagères, 383F

** Greenhouse Substrates and Fertilization, Bailey, Fonteno, Nelson, NCSU ; Tableau 9 Fafard Analytical Services.

*** Bilodeau et Vallée, 1999, Les techniques de culture en multicellules

IV ** Greenhouse Substrates and fertilization, Bailey, Fonteno, Nelson, NCSU ; Tableau 9 Michigan State University

1.3.5 Modifications temporaires du pH

Le choix des méthodes pour faire varier le pH du substrat en cours de culture est plus limité en pépinière qu'en serre mais certaines techniques d'appoint peuvent être efficaces. Il est évident qu'il convient davantage d'initier une production avec un substrat au pH équilibré par de la chaux (calcaire ou dolomitique) plutôt que d'y apporter des correctifs en cours de culture. Les recommandations ci-bas s'appliquent donc à des modifications ponctuelles de pH.

1.3.6 Comment faire augmenter le pH d'un substrat en cours de culture ?

1.3.6.1 Augmentation à court terme

Application d'un lait de chaux:

Mélanger 1 Kg de chaux dolomitique/ 1000 litres d'eau. Bien brasser le mélange et appliquer en lessivage de sol. Il est important de rincer le feuillage à l'eau claire après l'application de chaux. L'application d'un lait de chaux augmente le pH du sol d'environ 0.5 unité. Tout dépend de la résistance du sol. Ne pas chercher à augmenter plus rapidement le pH (ex. en doublant la dose). Une hausse rapide de pH joue sur la disponibilité des éléments nutritifs. Elle augmente les risques de toxicité en ammonium et diminue la disponibilité des oligoéléments, ce qui peut être problématique dans certains cas. L'application d'un lait de chaux apporte également beaucoup de calcium et de magnésium. Faire attention de ne pas accumuler ces deux éléments à l'excès dans votre substrat. **Il est important de rincer le feuillage à l'eau claire après l'application de chaux.**

Attendre un minimum d'une semaine entre chaque application. Ne pas faire plus que deux applications sans avoir fait une analyse minérale complète de votre substrat.

Il est également possible d'utiliser de la chaux hydratée. On utilise la même quantité soit 1 Kg de chaux hydratée / 1000 litres d'eau. La différence est qu'il faut laisser reposer le mélange durant toute une nuit et appliquer seulement la solution claire le lendemain (il ne faut pas rebrasser, sinon les risques de brûlures sont élevés). Il est important de rincer le feuillage à l'eau claire après l'application de chaux.

Application de bicarbonate de potassium:

Le bicarbonate de potassium (ou bicarbonate de K) peut également être utilisé à une dose de 1 Kg de bicarbonate de potassium / 1000 litres d'eau. Cette application élève le pH du sol plus rapidement que l'application d'un lait de chaux. On peut s'attendre à une augmentation de l'ordre de 0.8 unité de pH. Tout dépend de la résistance du sol. Il est important de rincer le feuillage à l'eau claire après l'application.

La fertilisation des plantes ligneuses cultivées en contenant

Attendre un minimum d'une semaine entre chaque application. Ne pas faire plus de deux applications sans avoir fait une analyse minérale complète de votre substrat.

Application de 6-0-30 (engrais liquide)

Utiliser une dose de 1.5 l de 6-0-30 /1000 litre. On peut s'attendre à une augmentation de l'ordre de 0.5 unité de pH. Tout dépend de la résistance du sol. Il est recommandé de rincer le feuillage à l'eau claire après l'application.

Note: Cet engrais ne doit pas être mélangé avec des engrais contenant du magnésium et du calcium.

1.3.6.2 Augmentation à long terme

Utiliser des engrais qui ont une action alcalinisante au sol (ex. engrais à base de nitrate de calcium, de nitrate de potassium, éviter l'urée et l'azote ammoniacale).

Ne plus acidifier l'eau d'irrigation (si acidification il y a).

1.3.7 Comment faire diminuer le pH d'un substrat en cours de culture ?

1.3.7.1 Diminution à court terme

Par l'application au sol (en une fois) d'une solution de 1,5 à 2,5 g de sulfate de fer (20% Fe) / litre d'eau (faire attention car cette concentration peut occasionner des brûlures sur les plantes sensibles).

Bien rincer le feuillage après l'application afin d'éviter les brûlures.

Par l'application au sol (en une fois) d'une solution de 1,5 à 2,5 g de sulfate d'aluminium / litre d'eau (faire attention car cette concentration peut occasionner des toxicités en aluminium sur les plantes sensibles). Bien rincer le feuillage après l'application afin d'éviter les brûlures.

Par l'application de 8-0-0-9S, engrais liquide. **Environ 1,5 litre de 8-0-0-9S / 1000 litres d'eau** (selon les services NPK +). Bien rincer le feuillage après l'application afin d'éviter les brûlures.

On peut s'attendre à une diminution de l'ordre de 0,5 à 0,8 unité de pH. Tout dépend de la résistance du substrat aux variations de pH.

Faire seulement une fois. Bien rincer le feuillage après l'application afin d'éviter les brûlures. Pour une deuxième application, consulter votre conseiller technique.

1.3.7.2 Diminution à long terme

Par une diminution de la concentration des bicarbonates contenus dans l'eau d'irrigation.

Pour ce faire, on effectue une injection d'acide. Quatre acides peuvent être utilisés: l'acide nitrique, l'acide phosphorique, l'acide sulfurique et l'acide citrique

Par l'utilisation d'engrais acidifiants, à base de sulfates ou d'ammonium.
ex. : sulfate d'ammonium, nitrate d'ammonium et phosphate d'ammonium

Il faut cependant être prudent car une trop grande quantité d'ammonium est dommageable pour la plupart des plantes.

1.3.8 Équilibre entre les différents éléments

Les besoins des plantes en éléments minéraux varient en quantité et en terme d'équilibre les uns par rapport aux autres. Il doit y avoir un équilibre entre les divers éléments sinon leur disponibilité peut être compromise. Certains éléments deviennent des antagonismes envers d'autres lorsqu'ils sont retrouvés en excès. Beaucoup d'auteurs mentionnent les proportions suivantes à respecter concernant les éléments majeurs au cours de la fertilisation.

$N = 3, P_2O_5 = 1, K_2O = 2, Mg = 1$ ou si vous aimez mieux $N/P/K/Mg = 3/1/2/1$

En ce qui concerne l'équilibre entre les autres éléments, certains auteurs mentionnent les rapports suivants pour conserver un bon équilibre.

$Ca/Mg = 2/1$

$N/Mn = 20/1$

$Fe/Mn = 5/1$

$Fe/Cu = 10/1$

Tableau 4 Antagonismes minéraux

Un excès de	Inhibe l'absorption de
Azote (N)	K
Ammonium (NH ₄)	Ca, Cu, Mg, K
Potassium (K)	N, Ca, Mg
Phosphore (P)	Cu, Fe Zn, B
Calcium (Ca)	Mg, B, K, Fe
Magnésium (Mg)	Ca
Sodium (Na)	Ca, K, Mg
Manganèse (Mn)	Fe, Mg, Mo
Fer (Fe)	Mn
Zinc (Zn)	Mn, Fe
Cuivre (Cu)	Mn, Fe, Mo
Chlore (Cl)	No ₃ (Nitrate)

1.4 L'analyse foliaire

L'analyse foliaire permet d'identifier rapidement et avec précision la présence de carences minérales. La multitude d'espèces en culture dans une pépinière limite les informations disponibles dans la littérature. Souvent, il faut travailler avec des normes générales concernant le contenu tissulaire des feuilles de différentes plantes. Lorsqu'il n'y a pas de standards établis pour la plante en particulier, il est possible de se tirer d'affaire en analysant des tissus prélevés sur une plante saine pour ensuite faire une comparaison d'analyses avec la plante carencée.

Le prélèvement des analyses foliaires doit généralement se faire à la fin de l'été sur les feuilles situées sur la partie médiane de la pousse annuelle. Dans le cas des conifères à pousse continue, le prélèvement des échantillons peut être fait tard à l'automne sur toute la pousse annuelle. Le prélèvement des échantillons sur les conifères à pousse non continue se fait aussi tard à l'automne en prélevant les feuilles sur la partie médiane de la pousse de l'année.

En résumé, le mode de prélèvement se fait ainsi sur les feuillus et les conifères.

Feuillus

Quand : À partir du mois de juillet jusqu'à la mi-août.

Comment : Prendre la pousse de l'année ;
Prélever environ 50 feuilles bien développées (à maturité) ;
Mettre dans un sac de papier ;
Envoyer au laboratoire d'analyse.

La fertilisation des plantes ligneuses cultivées en contenant

Conifères

Quand : À partir du mois de juillet jusqu'à tard à l'automne

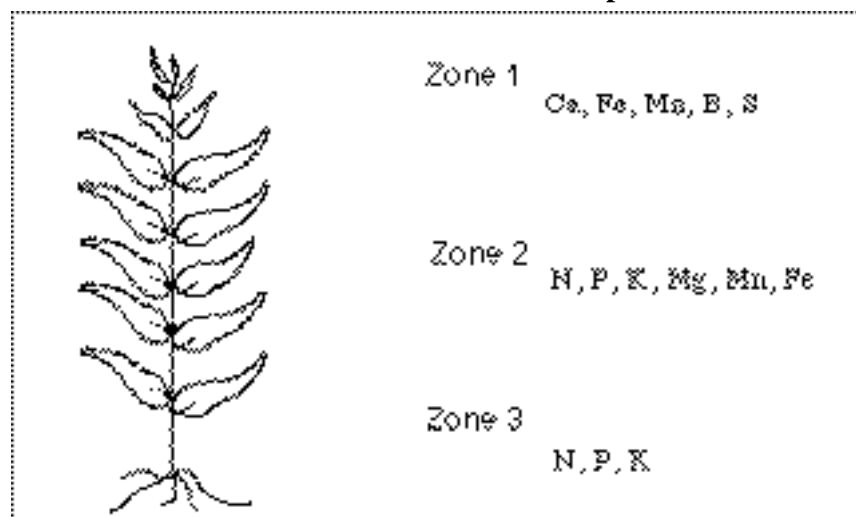
Comment : Prendre la pousse de l'année, 10 cm de long, 10 à 15 branches ;
Enlever les aiguilles et mettre dans un sac de papier ;
Envoyer au laboratoire d'analyse.

Tableau 5 Teneur moyenne en éléments nutritifs des feuilles de plantes cultivées en contenant

	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Cu	Zn	Mo	B	Fe
	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Arbustes et arbres feuillus	1,5	0,15	0,8	1,40	0,30	50	25	25	1	25	150
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3,0	0,26	1,60	3,00	0,45	200	35	50	5	50	300
Conifères et feuilles persistantes	2,00	0,25	1,00	0,5	0,20	25	25	25	1	25	200
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2,35	0,40	1,20	1,25	0,35	50	40	50	5	50	300

Tiré de : Nursery Management Administration et Culture 4e édition

1.5 Mobilité des éléments minéraux dans la plante



La plante a besoin d'éléments minéraux afin de fabriquer ses nouvelles parties. En absence de ces éléments dans le sol, la plante possède la capacité de puiser certains éléments à l'intérieur de ses vieux tissus pour subvenir aux besoins des nouveaux tissus formés. Elle sacrifie automatiquement ses vieilles parties (feuilles) au profit de la formation des nouveaux (feuilles, fleurs, fruits). L'élément est donc transporté d'un endroit à un autre dans la plante.

La fertilisation des plantes ligneuses cultivées en contenant

Ce phénomène est possible, en autant que l'élément soit mobile dans la plante. Donc, sachant que certains éléments sont mobiles et d'autres non, il est possible de déterminer, par la situation des symptômes des carences (jeunes ou vieilles feuilles), s'il s'agit d'une carence en un élément mobile ou en un élément non mobile.

Carence en éléments mobiles = symptômes présents sur les vieilles feuilles (Zone 3)

Carence en éléments immobiles = symptômes présents sur les jeunes feuilles (Zone 1)
Ce qui représente un outil de diagnostic très pratique.

Éléments mobiles: Azote, Phosphore, Potassium, Magnésium

Éléments immobiles: Calcium, Fer, Soufre, Zinc, Bore, Cuivre, Molybdène, Manganèse

Bien entendu, la réalité n'est pas si évidente et il est possible d'observer une mobilité intermédiaire (combinée à certains autres facteurs plus complexes) pour plusieurs éléments. Les symptômes de carences sont alors observés dans la zone 3.

Tableau 6 Mobilité des éléments nutritifs à l'intérieur de la plante

Très mobile	Mobile	Peu mobile	Immobile
N	P	Zn	B
K	Cl	Cu	Ca
Mg		S	
Na		Fe	
		Mo	
		Mn	

Source: Fertilizer Technology and Usage

La fertilisation des plantes ligneuses cultivées en contenant

Tableau 7 Symptômes de carences en éléments nutritifs

Éléments	Localisation & symptômes	Correctifs au sol et foliaire
Azote	<p>Feuilles</p> <ul style="list-style-type: none"> - jaunissement uniforme du feuillage - diminution de la croissance - jaunissement des vieilles feuilles suivi de leur chute - réduction de la taille comparativement à la taille normale - feuilles plus minces <p>Tiges</p> <ul style="list-style-type: none"> - tiges frêles et moins nombreuses <p>Racines</p> <ul style="list-style-type: none"> - racines très longues et blanches - peu de ramifications 	<p>Urée Nitrate d'ammoniaque Nitrate de calcium Sulfate d'ammonium</p> <p>200-300 ppm au sol 300-900 ppm foliaire</p>
Phosphore	<p>Feuilles</p> <ul style="list-style-type: none"> - coloration vert foncé avec reflets bronzé des jeunes feuilles - rougissement des feuilles du bas et parfois de tout le plant - rougissement de la tige, du dessous du limbe et du pétiole des feuilles - chloroses des vieilles feuilles - perte prématurée des feuilles <p>Tiges</p> <ul style="list-style-type: none"> - raccourcissement des entre-noeuds - bourgeons latéraux restent dormant ou avortent - tiges minces, dures et fibreuses - dans des cas graves, nanisme de la plante <p>Fleurs</p> <ul style="list-style-type: none"> - floraison retardée, réduite ou inhibée <p>Racines</p> <ul style="list-style-type: none"> - faible croissance racinaire 	<p>10-52-10</p> <p>25 ppm au sol (calculs en ppm basés sur P)</p>
Potassium	<p>Feuilles</p> <ul style="list-style-type: none"> - chlorose suivit du brunissement du pourtour du limbe des feuilles de la base. La chlorose peut s'étendre entre les nervures et évolue vers la nécrose dans des cas graves - diminution de la croissance - perte de turgescence - marge des feuilles s'enroule vers le bas - coloration bleuâtre des feuilles (parfois) <p>Tiges</p> <ul style="list-style-type: none"> - fines <p>Fruits</p> <ul style="list-style-type: none"> - avortement des fruits <p>Racines</p> <ul style="list-style-type: none"> - fines 	<p>Nitrate de potassium</p> <p>300 ppm au sol (calculs en ppm basés sur K)</p>

La fertilisation des plantes ligneuses cultivées en contenant

Tableau 7 Symptômes de carences en éléments nutritifs

Éléments	Localisation & symptômes	Correctifs au sol et foliaire
Calcium	<p>Feuilles</p> <ul style="list-style-type: none"> - feuilles vert foncé et ternes - chlorose des pointes et de la bordure du limbe des jeunes feuilles - Malformation des feuilles (croissance réduite de la marge des feuilles qui entraîne un gaufrage de celles-ci) - nécroses des feuilles dans des cas graves - croissance faible - malformation des jeunes feuilles - brunissement et mort du bourgeon terminal - vieilles feuilles restent verte <p>Tiges</p> <ul style="list-style-type: none"> - parfois picotées <p>Racines</p> <ul style="list-style-type: none"> - racines courtes - très ramifiées - renflement des extrémités, brunissement et/ou mort des pointes 	<p>Nitrate de calcium</p> <p>300 ppm au sol</p>
Magnésium	<p>Feuilles</p> <ul style="list-style-type: none"> - chlorose internervaire des feuilles du bas et du milieu du plant - chloroses irrégulières - les nervures et les jeunes feuilles restent vertes - le contour des feuilles reste vert - dans certains cas enroulement de la pointe des feuilles - les feuilles jaunissent et tombent - coloration rouge du centre des feuilles (rare) <p>Racines</p> <ul style="list-style-type: none"> - racines longues - peu ramifiées 	<p>Sulfate de magnésium (sel d'epsom)</p> <p>100 ppm au sol</p>
Soufre	<p>Feuilles</p> <ul style="list-style-type: none"> - carence rare - chlorose entière de la feuille (limbe et nervures); surtout des jeunes - feuilles épaisses, petites et dures - croissance réduite - des taches nécrotiques peuvent apparaître sur les nervures - rougissement des nervures (rare) <p>Tiges</p> <ul style="list-style-type: none"> - tiges courtes et ligneuses <p>Racines</p> <ul style="list-style-type: none"> - nombreuses racines blanches et ramifiées 	<p>Sulfate de magnésium</p> <p>100 ppm au sol</p>

La fertilisation des plantes ligneuses cultivées en contenant

Tableau 7 Symptômes de carences en éléments nutritifs

Éléments	Localisation & symptômes	Correctifs au sol et foliaire
Fer	<p>Feuilles - chlorose internervaire évoluant vers le jaunissement (blanchiment) général des jeunes feuilles (limbe et nervures)</p> <p>- brunissement de la pointe et limbe</p> <p>Tiges - tiges minces</p>	<p>Fer chélaté Sulfate de fer</p> <p>10 à 25 ppm au sol 10 à 40 ppm foliaire (sulfate de fer) 10 à 25 ppm foliaire (fer chélaté)</p>
Manganèse	<p>Feuilles - chlorose internervaire des jeunes feuilles évoluant vers des taches nécrotiques</p> <p>- les nervures restent vertes</p> <p>- enroulement des feuilles, jaunissement et chute</p> <p>Fleurs - réduction de la floraison</p>	<p>Sulfate de manganèse</p> <p>5 ppm au sol 10 ppm foliaire</p>
Cuivre	<p>Feuilles - chlorose des jeunes feuilles</p> <p>- coloration bleu-vert du feuillage</p> <p>- plante molle, séchant facilement</p> <p>- réduction de la taille du plant</p> <p>- enroulement des jeunes feuilles vers l'intérieur</p>	<p>Sulfate de cuivre</p> <p>10 ppm au sol 30 ppm foliaire</p>
Zinc	<p>Feuilles - chlorose internervaire des feuilles</p> <p>- coloration grisâtre</p> <p>- nécrose et chute des feuilles dans des cas graves</p> <p>- réduction de la taille des feuilles</p> <p>- enroulement du limbe vers le bas</p> <p>Tiges - raccourcissement des entre-noeuds</p> <p>- croissance rabougrie</p>	<p>Sulfate de zinc</p> <p>2,5 ppm au sol 2,5 ppm foliaire</p>
Bore	<p>Feuilles - dépérissement de l'apex de la tige</p> <p>- chloroses marginales</p> <p>- feuillage prend une coloration vert clair</p> <p>- craquelure des pétioles</p> <p>- fréquemment accompagné de taches brunes sur les tiges</p> <p>Tiges - développement de pousses inférieures</p> <p>- craquelure des tiges</p> <p>- croissance réduite</p> <p>Fleurs - déformation</p> <p>Racines - pourriture du collet</p> <p>- jaunissement ou brunissement des racines</p>	<p>Solubor Acide borique Borax</p> <p>2,5 ppm au sol 5,0 ppm foliaire</p>

La fertilisation des plantes ligneuses cultivées en contenant

Tableau 7 Symptômes de carences en éléments nutritifs

Éléments	Localisation & symptômes	Correctifs au sol et foliaire
Molybdène	<p>Feuilles - croissance réduite - coloration pâle et chlorosée</p> <p>Fleurs - réduction de la floraison - irrégularité de la floraison</p>	<p>Molybdate d'ammonium</p> <p>2,0 ppm au sol 5,0 ppm foliaire</p>

2. L'eau

L'eau doit rencontrer certaines normes pour la production de plantes. Les excès d'éléments apportés par l'eau peuvent être une source d'ennuis au moment de la fertilisation des plantes, principalement dans le cas des jeunes plants ou les pots de petit volume.

Tableau 8 Normes de qualité minérale pour l'eau d'irrigation

Facteurs		Limite souhaitable	Limite haute
PH		5,4 à 6,8	5,4 à 7,0
Alcalinité			
	Meq/l		2
	ppm CaCO ₃	40 à 100	100 à 150
	ppm HCO ₃	50 à 122	122
Dureté (Ca + Mg)	ppm CaCO ₃	< 100	150
Conductivité			
Multicellules	mS/cm	< 0,5	0,75
Production générale	mS/cm	< 1,0	1,00 à 1,5
Pépinière	mS/cm		2,0
Sels solubles		< 320	
Multicellules	ppm		480
Production générale	ppm		640
Pépinière	ppm		1280
Rapport adsorption sodium (SAR)		< 4	
Pépinière			4 à 8 8 à 10
Sodium	ppm	< 50	69
Chlore	ppm	< 71	71 à 108
Azote total		< 5	10
Nitrate	ppm	< 5	10 à 44
Ammonium	ppm	< 5	10
Phosphore		< 1	1 à 5
Phosphate	ppm	< 1	3 à 5
Potassium	ppm	< 10	10 à 20
Calcium	ppm	< 60	Niveau normal entre 0-120
Magnésium	ppm	< 5	Niveau normal entre 0-24
Soufre			20-30 pour la majorité des plantes 60-90 pour la majorité des plantes
Sulfate	ppm	< 30	
Aluminium	ppm	< 2	Niveau normal entre 0-5
Bore	ppm	< 0,3	0,5
Cuivre	ppm	< 0,1	0,2
Fluor	ppm	< 1	1
Fer	ppm	< 1	5
Manganèse	ppm	< 1	1 à 2
Zinc	ppm	< 2	5

La fertilisation des plantes ligneuses cultivées en contenant

Trois critères sont particulièrement à surveiller au moment de l'interprétation d'une analyse d'eau ; la salinité, l'alcalinité et l'indice R.A.S.

2.1 La salinité ou conductivité électrique

Tout comme pour les substrats, la salinité ou conductivité électrique informe immédiatement sur la présence ou non de sels en solution. Une valeur de salinité élevée implique la recherche de l'élément ou les éléments responsables de cette élévation et suggère les correctifs à apporter.

2.2 Les effets de l'alcalinité de l'eau sur le pH du substrat

Le pH de l'eau d'irrigation n'a pratiquement pas d'effets sur le substrat de culture; celui-ci ayant généralement un pouvoir tampon suffisant pour résister au changement. Le pH de l'eau peut cependant être un indicateur de la présence d'alcalinité dans celle-ci. L'utilisation régulière d'une eau dont le taux d'alcalinité est élevé aura le même effet que de rajouter une petite quantité de chaux à chaque arrosage. Évidemment, cette situation crée une élévation de pH du substrat à long terme. Une alcalinité très basse aura souvent l'effet inverse.

Tableau 9 Classification de l'eau d'irrigation en fonction de son alcalinité

Alcalinité (ppm CaCO ₃)	Classe	Commentaires
0-50	Basse	Eau à faible pouvoir tampon. Vérifier le pH du substrat afin de s'assurer que celui-ci ne descende pas trop bas. Alternance de fertilisant acidifiant/alcalinisant pour maintenir le pH dans les normes.
50-75	Acceptable pour multicellules	Le niveau acceptable varie en fonction de la grosseur du pot et est dû à la variation de volume de substrat. La tolérance à des pH élevés varie en fonction des cultures. En fait le niveau acceptable de pH peut varier en fonction des besoins spécifiques d'une espèce.
76-120	Acceptable pour petits pots	
100-140	Acceptable pour pots de 10-13 cm	
120-180	Acceptable pour pots de 15 cm et +	
75-200	Moyenne	Le niveau acceptable est variable en fonction de la grosseur du pot. Neutraliser l'alcalinité si nécessaire.
200-300	Haute	Neutralisation de l'alcalinité requise.
> 300	Très haute	Neutralisation de l'alcalinité requise peut être difficile.

Adapté de : Whipker, Brian E. et Al. 2001. Plant Root Zone Management

2.3 R.A.S.

L'indice R.A.S (rapport de l'adsorption* du sodium)

Cette mesure vise à évaluer le rapport d'échange selon lequel le sodium remplace le calcium et le magnésium sur les sites d'échange cationiques. Cette donnée permet d'évaluer le risque relié à l'accumulation du sodium dans le substrat, ce dernier semble augmenter en relation avec l'augmentation de la conductivité totale de l'eau d'irrigation.

7.2.1.1 Limites souhaitables

Il est intéressant de noter que le risque d'absorption foliaire augmente en relation avec la concentration de sodium dans celle-ci. L'eau contenant > 69 ppm de sodium ne devrait pas être utilisée pour l'irrigation par aspersion.

Indice R.A.S. en fonction de la salinité des eaux d'irrigation

Salinité (mmhos/cm)	Classification de l'indice R.A.S. par groupes de risques			
	faibles	moyens	élevés	très élevés
Faible (0-0,25)	0 à 9	9 à 15	15 à 24	24 et +
Moyenne (0,25 à 0,75)	0 à 7	7 à 13	13 à 20	20 et +
Élevée (0,75 à 2,25)	0 à 5	5 à 10	10 à 15	15 et +
Excessive	0 à 3	3 à 7	7 à 10	12 et +

Source: Centre de développement des cultures abritées, 1982

Formule de calcul de R.A.S.

$$\text{R.A.S.} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}}{2}}}$$

3. Les engrais à libération lente et contrôlée

Il existe une distinction entre les engrais à libération lente et ceux à libération contrôlée. L'engrais à libération lente est peu soluble et celui à libération contrôlée est recouvert d'un revêtement inorganique qui réduit la quantité d'éléments disponibles dans le milieu grâce à la présence d'une membrane semi-perméable. (28)

3.1 Les engrais à libération lente

3.1.1 Urée Formaldéhyde (Nitroform, Nutralene) 38-0-0

Cette forme polymérique d'azote est le produit d'une condensation d'urée et de formaldéhyde. La libération des éléments sous forme disponible est en fonction de l'activité bactérienne. Le tiers de l'azote est libéré dans les premières semaines parce qu'il est soluble et les deux autres tiers sont libérés sous l'action des bactéries présentes dans le substrat. En fait, le deuxième tiers se libère en quelques mois et le dernier tiers, sur une période de 1 à 2 ans. Ce type d'engrais peut soutenir une production pendant 6-8 semaines.

Des facteurs environnementaux comme l'oxygène, le pH, l'humidité et la température ont un effet sur la vitesse de libération. (26, 62, 30). Les conditions de libération sont favorisées lorsque le substrat possède de bonnes caractéristiques de porosité et d'humidité (sans être détrempé). Les températures extrêmes ralentissent le processus de libération.

3.1.2 Isobutylidène diurée 31-0-0

Ce produit, issu de la condensation de l'urée et du isobutyraldéhyde (IBDU), libère son azote par des réaction d'hydrolyses chimiques. La dégradation bactérienne ne joue pas un rôle de premier plan dans ce processus de libération. La grosseur des particules et la quantité d'eau appliquée sur le produit auront le plus grand effet sur la libération d'azote. Une valeur de pH bas augmente la vitesse d'hydrolyse et la température n'est pas un facteur influent. Ce type d'engrais sera donc plus efficace en automne s'il est utilisé à faible dose. Le temps de libération maximal est de 5-6 mois. (26-62)

3.2 Les engrais à libération contrôlée

3.2.1 Urée enrobée de soufre (UES)

L'UES a souvent été utilisée par le passé pour son faible coût. L'enrobage de soufre offre l'avantage d'abaisser le pH dans le terreau. Par contre, une bonne partie de l'azote est relâchée rapidement à cause des imperfections de l'enrobage. Un produit scellant comme la paraffine est aussi fréquemment ajoutée pour augmenter la résistance au bris des granules au cours de la manipulation. L'UES renferme, selon les formulations, de 30 à 40 % d'azote soluble et 19 % de soufre. L'eau pénètre la membrane à travers ses imperfections pour dissoudre l'urée. L'enveloppe se brise alors sous la pression de l'urée dissoute et libère les éléments. L'épaisseur de la couche de soufre, le nombre et l'importance des imperfections sur la membrane et l'humidité du sol sont les principaux facteurs qui influencent la vitesse de libération des éléments. La majorité de l'azote est libérée dans les premières semaines. (26, 62 77)

3.2.2 Urée enrobée de soufre et de polymère (Poly-S)

L'urée entourée de soufre est recouverte par une couche de polymère pour ralentir la pénétration de l'eau dans l'enrobage soufré. La vitesse de libération est liée à l'épaisseur des couches de soufre et de polymère(77). Cet engrais est fréquemment utilisé pour les pelouses.

3.2.3 Osmocote

La capsule est faite de résine constituée de plusieurs couches de polymère de dicyclopentadiène. L'azote, le phosphore, le potassium, les éléments secondaires et les oligo-éléments peuvent tous être enrobés et libérés en même temps. L'eau passe à travers la membrane de résine et solubilise les éléments qui diffusent ensuite à travers les pores de l'enveloppe vers l'extérieur (substrat). La pression interne augmente et les éléments sont libérés. L'épaisseur de la membrane diminue avec le temps. L'épaisseur de l'enveloppe, la température et, à un moindre degré, l'état d'hydratation sont tous des facteurs qui déterminent le temps de libération. La diffusion débute aussitôt que la température est au dessus de zéro. Les imperfections sur la membrane permettent une certaine libération dès l'application du produit. La durée de libération (type) indiquée sur l'étiquette a été fixée par rapport à une température constante de 21°C.(26, 30, 62, 77). En outre, la longévité du produit va dépendre de la température ainsi que de la quantité et de la fréquence des irrigations.

3.2.4 Nutricote (enrobage de polymère)

La résine de type polyoléfine contenue dans l'enrobage est composée de matières thermoplastiques qui sont résistantes aux gels. L'épaisseur de l'enrobage demeure constante peu importe la durée du dégagement. L'engrais est libéré par les micropores qui sont formés par une substance inerte que l'on ajoute à l'enrobage. Plus il y a de micropores et plus la libération est rapide. La durée de relâchement est contrôlée par un surfactant composé de talc et de silice que l'on ajoute à la capsule d'enrobage. Plus il y a de talc et plus le dégagement est rapide.

Les formules offertes sont riches en nitrates et peuvent aussi contenir du phosphore, du potassium, d'autres éléments majeurs et des oligo éléments. Lorsqu'appliquée au sol, l'eau pénètre à travers les pores de la membrane et dissout les éléments pour ensuite causer une libération plus ou moins rapide des éléments selon la quantité d'agent chimique qui imprègne la résine. La vitesse de relâchement n'est réglée que par la température. L'humidité, le pH ou l'activité microbienne dans le terreau n'influence pas la libération. Ce produit ne permet pas de relâchement initial au moment de l'incorporation, c'est pourquoi on incorpore du méthyl-urée qui est plus rapidement assimilable. La durée de libération (type) indiquée sur l'étiquette a été fixée par rapport à une température constante de 25°C.(26, 30, 62,76, 77, 86). En outre, la longévité du produit va dépendre de la température ainsi que de la quantité et de la fréquence des irrigations.

3.2.5 Nutryon (Polyon)

L'enrobage est composé d'une membrane en polyuréthane thermosensible semi-perméable. L'engrais est riche en nitrates et la membrane peut envelopper tous les autres éléments majeurs et mineurs. L'eau pénètre lentement la pellicule, dissout les éléments et les diffuse à l'extérieur. L'épaisseur de la membrane et la température jouent un rôle primordial dans la vitesse de relâchement des éléments. L'humidité, le pH et l'activité microbienne dans le terreau n'influencent pas la vitesse de libération. La durée de libération (type) indiquée sur l'étiquette a été fixée par rapport à une température constante de 27°C.(26,30, 62, 77, 87). En outre, la longévité du produit va dépendre de la température ainsi que de la quantité et de la fréquence des irrigations.

3.2.6 Multicote

Tous les nutriments sont encapsulés dans un enrobage composé de polymère. Lorsque les granules sont en contact avec l'eau, ils absorbent celle-ci à travers les micro pores. L'humidité dissout lentement les éléments nutritifs et la solution est diffusée à travers la membrane pour se retrouver dans le milieu. La température est le facteur principal de libération. L'humidité du terreau, le pH et l'activité microbienne n'affectent pas le relâchement des éléments. En outre, la longévité du produit va dépendre de la température ainsi que de la quantité et de la fréquence des irrigations.

La fertilisation des plantes ligneuses cultivées en contenant

PRODUITS	Type (mois)	FORMULATION	%NPK enrobé de résine
Osmocote	8-9 mois	13-13-13	
	3-4 mois	14-14-14	
	8-9 mois	18-6-12	
	8-9 mois	18-6-12 fast start	
	12-14 mois	17-7-12	
Osmocote Plus	3-4 mois	15-9-12	14-8-11
	5-6 mois	15-9-12	14-8-11
	8-9 mois	15-9-12	14-8-11
	8-9 mois	16-8-12	
Osmocote pro NPK enrobé seulement	12-14 mois	24-4-7	21-3-6
	8-9 mois	24-4-8	21-3-7
	8-9 mois	19-5-8 + Minors	
	12-14 mois	19-5-9 + Minors	
	5-6 mois	22-3-8	
	5-6 mois	13-10-13	
	8-9 mois	15-10-10	
	12-14 mois	18-5-9	
	8-9 mois	20-4-8	
Osmocote Pro	12-14 mois	22-4-7 + Minors	
	8-9 mois	22-4-8 + Minors	
	5-6 mois	22-4-9 + Minors	
Topdress	2-3 mois	12-5-9	12-0-0
	4-5 mois	18-5-10	15,8-5-8,5
	3-4 mois	20-5-5	
	4-5 mois	22-5-6	18,5-5-6
Sierra	8-9 mois	17-6-10	
	3-4 mois	17-6-12	
Field	Engrais pour plein champ	33-3-6	

La fertilisation des plantes ligneuses cultivées en contenant

PRODUITS	Type (mois)	FORMULATION	%NPK enrobé de résine
Nutryon Topdress	3 mois	12-6-6	
Nutryon Perennial	9 mois	12-7-14	
Nutryon hanging basket	4 mois	13-13-13 +micro	
	8-9 mois	13-13-13	11,7-11,7-11,7
	8-9 mois	14-14-14	
	12 mois	17-5-11	16,5-4,8-10,7
	6 mois	17-5-12 +micro	
	3-4 mois	18-5-10 +micro	
	8-9 mois	18-6-12	17,4-5,8-11,6
	3-4 mois	19-5-12	19-5-12
	5-6 mois	19-6-12	17,1-5,4-10,8
	Nutryon Nursery	5-6 mois	19-6-12
Nutricote total	70-100-140 jours	13-13-13	13-13-13
	70-100-140-180-270-360 jours	18-6-8	18-6-8
Nutricote	40-70-100-140-180-270-360 jours	14-14-14	14-14-14
	70-100-140-180 jours	20-7-10	20-7-10
Nutricote QuickStart	Deux saisons	17-8-7	18-8-7
Multicote	6	14-14-14	12,6%-12,6%-12,6%
	8	14-14-14	12,6%-12,6%-12,6%
	6	18-6-12 + minors	17-5-11
	8	18-6-12 + minors	17-5-11
	4	20-10-20	19-9-19
	4	24-8-16	23-7-15
Acer Field grown	3-4	14-14-14	3,5-0-?
Acer topdress	8-9	19-9-10 +micros	19-8-9
Acer Broadcast	5-7	21-5-10 + minors	15,8-0-0
Acer Standard Topdress	5-7	21-7-14 + minors	20-4-5,7
Topdress special High "N" Field	3	24-6-8	5,25-0-0
	3	34-5-5	12-0-0
Acer nt	Une saison	17-7-10	17-7-10
Acer nt	Une saison	19-4-12	19-4-8,8

3.3 Méthodes d'application

Il y a trois méthodes d'applications des engrais à libération contrôlée soit, en surfaçage, incorporé dans le milieu ou en poquet (dibbling). Cette dernière méthode est surtout utilisée en Europe et aux États-Unis.

3.3.1 À la surface des pots

Les granules sont disposés uniformément sur le dessus du terreau. Les nutriments doivent voyager tout le long de la colonne du terreau avant d'être lessivés. Ils ont donc plus de chance d'être retenus par le sol où d'être absorbés par la plante (30). Lorsqu'il y a fertigation ou que l'engrais à libération contrôlée est appliqué à la surface, l'azote doit faire un plus long chemin pour atteindre les racines et peut ainsi être intercepté par des bactéries saprophytes (35). Le dessèchement intermittent des granules enrobés de résine comme Osmocote, Nutryon, Nutricote et Multicote ralentit la diffusion des éléments dans le terreau (28).

3.3.2 Incorporé

L'engrais est uniformément distribué dans le substrat avant la plantation et devient disponible dans tous les profils du substrat. Cette méthode demande beaucoup moins de travail que le surfaçage. Les éléments relâchés par les particules situées près du fond des pots risquent d'être lessivés (30). Au cours de périodes très chaudes, les particules incorporées dans un substrat humide sont soumises à des périodes de libération excessives des nutriments (28). Lorsque le substrat utilisé a un indice de rétention d'azote plus bas que 0,7, les éléments libérés sont plus près des racelles et donc plus rapidement captés par celles-ci, ce qui offre ainsi plus de compétitivité aux bactéries. Quelques fabricants recommandent de ne pas utiliser des engrais de type 2-3 mois en incorporation au terreau. L'enrobage des granules est plus minces et la libération est plus élevée par périodes de températures élevées (87). Lorsque l'engrais est mélangé au substrat, il est souvent recommandé d'utiliser le substrat dans les 10 jours suivants sa confection sinon la salinité de celui-ci peut devenir très élevée par la libération de l'engrais.

3.3.3 Poquet (dibbling)

Les granules d'engrais à libération contrôlée sont déposées dans le fond du trou de plantation avant d'insérer la motte du transplant. Cette méthode d'application permet l'utilisation optimale des éléments pour les jeunes transplants (83, 84). En effet, lorsque les granules sont disposées un peu partout sur le dessus ou dans le terreau, une très grande partie des nutriments est relâchée à l'extérieur du pot avant d'avoir été capté par les racines du plant nouvellement repiqué. Ces derniers ont un système racinaire moins développé et très limité dans l'espace de sorte que les éléments dans la solution du sol sont peut disponible dans les premières semaines après la transplantation (70, 24). Il se passera quelques semaines avant que les racines colonisent complètement le substrat. Il a été observé que lorsque l'engrais était disposé en poquet, une croissance égale peut être atteinte avec une dose moins élevée que celle prescrite à la surface des pots (35). Dans le cas où l'indice de rétention est élevé, celui-ci augmente la compétitivité des racines face aux bactéries (35). Cette méthode demande une attention particulière au moment de l'empotage. Il est conseillé de n'utiliser que des engrais enrobés à 100 % (voir tableau) (8) (14). Pour un maximum de sécurité il est aussi préférable d'utiliser des formulations de type 5-6 mois et plus.

3.4 Considérations générales sur les engrais à libération lente ou contrôlée

3.4.1 La salinité (C.E.)

Des taux élevés de salinité peuvent être enregistrés après une première irrigation et spécialement dans les formulations à libération rapide comme les types 2-3 mois et les types 3-4 mois. Ce fort taux de libération d'éléments nutritifs est souvent dû à la poussière et aux particules brisées contenues dans le sac. (28, 34). Ceci met l'accent sur l'importance de la manutention au cours du transport et de son impact sur la qualité de cet intrant. De plus, lorsque l'engrais est mélangé au terreau il est important de s'assurer que le mélangeur n'endommage pas les granules. Dans le cas d'empotage de plants à racines nues, il peut être avantageux d'appliquer l'engrais à libération lente, une à deux semaines après l'empotage parce que des nouvelles racelles seront alors actives. Une salinité élevée du substrat de départ ne favorise pas le développement de nouvelles racelles.

3.4.2 La température

La durée de libération des engrais à libération contrôlée a été évaluée à une température indiquée sur l'étiquette. La vitesse de libération de ces engrais étant très liée à ce paramètre, une augmentation moyenne de la température de 6° C au dessus de la température à laquelle a été établie la durée de libération par le fabricant peut réduire de 33 % la période de libération (78). Lors de périodes chaudes et ensoleillées, la température à l'intérieur de contenants noirs peut grimper d'au moins 6-8 °C de plus que l'air ambiant (33). De plus, des dommages appelés «popcorning» peuvent être infligés aux granules lorsqu'ils sont soumis à des températures très élevées durant une longue

La fertilisation des plantes ligneuses cultivées en contenant

période de temps. Il en résulte une libération subite d'une grande quantité des éléments contenus dans ces particules (33, 34). Cela arrive surtout dans le cas où les granules sont incorporées au terreau (15). Ainsi, il est important de mesurer la salinité des substrats fréquemment et de façon régulière durant les canicules (28). Des lessivages à l'eau claire devraient être prévus pendant ces occasions. Quelques études ont évalué le comportement des principaux enrobages offerts sur le marché par rapport à la température en condition d'irrigation extrême ou réelle. Les résultats démontrent qu'il n'existe pas vraiment de différences importantes sur les résultats de croissance entre les différents procédés de fabrication dans le cas des formulations standard de chacune des compagnies.

4. La fertirrigation

4.1 Les formulations

Les engrais solubles et liquides sont utilisés pour la fertirrigation. Il existe sur le marché, une multitude de produits dont les formules de base sont présentées au tableau 11 et les principales formulations disponibles sur le marché le sont au tableau 12

Tableau 11 Engrais solubles de base entrant dans la confection des formules d'engrais

Nom du produit	Formulation
Bicarbonate de potassium	0-0-47
Nitrate de potassium	13-0-44
Nitrate d'ammoniaque	34-0-0
Nitrate de calcium	15,5-0-0
Nitrate de magnésium	10-0-0
Nitrate de potassium	12-0-44
Phosphate monopotassique	0-52-34
Phosphate monoammoniacal	12-62-0
Sulfate d'ammoniaque	21-0-0
Sulfate de potassium	0-0-50
Urée	46-0-0
Sulfate de magnésium	Mg 16%
Fer chélaté	Fe 13,2%
Sulfate de fer	Fe 21%
Manganèse chélaté 13 %	Mn 13 %
Zinc chélaté	Zn 14%
Cuivre chélaté	Cu 14%
Acide borique	B 17,5 %
Solubor	B 20 %
Borax	B 15 %
Sulfate de cuivre	Cu 25 %
Sulfate de manganèse	Mn 29,5 %
Sulfate de zinc	Zn 35 %
Chlorure de calcium	Ca 28 %
Magnésium chélaté	Mg 6 %
Molybdate de sodium	Mo 46%

La fertilisation des plantes ligneuses cultivées en contenant

Tableau 12 Les principales formules d'engrais disponibles sur le marché et leur effet sur le pH du sol

Formules	NO3	NH4	N Tot,	Urée	Ca	Mg	Alcalin	Acide
1-0-1								
14-0-14	13%	1,15%	14,00%	0,00%	5,90%	2,90%	168	
15-0-15	14%	1,10%	15,00%	0,00%	11,00%	0,00%	169	
1-1-1								
20-20-20	6,11%	3,89%	20,00%	10,00%	0,00%	0,05%		280
1-1-3								
15- 15- 30-	9%	2,95%	15,00%	3,25%	0,00%	0,00%		40
1-2-1								
15-30-15	4%	5,76%	15,00%	4,81%	0,00%	0,05%		340
1-2-3								
4-25-35	0%	1,04%	4,00%	2,96%	0,00%	0,30%		2
7- 11- 27-	6%	1%	7,0%	0,00%	0,16%	3,77%		1
8- 20- 30-	5%	2,70%	8,00%	0,00%	0,00%	0,15%		1
1-5-1								
10-52-10	1%	7,80%	10,00%	1,30%	0,00%	0,00%		5
1-3-2								
10-30-20	5%	4,90%	10,00%	0,00%	0,00%	0,60%		2
2-1-1								
14- 7- 7-	0%	0,00%	4,34%	4,34%	4,00%	3,60%		3
28-14-14	1,60%	26,40%	28,00%	0,00%	0,00%	0,00%		5
2-1-2								
20- 8- 20-	12,00%	8,00%	20,00%	0,00%	0,00%	0,15%		1
20-10-20	12,24%	7,76%	20,00%	0,00%	0,00%	0,05%		2
2-1-3								
20-5-30	8,80%	0,98%	20,00%	10,22%	0,00%	0,00%		1
3-1-1								
21-7-7	0,00%	10,15%	21,00%	10,85%	0,00%	0,10%		8
30-10-10	3,31%	2,06%	30,00%	24,63%	0,00%	0,05%		6
5-1-5								
13-2-13	12%	0,30%	13,00%	0,80%	6,00%	3,00%	4	
20-2-20	6,03%	7,20%	20,00%	6,77%	0,00%	0,10%		5

4.2 La fertilisation foliaire

La fertilisation foliaire est souvent recommandée pour corriger rapidement certaines carences minérales. Certains éléments comme le fer sont bien absorbés par le feuillage tandis que d'autres comme le phosphore le sont peu. La fertilisation foliaire ne remplace pas la fertirrigation ou l'apport d'engrais à libération lente. Les résultats obtenus avec la fertilisation foliaire sont souvent assez rapides et sont de durée limitée. Ce correctif temporaire et limité nécessite un ajustement des éléments manquant causant la carence dans le substrat. Si la quantité d'éléments contenus dans le milieu de culture n'est pas réajustée ou si les conditions environnementales (pH , température etc...) inhérentes à l'absorption des éléments ne sont pas optimisées les problèmes risquent de réapparaître à nouveau.

La fertilisation foliaire consiste en une pulvérisation de fines gouttelettes sur le feuillage, idéalement appliquée par temps humide et nuageux. Ces conditions stimulent l'ouverture des stomates et aide à la pénétration de l'engrais à l'intérieur de la plante.

Avant de procéder, il est recommandé:

- d'arroser généreusement le substrat la journée avant l'application afin s'assurer que la plante ne souffre d'aucun stress hydrique ;
- par temps chaud et ensoleillé l'application doit être faite tôt le matin, préférentiellement avant 7 heures, ou en soirée ;
- d'éviter que l'engrais ne sèche rapidement sur le feuillage ;
- les pulvérisations peuvent également s'effectuer le soir mais le feuillage restera mouillé toute la nuit, ce qui augmente les risques de maladies fongiques.

L'efficacité d'une pulvérisation foliaire dépend de:

- la rapidité de l'assimilation foliaire
- la vitesse de translocation à l'intérieur de la plante

Ces deux phases sont indépendantes l'une de l'autre.

4.4 Absorption foliaire:

La pénétration à l'intérieur de la plante se fait:

- à travers la cuticule
- par les parois cellulaires
- par certaines membranes

Elle est plus facile aux endroits suivants:

- a) par les cellules de l'épiderme au-dessus des veines
- b) par les poils sur les feuilles
- c) par les cellules de garde des stomates (sous les feuilles)

Les mécanismes de l'absorption foliaire sont probablement similaires à ceux des racines, sauf pour l'urée qui est mobile, non-polaire et non-dissociée. L'urée pénètre donc plus facilement à l'intérieur du feuillage.

La fertilisation des plantes ligneuses cultivées en contenant

Une surface foliaire bien mouillée favorise l'assimilation, c'est pourquoi on recommande l'utilisation d'un surfactant (agral, savon, etc.) qui favorise l'étalement de la solution sur le feuillage (augmente la surface de contact)

Tableau 13 Rapidité d'absorption foliaire

Éléments	Temps pour absorber 50 % de cet élément en solution
N(1)	1/2 à 2 heures
Mg	2 à 5 heures
K	10 à 24 heures
Ca	1 à 2 jours
Mn	1 à 2 jours
Zn	1 à 2 jours
P	5 à 10 jours
Fe	10 à 20 jours
Mo	10 à 20 jours

(1) l'azote sous forme d'urée est absorbé plus rapidement la nuit et par conditions humides.

Source: Horticultural Review : Advances in foliar feeding of plant nutrients, Ch.13.

4.5 La fertilisation foliaire d'un engrais azoté à forte dose

Mises en garde

1. Une application foliaire d'engrais azoté à forte dose risque de brûler les fleurs. Si les plantes sont très fleuries, il est préférable d'oublier ce type de fertilisation.
2. Étant donné les risques de brûlure, il est fortement recommandé de consulter un conseiller technique avant de procéder à ce genre de fertilisation.

Généralement, on utilise une formule d'engrais dont l'azote est à base d'urée. L'urée est facilement absorbée par les feuilles. De plus, les formules à base d'urée pour la fertilisation foliaire sont très peu salines (la solution appliquée ne sera qu'à environ 1,26 mS de salinité pour 900 ppm d'urée), ce qui diminue les risques de brûlures. On ne pourrait se permettre une telle dose avec un autre engrais dont la salinité est beaucoup plus élevée (jusqu'à 3.6 mS pour 900 ppm, ce qui est trop fort pour le feuillage).

Dose suggérée pour les fertilisations foliaires : jusqu'à 900 ppm.

Fréquence suggérée: 3 traitements à 2-3 jours d'intervalle.

5. Programme de fertilisation

Un bon programme de fertilisation devrait ajuster la quantité et la nature des éléments apportés aux plantes en fonction du stade de développement et de la période de l'année.

L'absorption des éléments nutritifs chez les feuillus correspond avec la croissance des racines qui débute avant le débourrement des bourgeons et se termine après la chute des feuilles (54,70) quand le sol gèle. Les racines ont une forte croissance en automne et au début du printemps. Durant ces périodes, elles absorbent beaucoup d'éléments (70, 66, 24). Au printemps, lorsque le substrat se réchauffe, et ce jusqu'à la fin de l'aouêtement, les parties aériennes utilisent en plus grande quantité les éléments minéraux au détriment des racines. Un besoin maximal d'engrais est requis lorsque la croissance de la plante est à son plus fort. Dans la majorité des cas, cette période débute à la mi-mai et se termine à la fin de juillet.

Le type de fertilisation employé par plusieurs producteurs à travers le monde consiste en une fertilisation mixte qui comprend :

- Engrais à libération contrôlée de type 8-9 mois (8, 14, 16, 22, 26, 28, 45) de formulation 3-1-2 (1, 6, 7, 9, 13, 15, 16, 17, 24, 27) appliqués au tout début de la saison.
- Fertirrigation d'appoint complémentaires au engrais à libération contrôlée pour maintenir la salinité entre 2 et 3,5 (SME) (10, 12,18, 23) durant toute la saison sauf à partir de six semaines avant les premières gelées où la salinité est abaissée de moitié. La fertirrigation peut continuer à ce taux jusqu'à ce que le sol gèle. L'équilibre des éléments reste le même toute l'année soit de 5-1-5 à 10-1-10 (5, 10, 56)

Il est a noter que ces taux de salinité sont très difficilement atteignable lorsque la fertilisation est la seule source d'engrais.

5.1 Mélange d'engrais à libération contrôlée (E.L.C.) de différent temps de libération et fractionnement des doses.

La libération des éléments par les E.L.C. varient dans le temps selon la température, la quantité d'eau d'irrigation et le type d'enrobage.

Dans la plupart des cas, la plus grande partie des éléments est libérée dans les premières semaines d'application des granules et il se produit une diminution au cours des semaines suivantes, à température constante.

Pour stabiliser la quantité d'engrais disponible pour la plante tout au long de l'année, il est possible de faire des mélanges d'E.L.C. de différents temps de libération ou des fractionnements de doses. Ainsi, deux applications à demi-dose de type 9 mois peuvent être faites, l'une au début mai et l'autre au début juillet pour assurer un bon apport d'éléments durant la période de croissance active en juillet (6, 22). Un mélange de 1/3 de 3-4 mois et 2/3 de 8-9 mois peut aussi stabiliser l'apport d'éléments minéraux durant

toute la période de production (8, 14). Ces deux derniers mélanges sont bien documentés mais il est possible de faire d'autres mélanges adaptés à notre climat et aux types de plantes à condition de faire des essais préliminaires à petite échelle.

5.2 Libération lente et fertirrigation d'appoint

Certains producteurs utilisent cette méthode afin d'obtenir une croissance optimale de leurs plants. Dans certains cas, la fertirrigation sert d'apport supplémentaire d'éléments nutritifs lorsque l'analyse SME indique de faibles niveaux d'éléments nutritifs. L'utilisation de fertirrigation par aspersion en combinaison avec l'utilisation d'engrais à libération contrôlée perd du terrain à cause des coûts engendrés et des pertes d'engrais dans l'environnement. La fertilisation d'appoint par un système d'irrigation goutte à goutte donne d'excellent résultats.

5.3 Fertirrigation continue ou ponctuelle

Lors des irrigations par aspersion, les pertes en eau et en engrais peuvent atteindre 75% (28,35) selon la distance entre les pots. De plus, à maturité, le feuillage des plants offre un écran qui nuit à la distribution de l'eau et des engrais dans les pots.

Il a été établi que la fertirrigation est moins efficace dans des terreaux dont l'IRN est bas comparé avec l'incorporation d'engrais à libération lente dans le terreau. La fertigation continue est souvent utilisée avec des systèmes goutte à goutte lorsqu'on utilise pas d'engrais à libération lente.

5.4 Fertilisation d'automne

Des études tendent à démontrer que la fertilisation automnale avec de l'azote s'avère bénéfique lorsque celle-ci est réalisée à partir des premiers signes de dormance sur les plants. Cette méthode de fertilisation est utilisée par les producteurs de plants forestiers qui produisent des pins et des épinettes. Bien que plusieurs vantent les mérites d'une telle fertilisation, des essais seraient à réaliser au Québec sur les plants ornementaux afin de vérifier si cette pratique se prête bien à nos propres conditions.

Les points de vue diffèrent à propos des apports d'éléments nutritifs à fournir au cours de l'aoûtement et à l'automne. Il y a souvent divergence sur le type de formulation d'engrais et sur les quantités à appliquer. Certains points font cependant l'unanimité :

1. Les plantes soumises à une fertilisation insuffisante ou excessive peuvent être prédisposées à subir des dégâts par le gel ; (5, 49, 48, 50)
2. Un manque d'azote dans les tissus nuit à l'endurcissement au froid et au débournement printanier ;(52, 71, 65, 67)
3. Il faut continuer la fertilisation et modifier la concentration à la fin de l'été et au début de l'automne pendant l'aoûtement ;(27,70)
4. L'application d'azote sous forme ammoniacale peut être problématique à l'automne parce que l'ammonium est plus long à se changer en nitrates quand la température est basse et il s'accumule alors dans les tissus ;(51)

Quelques chercheurs affirment que :

5. On peut fertiliser à la fin de l'automne tant que les racines sont actives et au début du printemps dès que le sol est dégelé; (66, 50, 47, 46, 27)
6. Une fertilisation très tôt au printemps avant le débournement peut augmenter grandement la croissance des nouvelles pousses ;(67, 66)
7. Pour certaines plantes l'empotage en automne lorsque les racines sont en croissance active et que les engrais à libération lente libèrent les éléments de façon modérée serait une façon d'utiliser les ELC de manière plus efficace (24). Par contre, certaines de ces plantes réagissent très mal à cette pratique.

5.4.1 L'azote en automne

Il y a des divergences d'opinion au niveau de la quantité d'azote recommandée par les chercheurs durant la période d'aoûtement :

1. Une bonne partie des chercheurs soutient que la fertilisation doit se faire sans diminution des doses à cette période afin de garder des concentrations optimales de N dans les tissus et cela sans changement dans l'acclimatation au froid ;(52, 65,68, 69, 71)
2. D'autres affirment qu'on peut même augmenter la concentration de l'azote dans les tissus au-delà des normes optimales ;(65, 24)

3. La plus grande partie des chercheurs s'entendent cependant pour diminuer de moitié la concentration d'azote au cours de l'aoûtement. (52, 50, 51, 49, 47, 46, 27, 24, 15, 7)

5.4.2 Le potassium en automne

À propos du potassium, on s'entend de plus en plus pour dire que :

- a) Contrairement à la croyance répandue (50, 52), il ne semble pas y avoir de corrélation entre l'augmentation de potassium durant la période d'aoûtement et une meilleure acclimatation au froid ;(68)
- b) On peut même observer l'effet inverse et une plus grande fragilité des plants au froid hivernal ; (48, 49)
- c) Un bon équilibre entre les éléments nutritifs donne les meilleurs résultats. (50, 49, 48).

5.5 Calendrier de fertilisation

À travers la province, selon les régions, l'aoûtement peut se produire plus ou moins tard dans la saison de croissance. Le temps de croissance est aussi plus court dans les régions situées au nord de la province. La photopériode et la température sont deux facteurs qui contribuent à faire aûter les plantes. Dans le cas de ces régions, il est important de ne pas forcer la croissance en fin de saison sinon les plantes risquent d'avoir plus de difficultés à passer l'hiver. L'utilisation de formules d'engrais à libération lente au temps de libération plus court (5-6 mois) peut être préconisé dans ces régions situées plus au nord ou quand l'application est faite tardivement (juin).

5.5.1 L'application d'engrais à libération lente lors de réempotage au cours de la saison

Dans la plupart des cas, l'application de l'engrais à libération lente se fait normalement tôt au printemps lors de l'empotage. Lorsqu'on repote des plants plus tard dans la saison, il ne faut pas appliquer la pleine dose d'engrais à libération lente normalement utilisée au printemps. Plusieurs recommandent d'utiliser une formulation de libération de plus courte durée en abaissant la quantité appliquée de 2 fois selon la date de réempotage. À partir de la fin de juillet, lors du réempotage, il vaut mieux utiliser des engrais solubles plutôt que d'utiliser des engrais à libération lente. Consultez un spécialiste afin de déterminer les besoins propres à chaque situation.

5.5.2 Les quantités d'engrais à libération contrôlée à appliquer

Plusteurs fabricants recommandent différentes doses d'application pour le même gabarit de pot soit: faible dose, dose moyenne et dose élevée.

La fertilisation des plantes ligneuses cultivées en contenant

La faible dose convient aux: Plantes à faible croissance ex: Éricacé, Hosta, etc..
La dose moyenne convient à: La plupart des plantes;
La forte dose convient à: Les plantes à forte croissance ex: *Acer saccharinum*, *Hydrangea* sp. etc.

5.5.3 Calendrier de fertilisation à base d'engrais à libération contrôlée seulement

Temps d'application	Type d'engrais / quantité d'application
Tôt au printemps	Engrais à libération lente dont le rapport se situe aux alentours de 2-1-1, 3-1-2, 3-2-2. Formulations 5-6 mois ou 8-9 mois. Dose selon le manufacturier.

Avantages

- Application unique d'engrais durant la saison ;
- Apport d'éléments même quand il pleut.

Désavantages

- Pas de contrôle sur la concentration d'éléments retrouvée dans le substrat ;
- Faible croissance des plants si les pots tombent sur le côté et que l'engrais était appliqué à la surface de ceux-ci.

5.5.4 Calendrier de fertilisation avec engrais à libération lente et engrais solubles ou liquides

Temps d'application	Type d'engrais / quantité d'application	
Tôt au printemps	Engrais à libération lente dont le rapport se situe aux alentours de 2-1-1, 3-1-2, 3-2-2. Formulations 5-6 mois ou 8-9 mois. Dose selon le manufacturier	
Tôt au printemps à la mi-août	Engrais soluble dont le rapport se situe aux alentours de 2-1-2, 5-1-5, 10-1-10.	200 - 300 ppm /semaine
Mi-août à la fin de la saison	Engrais soluble dont le rapport se situe aux alentours de 2-1-2, 5-1-5, 10-1-10.	100 ppm /semaine

Avantages

- Permet un meilleur contrôle de la concentration d'éléments retrouvés dans le substrat durant toute la saison ;
- Apport d'éléments plus uniformément assuré tout au long de la saison.

Désavantages

- Les pertes d'engrais encourues si la fertilisation est réalisée avec un système à aspersion ;
- Coûts plus élevés.

5.5.5 Calendrier de fertilisation avec engrais solubles ou liquides

Temps d'application	Type d'engrais / quantité d'application	
Tôt au printemps à la mi-août	Engrais soluble dont le rapport se situe aux alentours de 2-1-2, 5-1-5, 10-1-10.	200 à 300 ppm / irrigation
Mi-août à la fin de la saison	Engrais soluble dont le rapport se situe aux alentours de 2-1-2, 5-1-5, 10-1-10.	100 ppm / irrigation

Avantages

- Croissance optimale s'il ne pleut pas trop ;
- Évite l'application d'engrais à libération lente ;
- Meilleur contrôle de la quantité d'engrais dans le substrat.

Désavantages

- Les pertes d'engrais encourues si la fertilisation est réalisée avec un système à aspersion ;
- Normalement utilisé avec des systèmes de goutte-à-goutte ;
- Obligation de fertiliser même lorsqu'il y a des fortes périodes de pluie ;
- Coûts plus élevés à cause des pertes engendrées lorsque les systèmes à aspersion sont utilisés.

BIBLIOGRAPHIE

- 1 Dept. of Floriculture and Ornamental Horticulture. 1997. Nutrient Management the key to growing healthy nursery crops. Cornell University. Sur le site de Cornell University, [en ligne] <http://www.hort.cornell.edu/department/faculty/good/growon/containr/psttb101.html>
- 2 - Bilderback, T. Fertilizer Choices and Recommendations. North Carolina State University.
- 3 - Gibson, J. L., Whipker, B. E., Cloyd, R. 2000. Success with Container Production of Twelve Herb Species. North Carolina Flower Growers' Bulletin, 45 (1) : 2-9.
- 4 - Wright, R. D. 1987. The Virginia Tech Liquid Fertilizer System for Container Grown Plants. College of Agriculture and Life Sciences Information Series 86-5.
- 5 Wright, R. D., Niemiera, A. X. 1984. Nutrition of Container-Grown Woody Nursery Crops. Virginia Polytechnic Institute and State University, 75-83.
- 6 Hummel, R. L., Privett, D. W. 1991. Effect of Slow-Release Fertilizer Rate on Root and Shoot Growth of Container-Grown *Kalmia latifolia* 'Elf', 'Freckles', and 'Goodrich'. Combined Proceedings International Plant Propagators' Society, 41 : 278-282.
- 7 Légaré, M., Hamel, J.-M. 1992. Heureux qui comme un pépiniériste a vu le Minnesota... Québec Vert, Février : 35-38.
- 8 Lebrun, D., Laperdrix, S. 1996. Des programmes de fertilisation pour la pépinière ornementale. Lien horticole, 13 (mars).
- 9 . 2002. Artificial media in horticulture : their formulation and fertilization. Sur le site de Agriculture and Agri-Food Canada, [en ligne] http://www.agr.gc.ca/cal/epub/1726e/1726-0007_e.html
- 10 . 2002. Environmental Management Best Practice Guidelines for the Nursery Industry. Government of Western Australia, Department of Agriculture, 23-25.
- 11 . 2001. Detecting mineral deficiencies in ornamentals. Cyberconference Plant Nutrition and Fertilizers. Sur le site de Green Beam, [en ligne] <http://www.greenbeam.com/features/cyb011501a3d.stm>
- 12 Robbins, J. A. Growing Media for Container Production in a Greenhouse of Nursery, Part II (Physical and Chemical Properties). University of Arkansas, Division of Agriculture Cooperative Extension Service.
- 13 Fafard et Frères. Grille de fertilisation recommandée pour les plantes de pépinière (feuillus et conifères) cultivées dans le substrat Fafard.

La fertilisation des plantes ligneuses cultivées en contenant

- 14 Lebrun, D. 1996. Fertilisation en pépinière hors-sol avec engrais retard : cas de la région Pays de Loire. PHM Revue horticole, 376.
- 15 Southern Nurserymen's Association Publication. 1997. Best Management Practices for Container-Grown Plants. Best Management Practices : A Guide for Producing. Site de American Farm Publications, [en ligne] <http://www.americanfarm.com/BMP.html>
- 16 HortResearch Publications. 1995. Fertiliser Recommendations for Horticultural Crops. Nursery Stock, Bedding Plants and Pot Plants in Peat and Bark Fertiliser Recommendations. Site de HortResearch Publications, [en ligne] <http://www.hortnet.co.nz/publications/guides/fertmanual/protcrop.htm>
- 17 Yeager, T. H. 1999. Fertigation Management – General Considerations. Cooperative Extension Service. University of Florida, Institute of Food and Agricultural Services, 3 p.
- 18 Mylavarapu, R., Yeager, T., Bartos, J. 2001. UF/IFAS Extension Nutrient Management Series : Container Media Nutrient Test Interpretation. Cooperative Extension Service. University of Florida, Institute of Food and Agricultural Services.
- 19 Verdure, M. Calcul de la composition de la solution nutritive Coïc-Lesaint. Institut National Agronomique.
- 20 How to Make a Nutritive Solution ? Information Technical File N° 5. Sur le site de Delbon, [en ligne] <http://www.delbon.com/biblio/doc-html/fichtec5-us.html>
- 21 Mathieu, G. 1991. Culture d'arbres et d'arbustes ornementaux en contenants. Université Laval, Juillet. 24 p.
- 22 Struve, D. K. 2002. Growth of Several Tree spp. in Containers in Response to N Loading, Fertilizer Type and Substrate. Journal of Environmental Horticulture, 20 (3) : 133-137.
- 23 Cabrera, R. I. 2000. Saline Solution. American Nurseryman, June : 32-38.
- 24 Ivy, R. L., Bilderback, T. E., Warren, S. L. 2002. Date of Potting and Fertilization Affects Plant Growth Mineral Nutrient Content, and Substrate Electrical Conductivity. Journal of Environmental Horticulture, 20 (2) : 104-109.
- 25 Bilderback, T. 2002. Understanding Nutrient Additives. American Nurseryman, March : 36-43.
- 26 Rose, M. A. 1995. Slow release fertilizers for container nursery production. Landscape and Nursery Dialog. Sur le site de Ohio State University, [en ligne] http://www.hcs.ohio-state.edu/hcs/webgarden/Land/LAND_Jun95

- 27 . 1998. Fertilizer for Ornamentals. Michigan State University. Sur le site de Michigan State University Extension, [en ligne] <http://www.msue.msu.edu/msue/imp/modp/00001794.html>
- 28 Cabrera, R. I. Using Slow – and Controlled-Release Fertilizers in Container Nursery Crops. The State University of New Jersey. Sur le site de Cook College, [en ligne] <http://aesop.rutgers.edu/floriculture/publications/cbfscrfl.htm>
- 29 Lumis, G. Taurins, L. 2000. Container mix pH and the effect of Scotts controlled release fertilizers in altering pH increase. *Landscape Trades*, 23 (6) : 21-32.
- 30 Pilon, P. 2001. CRFs : Releasing Quality Crops. *Greenhouse Grower*. October : 36-43.
- 31 . 2002. Supplying crop nutrition through fertigation. *The Nursery Papers*, 2002/12 : 1-4.
- 32 Bunker, K. V. 1996. Improving nitrogen management in woodwaste based potting mixes. *The Nursery Papers*, 11 : 1-2.
- 33 Huett, D. 1998. Performance of controlled release fertilisers at high temperatures. *The Nursery Papers*, 1998/008 : 1-2.
- 34 . 2002. Supplying crop nutrition through controlled release fertilisers. *The Nursery Papers*, 2002/13 : 1-2.
- 35 Handreck, K. 1998. Controlled-release fertilisers : more efficient than fertigation. *Australian Horticulture*, 96 (2).
- 36 Handreck, K. A. 1993. Immobilisation of nitrogen in potting media. *Acta Horticulturae* 342, 121-126.
- 37 Wilkinson, K., Tee, E., Hood, V. 2000. Does AS4454 adequately benchmark compost quality ? *Compost 2000 Down Under Conference*, 1-7.
- 38 ADAS Consulting Limited. 2003. Assessment of options and requirements for stability and maturity testing of composts. *Wrap Creating markets for recycled resources*, 15-17.
- 39 Prasad, M. 1997. Nitrogen fixation of various material from a number of European countries by three nitrogen fixation tests. *Proc. Int'l Symp. on Growing Media and Plant Nutrition*. 353-362.
- 40 Arenas, M., Vavrina, C. S., Cornell, J. A., Hanlon, E. A., Hochmuth, G. J. 2002. Coir as an Alternative to Peat in Media for Tomato Transplant Production. *HortScience*, 37 (2) : 309-312.
- 41 . 1993. Potting mixes – AS 3743. *Australian Standard*. 28 p.

- 42 Institut québécois du développement de l'horticulture ornementale. 2003. Normes d'analyse sur les substrats de pépinières. Normes IQDHO. 3p.
- 43 Fortin, J.-P. 1993. Propriétés physico-chimiques des terreaux. Fafard et Frères. Journées d'information sur la régie des serres, les productions en serre et les transplants. 10 p.
- 44 White, S., Briggs, J., Whitwell, T. 2000. Research Review ; Winter Release Patterns of Controlled-Release Fertilizers Under Plastic. 2000 SNA Research Conference Proceedings. Sur le site de SNA, [en ligne] http://www.sna.org/publications/snaneWSline/sep.oct.00.newsline/NewsLine_Sept.Oct_0010.html
- 45 North Carolina State University. 2003. Preparing Nursery Plants for Winter. North Carolina Cooperative Extension Service. Sur le site de North Carolina Cooperative Extension Service, [en ligne] <http://www.ces.ncsu.edu/depts/hort/hil/ag454.html>
- 46 Department of Floriculture and Ornamental Horticulture. 1997. Nutrient Management the key to growing healthy nursery crops ; Timing of Fertilization. Cornell University.
- 47 Foucard, J.-C. 1994. Protéger du froid les pépinières. PHM Revue Horticole, 352.
- 48 . 1992. Et si l'hiver était exceptionnellement froid ? Lien horticole, 49 (décembre).
- 49 Limoges, M.-C. 1994. L'influence de la fertilisation sur l'endurcissement des plantes ligneuses. Québec Vert, 16 (11) : 31-32.
- 50 Berghage, R. 2003. How to overwinter perennials. GMPro, August.
- 51 Lamhamedi, M., Gagnon, J. 2003. Comment gérer la fertilisation et l'irrigation en vue d'améliorer la tolérance au gel des plants résineux produits en récipients ? Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Août.
- 52 Bragg, N. C., Whiteley, G. M. 1995. Nitrogen Draw-Down Index (NDI) Tests Used With Various Peat Alternatives in Relation to Plant Growth. Acta Horticulturae, 401 : 309-317
- 53 Smiley, T., Lilly, S., Kelsey, P. 2002. Fertilizing Trees and Shrubs Part I ; Determining If, When, and What to Use. www.isa-arbor.com , 17-23.
- 54 Rowe, D. B., Cregg, B. M. 2002. Effect of Incorporating Controlled-release Fertilizer on Adventitious Rooting and Growth of *Artemisia*, *Gaura* and *Nepeta*. Journal of Environmental Horticulture, 20 (1) : 1-6.
- 55 Department of Floriculture and Ornamental Horticulture. 1997. Nutrient Management the key to growing healthy nursery crops ; Preplant Fertilization. Cornell University.

- Sur le site de Cornell University, [en ligne]
<http://www.hort.cornell.edu/departement/faculty/good/growon/containr/premacro.html>
- 56 Aendekerck, T. 1997. Fertilization Guide for Nursery Crops. Research Station for Nursery Stock. 154 p.
- 57 Chong, C. 1996. Evaluation of an improved osmocote controlled-release fertilizer and compost-based mix in nursery container culture. Ontario Ministry of Agriculture and Food. 20 p.
- 58 Whipker, B. E., Dole, J. M., Cavins, T. J., Gibson, J. L., Fonteno, W. C., Nelson, P. V., Pitchay, D. S., Bailey, D. A. Plant Root Zone Management. North Carolina State University. 88 p.
- 59 Mickler, K. D., Ruter, J. M. 2003. Slow-release comparisons. NMPPro, March : p. 51.
- 60 Husby, C. E. 2000. Influence of Temperature and Time on Nutrient Release Patterns of Osmocote Plus™, Nutricote™, and Polyon™ Controlled-Release Fertilizers. Master of Science in Horticulture, Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University. 63 p.
- 61 Robbins, J. 2003. Extension Specialist – Commercial Ornamentals. University of Arkansas. FarWest Seminars.
- 62 Limoges, M.-C., Vallée, C., Goulet, J.-F., Légaré, M., Goudreault, S., Cuerrier, A., Le Quéré, D. 1994. Clinique sur les substrats. Institut québécois du développement de l'horticulture ornementale. 239 p.
- 63 Hamel, A., Goulet, J.-F., Vallée, C., Goudreault, S., Gagnon, J.-A., Couillard, A., Lavoie, M.-C., Chauvette, J. 1996. Clinique sur la fertilisation en serre. Institut québécois du développement de l'horticulture ornementale. 201 p.
- 64 Dumroese, K. 2003. Hardening Fertilization and Nutrient Loading of Conifer Seedlings. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 31-36.
- 65 Struve, D. K. Mineral Nutrition of Trees During Production and in the Landscape. Department of Horticulture and Crop Science.
- 66 Hadziabdic, D., Bachman, G. R., Davis, E. 2001. Spring Growth of Two Woody Ornamentals in Response to Fall Fertilization Timing. Southern Nursery Association Research Conference, vol. 46 : 81-83. Sur le site de SNA, [en ligne]
<http://www.sna.org/research/01proceedings/Section0165.html>
- 67 Risto, R., Tapani, R., 1997. The effect of late summer fertilization on the frost hardening of second-year Scots pine seedlings. New Forests, 14 (1) : p. 33-44. Sur le site de NII Repository of Electronic Journals and Online Publications, , [en ligne]
http://reo.nii.ac.jp/journal/HtmlIndicate/contents/SUP0000001000/JOU0001000472/ISS0000007871/ART0000084565/ART0000084565_abstract.html

- 68 Floistad, S. I. 2003. Effects of Excessive Nutrient Supply and Short Day Treatment on Autumn Frost Hardiness and Time of Bud Break in *Picea abies* Seedlings. Scandinavian Journal of Forest Research, 17 (4) : 295-303. Sur le site de Ingenta Select, [en ligne] <http://ceres.ingentaselect.com/v1=813042/cl=40/by=s/ini=geoarena/nw=1/rpsv/catchword/tandf/02827581/v17n4/s2/p295>
- 69 Rose, M. A., Biernacka, B. 1999. Seasonal Patterns of Nutrient and Dry Weight Accumulation in Freeman Maple. HortScience, 34 (1) : 91-95.
- 70 Birchler, T. M., Rose, R., Haase, D. L. 2001. Fall fertilization with N and K : effects on Douglas-fir seedling quality and performance. Western journal of applied forestry, 16 (2) : 71-79. Sur le site de United States National Agricultural Library.
- 71 Sung, S. S., Black, C. C., Kormanik, T. L., Zarnoch, S. J., Kormanik, P. P., Counce, P. A. 1997. Fall nitrogen fertilization and the biology of Pinus taeda seedling development. Canadian journal of forest research. 27 (9) : 1406-1412. Sur le site de United States National Agricultural Library.
- 72 Handreck, K. A. 1992. Rapid Assessment of the Rate of Nitrogen Immobilisation in Organic Components of Potting Media : I. Method Development. Commun. Soil. Sci. Plant. Anal., 23 (3&4) : 201-215.
- 73 Handreck, K. A. 1992. Rapid Assessment of the Rate of Nitrogen Immobilisation in Organic Components of Potting Media : II. Nitrogen Drawdown Index and Plant Growth. . Commun. Soil. Sci. Plant. Anal., 23 (3&4) : 217-231.
- 74 .Fertilizer Management. Environmental Guidelines for Nursery and Turf Industry. Sur le site de British Columbia Ministry of Agriculture, Food and Fisheries, [en ligne] <http://www.agf.gov.bc.ca/resmgmt/fppa/environ/nursery/nursry05.htm>
- 75 Rose, M. A. 1996. Slow Release Fertilizers for Container Nursery Production. Perennial Plants, 4 (2) : 20-22.
- 76 Pedneault, A. 1999. Les engrais de synthèse enrobés. Québec Vert, Novembre / Décembre : 59-61.
- 77 .2000. Osmocote Controlled Release Fertilizers. Scotts-Sierra Horticultural Products Company.
- 78 . 1994. Fertilisation : un important travail des stations d'expérimentation. Lien horticole, 41 (octobre) : 20-21.
- 79 Witcher, A. L., Bush, E. W., Bates, D., Gray, A. 2002. Evaluation of Fertilizer and Irrigation Production System for Large Containers. SNA Research Conference, 47 : 606-610.

La fertilisation des plantes ligneuses cultivées en contenant

- 80 Mickler, K. D., Ruter, J. M. 2001. Evaluation of Five Long-Term Controlled Release Fertilizers In # 5 Containers. SNA Research Conference, 46 : 45-47. Sur le site de Southern Nursery Association, [en ligne] <http://www.sna.org/research/01proceedings/Section0129.html>
- 81 .1998. Multicote Controlled Release Fertilizer. Haifa Chemicals Ltd., Horticulture Division.
- 82 Richards, D. 1997. Are Slow Release Fertilizers a Viable Alternative to Water Soluble Fertilizers. Horticultural Crops Plant Nutrition Series, Volume VIII, Department of Horticultural Science, Texas A&M University. 10-11.
- 83 .2001. Growth of Japanese Holly and NO. SNA Research Conference, 46 : 45-47. Sur le site de Southern Nursery Association, [en ligne] <http://www.sna.org/research/01proceedings/Section0168.thml>
- 84 Mills, H. A., Jones, J. B. 1996. Plant Analysis Handbook II. MicroMacro Publishing, Inc. 421 p.
- 85 .2003. Engrais à dissolution contrôlée avec d'oligo-éléments. Nutricote Total 13-13-13. Plant Productions Co. Ltd.
- 86 Engrais NPK Nutryon. Pursells Ployon Technology. Nutrite.