

**COLLOQUE SUR L'IRRIGATION
L'EAU, SOURCE DE QUALITÉ ET DE RENDEMENT**

Le vendredi 10 février 2006, Hôtel Mortagne, Boucherville

Irrigation fertilisante en Colombie- Britannique : pratiques et tendances

Ted W. van der GULIK, P. Eng.
Senior Engineer

Stephanie P. TAM, B.A.Sc.
Water Management Engineer

Resource Management Branch
British Columbia Ministry of Agriculture and Lands
Abbotsford (Colombie-Britannique)

* Ce texte a été traduit à partir de la version originale anglaise intitulée :
Fertigation Trends and Practices in British Columbia

Note : Cette conférence a été présentée lors de l'événement
et a été publiée dans le cahier des conférences.

**Vous retrouverez ce
document sur le site
Agrireseau.qc.ca**



IRRIGATION FERTILISANTE EN COLOMBIE-BRITANNIQUE : PRATIQUES ET TENDANCES

* Ce texte a été traduit à partir de la version originale anglaise intitulée *Fertigation Trends and Practices in British Columbia* dont vous pouvez prendre connaissance à la suite du texte en français.

INTRODUCTION

La pratique de plus en plus répandue de la micro-irrigation en Colombie-Britannique a conduit à l'adoption de la technique de fertirrigation, ou irrigation fertilisante, pour de nombreuses cultures horticoles. L'irrigation fertilisante permet une distribution efficace, uniforme et sûre des engrais directement au pied des plantes. L'application de cette technique demande cependant des précautions particulières :

- ✓ protection individuelle de l'opérateur du système
- ✓ protection de l'environnement en cas de déversements accidentels ou de retours de l'eau d'irrigation
- ✓ réglage du dispositif d'injection des engrais
- ✓ distribution d'une dose appropriée d'engrais au moment opportun
- ✓ dilution appropriée de l'engrais dans l'eau d'arrosage
- ✓ installation et entretien d'un système d'irrigation goutte-à-goutte approprié.

De toute évidence, la distribution des engrais ne peut être uniforme que si la distribution de l'eau d'arrosage par le système goutte-à-goutte est elle-même uniforme.

AVANTAGES DE L'IRRIGATION FERTILISANTE

L'addition des engrais à l'eau d'arrosage distribuée au goutte-à-goutte présente de nombreux avantages.

1. **Incorporation des engrais au sol sous climat sec.** Pour les cultures irriguées au goutte-à-goutte en régions arides, l'irrigation fertilisante est le seul moyen d'assurer l'incorporation au sol des engrais. On peut donc dire que dans ces cas, l'irrigation fertilisante est une nécessité plutôt qu'une option.
2. **Distribution efficace des engrais.** Comme l'irrigation au goutte-à-goutte apporte l'eau directement au système racinaire des plantes, on obtient une distribution d'engrais plus uniforme, sous réserve que le système d'irrigation soit bien conçu.
3. **Éléments nutritifs plus accessibles aux plantes.** L'engrais est distribué sous forme assimilable par les plantes.
4. **Dosage réglé en fonction du stade végétatif de la culture.** Les engrais peuvent être distribués durant toute la saison de végétation, à des doses et des fréquences déterminées pour chaque stade du cycle végétatif de l'espèce cultivée.

DÉSAVANTAGES DE L'IRRIGATION FERTILISANTE

L'irrigation fertilisante présente néanmoins certains désavantages, dont voici les mieux connus :

1. **Ne convient pas pour tous les engrais.** Les engrais ne sont pas tous assez solubles pour être distribués avec l'eau d'arrosage, et certains ne donnent pas les résultats attendus lorsqu'ils sont distribués de cette manière.
2. **Nécessite l'emploi de dispositifs de sécurité.** Le réseau d'irrigation doit être pourvu des dispositifs anti-retour appropriés afin d'éviter la contamination des sources d'eau potable, et les mesures préventives qui s'imposent à cet égard doivent être respectées.
3. **Nécessite une modification des pratiques de gestion.** Les opérateurs doivent connaître parfaitement le mode de réglage de l'injecteur de même que le fonctionnement du système d'irrigation, des vannes d'isolement et des dispositifs anti-retour.
4. **Engrais corrosifs.** Certaines solutions chimiques peuvent avoir une action corrosive sur des éléments du système d'irrigation.
5. **Irrigation inopportune.** Le recours au système d'irrigation pour la fertilisation peut imposer des arrosages à un moment où les cultures n'en ont pas besoin ou lorsque le sol est déjà trop mouillé. Le problème se pose principalement dans les régions à climat humide.
6. **Augmentation du pH du sol.** Certains engrais peuvent augmenter le pH du sol, ce qui oblige à des arrosages supplémentaires pour éliminer les éléments acides du volume du sol exploitable par les plantes.
7. **Compétence de l'opérateur.** Pour être efficace et sûre, l'irrigation fertilisante exige de la part de l'opérateur une exécution méticuleuse et une surveillance attentive.

CONCEPTION DU SYSTÈME D'IRRIGATION

Un grand nombre de facteurs doivent être pris en compte dans la conception du système d'irrigation pour qu'on puisse obtenir une distribution uniforme d'engrais. Il est certes nécessaire d'être familiarisé avec les nombreux paramètres de fonctionnement du système, mais il est pratiquement impossible d'obtenir une distribution uniforme d'engrais si, au départ, la conception du système d'irrigation est déficiente.

Type de culture

Le système d'irrigation doit convenir à la culture à irriguer. Les systèmes goutte-à-goutte sont souvent utilisés dans les plantations d'arbres fruitiers, les vignobles, les cultures de fraisiers et d'autres cultures horticoles parce qu'ils réalisent une utilisation optimale de l'eau d'irrigation et qu'ils permettent d'apporter les engrais directement au système racinaire des plantes. Pour que les plantations denses d'arbres fruitiers soient rentables, il faut que les plants reprennent

leur croissance rapidement après le repiquage au champ et qu'ils produisent des fruits rapidement. Pour ce type de plantations, il n'y a pas d'autres avenues pour atteindre la rentabilité que l'irrigation fertilisante.

Nature du sol

La capacité de rétention d'eau varie selon la nature du sol. Or, les propriétés du sol peuvent varier considérablement dans un même champ, et les paramètres d'irrigation doivent être adaptés en conséquence. Les sols à texture grossière retiennent très peu d'eau; à l'inverse, les sols à texture fine en retiennent beaucoup. Un arrosage trop intensif sur un sol à texture grossière accroît le risque de lessivage des engrais, lesquels peuvent être entraînés hors d'atteinte des racines des plantes et jusque dans la nappe souterraine. Il faut donc tenir compte des différents types de sol de la superficie à irriguer afin de réduire les risques de ruissellement et de lessivage. Il est également important de connaître la capacité de rétention d'eau du sol pour s'assurer que les engrais distribués diffusent jusqu'à une profondeur où ils sont accessibles aux racines des plantes.

Topographie du terrain

Le relief du terrain peut être source de variations de pression dans les canalisations d'arrosage, et ces variations ont une incidence sur l'uniformité de la fertilisation. Les pertes de charge dues à une élévation ou au frottement se font particulièrement sentir dans les systèmes goutte-à-goutte. Il est donc recommandé de munir ces systèmes de goutteurs autorégulateurs pour obtenir une distribution uniforme d'engrais.

Efficacité du système

- Le coefficient d'uniformité d'un système goutte-à-goutte doit être d'au moins 90 %.
- Les goutteurs doivent être espacés de manière à arroser au moins 60 % du volume de sol exploitable par les racines des plantes.
- Les goutteurs doivent être choisis en fonction de la topographie du terrain, du type de culture et de la qualité de l'eau d'irrigation disponible. Il faut également que leurs caractéristiques de débit et leur durabilité conviennent aux conditions d'utilisation.
- Il faut choisir des goutteurs dont le coefficient de variation annoncé par le fabricant est d'environ 0,03. Il faut mesurer les débits délivrés par le premier et le dernier goutteur d'une même canalisation pour s'assurer que l'écart ne dépasse pas la valeur tolérée.
- L'écart des pressions de fonctionnement doit être limité à environ ± 10 % de la pression nominale des goutteurs. Dans les cas où les variations de pression de fonctionnement risquent de dépasser cette plage (terrain en pente, canalisations d'arrosage très longues, pression d'alimentation variable), il faut opter pour des goutteurs autorégulateurs.
- L'injecteur doit être placé en amont du filtre de sorte que, s'il se forme des précipités, ceux-ci seront interceptés avant que l'eau ne soit acheminée dans les canalisations d'arrosage.

EXPLOITATION DU SYSTÈME D'IRRIGATION

Les caractéristiques physiques des systèmes d'irrigation qui peuvent avoir une incidence sur l'uniformité de la fertilisation sont les suivantes :

- Le soluté se disperse durant son parcours dans la canalisation, par l'effet de frottement du liquide sur la paroi. Autrement dit, l'engrais injecté dans le système d'irrigation diffuse durant son transport avec l'eau d'arrosage. Pour obtenir une distribution uniforme d'engrais, il faut donc, après l'injection, apporter une quantité d'eau suffisante pour nettoyer la canalisation d'irrigation.
- La canalisation d'amenée du système d'irrigation renferme un volume important d'eau. Il faut prendre en considération le temps de parcours de l'engrais depuis son injection jusqu'à sa sortie ainsi que le temps de chasse requis pour nettoyer le réseau après la fertilisation.
- Le débit délivré diffère d'une zone à l'autre.

Il faut connaître la configuration du réseau d'irrigation et le temps de parcours des engrais injectés jusqu'à leur sortie pour être en mesure d'assurer une distribution uniforme des engrais et de déterminer le temps de chasse requis pour nettoyer les canalisations d'arrosage après la fertilisation.

Les lignes directrices ci-dessous ont été préparées à titre de guide pour l'irrigation fertilisante.

Préparer une feuille de travail en y indiquant les différentes zones irriguées, le débit délivré dans chaque zone, la superficie ou le nombre de plantes irriguées dans chaque zone ainsi que le débit et la durée d'injection. Cette information sera utile pour référence ultérieure.

1. Ne pas injecter l'engrais avant que les canalisations d'irrigation ne soient remplies d'eau sous pression.
2. Après la fertilisation, le système d'irrigation doit être nettoyé. Il faut le laisser fonctionner assez longtemps pour que la solution chimique soit complètement chassée de toutes les canalisations. S'il reste de l'engrais dans les canalisations d'arrosage, celui-ci s'accumulera aux goutteurs des points les plus bas et ces points recevront par conséquent une plus grande quantité d'engrais. On peut déterminer le temps requis pour chasser la solution fertilisante des canalisations par un essai réalisé avec un colorant.
3. Le fait de préparer la solution d'engrais séparément pour chaque zone à fertiliser réduit le risque d'erreur et permet de nettoyer les canalisations comme il se doit pour obtenir une distribution uniforme. Dans le cas de systèmes gérés à l'aide d'un programmeur, on peut préparer en réservoir la quantité de solution nécessaire pour toutes les zones à fertiliser. La dose à distribuer à chaque zone s'obtient alors en réglant la durée d'injection.

4. Après la distribution d'engrais, il peut être nécessaire de traiter le réseau d'irrigation afin d'empêcher l'accumulation de précipités, de dépôts visqueux ou d'algues susceptibles de le colmater. Les eaux d'irrigation peuvent renfermer des concentrations élevées de carbonates ou de fer, lesquels peuvent réagir avec les engrais pour former des composés insolubles. Certaines bactéries dont le métabolisme dépend du fer causent des dépôts de matière visqueuse ou gélatineuse sur les parois internes des canalisations. L'addition d'éléments nutritifs à l'eau d'irrigation peut favoriser la prolifération d'algues. L'utilisation d'un système d'irrigation goutte-à-goutte pour la distribution d'engrais peut donc nécessiter des mesures d'entretien particulières, comme la chloration ou l'utilisation d'algicides ou de bactéricides, ou un traitement préalable de l'eau d'irrigation avec des agents chélateurs.
5. Il faut contrôler le pH du sol, surtout lorsqu'on distribue des engrais ammoniacaux au goutte-à-goutte. Le risque d'acidification dépend du pouvoir tampon du sol. Le choix d'un type d'engrais approprié réduira le risque d'acidification du sol.

ÉLÉMENTS CHIMIQUES ESSENTIELS

Les plantes ont besoin pour leur développement de 16 éléments chimiques en quantités appropriées. Trois de ces éléments, le carbone, l'hydrogène et l'oxygène, forment ensemble environ 95 % de la masse des végétaux. La plante trouve ces trois éléments dans l'air et dans l'eau, tandis que les treize autres sont présents dans le sol. Les sols où ces éléments ne se trouvent pas en quantités suffisantes doivent être amendés.

1. **Principaux éléments nutritifs** : azote (N), phosphore (P) et potassium (K)
2. **Éléments nutritifs secondaires** : calcium (Ca), magnésium (Mg) et soufre (S)
3. **Oligo-éléments** : zinc (Zn), fer (Fe), manganèse (Mn), cuivre (Cu), bore (B), molybdène (Mo) et chlore (Cl).

Les principaux éléments à apporter aux cultures horticoles (bleuets, concombres, poivrons, tomates, arbres fruitiers, etc.) sont l'azote, le potassium, le fer et le manganèse (voir les figures 1 et 2).

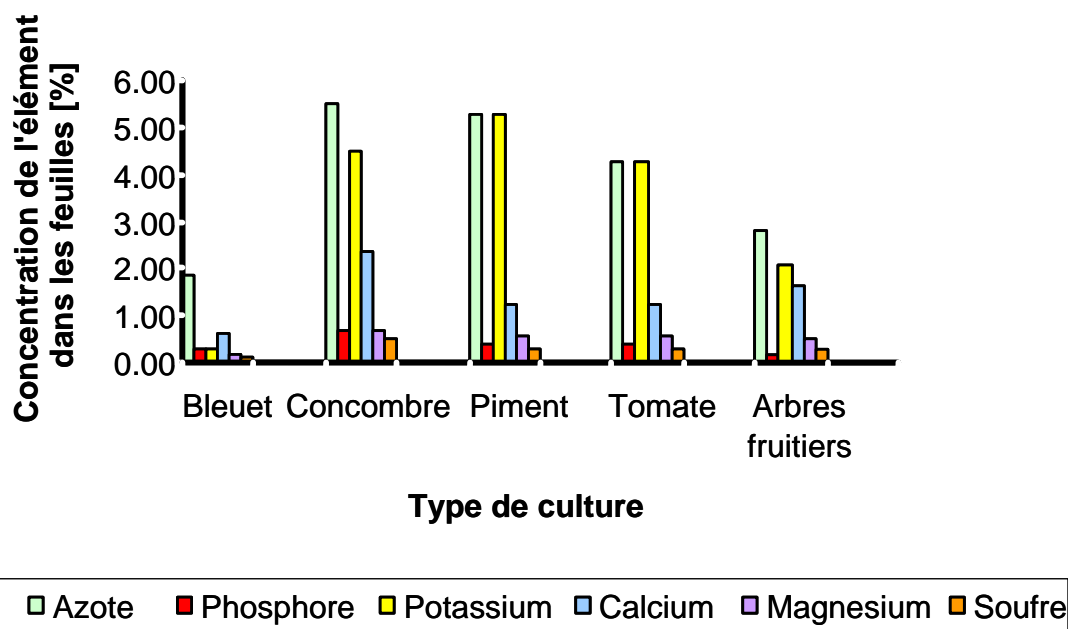


Figure 1. Concentration foliaire des éléments nutritifs principaux et secondaires

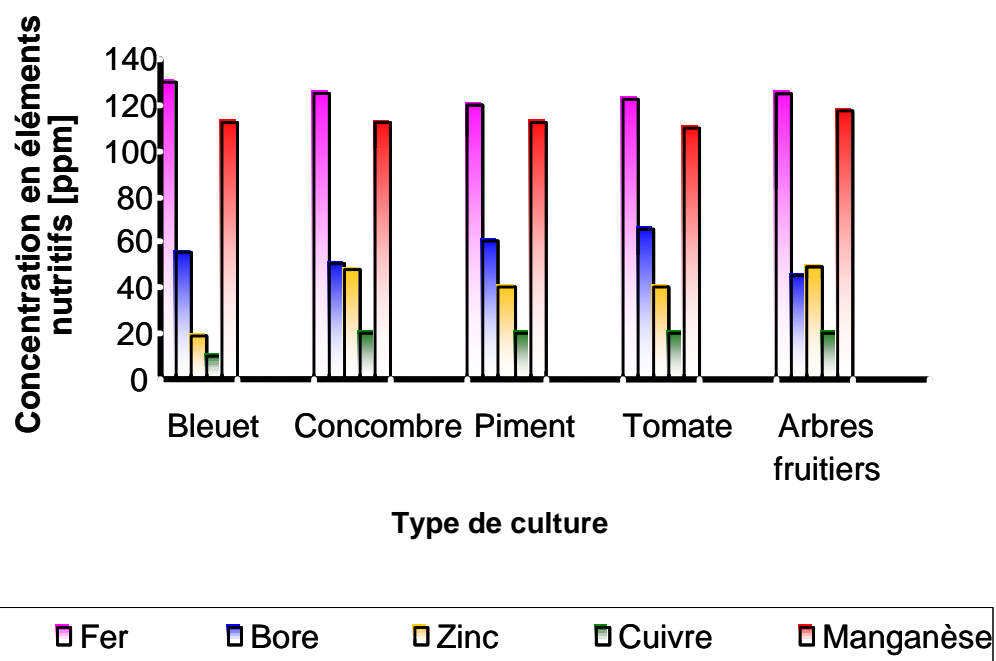


Figure 2. Concentration foliaire des oligoéléments

Symptômes de carences en éléments nutritifs

En observant les cultures, on peut apprécier visuellement leurs éventuelles carences en éléments nutritifs et s'assurer ainsi d'apporter en doses appropriées les éléments déficients. Le tableau 1 donne les symptômes des différentes carences nutritives des plantes.

Tableau 1. Symptômes des carences nutritives des plantes

Éléments nutritifs	Symptômes de carence	Explications
<i>Principaux éléments</i>		
Azote (N)	Croissance lente; plante rabougrie; feuillage jaunâtre; brûlure de l'extrémité des vieilles feuilles; face inférieure des feuilles rougeâtre chez certaines espèces, dont la tomate	Toutes les sources d'azote dans le sol sont converties en nitrates. Les nitrates sont susceptibles d'être lessivés. L'ammonium est retenu dans le sol. Les racines assimilent l'azote principalement sous forme de nitrates, mais peuvent aussi assimiler l'ammonium.
Phosphore (P)	Croissance lente; plante rabougrie; faible formation de fruits et de graines; feuilles ou tiges violacées; feuilles vert foncé; extrémité des feuilles nécrosée; maturation retardée	Le phosphore est fixé dans le sol et non disponible pour les plantes. La disponibilité du phosphore est réduite aux valeurs de pH élevées ou faibles et à des températures du sol inférieures à 10 °C.
Potassium (K)	Croissance lente; marge et extrémité des vieilles feuilles devenant grises ou havane; tiges faibles; verse	Accroît la taille et la qualité des fruits.
<i>Éléments secondaires</i>		
Calcium (Ca)	Croissance réduite des points végétatifs des tiges et des racines; feuilles anormalement foncées et ne parvenant pas à se déployer; chute prématurée des fleurs et des bourgeons; tiges faibles	Le calcium peut être déficient dans les sols acides; les carences en calcium peuvent être corrigées par chaulage.
Magnésium (Mg)	Jaunissement internervaire chez les vieilles feuilles; enroulement des feuilles et jaunissement de la marge	Le magnésium peut être déficient dans les sols sableux ou acides. Les carences en magnésium peuvent être corrigées par un épandage de calcaire dolomitique pour réduire le degré d'acidité du sol.
Soufre (S)	Jaunissement des jeunes feuilles; plantes petites et faibles; croissance lente; maturation retardée	Le soufre peut être déficient dans les sols acides; les carences en soufre peuvent être corrigées par chaulage.
<i>Oligo-éléments</i>		
Zinc (Zn)	Petites taches rougeâtres sur les premières feuilles des haricots; zones pâles sur les feuilles de maïs; allongement réduit des tiges; formation réduite de bourgeons à fleurs; chlorose des feuilles	Une carence en zinc peut être causée par un excès de phosphore.

Éléments nutritifs	Symptômes de carence	Explications
<i>Oligo-éléments (suite)</i>		
Fer (Fe)		Une teneur élevée en manganèse peut causer une carence en fer dans les sols à faible pH.
Manganèse (Mn)	Chez les jeunes feuilles, jaunissement du limbe entre les nervures (moins prononcé que dans le cas d'une carence en fer)	Une teneur excessive en manganèse peut causer une carence en fer dans les sols à faible pH.
Cuivre (Cu)	Arrêt de croissance; jaunissement des feuilles; décoloration; flétrissement et nécrose de l'extrémité des feuilles	Le cuivre n'est généralement pas déficient. Peut être un facteur en cause dans le fendillement de la tomate.
Bore (B)	Zones liégeuses ou nécrosées sur les fruits ou les tubercules; floraison et pollinisation réduites; feuilles épaisses, enroulées, flétries, jaunes; mort des points de végétation et feuilles déformées	Le bore est parfois déficient dans les cultures de choux.
Molybdène (Mo)	Plantes rabougries et manquant de vigueur; enroulement ou déformation en cuillère des feuilles; feuilles étroites, déformées et pâles; jaunissement internervaire chez les vieilles feuilles	Le molybdène est essentiel pour la fixation de l'azote atmosphérique par les légumineuses. Peut être appliqué au moment de l'inoculation des semences. Un chaulage fait disparaître la carence en molybdène du sol.
Chlore (Cl)	Les carences en chlore sont très rares	Les carences en chlore s'observent surtout en laboratoire.

Source : Oklahoma State University et University of Florida

CHOIX DES ENGRAIS

Azote

La majorité des engrais azotés disponibles sur le marché sont solubles dans l'eau et peuvent être additionnés à l'eau d'arrosage. L'urée, en particulier, est très soluble dans l'eau. Souvent, on la mélange avec du nitrate d'ammonium pour obtenir une solution liquide concentrée pouvant être injectée dans le réseau d'irrigation. Ce mélange modifie très peu le pH de l'eau.

Le sulfate d'ammonium et le nitrate de calcium sont relativement solubles et ne modifient pas de façon importante le pH de l'eau. Le sulfate d'ammonium a cependant un effet très acidifiant sur le sol. Le processus de nitrification est très rapide dans les sols humides et chauds, ce qui est le cas des zones arrosées par des goutteurs.

Phosphore

De nombreux engrais phosphatés, bien que solubles dans l'eau, réagissent facilement avec le calcium et le magnésium, formant des précipités susceptibles de colmater les canalisations et les goutteurs du réseau d'irrigation. Les phosphates d'ammonium, notamment le dihydrogénophosphate d'ammonium, sont très solubles dans l'eau et constituent une bonne source de phosphore pour l'irrigation fertilisante. De nombreux engrais phosphatés se présentent sous forme de grains enrobés, et cet enrobage réduit grandement leur solubilité. Il est préférable d'employer des engrais non enrobés.

Potassium

La majorité des engrais potassiques disponibles sur le marché, par exemple le nitrate de potassium, le chlorure de potassium et le sulfate de potassium, sont très solubles dans l'eau, qu'elle soit acide, neutre ou basique. Dans le cas du sulfate de potassium, il peut s'avérer nécessaire de chauffer la solution concentrée pour que le sel se dissolve complètement. Le sulfate et le nitrate de potassium sont préférables au chlorure de potassium pour les cultures de fraises et d'autres fruits sensibles au chlore.

Oligo-éléments

Le principal problème qui se pose à l'égard de la distribution d'oligo-éléments par un système d'irrigation concerne la force d'attraction qui peut lier les oligo-éléments cationiques aux particules du sol. Ces éléments risquent ainsi de ne pas diffuser suffisamment dans le sol pour être accessibles aux racines des plantes cultivées. Il est généralement recommandé d'appliquer les oligo-éléments par pulvérisation foliaire. Si toutefois ils doivent être additionnés à l'eau d'irrigation, les systèmes à goutteurs constituent la meilleure option. Les chélates sont très solubles dans l'eau et constituent une bonne source d'oligo-éléments pour la distribution avec l'eau d'arrosage, mais leur coût est élevé. Il est recommandé d'utiliser des chélates ou des sels de sulfate comme sources d'oligo-éléments comme le fer, le zinc, le cuivre et le manganèse pour la distribution au goutte-à-goutte. Il faut souligner que le sulfate de zinc anhydre est difficile à faire dissoudre complètement en solution concentrée.

COMPATIBILITÉ DES ENGRAIS

Il est souvent nécessaire d'employer plus d'un type d'engrais pour obtenir le bon dosage de tous les éléments nutritifs dont les plantes cultivées ont besoin. Le tableau 2 donne des indications sur la compatibilité de plusieurs types d'engrais. Les engrais dont la combinaison est marquée d'un « x » ne doivent pas être mélangés, et ceux dont la combinaison est marquée d'un « ↓ » ne doivent être mélangés qu'avec précautions. Pour les engrais ne figurant pas au tableau 2, vérifier la compatibilité auprès du fournisseur. Il est utile de faire un mélange d'essai pour vérifier la compatibilité des engrais avant de verser ces derniers dans le réservoir de mise en solution.

Tableau 2. Compatibilité des engrais

	Urea	Ammonium Nitrate	Ammonium Sulphate	Calcium Nitrate	Potassium Nitrate	Potassium Chloride	Potassium Sulphate	Ammonium Phosphate	Fe, Zn, Cu, Mn Sulphate	Fe, Zn, Cu, Mn Chelate	Magnesium Sulphate	Phosphoric Acid	Sulphuric Acid	Nitric Acid	Monoammonium Phosphate	Monopotassium Phosphate	Sodium Molybdate
Urea																	
Ammonium Nitrate	✓																
Ammonium Sulphate	✓	✓															
Calcium Nitrate	✓	✓	✗														
Potassium Nitrate	✓	✓	✓	✓													
Potassium Chloride	✓	✓	✓	✓	✓												
Potassium Sulphate	✓	✓	↓	✗	✓	↓											
Ammonium Phosphate	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓										
Fe, Zn, Cu, Mn Sulphate	✓	✓	✓	✗	✓	✓	↓	✗									
Fe, Zn, Cu, Mn Chelate	✓	✓	✓	↓	✓	✓	✓	↓	✓								
Magnesium Sulphate	✓	✓	✓	✗	✓	✓	↓	✗	✓	✓							
Phosphoric Acid	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	↓	✓						
Sulphuric Acid	✓	✓	✓	✗	✓	✓	↓	✓	✓	✓	✓	✓					
Nitric Acid	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓				
Monoammonium Phosphate	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✓	✓			
Monopotassium Phosphate	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✓	✓	✓		
Sodium Molybdate	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	



Fully Compatible



Reduced Solubility



Incompatible

Source : Soil and Plant Laboratory Inc., Bellevue, Wa

Urea = Urée

Ammonium Nitrate = Nitrate d'ammonium

Ammonium Sulphate = Sulfate d'ammonium

Calcium Nitrate = Nitrate de calcium

Potassium Nitrate = Nitrate de potassium

Potassium Chloride = Chlorure de potassium

Potassium Sulphate = Sulfate de potassium

Ammonium Phosphate = Phosphate d'ammonium

Fe, Zn, Cu, Mn Sulphate = Sulfates de Fe, de Zn, de Cu, de Mn

Fe, Zn, Cu, Mn Chelate = Chélates de Fe, de Zn, de Cu, de Mn

Magnesium Sulphate = Sulfate de magnésium

Phosphoric Acid = Acide phosphorique

Sulphuric Acid = Acide sulfurique

Nitric Acid = Acide nitrique

Monoammonium Phosphate = Dihydrogénophosphate d'ammonium

Monopotassium Phosphate = Dihydrogénophosphate de potassium

Sodium Molybdate = Molybdate de sodium

Fully Compatible = Entièrement compatibles

Reduced Solubility = Solubilité réduite

Incompatible = Incompatibles

CALENDRIER D'IRRIGATION FERTILISANTE

Le calendrier d'irrigation fertilisante est déterminé en fonction du type de culture, de la nature du sol, du climat et des caractéristiques du système d'irrigation. On trouvera ci-dessous des lignes directrices pour l'irrigation fertilisante des cultures de bleuets, de concombres, de poivrons, de tomates et d'arbres fruitiers.

Bleuets

Les cultures de bleuets nécessitent un apport annuel d'azote. La dose est fonction de l'âge des bleuetiers, de leur espacement, de leur productivité et de la teneur en azote de leurs feuilles. La figure 3 donne les apports recommandés; on peut voir que ceux-ci augmentent d'année en année. À moins d'utiliser une formulation à libération lente, il est recommandé de faire deux applications d'engrais azoté par saison de végétation : la première au début d'avril (avant l'éclosion des bourgeons) et la deuxième au début de juin. Une application trop tardive risque de retarder la croissance des plantes et d'augmenter leur sensibilité au gel et à la brûlure bactérienne. Les engrais à libération lente nécessitent une seule application, généralement pratiquée au début d'avril.

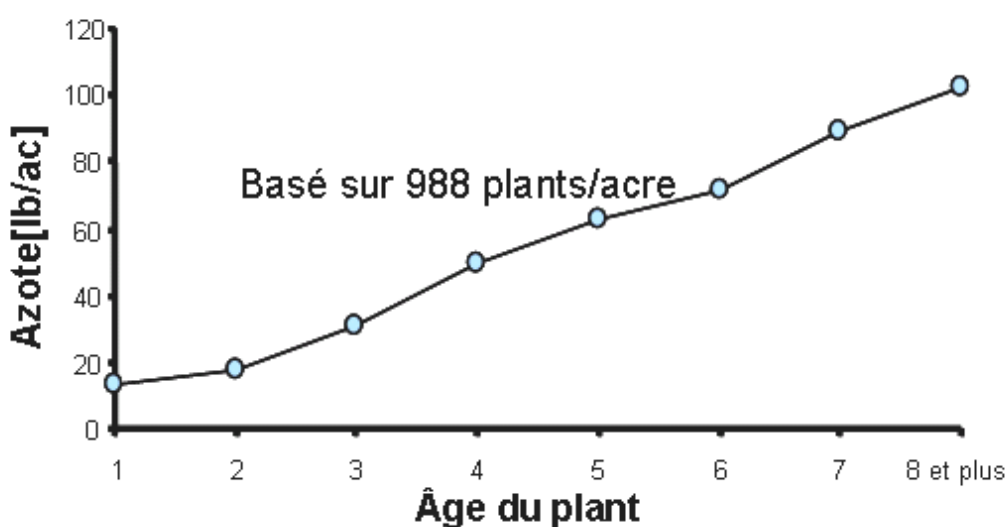


Figure 3. Apports en azote recommandés pour les cultures de bleuets

Source : Source: *B.C.Berry Production Guide, 2005 – 2006*

Le phosphore et le potassium ne sont pas très mobiles dans le sol. Les apports de phosphore se font généralement sous forme de phosphates (par exemple de P_2O_5), à raison de 40 à 65 lb/acre, et les apports de potassium sous forme de potasse (K_2O), à raison de 75 à 100 lb/acre (pour une densité de 988 plantes par acre). En Colombie-Britannique, il est relativement rare que les terres manquent de potassium, et les engrais potassiques sont peu utilisés.

Arbres fruitiers

L'apport d'azote par irrigation devrait se faire environ quatre semaines après la mise en terre des plants, à l'apparition des bourgeons et des racines blanches. La dose devrait être augmentée progressivement au fur et à mesure que la saison avance et que les besoins des plants augmentent, puis réduite progressivement à partir de la mi-saison. Dans le cas d'un calendrier d'irrigation fixe, la dose recommandée pour l'année de la mise en terre, par arbre et aux deux semaines, est de 6 à 10 grammes d'azote actif en sols à texture grossière et de 4 à 6 grammes en sols à texture fine. La deuxième année et les années subséquentes, la dose recommandée, par arbre et aux deux semaines, est de 6 à 10 grammes en sols grossiers et de 4 à 7 grammes en sols fins. Dans le cas d'une irrigation programmée, on recommande un dosage de 85 ppm d'azote pour une campagne d'irrigation d'une durée de quatre ou de huit semaines; pour une campagne de 12 semaines, un dosage de 50 ppm est généralement suffisant, mais un dosage de 75 ppm peut être nécessaire.

L'apport de phosphore devrait commencer dès après la plantation mais avant l'apport d'azote. La dose recommandée pour l'année de la mise en terre est de 58 grammes de pentoxyde de phosphore (P_2O_5) par arbre. Les années subséquentes, la dose devrait être réduite à environ 36 grammes par arbre et appliquée durant la floraison et avant l'apport d'azote. Voici un exemple d'apport de phosphore par irrigation au moyen de goutteurs délivrant un débit d'eau de 4 L/h à chaque arbre.

Année de la mise en terre :

1. irrigation durant une semaine à raison de 30 min/jour, avec un dosage de 600 ppm, ou
2. irrigation durant une semaine à raison de 1 h/jour, avec un dosage de 300 ppm.

Deuxième année et années subséquentes :

1. irrigation durant une semaine à raison de 30 min/jour, avec un dosage de 500 ppm, ou
2. irrigation durant une semaine à raison de 1 h/jour, avec un dosage de 250 ppm.

Les apports de potassium doivent se faire de préférence durant la période de plus grand stress, à savoir juillet et août. Pour un calendrier d'irrigation fixe, l'apport recommandé est de 15 à 25 grammes de potassium par arbre par année. Par exemple, dans une plantation où les arbres sont espacés de 3 pi dans des rangs espacés de 10 pi, ce qui donne une densité d'environ 1 500 arbres par acre, on apportera à chaque arbre 20 grammes de potassium par année les quatre premières années, 24 grammes la cinquième année, 32 grammes la sixième année et 40 grammes par année par la suite. Pour une irrigation programmée, le dosage recommandé est de 10 à 15 ppm. Ainsi, pour une campagne d'irrigation de huit semaines à raison de 2 h/jour avec un débit de 4 L/h par arbre, le dosage serait de 10 ppm par année les cinq premières années, 12 ppm la sixième année et 14 ppm chaque année par la suite.

Concombres, poivrons et tomates

Ces trois types de cultures ont des besoins très semblables en matière de fertilisation. Le tableau 3 ci-dessous donne les doses recommandées pour un espacement classique. La dose devrait être augmentée à chaque stade végétatif de la culture et réduite à l'approche de la récolte.

Tableau 3. Apports recommandés pour l'irrigation fertilisante des cultures de concombres, de poivrons et de tomates

Type de culture	Apport quotidien en azote [lb/acre]	Apport quotidien en potasse [lb/acre]
Concombres	1,0 à 3,0	1,2 à 2,0
Poivrons	1,0 à 2,4	1,0 à 4,8
Tomates	0,5 à 1,0	1,0 à 2,0

Les systèmes d'irrigation goutte-à-goutte offrent une grande souplesse à l'égard du calendrier de fertilisation. Ils permettent même des apports quotidiens d'engrais si cela est souhaitable (notamment pour l'azote). Les apports hebdomadaires sont aussi efficaces que les apports plus faibles mais plus fréquents. Les calendriers d'irrigation fertilisante que nous avons présentés ont uniquement valeur de guides; il faut les adapter en fonction des conditions données de sol, de culture et de climat.

RÉGLAGE DE L'INJECTION

Le réglage de l'injection d'engrais dans un système d'irrigation comporte les principales étapes ci-dessous.

1. Déterminer la superficie ou le nombre de plantes à fertiliser.
2. Déterminer la quantité d'engrais à distribuer par hectare ou par plante.
3. Calculer la quantité totale d'engrais à distribuer.
4. Déterminer la durée d'injection de l'engrais, en heures. Les facteurs qui déterminent la durée d'injection de l'engrais sont la durée et le débit d'arrosage, le temps de parcours de l'engrais entre le point d'injection et la zone cible et la quantité d'engrais à appliquer.
5. Choisir les engrais et la concentration de la solution.
6. Régler l'injecteur au débit voulu.

CALCUL DU DÉBIT D'INJECTION

Il existe quatre façons de déterminer la quantité d'engrais à injecter dans le système d'irrigation. En règle générale, la dose d'engrais à distribuer ne s'obtient pas par réglage du débit d'injection, sauf s'il s'agit d'un injecteur à débit proportionnel. Avec un venturi, par exemple, le débit d'injection est fonction de la pression de fonctionnement du système d'irrigation. Avec une pompe doseuse à vitesse variable, il faut modifier le débit d'injection ou la concentration de la solution en fonction de la superficie de la zone à fertiliser. La méthode employée pour calculer le débit d'injection dépendra du type d'engrais à appliquer, du type d'injecteur, du type de système d'irrigation, du nombre de zones à irriguer et de leur superficie.

1. Méthode fondée sur le poids

Peser la quantité voulue d'engrais, la dissoudre dans un volume approprié d'eau et injecter la solution dans le réseau d'irrigation jusqu'à épuisement. Il faut connaître le débit d'injection pour être en mesure de s'assurer que la concentration d'engrais dans les canalisations d'irrigation n'est pas trop forte et que le temps d'injection n'est pas trop long.

2. Méthode fondée sur le volume

La façon de procéder est la même que précédemment, sauf qu'il faut connaître la concentration de la solution pour pouvoir calculer le volume à délivrer.

3. Méthode fondée sur le débit d'injection

Suivre le modèle de calcul présenté ci-après.

4. Méthode fondée sur la durée d'injection

Le temps requis pour injecter la quantité voulue d'engrais est fonction du débit d'injection et de la concentration de la solution; on peut le déterminer à l'aide de la formule de calcul du débit d'injection présentée ci-après.

Le débit d'injection peut être limité par la capacité de l'injecteur ou par celle du système d'irrigation. Le débit d'injection peut se calculer à l'aide de la formule ci-dessous, si tous les paramètres sont connus.

$$I_c = \frac{Q_c \times A}{C \times T}$$

où

I_c	= Débit d'injection de l'engrais (L/min)
Q_c	= Quantité d'engrais à distribuer à la zone cible (kg/ha)
A	= superficie (ha)
C	= concentration de la solution injectée (kg/L)
T	= durée de l'injection (min)

Autres formules :

Engrais solides : Le volume de solution dépendra de la capacité du réservoir. Il est recommandé de mettre l'engrais en solution dans un réservoir d'une capacité 5 fois supérieure au volume correspondant à la solubilité de l'engrais employé.

$$\text{Quantité d'engrais} = \frac{\text{quantité par plante (g)} \times \text{nombre de plantes}}{\text{nombre d'applications} \times \text{concentration de l'engrais (décimal)}}$$

$$\text{Débit d'injection} = \frac{\text{Volume de solution (L)}}{\text{Durée d'application (min)}}$$

Engrais liquide :

$$\text{Quantité d'engrais} = \frac{\text{quantité par plante (g)} \times \text{nombre de plantes}}{\text{nombre d'applications} \times \text{densité de la solution (kg/L)} \times \text{concentration en éléments nutritifs (décimal)}}$$

$$\text{Débit d'injection :} = \frac{\text{Volume de solution (L)}}{\text{Durée d'application (min)}}$$

EXEMPLE DE CALCUL POUR UN ENGRAIS SOLIDE

Les systèmes d'irrigation goutte-à-goutte distribuent l'eau directement au système racinaire des plantes et doivent être conçus pour l'irrigation de cultures de même nature pratiquées sur des sols de même nature et rendues au même stade de développement. Prenons l'exemple d'une plantation d'arbres fruitiers de l'année nécessitant un apport de 15 g de phosphore. La plantation possède les caractères suivants :

- ✓ plantation dense : plants espacés de 5 pi dans des rangs espacés de 12 pi
- ✓ longueur des rangs : 250 pi (50 plants par rang)
- ✓ une zone d'irrigation comprend 20 rangs
- ✓ chaque arbre est arrosé par deux goutteurs pouvant délivrer un débit de 2 L/h
- ✓ la durée normale d'irrigation en période de pointe est d'environ 9 heures par jour pour une culture arrivée à maturité; l'année de la mise en terre, la durée d'irrigation est d'environ 2 h par jour.

Le producteur souhaite distribuer 15 g de phosphore actif à chaque arbre au cours de la saison de végétation, en 8 applications égales effectuées à intervalles de une semaine. La source de phosphore est le **dihydrogénophosphate d'ammonium**.

1. Nombre de plantes à fertiliser

$$\begin{aligned}\text{Nombre total de plantes} &= \text{nombre de plantes par rang} \times \text{nombre de rangs} \\ &= 50 \times 20 \\ &= 1\,000\end{aligned}$$

2. Quantité d'engrais à distribuer par application

Voici l'information concernant le dihydrogénophosphate d'ammonium.

11 % de N

22 % de P actif (Nota : les engrais phosphatés renferment souvent le phosphore sous forme de P_2O_5 . Pour obtenir la quantité de P actif, diviser la quantité de P_2O_5 par 2,3.)

solubilité : - 43 g/100 g de H_2O
- 0,43 kg/L

équivalent $CaCO_3$: 58

Le dihydrogénophosphate d'ammonium a un effet acidifiant sur le sol. Une utilisation extensive de ce produit peut obliger à amender le sol par chaulage.

La quantité d'engrais à distribuer par application est la suivante :

$$\begin{aligned}\text{Quantité d'engrais} &= \frac{\text{quantité par arbre} \times \text{nombre d'arbres}}{\text{nombre d'applications} \times \% \text{ de P dans l'engrais}} \\ &= \frac{15 \text{ g/arbre} \times 1\,000 \text{ arbres}}{8 \times 0,22} \\ &= 8\,522 \text{ g} \\ &= 8,5 \text{ kg}\end{aligned}$$

3. Volume de solution

Le volume minimum de solution pour cette quantité d'engrais est :

$$\begin{aligned}&= \frac{\text{quantité totale d'engrais à distribuer}}{\text{solubilité}} \\ &= \frac{8,5 \text{ kg}}{0,43 \text{ kg/L}} \\ &= 19,8 \text{ L}\end{aligned}$$

Il faut donc un réservoir d'une capacité d'au moins 20 L. On utilisera donc un réservoir d'une capacité de 100 L pour mettre en solution 8,5 kg d'engrais.

La concentration de la solution sera donc : $8,5 \text{ kg}/100 \text{ L} = 0,085 \text{ kg/L}$.

4. Débit d'injection

La quantité totale d'engrais doit être injectée en 1 heure. Le débit d'injection est donc de 100 L/h.

La concentration maximum de la solution à injecter dans les canalisations d'irrigation est fixée à 3 % (pour un volume de solution 5 fois supérieur au volume correspondant à la solubilité de l'engrais; si on choisissait le volume correspondant à la solubilité de l'engrais, la concentration maximum de la solution à injecter dans les canalisations serait de 1 %). Le débit d'irrigation de la zone cible est :

$$1\,000 \text{ arbres} \times 4 \text{ L/h/arbre} = 4\,000 \text{ L/h}$$

La concentration d'engrais dans les canalisations est :

$$= \frac{\text{débit d'injection}}{\text{débit d'irrigation}}$$

$$= \frac{100 \text{ L/h}}{4\,000 \text{ L/h}}$$

$$= 0,025 \text{ ou } 2,5 \%$$

Le débit d'injection est donc acceptable.

On peut également calculer la quantité d'azote distribuée à chaque arbre. La concentration de N est de 11 % et celle de phosphore est de 22 %. La quantité totale de N distribuée est donc de 7,5 g.

EXEMPLE DE CALCUL POUR UN ENGRAIS LIQUIDE

Un système d'irrigation par gaine perforée est utilisé pour irriguer une culture de fraises. Le producteur veut employer un engrais liquide comme source d'azote et de phosphore. Voici les paramètres du système d'irrigation :

- les fraisiers sont espacés de 1 pi dans des rangs espacés de 4 pi
- la longueur des rangs est de 300 pi (300 fraisiers par rang)
- irrigation par gaine perforée Bi-Wall 12" x 60" débitant sous une pression de 12 lb/po²
- débit de 1,55 gal/min par rang de 300 pi
- une zone d'irrigation comprend 25 rangs
- la durée normale d'irrigation est d'environ 1 heure par zone

Le producteur souhaite appliquer au total 1 g de N et 1,5 g de P à chaque fraisier au début de la saison, en cinq applications égales effectuées à intervalles de une semaine. Il entend utiliser une solution de polyphosphate d'ammonium.

1. Nombre de plantes à fertiliser

$$\begin{aligned}\text{Nombre de plantes} &= \text{nombre de plantes par rang} \times \text{nombre de rangs de la zone} \\ &= 300 \times 25 \\ &= 7\,500 \text{ plantes}\end{aligned}$$

2. Quantité d'engrais à distribuer par application

Dans ce cas-ci, il faut choisir une solution qui corresponde étroitement à la quantité d'éléments nutritifs à apporter. Voici l'information concernant le polyphosphate d'ammonium.

Choisir une solution de polyphosphate d'ammonium 10-34-0 :

- 10 % de N
- 34 % de P_2O_5 (pour obtenir la quantité de P actif, diviser par 2,3)
- 14,8 % de P
- densité : 1,37 kg/L
1 370 g/L

La quantité d'engrais requise pour obtenir l'apport minimum requis est :

Quantité d'engrais =

$$\frac{\text{quantité par fraisier} \times \text{nombre de fraisiers}}{\text{nombre d'applications} \times \text{densité de la solution} \times \% \text{ d'éléments nutritifs}}$$

$$\text{Pour N} = \frac{1 \text{ g/L} \times 7\,500}{5 \times 1\,370 \text{ g/L} \times 0,10}$$

$$= 10,95 \text{ litres}$$

$$\text{Pour P} = \frac{1,5 \text{ g} \times 7\,500}{5 \times 1\,370 \text{ g/L} \times 0,148}$$

$$= 11,1 \text{ litres}$$

Il faudra donc environ 11 litres de solution 10-34-0 par application.

3. Débit d'injection

L'injection d'engrais durera 20 minutes et se fera au milieu du cycle d'irrigation, de manière à permettre la mise en pression préalable du réseau d'irrigation et, par la suite, le nettoyage du réseau. Le débit d'injection est donc :

$$\frac{11 \text{ litres} \times 60 \text{ minutes}}{20 \text{ minutes}} = 33 \text{ litres/h}$$

La concentration de la solution injectée dans le système d'irrigation ne doit pas dépasser 1 %. Le débit d'irrigation de la zone cible est :

$$\begin{aligned} 1,55 \text{ gal/min/rang} \times 25 \text{ rangs} &= 38,75 \text{ gal/min (1 gal. américain = 3,785 litres)} \\ &= 8\,800 \text{ L/h} \end{aligned}$$

La concentration d'engrais dans les canalisations d'irrigation est :

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{débit d'injection}}{\text{débit d'irrigation}} \\ &= \frac{33 \text{ L/h}}{8\,800 \text{ L/h}} \\ &= 0,003754 \text{ ou } 0,375 \% \end{aligned}$$

Le débit d'injection est donc acceptable.

OUVRAGES DE RÉFÉRENCE

B.C. Ministry of Agriculture, Food and Fisheries, **Berry Production Guide for Commercial Growers 2005–2006**, 2005.

B.C. Ministry of Agriculture, Food and Fisheries, **Fertigation Guidelines in High Density Apples and Apple Nurseries in the Okanagan-Similkameen**, 2001.

Stephanie P. Tam, Lance G. Brown, Ted W. van der Gulik, **BC Irrigation Management Guide**, Irrigation Industry Association of British Columbia, B.C. Ministry of Agriculture, Food and Fisheries, 2005.

Ted W. van der Gulik, **B.C. Trickle Irrigation Manual**, Irrigation Industry Association of British Columbia, B.C. Ministry of Agriculture, Food and Fisheries, 1999.

Ted W. van der Gulik, **Chemigation Guidelines for British Columbia**, Irrigation Industry Association of British Columbia, B.C. Ministry of Agriculture, Food and Fisheries, 1993.