

Influence de la structure du sol et de la fertilisation sur la grenaille du framboisier

(projet no 211-T)

Rapport au CRAAQ

Hélène Rousseau
Adrien N'Dayegamiye

**Institut de recherche et développement en
agroenvironnement**

En collaboration avec

Daniel Bergeron, MAPAQ
Bruno Gosselin, MAPAQ
Carl Boivin, IRDA
Mme Isabelle Mathieu, Ferme horticole La Framboisière.

Avril 2007

TABLE DES MATIÈRES

Résumé	3
Introduction	4
Objectifs du projet	7
Matériel et méthodes	8
Traitements et dispositif expérimental	8
Paramètres mesurés et observations	10
Analyses statistiques	11
Résultats et discussion	11
Évolution des propriétés physiques et chimiques du sol	11
Rendement en fruits	16
Paramètres de rendement	23
Incidence sur la grenaille	24
Conclusion	24
Références bibliographiques	26

RÉSUMÉ

La grenaille prend de l'ampleur et inquiète les producteurs québécois de framboises. Elle réduit la productivité des cannes infectées, mais d'une manière primordiale et d'un impact plus économique, elle réduit la qualité du fruit. Les objectifs de ce projet étaient de : (1) vérifier si l'amélioration des propriétés physiques du sol (masse volumique apparente, densité réelle, stabilité structurale, capacité de rétention en eau) suite aux apports de compost aurait une influence sur les rendements, la qualité et la nutrition de la framboise; (2) déterminer si l'amélioration des propriétés physiques du sol et de la nutrition minérale pouvait diminuer le phénomène de la grenaille de la framboise et; (3) vérifier l'impact de la fertilisation azotée et de l'apport d'oligo-éléments sur les rendements, la qualité et le phénomène de la grenaille de la framboise. L'essai s'est déroulé au cours des étés 2003, 2004 et 2005, à la Ferme horticole La Framboisière située à l'Île d'Orléans, dans une plantation de « Festival » âgée de 8 ans. Le problème de la grenaille s'était manifesté dans cette plantation dès la 4^e année. Les traitements suivants ont été comparés : (1) aucune fertilisation; (2) fertilisation standard; (3) fertilisation standard + bore; (4) 50 t compost/ha; (5) 75 t compost/ha et; (6) 75 t compost/ha + fertilisation NPK ajustée. La fertilisation et l'application de compost n'ont pas eu d'effet sur l'incidence de la grenaille. Même si l'application de compost a résulté en une formation d'agrégats plus gros et plus stables, une meilleure structure du sol et une plus grande concentration en N et B dans le sol, aucune corrélation n'a été observée entre ces paramètres et le phénomène de la grenaille. À court terme, une seule application de compost ou de fertilisation minérale complète n'a pas amélioré les rendements de la framboisière. Ces résultats suggèrent que d'autres facteurs seraient impliqués dans le développement des symptômes de la grenaille des framboises.

INTRODUCTION

La framboise est un fruit composé, groupant 75 à 85 drupéoles maintenues ensemble par des filaments microscopiques entrelacés. À la cueillette, les fruits restent normalement entiers et cohérents. La fermeté du fruit (cohésion entre les drupéoles) est positivement corrélée au nombre de drupéoles (Strik et al. 1996). Lorsqu'un nombre plus ou moins réduit de drupéoles se développe, à maturité ces dernières se désolidarisent. On dit alors qu'il y a grenaille (*crumbly berry*). Les symptômes de la grenaille dans les plantations québécoises sont, semble-t-il, de plus en plus importants. Ce problème est majeur chez le mûrier au point où il freine le développement de la culture de variétés indigènes. Chez le framboisier, plusieurs cultivars y sont sensibles et l'importance du problème varie selon les sites de production. Les fruits atteints ne sont ni commercialisables, ni aptes à la transformation.



Figure 1. Symptômes de la grenaille: (A) fruit sain et (B) grenaille.

La grenaille est généralement attribuée à l'avortement d'un grand nombre de drupéoles et peut avoir des origines génétiques, sanitaires, climatiques et/ou culturelles (Reeve 1970; Navatel et al. 2002; Hartman 2006). Les causes génétiques de la grenaille seraient liées à des

mutations somatiques lors de la culture in-vitro. Cependant, les données disponibles ne permettent pas de confirmer cette hypothèse car les mutations peuvent se produire avec n'importe quel processus de propagation (Muster et Lanks 2002; Muster 2005). Les dommages paraissent plus importants avec la culture in-vitro à cause du grand nombre de descendants.

Plusieurs publications indiquent qu'un grand nombre de virus seraient responsables de la grenaille (Barbara et al. 2001; Strik et Martin 2003). Les infections virales diminuent la vitalité du pollen et, par conséquent, il en résulte un grand nombre de semences non fertilisées et de drupéoles non développées. Certains de ces virus seraient transmis par les nématodes et/ou les mauvaises herbes, notamment le pissenlit. La grenaille serait également due à des maladies fongiques, plus particulièrement l'antracnose. L'infection des fleurs par le champignon résulterait en une absence de fructification et/ou des fruits endommagés.

Dans les conditions de température, d'hygrométrie, de rayonnement ou d'ensoleillement peu favorables, il peut arriver que de nombreuses fleurs soient malformées avec peu ou pas d'étamines constituées. Mais une vaste étude menée dans plusieurs pays européens, à travers le programme EU COST Action 836, n'a pas révélé de corrélation entre les conditions climatiques (température, humidité, précipitation) et l'incidence de la grenaille (Muster 2005). Néanmoins, selon cet auteur, le climat pourrait avoir un impact sur les vecteurs du pollen. Chez le framboisier, l'action de trois vecteurs de pollen est possible : (1) l'auto-pollinisation passive, c'est-à-dire le dépôt de pollen sur les stigmates sans l'intervention d'un agent extérieur; (2) les flux d'air qui peuvent transporter du pollen (flux polliniques atmosphériques) et; (3) les insectes qui transportent le pollen dans leur toison en allant butiner du nectar et/ou du pollen de fleur en fleur. L'absence de flux d'air ou de conditions climatiques favorables à l'activité des insectes se traduit par une moindre pollinisation et, par conséquent, une malformation d'un plus grand nombre de fruits.

Plusieurs travaux suggèrent que c'est la qualité physique du sol qui affecte le plus la productivité des framboisiers (Lord 2003). Le framboisier a une meilleure croissance dans un sol ayant une bonne capacité de rétention en eau, un bon drainage, un volume d'air suffisant et un bon taux de matière organique. La croissance des cannes, et de là le rendement, sont influencés par la croissance des racines qui, à son tour, est affectée par les propriétés physiques du sol. De ce fait, certains auteurs ont émis l'hypothèse selon laquelle les pratiques culturales auraient un impact sur l'incidence de la grenaille.

Les pratiques culturales, notamment la masse volumique apparente élevée du sol et peu ou pas de travail du sol pour l'aération, peuvent conduire à un problème de compactage observé dans les plantations affectées par la grenaille. L'évapotranspiration en période estivale augmente aussi ce compactage. Bien que les allées soient généralement engazonnées, le passage fréquent de la machinerie contribue aussi à ce phénomène. Enfin, les petits fruits sont cultivés sur divers types de sol mais plus particulièrement sur des sols sablonneux qui sont également sujets au compactage.

Par ailleurs, on assiste à une diminution de la fertilité des sols cultivés en petits fruits dont la framboise et la mûre. Cette faible fertilité est comblée par une surfertilisation. Il est donc possible que cette faible fertilité soit occasionnée indirectement par des conditions de compaction et de structure en dégradation qui détériorent les conditions de sol, d'aération, de mobilité de l'eau et des éléments nutritifs, de croissance des racines et de l'absorption des éléments nutritifs.

La qualité du sol peut influencer les conditions de croissance et de nutrition des petits fruits et conséquemment, les rendements et la qualité de la récolte. Les composts apportent des éléments nutritifs graduellement disponibles aux plantes. Leur ajout permettrait ainsi d'éviter une croissance végétative excessive et une faible fructification, comme on peut le constater dans le cas d'une fertilisation minérale élevée. Les composts apportés au sol améliorent également leur structure, augmentant la porosité et le régime d'air et de l'eau dans le sol, facteurs importants de croissance et de rendement des petits fruits. Les régions conventionnelles peuvent conduire à la compaction et à la diminution de ces effets. Les composts stimulent également la microflore du sol et ses activités, dont la minéralisation des éléments nutritifs (N, P et S). Les composts peuvent aussi diminuer les maladies racinaires grâce à la compétition microbienne (Litterick et al. 2004). À notre connaissance, aucun travail n'a examiné l'effet du compost sur l'incidence de la grenaille.

Il est connu que l'état nutritionnel peut influencer sur la sensibilité des plantes cultivées aux stress biotiques et abiotiques. Le bore est impliqué dans les processus de division cellulaire (Calmak et Römhald 1997). Cet élément est essentiel pour une croissance normale des tissus des méristèmes et joue également un rôle de régulation des hormones impliquées dans l'initiation des fleurs, de même que la production de grains et de fruits (Stover et al. 1999; Nyemora et al. 2000). Une carence en bore se traduit par un affaiblissement ou l'absence de la floraison. Les travaux de Wocjik (2005) indiquent une augmentation du nombre de fruits par canne, de drupéoles par fruit et de la fermeté suite à l'application de B

dans les sols sableux. Toutefois, cette étude n'a pas abordé la relation entre la fertilisation au bore et la grenaille.

OBJECTIFS DU PROJET

L'objectif général du projet était d'acquérir des connaissances pouvant conduire à des recommandations de régies susceptibles d'améliorer les rendements et la qualité de la framboise et à diminuer le problème de la grenaille. Cette étude permettrait ainsi d'accentuer le développement de la culture de la framboise au Québec et d'en augmenter la rentabilité en offrant des conditions propices de sol et de nutrition minérale pour la croissance de cette plante. Le but visé était de développer une régie d'amendement et de fertilisation équilibrée, permettant de prévenir et/ou d'éliminer la grenaille chez le framboisier ou d'en diminuer significativement l'incidence et favorisant de meilleurs rendements de qualité pour cette culture commerciale. Les objectifs spécifiques étaient de :

1. Vérifier si les propriétés physiques du sol (masse volumique apparente, densité réelle, stabilité structurale, capacité de rétention en eau) suite aux apports de compost ont une influence sur les rendements, la qualité et la nutrition de la framboise;
 2. Déterminer si l'amélioration des propriétés physiques du sol et de la nutrition minérale peut diminuer le phénomène de la grenaille de la framboise;
 3. Vérifier l'impact de la fertilisation azotée et de l'apport d'oligo-éléments sur les rendements, la qualité et le phénomène de la grenaille chez la framboise.
-

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Traitements et dispositif expérimental

L'essai s'est déroulé au cours des étés 2003, 2004 et 2005, à la Ferme horticole La Framboisière située à l'Île d'Orléans, dans une plantation de « Festival » âgée de 8 ans. Le problème de la grenaille s'était manifesté dans cette plantation dès la 4^e année. Le sol est un loam sablo-argileux. Les caractéristiques physico-chimiques du site à l'automne 2002 sont compilées au tableau 1. Les traitements suivants ont été comparés :

1. Aucune fertilisation;
2. Fertilisation standard;
3. Fertilisation standard + bore;
4. 50 t compost/ha;
5. 75 t compost/ha;
6. 75 t compost/ha + fertilisation NPK ajustée.

Les 6 traitements ont été distribués selon un dispositif complètement aléatoire avec 4 répétitions. Chaque unité expérimentale était composée d'un rang de cinq mètres de longueur.

Dans le traitement 2, le borax a été appliqué à une dose de 1 kg B/ha. Les composts ont été appliqués une seule fois au printemps 2003. Les fertilisants ont été appliqués chaque année, tel que requis pour les traitements 2, 3 et 6, en fonction des analyses de sol. Les caractéristiques du compost appliqué sont résumées au tableau 1.

La fertilisation organique et minérale NPK a été calculée selon les besoins de la culture en tenant compte des analyses de sol. Les engrais minéraux ont été appliqués à la volée au printemps de chaque année.

Le compost utilisé a été produit par les Composts du Québec inc. à partir de boues mixtes désencrées auxquelles des écorces étaient ajoutées dans de faibles proportions (5%). Pour leur compostage, les boues mixtes étaient disposées en andains et retournées périodiquement pendant 6 mois.

Tableau 1. Quelques caractéristiques chimiques du sol et du compost.

Propriétés	Sol	Compost
Matière sèche (%)		43,77
Matière organique (%)	3,40	41,00
N total (%)	0,19	1,21
Rapport C/N		17
NO ₃ -N (mg/kg)	20,09	9,28
NH ₄ -N (mg/kg)	2,86	58,66
pH	5,33	7,07
Éléments nutritifs et métaux lourds		
	Mehlich-III	Totaux
P (mg/kg)	40,85	1897
K (mg/kg)	123,00	8956
Ca (mg/kg)	1712,83	27373
Mg (mg/kg)	72,56	3173
Al (mg/kg)	1060,11	3095
B (mg/kg)	0,26	19
Cu (mg/kg)	2,81	39
Fe (mg/kg)	193,97	6344
Mn (mg/kg)	22,16	423
Zn (mg/kg)	3,37	215
Mo (mg/kg)		1
Na (mg/kg)		419
Ni (mg/kg)		9,18
Cd (mg/kg)		0,98
Cr (mg/kg)		12,6
Co (mg/kg)		2,6
Pb (mg/kg)		25

Paramètres mesurés et observations

1. Le diamètre et la hauteur de 10 cannes ont été mesurés au printemps au centre de chacune des parcelles.
 2. Les fruits mûrs ont été récoltés trois fois par semaine dans la même section d'un mètre où l'on a précédemment caractérisé les cannes. L'ensemble des fruits récoltés a été pesé pour déterminer le rendement total.
 3. A chaque récolte, pour chacune des parcelles, un échantillon composé de 25 fruits a été sélectionné parmi les fruits récoltés et le nombre de drupéoles par fruit a été compté.
 4. L'échantillonnage du sol à une profondeur de 0-20 cm a été effectué à l'automne 2004. Le pH du sol a été déterminé selon le rapport de sol:eau de 1:1. Les teneurs en C et N total des sols ont été calculées respectivement avec les techniques de Walkley-Black (Allison et al. 1965) et par la digestion Kjeldahl (Bremner et Mulvaney 1982). L'azote inorganique ($\text{NO}_3\text{-N}$ et $\text{NH}_4\text{-N}$) du sol a été extrait avec une solution de KCl 1M. L'extraction des éléments (P, K, Ca, Mg, B, Cu, Fe, Mn, Mo et Zn) et métaux lourds (Ni, Cd, Cr Co et Pb) a été effectuée à l'aide des méthodes Mehlich III et EPA; leur dosage a ensuite été effectué par un spectromètre d'émission au plasma. Aussi, le B a été extrait selon la procédure de Neufeld (1980) et déterminé par colorimétrie.
 5. La distribution de la taille des agrégats a été déterminée par la méthode de tamisage sous l'eau (Kemper et Roseneau 1986). Brièvement, 50 g d'agrégats secs de 5 à 8 mm de diamètre ont été déposés sur une série de tamis de 2 mm et 0,25 mm immergés dans de l'eau distillée et agités verticalement pendant 10 minutes. Le sol restant sur les deux tamis représentait les macro-agrégats stables de 2 à 8 mm et les macro-agrégats stables de 0,25 à 2 mm respectivement, tandis que le sol qui avait traversé les deux tamis constituait la fraction des micro-agrégats (< 0,25 mm). Un seul échantillon était tamisé à la fois et les micro-agrégats étaient récupérés par centrifugation de l'eau (ayant servi au tamisage) à 3000G pendant 10 minutes. Les trois fractions d'agrégats ont été recueillies dans des béchers, et séchées dans une étuve à 50°C jusqu'à un poids constant, puis elles ont été pesées. Le poids des agrégats a été corrigé pour le taux en sable (Elliott et al. 1991). La stabilité structurale du sol a été estimée par le diamètre moyen pondéré (DMP) des agrégats stables à l'eau qui est la somme des produits du poids des agrégats retenus sur chaque tamis et du diamètre moyen entre les tamis.
-

Analyses statistiques

Les données obtenues ont été soumises à l'analyse de variance selon un dispositif en blocs aléatoires complets. Les traitements statistiques ont été effectués à l'aide de la procédure GLM de SAS (SAS Institute Inc. 1985). La comparaison des moyennes a été faite à l'aide de la plus petite différence significative au seuil de 5 %. Une analyse de corrélation (coefficient de corrélation de Pearson) entre le nombre de drupéoles par les fruits et les différents paramètres mesurés a été réalisée.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Évolution des propriétés physiques et chimiques du sol

Les effets des traitements sur la structure du sol à l'automne 2004 sont indiqués au tableau 2. Aucune différence concernant la structure du sol entre le témoin et les divers traitements n'a pu être mise en évidence. Cependant, l'application de compost semblait se traduire par une formation d'agrégats plus gros et plus stables. La structure du sol, mesurée par le DMP, a également été améliorée avec l'utilisation du compost.

Les traitements ont eu un impact sur les propriétés chimiques du sol. Les résultats du tableau 3 montrent que tous les traitements ont entraîné des augmentations de pH par rapport au témoin, la différence statistiquement significative ayant été observée avec le traitement de compost à une dose de 75 t/ha. D'une manière générale, les niveaux de matière organique, d'azote total et inorganique ($\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$) étaient plus élevés dans les parcelles ayant reçu le compost. Cependant, cette augmentation avait tendance à diminuer lorsque le compost était complétement avec l'engrais minéral (NPK). Les apports de compost et de fumure minérale ont eu un impact positif sur le contenu du sol en éléments disponibles et totaux (Tableaux 4 et 5). Dans l'ensemble, les teneurs en Ca et en B ont été plus affectées que celles des autres éléments. La concentration en Ca dans le sol s'est accrue de façon significative après l'application du compost. Les parcelles fertilisées avec le borax ont présenté une teneur en B beaucoup supérieure à celle des autres traitements. Une tendance à la hausse de la teneur en B semblait également se manifester dans les parcelles amendées avec le compost.

Tableau 2. Effet de la fertilisation et de l'apport de compost sur la distribution des agrégats, le diamètre moyen pondéré et la masse volumique apparente à l'automne 2004.

Traitement	Taille des agrégats				DMP	Masse volumique apparente
	5 mm	2 mm	1mm	0,25 mm		
	----- % -----					g/cc
Aucun	26,96 <i>ab</i>	24,94a	5,14a	7,06a	2,74a	1,11 <i>ab</i>
FS	30,42 <i>ab</i>	29,03a	5,61a	5,50a	3,11a	1,14 <i>ab</i>
FS + B	18,62 <i>b</i>	30,35a	6,42a	7,38a	2,41a	1,14 <i>ab</i>
Compost 50 t/ha	27,12 <i>ab</i>	27,72a	6,50a	5,61a	2,86a	1,04 <i>b</i>
Compost 75 t/ha	30,10 <i>a</i>	26,42a	5,63a	5,34a	3,32a	1,21 <i>a</i>
Compost 75 t/ha + NPK	28,60 <i>ab</i>	31,12a	6,52a	6,51a	3,10a	1,07 <i>b</i>
C.V. (%)	38,8	17,7	24,1	21,8	23,1	6,7

FS : fertilisation standard; C.V. : coefficient de variation.

Les chiffres suivis d'une même lettre à l'intérieur d'une même colonne ne sont pas significativement différents selon le test de la plus petite différence à un seuil de 5 %.

Tableau 3. Effet des traitements de fertilisation et de compost sur le pH et la teneur en matière organique (MO), en azote total (N Total) et inorganique dans le sol à l'automne 2004.

	pH eau	M.O. %	N Total	N-NH ₄	N-NO ₃
		%	-----	mg/kg	-----
Aucun	5,69 <i>b</i>	5,09 <i>b</i>	0,219 <i>ab</i>	2,91	2,98 <i>ab</i>
FS	5,96 <i>ab</i>	5,19 <i>b</i>	0,214 <i>ab</i>	2,61	3,82 <i>ab</i>
FS + B	5,87 <i>ab</i>	5,09 <i>b</i>	0,208 <i>b</i>	2,70	3,54 <i>ab</i>
Compost 50 t/ha	5,79 <i>ab</i>	5,56 <i>ab</i>	0,231 <i>ab</i>	3,12	4,08 <i>ab</i>
Compost 75 t/ha	6,20 <i>a</i>	6,06 <i>a</i>	0,248 <i>a</i>	3,44	4,32 <i>a</i>
Compost 75 t/ha + NPK	5,81 <i>ab</i>	5,47 <i>ab</i>	0,235 <i>ab</i>	2,82	2,82 <i>b</i>
C.V. (%)	5,6	9,2	10,5	21,3	25,5

FS : fertilisation standard; C.V. : coefficient de variation.

Les chiffres suivis d'une même lettre à l'intérieur d'une même colonne ne sont pas significativement différents selon le test de la plus petite différence à un seuil de 5 %.

Tableau 4. Effet des traitements de fertilisation et d'apport de compost sur les concentrations en éléments extractibles au Mehlich-3 dans le sol à l'automne 2004.

Traitement	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- mg/kg -----								
Aucun	57	224	1729 <i>b</i>	99	0,278 <i>b</i>	2,57 <i>b</i>	214	27,1	3,86
FS	118	262	1998 <i>ab</i>	93	0,267 <i>b</i>	3,40 <i>a</i>	191	22,3	4,29
FS + B	99	242	1980 <i>b</i>	130	0,539 <i>a</i>	2,93 <i>ab</i>	187	28,8	3,88
Compost 50 t/ha	92	313	1862 <i>b</i>	120	0,282 <i>b</i>	3,25 <i>ab</i>	201	29,8	5,06
Compost 75 t/ha	76	304	2319 <i>a</i>	110	0,351 <i>b</i>	3,42 <i>ab</i>	167	27,7	4,49
Compost 75 t/ha + NPK	80	318	1979 <i>b</i>	101	0,336 <i>b</i>	2,99 <i>ab</i>	185	25,6	4,61
C.V. (%)	61,4	29,3	11,2	27,1	18,4	16,6	23,8	21,9	32,2

FS : fertilisation standard; C.V. : coefficient de variation.

Les chiffres suivis d'une même lettre à l'intérieur d'une même colonne ne sont pas significativement différents selon le test de la plus petite différence à un seuil de 5 %.

Tableau 5. Effet des traitements de fertilisation et d'apport de compost sur la concentration des éléments totaux dans le sol à l'automne 2004.

Traitement	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- mg/kg -----								
Aucun	828	2103	2500 <i>c</i>	4078 <i>ab</i>	3,13 <i>bc</i>	20,0 <i>b</i>	37036 <i>ab</i>	555	125 <i>b</i>
FS	993	2153	2894 <i>bc</i>	4060 <i>ab</i>	3,06 <i>c</i>	22,5 <i>a</i>	36882 <i>ab</i>	597	132 <i>ab</i>
FS + B	924	2172	2811 <i>bc</i>	4271 <i>a</i>	3,31 <i>ab</i>	21,1 <i>ab</i>	37505 <i>a</i>	557	128 <i>ab</i>
Compost 50 t/ha	938	2160	2788 <i>bc</i>	4087 <i>ab</i>	3,01 <i>c</i>	21,9 <i>ab</i>	36087 <i>b</i>	572	130 <i>ab</i>
Compost 75 t/ha	903	2216	3484 <i>a</i>	4016 <i>b</i>	3,32 <i>a</i>	21,6 <i>ab</i>	36197 <i>b</i>	592	133 <i>a</i>
Compost 75 t/ha + NPK	903	2172	3014 <i>b</i>	3895 <i>b</i>	3,13 <i>bc</i>	20,6 <i>ab</i>	36041 <i>b</i>	561	127 <i>a</i>
C.V. (%)	17,1	4,2	10,3	4,0	3,8	7,1	2,0	10,2	3,8

FS : fertilisation standard; C.V. : coefficient de variation.

Les chiffres suivis d'une même lettre à l'intérieur d'une même colonne ne sont pas significativement différents selon le test de la plus petite différence à un seuil de 5 %.

Rendements en fruits

Les apports de compost et de fumure minérale ont eu un impact sur le rendement en fruits (Tableau 6). Cependant, il y avait une forte variabilité entre les rendements mesurés (coefficient de variation de 38-53 %). Pour les trois années du projet les rendements moyens des parcelles amendées avec les composts étaient statistiquement inférieurs à ceux du témoin non fertilisé. Les parcelles ayant reçu une fertilisation standard ou un apport de compost complété par l'engrais minéral présentaient également des rendements légèrement inférieurs. Ces résultats corroborent ceux d'études antérieures qui n'ont pas démontré d'incidence de la fertilisation azotée (Kowalenko et al. 2000; Kowalenko 2006) et des amendements organiques (Dean et al. 2000) sur le rendement du framboisier rouge. Ces faibles rendements peuvent être expliqués par les valeurs élevées de nitrates et de pH dans le sol étudié, après l'application des traitements. Nous avons vérifié ce fait en corrélant les données d'analyse de sol à l'automne 2004 aux rendements en fruits et aux composantes du rendement de 2004 et 2005. La teneur en nitrates du sol était légèrement corrélée au rendement de 2005 ($r = -0,38$, $P = 0,0708$) (Tableau 11).

Ce résultat suggère que les moins bons rendements seraient associés à la plus grande disponibilité de l'azote minéral. Un excès d'azote provoquerait ainsi une croissance végétative excessive au détriment de la production fruitière (Kowalenko et al. 2000). Il est à mentionner que les prélèvements en nutriments n'ont pas mis en évidence les accumulations de N dans les framboisiers des parcelles fertilisées ou amendées de compost (Tableaux 7, 8 et 9). En fait, le cycle complexe de croissance du framboisier, avec des fruits produits sur les tiges de deuxième année (floricanes) pendant que les cannes de la première année (primocanes) se développent pour la future production de fruits, complique le calcul du bilan en éléments nutritifs car la plante dispose de mécanismes potentiels pour compenser des limitations nutritives, telle la distribution des éléments entre les deux types de cannes se développant simultanément (Kowalenko 2006). De plus, les deux types de cannes n'ont pas le même patron d'absorption des éléments minéraux. L'accumulation de N dans les floricanes est plus rapide en mai et juin avec un maximum en juillet; l'accumulation dans les primocanes est donc rapide en juillet et août avec un maximum en octobre (Kowalenko 1994). Le rendement en fruits est moins influencé par la fertilité dans l'année de développement du fruit que par la fertilité dans l'année précédente lorsque les primocanes se développent (Ljones 1965). La mesure de la teneur du sol en nitrates après la récolte en août peut servir à la fois de mise au

point du bilan azoté dans la saison courante, facilitant ainsi la conduite des apports de N pour les années suivantes (Dean et al. 2000).

Tableau 6. Effet des traitements de fertilisation et d'apport de compost sur le rendement de framboisiers.

Traitement	2003	2004	2005	Moyenne
	----- kg/ha -----			
Aucun	141,3 <i>ab</i>	132,2 <i>a</i>	166,4 <i>ab</i>	146,6 <i>a</i>
FS	81,9 <i>b</i>	129,9 <i>a</i>	117,4 <i>ab</i>	109,8 <i>ab</i>
FS + B	146,5 <i>a</i>	113,2 <i>ab</i>	170,3 <i>ab</i>	143,3 <i>a</i>
50 t/ha compost	78,1 <i>b</i>	87,4 <i>ab</i>	84,5 <i>b</i>	83,3 <i>b</i>
75 t/ha compost	100,7 <i>ab</i>	60,0 <i>ab</i>	113,5 <i>ab</i>	91,4 <i>b</i>
75 t/ha compost + NPK	124,3 <i>ab</i>	49,6 <i>b</i>	185,6 <i>a</i>	119,8 <i>ab</i>
C.V. (%)	37,8	52,6	44,3	47,4

FS : fertilisation standard; C.V. : coefficient de variation.

Les chiffres suivis d'une même lettre à l'intérieur d'une même colonne ne sont pas significativement différents selon le test de la plus petite différence à un seuil de 5 %.

Tableau 7. Effet des traitements de fertilisation et d'apport de compost sur le prélèvement des éléments nutritifs par le framboisier en 2003.

Traitement	N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- kg/ha -----					----- g/ha -----				
Aucun	1,723 <i>a</i>	0,305 <i>a</i>	1,576 <i>a</i>	0,336 <i>a</i>	0,247 <i>a</i>	3,00 <i>a</i>	0,679	6,91 <i>ab</i>	7,18 <i>a</i>	4,99 <i>a</i>
FS	1,107 <i>ab</i>	0,186 <i>bc</i>	0,926 <i>b</i>	0,207 <i>bc</i>	0,146 <i>bc</i>	1,71 <i>c</i>	0,561	4,58 <i>ab</i>	4,83 <i>ab</i>	3,13 <i>b</i>
FS + B	1,670 <i>a</i>	0,281 <i>ab</i>	1,370 <i>ab</i>	0,322 <i>ab</i>	0,222 <i>ab</i>	2,87 <i>ab</i>	0,838	7,71 <i>a</i>	7,45 <i>a</i>	4,69 <i>ab</i>
50 t/ha compost	0,937 <i>b</i>	0,161 <i>c</i>	0,800 <i>b</i>	0,198 <i>c</i>	0,127 <i>c</i>	1,63 <i>c</i>	0,568	3,92 <i>b</i>	3,55 <i>b</i>	2,18 <i>b</i>
75 t/ha compost	1,217 <i>ab</i>	0,175 <i>bc</i>	0,845 <i>b</i>	0,219 <i>abc</i>	0,133 <i>c</i>	1,78 <i>bc</i>	0,480	4,14 <i>b</i>	4,89 <i>ab</i>	3,20 <i>ab</i>
75 t/ha compost + NPK	1,407 <i>ab</i>	0,224 <i>abc</i>	1,159 <i>ab</i>	0,278 <i>abc</i>	0,182 <i>abc</i>	2,37 <i>abc</i>	0,583	5,30 <i>ab</i>	6,73 <i>ab</i>	3,98 <i>ab</i>
C.V. (%)	34,5	31,9	34,3	30,7	32,5	32,9	42,9	38,8	38,3	31,8

FS : fertilisation standard; C.V. : coefficient de variation.

Les chiffres suivis d'une même lettre à l'intérieur d'une même colonne ne sont pas significativement différents selon le test de la plus petite différence à un seuil de 5 %.

Tableau 8. Effet des traitements de fertilisation et d'apport de compost sur le prélèvement des éléments nutritifs par le framboisier en 2004.

Traitement	N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- kg/ha -----					----- g/ha -----				
Aucun	1,509 <i>a</i>	0,209 <i>ab</i>	1,365 <i>a</i>	0,286	0,207 <i>a</i>	2,66	1,071	7,48	4,08 <i>ab</i>	4,10
FS	1,507 <i>a</i>	0,224 <i>a</i>	1,402 <i>a</i>	0,302	0,206 <i>a</i>	2,80	1,011	8,24	5,68 <i>a</i>	4,23
FS + B	1,289 <i>ab</i>	0,196 <i>ab</i>	1,115 <i>ab</i>	0,286	0,181 <i>ab</i>	2,61	0,790	7,38	4,19 <i>ab</i>	3,65
50 t/ha compost	1,140 <i>ab</i>	0,152 <i>ab</i>	0,934 <i>ab</i>	0,241	0,150 <i>ab</i>	2,17	1,441	5,44	3,55 <i>ab</i>	3,09
75 t/ha compost	0,750 <i>ab</i>	0,112 <i>ab</i>	0,614 <i>ab</i>	0,196	0,103 <i>ab</i>	1,48	0,663	3,74	2,73 <i>ab</i>	2,19
75 t/ha compost + NPK	0,615 <i>b</i>	0,088 <i>b</i>	0,542 <i>b</i>	0,135	0,085 <i>b</i>	1,18	0,334	2,87	1,90 <i>b</i>	1,76
C.V. (%)	51,3	54,2	52,9	56,1	50,5	52,4	103,7	64,6	53,9	52,9

FS : fertilisation standard; C.V. : coefficient de variation.

Les chiffres suivis d'une même lettre à l'intérieur d'une même colonne ne sont pas significativement différents selon le test de la plus petite différence à un seuil de 5 %.

Tableau 9. Effet des traitements de fertilisation et d'apport de compost sur le prélèvement des éléments nutritifs par le framboisier en 2005.

Traitement	N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- kg/ha -----					----- g/ha -----				
Aucun	3,118 <i>a</i>	0,489 <i>a</i>	2,634 <i>a</i>	0,464	0,365 <i>a</i>	4,137	1,346 <i>ab</i>	10,13	6,829 <i>ab</i>	7,129
FS	2,071 <i>ab</i>	0,312 <i>ab</i>	1,665 <i>ab</i>	0,303	0,232 <i>ab</i>	2,766	0,814 <i>ab</i>	6,79	6,433 <i>ab</i>	5,165
FS + B	2,901 <i>ab</i>	0,430 <i>ab</i>	2,322 <i>ab</i>	0,421	0,318 <i>ab</i>	4,126	1,259 <i>ab</i>	9,57	8,592 <i>a</i>	6,322
50 t/ha compost	1,594 <i>ab</i>	0,244 <i>b</i>	1,208 <i>b</i>	0,267	0,182 <i>b</i>	2,169	0,689 <i>b</i>	5,52	3,768 <i>b</i>	3,758
75 t/ha compost	1,853 <i>b</i>	0,295 <i>ab</i>	1,506 <i>ab</i>	0,331	0,224 <i>ab</i>	2,915	0,858 <i>ab</i>	7,01	4,793 <i>ab</i>	4,803
75 t/ha compost + NPK	3,201 <i>a</i>	0,460 <i>ab</i>	2,513 <i>a</i>	0,473	0,342 <i>ab</i>	4,273	1,380 <i>a</i>	10,02	7,625 <i>ab</i>	7,246
C.V. (%)	39,3	42,4	40,9	42,4	41,3	42,6	42,1	42,6	49,2	41,8

FS : fertilisation standard; C.V. : coefficient de variation.

Les chiffres suivis d'une même lettre à l'intérieur d'une même colonne ne sont pas significativement différents selon le test de la plus petite différence à un seuil de 5 %.

Tableau 10. Effet des traitements de fertilisation et d'apport de compost sur le poids moyen des fruits de framboisiers, le diamètre des cannes et de drupéoles.

Traitement	2003	2004	2005	Moyenne
	Poids moyen des fruits (g/fruit)			
Témoin	997	787 ^a	679 ^{ab}	821 ^a
FS	823	785 ^a	901 ^a	836 ^a
FS + B	897	644 ^{ab}	746 ^{ab}	762 ^{ab}
Compost 50 t/ha	841	698 ^{ab}	706 ^{ab}	748 ^{ab}
Compost 75 t/ha	808	509 ^b	599 ^b	639 ^b
Compost 75 t/ha + FA	918	531 ^b	883 ^a	777 ^{ab}
C.V. %	14,3	24,8	22,1	23,9
	Diamètre des tiges (mm)			
Témoin	6,75	...	7,23	6,99
FS	7,00	...	7,38	7,19
FS + B	6,75	...	7,68	7,21
Compost 50 t/ha	6,75	...	7,03	6,89
Compost 75 t/ha	6,25	...	7,13	6,69
Compost 75 t/ha + FA	6,75	...	7,78	7,26
C.V. %	10,4		8,2	10,2
	Nombre de drupéoles par fruit			
Témoin	17,8	15,4	17,6	16,9
FS	14,6	16,7	21,8	17,7
FS + B	15,4	15,6	17,2	16,1
Compost 50 t/ha	14,5	12,9	17,7	15,0
Compost 75 t/ha	15,7	16,1	16,1	16,0
Compost 75 t/ha + FA	15,2	13,2	18,9	15,7
C.V. %	14,9	26,8	21,3	22,5

FS : fertilisation standard; C.V. : coefficient de variation.

Les chiffres suivis d'une même lettre à l'intérieur d'une même colonne ne sont pas significativement différents selon le test de la plus petite différence à un seuil de 5 %.

Tableau 11. Coefficients de corrélation de Pearson entre les paramètres de rendement et les propriétés du sol sous l'effet de la fertilisation et du compost.

	Rendement en fruits	Poids moyen	Nombre de drupéoles	Diamètre des cannes	DMP	Masse volumique apparente	pH	Matière organique	B (eau chaude)	B (Mehlich-3)	N total	NH ₄ -N	NO ₃ -N
Poids moyen	0,54**												
Nombre drupéoles	0,26	0,84***											
Diamètre des cannes	0,44*	0,20	-0,09										
DMP	-0,19	-0,17	-0,02	-0,09									
Densité	-0,32	-0,19	-0,08	-0,04	-0,23								
pH	-0,45*	-0,21	-0,05	-0,08	-0,05	0,72***							
Matière organique	-0,27	-0,27	-0,06	-0,18	0,53**	-0,08	-0,02						
B (eau chaude)	0,20	-0,01	-0,11	0,22	-0,22	0,15	-0,02	0,08					
B (Mehlich-3)	0,12	-0,02	-0,21	0,30	-0,45*	0,28	0,18	-0,14	0,90**				
N total	0,01	-0,12	-0,01	-0,07	0,54**	-0,28	-0,24	0,90***	-0,01	-0,25			
NH ₄ -N	-0,16	-0,33	-0,16	-0,21	0,30	-0,22	-0,16	0,74***	-0,02	-0,18	0,69***		
NO ₃ -N	-0,38 ^z	-0,14	-0,11	-0,24	0,13	0,23	0,13	0,27	0,10	0,11	0,12	0,33	
NH ₄ -N+NO ₃ -N	-0,36 ^z	-0,24	-0,15	-0,27	0,23	0,09	0,03	0,52**	0,07	0,01	0,38*	0,67***	0,92***

*, **, ***, respectivement significatif à $P < 0,05$, $0,01$ et $0,001$.

^zSignificatif à $P = 0,0708$

Les baisses de rendement enregistrées avec l'application de compost peuvent aussi être expliquées par les augmentations de pH. En effet, les rendements en fruits de 2005 étaient négativement corrélés de manière significative avec les valeurs de pH du sol mesurées à l'automne 2004 ($r = -0,45$, $P = 0,0275$) (Tableau 11). En augmentant le pH du sol, les composts pourraient avoir diminué la disponibilité des oligo-éléments, plus particulièrement celle du fer, du manganèse, du zinc et du bore qui passent d'une forme assimilable à une forme non assimilable par la plante (Tran et al. 1995). En effet, les données présentées aux tableaux 7, 8 et 9 démontrent que les prélèvements de ces éléments ont été plus faibles dans les parcelles amendées avec le compost. Selon Ançay et al. (2005), les composts de $\text{pH} > 7$ peuvent être à l'origine des problèmes de blocage de l'azote dans le sol ou même des problèmes de phytotoxicité dus à la présence de nitrite.

Les applications de B n'ont pas eu d'impact sur le rendement du framboisier. Wojcik (2005) rapporte une augmentation des rendements suite à l'application de B. Toutefois, la concentration de B dans le sol au début de l'expérimentation était plus faible que $0,45 \text{ mg kg}^{-1}$, valeur proposée comme critique par Wojcik (2003) pour la plupart des petits fruits sous un climat tempéré. Bien que les déficiences en B se produisent la plupart du temps sur des sols légers appauvris en matière organique (Gupta et al. 1985; Shorrocks 1997), on peut aussi observer des carences sur les sols riches en B et à texture fine, lorsque les conditions climatiques sont peu favorables à l'absorption et à la mobilité de B dans la plante comme un printemps humide et froid ou un été sec et chaud (Shorrocks 1997).

Paramètres de rendement

Les principaux paramètres de rendement du framboisier sont le nombre de cannes, la taille des cannes (diamètre et longueur), le nombre de tiges latérales par canne, le nombre de fleurs et le poids moyen des fruits (Vanden Heuvel 1999; Takeda 2002; Lord 2003). Les résultats indiqués au tableau 10 démontrent que les traitements ont eu peu d'effet sur le diamètre des cannes. En général, les variations du poids moyen des framboises étaient similaires à celles des rendements car ces deux paramètres étaient positivement corrélés (Tableau 11). En moyenne, on observe un effet positif pour le compost appliqué à une dose de 75 t/ha mais sans apport supplémentaire de NPK.



Incidence sur la grenaille

Les apports de compost et de fumure minérale n'ont exercé aucun effet significatif sur l'incidence de la grenaille qui a été mesurée en comptant le nombre de drupéoles par fruit (Tableau 10). En 2003, les parcelles fertilisées ou amendées présentaient des fruits avec un nombre réduit de drupéoles. Par contre, en 2004 et 2005, un grand nombre de drupéoles par fruit a été observé avec le traitement de fertilisation standard. Une mise en corrélation des analyses de sol à l'automne 2004 avec le nombre de drupéoles de la même année et de l'année suivante indique que la grenaille n'était pas corrélée avec la structure du sol, ni au contenu de celui-ci en B, en N et en matière organique (Tableau 11). Les résultats de la présente étude sont en contradiction avec ceux de Wocjik (2005) qui a observé une augmentation du nombre de drupéoles par fruit après une application de B au sol ou par voie foliaire. Comme précédemment mentionné, les effets de B peuvent varier selon les conditions climatiques. Par ailleurs, l'absence d'effet des traitements pourrait être due à une forte contamination par la grenaille dans le champ étudié. En fait, le fruit produit sur une plante atteinte ou affectée présente toujours les symptômes de la grenaille car il est difficile d'éliminer la grenaille surtout d'origine virale (Gianessi et al. 2002).

CONCLUSION

La grenaille prend de l'ampleur et inquiète les producteurs québécois de framboises. Elle réduit la productivité des cannes infectées, mais d'une manière primordiale et d'un impact plus économique, elle réduit la qualité du fruit. L'idée de base du projet était d'améliorer les propriétés physiques et chimiques du sol qui augmenteraient le nombre de drupéoles par framboise, éliminant ainsi la grenaille. Les résultats de trois années d'observation indiquent que l'application de B et de compost n'a pas eu d'effet sur le nombre de drupéoles des framboises, ce qui suggère que dans des conditions similaires à celles de cette expérimentation, ces traitements n'offrent pas de possibilités intéressantes pour mieux gérer la grenaille dans les framboisières affectées. La difficulté à proposer des méthodes de lutte contre la grenaille réside dans une mauvaise connaissance des agents responsables. À cet effet, il apparaît nécessaire d'orienter les recherches vers l'identification des causes de la grenaille et les

mécanismes de sa propagation. Une telle information pourrait s'avérer utile pour dégager les paramètres-clés qui devraient être ciblés afin de proposer des méthodes prophylactiques et curatives plus efficaces. Outre cela, la présente étude apporte des informations intéressantes au niveau de la gestion de la fertilisation des framboisiers. D'abord, l'étroite relation entre la concentration des nitrates dans le sol à l'automne et les rendements l'année suivante confirme une tendance déjà connue selon laquelle les besoins en azote du framboisier doivent être basés sur les teneurs en nitrates à la récolte. Deuxièmement, la quantité et la qualité du compost utilisé sont importantes dans une culture de haute valeur comme la framboise. De nouvelles investigations devraient relier les caractéristiques du compost, plus particulièrement le pH, la teneur en azote inorganique et le potentiel de minéralisation du compost, avec la productivité des framboisières.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Allison, L. E., Bollen, W.B. and Moddie, C.D. 1965. Total carbon. Pages 1346-1365 in C.A. Black et al., eds., Methods of soil analysis. Agronomy no 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
- Ançay, A, R. Carron et V. Michel. 2005. Méthodes culturales de lutte contre le dépérissement des racines du framboisier. Revue Suisse Vitic. Arboric. Hortic. 37: 199-206.
- Barbara, D.J., Morton, A., Ramcharan, S., Cole, I.W., Phillips, A. and Knight, V.H. 2001. The occurrence and distribution of *Raspberry bushy dwarf virus* in commercial *Rubus* plantations in England and Wales. Plant Pathology 50:747-754.
- Bremner, J.M. and Mulvaney, C.S. 1982. Total nitrogen. Pages 595-622 in A.L. Page, R.H. Miller, and D.R. Keeney, eds. Methods of soil analysis. 2nd ed. Agronomy no 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
- Cakmak, I. and V. Römheld. 1997. Boron deficiency-induced impairments of cellular functions in plants. Plant and Soil 193:71-83.
- Dean, D.M., Zebarth, B.J., Kowalenko, C.G., Paul, J.W. and Chipperfield, K. 2000. Poultry manure effects on soil nitrogen processes and nitrogen accumulation in red raspberry. Can. J. Plant. Sci. 80: 849-860.
- Dickerson, G.W. 2000. Commercial Everbearing Red Raspberry Production for New Mexico. Guide H-318. http://cahe.nmsu.edu/pubs/_h/h-318.html [disponible le 5 mars 2007].
- Elliott, E.T., Palm, C.A., Reuss, D.E., and Monz, C.A. 1991. Organic matter contained in soil aggregates from a tropical chronosequence: correction for sand and light fraction. Agric. Ecosyst. Environ. 34: 443-451.
- Gianessi, L.P., C.S. Silvers, S. Sankula and J.E. Carpenter. 2002. Plant biotechnology: Current and potential impact for improving pest management in U.S. Agriculture an analysis of 40 case studies. 16. Raspberries. NCFAP, Washington, DC.
<http://www.ncfap.org/40CaseStudies/CaseStudies/RaspberryVR.pdf>.
- Gupta, U.C., Y.W. Jame, C.A. Campbell, A.J. Leyshon, and W. Nicholaichuk. 1985. Boron toxicity and deficiency: A review. Canadian Journal of Soil Science 3:381-409.
- Guzmán-Baeny, T.L. 2003. Incidence, distribution and symptom description of viruses in cultivated blackberry (*Rubus subgenus Eubatus*) in the Southeastern United States. Master of Science thesis. Horticultural Science, North Carolina State, Raleigh, NC. 99 p.
-

- Hart, J., B. Strik, and H. Rempel. 2006. Caneberries. Nutrient management guide. EM 8903-E. Oregon State University Extension Service. 8p.
- Kemper, W.O., and Roseneau, R.C. 1986. Aggregate stability. Pages 511-519. *in* C.A. Black et al., eds. Methods of soil analysis. Agronomy no. 9, Part. 1. American Society of Agronomy Inc., Madison, WI.
- Kowalenko, C.G., Keng, J.C.W. and Freeman, J.A. 2000. Comparison of nitrogen application via a trickle irrigation system with surface banding of granular fertilizer on red raspberry. *Can. J. Plant Sci.* 80: 363-371.
- Kowalenko, C.G. 1994. Growing season dry matter and macroelement accumulations in Willamette red raspberry and related soil-extractable macroelement measurements. *Can. J. Plant Sci.* 74: 565-571.
- Kowalenko, C.G. 2006. The effect of nitrogen and boron fertilizer applications on Willamette red raspberry growth and on applied and other nutrients in the plant and soil over two growing seasons. *Can. J. Plant Sci.* 86: 213-225.
- Litterick, A.M., L. Harrier, P. Wallace, C. A. Watson and M. Wood. 2004. The role of uncomposted materials, composts, manures and compost extracts in reducing pest and disease incidence and severity in sustainable temperate agricultural and horticultural crop production - A Review. *Critical Reviews in Plant Sciences* 23:453-479.
- Ljones, B. 1965. Fertilizer effects on raspberry yield. *Meld. Norg. LandbrHogsk* 44: 1-13.
- Lord, W.G. 2003. Raspberry nutrient management. New England Fruit and Vegetable Conference, Manchester, NH. <http://www.nevbc.org/proceedings03.html> (disponible le 21 mars 2007).
- Muster, G. 2005. Influence of climatic conditions on crumbly fruit in raspberry (*Rubus idaeus* L.). http://www.landwirtschaft-bw.info/servlet/PB/show/1197765_11/lvwo_Crumblyfruit_Abschluss.pdf.
- Muster, G. and C. Lankes. 2002. Effect of conventional and in vitro propagation on selected characteristics of Raspberry plants. *Acta Hort.* 585:585-589.
- Navatel, J.-C., M. Edin, F. Maillard, A. Beaudry et V. Delaunay. 2002. Framboise : Quoi de neuf sur la qualité des plants? *Réussir Fruits & Légumes* 204:38-41.
-

- Neufeld, J.H. 1980. Soil testing methods and interpretations. BC Min Agric., Kelowna, BC. Publ. 80-2.
- Nyemora, A.M.S., P.H. Brown, K. Pinney and V.S. Polito. 2000. Foliar application of boron to almond trees affects pollen quality. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 125:265-270.
- Reeve, R.M. 1970. Relationship of histological structure to texture of fresh and processed fruits and vegetables. Journal of Texture Studies 1:247-284.
- SAS Institute, Inc. 1985. SAS user's guide: Statistics, version 5 ed. SAS Institute, Inc., Cary, NC.
- Shorrocks, V.M. 1997. The occurrence and correction of boron deficiency. Plant and Soil 193:121-148.
- Stover, E.M., M. Fargione, R. Risio, W. Sitles and K. Iungerman. 1999. Prebloom foliar boron, zinc, and urea applications enhance cropping of some Empire and McIntosh apple orchards in New York. HortScience 34:210-214.
- Strik, B., J. Mann and C. Finn. 1996. Percent drupelet set varies among blackberry genotypes. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 12:371-373.
- Strik, B. and R.R. Martin. 2003. Impact of Raspberry bushy dwarf virus on 'Marion' Blackberry. Plant Dis. 87:294-296.
- Takeda, F. 2002. Components of 'Black Satin' Eastern Thornless Blackberry. HortScience 37:101-103.
- Tran, T.S., M. Giroux, P. Audesse et J. Guilbault. 1995. Importance des éléments mineurs en agriculture: symptômes visuels de carence, analyses des végétaux et des sols. Agrosol 8:12-22.
- Vanden Heuvel, J.E. 1999. Effect of trellising system and cane density on the production of red raspberries (*Rubus idaeus* L.). Master of Science Thesis. University of Guelph, Guelph.
- Wojcik, P. 2003. The importance of boron in apple production. In: Crop management and postharvest handling of horticultural products. Vol. III - Crop fertilization, nutrition and growth, eds. R. Dris, R. Niskanen, and S.M. Jain, 77-92. Enfield, NH: Science Publishers.
- Wojcik, P. 2005. Response of primocane-fruiting 'Polana' red raspberry to boron fertilization. Journal of Plant Nutrition 28:1821-1832.
-