

Apports en éléments nutritifs

Fiche 37

Paul Émile Yelle

La production de pommes de qualité est incontournable pour assurer la rentabilité de son verger. Les pommes de belle apparence, au bon goût et avec une bonne fermeté attirent le consommateur et par le fait même les acheteurs. Non seulement un meilleur prix est assigné aux pommes de qualité, mais cela est devenu une nécessité pour être en mesure de les vendre. Même les cueilleurs sont plus faciles à trouver si les pommes ont atteint un bon calibre. Plusieurs facteurs entrent en jeu pour réussir à produire des pommes de qualité, incluant la formation et l'entretien des pommiers, une charge de fruits adéquate, sans parler de la prévention des dégâts causés par les maladies et les ravageurs. Toutefois il faut commencer par la base, soit le sol et comment, en appliquant une fertilisation adéquate, tout l'arbre en bénéficiera.

Les analyses de sol en surface (0-20 cm) et en profondeur (20-40 cm) des parcelles du verger sont des outils indispensables pour bien orienter les pratiques de fertilisation. Les analyses foliaires et les observations en verger permettent de valider et d'ajuster ces pratiques en plus d'orienter la fertilisation foliaire.

La fertilisation du verger n'est pas une simple pratique répétitive applicable annuellement ou aux deux ans pour s'assurer que tout se développe correctement. Son utilisation doit être justifiée et déterminée par différents repères et son but est d'assurer un apport adéquat au pommier pour un bon développement des jeunes arbres, le maintien de leur santé ainsi que des récoltes optimales en termes de quantité et de qualité.

Certains aspects reliés au sol ont déjà été discutés dans la [fiche 35](#) et ont une influence directe sur la fertilisation. Par exemple, la texture du sol et son contenu en matière organique. Les aspects reliés directement à la nutrition minérale du pommier sont abordés dans cette fiche. D'abord les rôles que sont appelés à jouer les principaux éléments dans la croissance des arbres et la production des fruits sont détaillés.

Azote (N)

L'azote est une composante essentielle des enzymes et des protéines, les blocs de constructions reliés à la croissance. Cet élément, comme le magnésium, se retrouve au centre même de la chlorophylle. En termes pratiques, l'azote favorise le développement du feuillage et du bois. Notamment, il est essentiel au bon développement des jeunes arbres, et à leur atteinte rapide du gabarit souhaité. Le tout pour obtenir de bons rendements de façon précoce et rentabiliser les parcelles.

Un manque d'azote peut mener à un feuillage vert pâle, particulièrement dans le cas des feuilles plus vieilles, puisque l'azote est mobile et se déplace vers les points de croissance. Une croissance annuelle limitée est aussi observable lorsqu'il y a carence en azote. Les fruits demeurent petits et sont plus colorés. À l'opposé, un excès peut mener à un feuillage très dense et foncé ainsi que de gros fruits peu colorés qui se conservent mal. De surcroît, des apports excessifs favorisent trop la croissance végétative au détriment de la production de fruits.

Les apports d'azote doivent être effectués tôt en saison pour favoriser la croissance en mai et juin. Les apports trop tardifs encouragent une croissance tardive, nuisant à un bon aoûtement. Le moment exact de l'application sera déterminé en fonction de la source d'azote employée, puisque les différentes formes utilisées requièrent des transformations chimiques et microbiennes dans le sol afin d'être assimilables plus ou moins rapidement par les racines :

- L'urée (46-0-0) est plus lente à agir et peu recommandée pour utilisation au sol en pomiculture, sauf à l'automne pour la réduction de l'inoculum de tavelure (voir la [fiche 101](#)). Elle est toutefois bien assimilée au niveau foliaire et son usage en pulvérisation nutritive est recommandé en début de saison pour stimuler une vigueur hâtive et une meilleure nouaison.
- La forme ammoniacale nécessite moins de transformations, mais doit être appliquée tôt en saison (au débourrement ou peu avant) pour être assimilée au bon moment par les racines. Cette forme se retrouve dans le phosphate mono-ammoniacal (11-52-0) et bi-ammoniacal (18-46-0) ou le nitrate d'ammonium calcique (27-0-0). Ce dernier est une source qui comporte aussi du nitrate, une forme d'azote directement assimilable par les racines et, par conséquent, devrait être appliqué plus tardivement (vers le stade du bouton rose).
- Les engrais qui ne contiennent que du nitrate, comme le nitrate de calcium (15,5-0-0) peuvent être appliqués jusqu'au stade calice.

Le dosage de l'azote mérite une attention particulière. En plus des résultats d'analyse foliaire et du pourcentage de matière organique indiqué par l'analyse de sol, d'autres critères doivent être considérés, incluant le cultivar, l'état général de l'arbre, son âge, la pousse annuelle, la productivité, la grosseur et la coloration du fruit et sa conservation.

Phosphore (P)

Le phosphore est essentiel au fonctionnement du pommier par son rôle dans le transport des hydrates de carbone (énergie) produits par la photosynthèse. Il est associé au bon développement racinaire, à la formation des pépins, à la fructification et à la coloration des fruits. La quantité de phosphore prélevée directement par le pommier est faible comparativement au potassium et à l'azote (voir le [tableau à la fin de cette fiche](#)). Cet élément est peu mobile dans le sol. Une fois les pommiers implantés, les applications en surface sont peu efficaces car elles pénètrent lentement dans le sol et ne rejoignent que partiellement les racines situées dans les premiers centimètres du sol.

De plus, une fertilisation abusive en phosphore présente des risques environnementaux, notamment une croissance excessive d'algues et l'eutrophisation des plans d'eau. C'est pourquoi le phosphore est visé au premier plan dans la réglementation agroenvironnementale. Comme cet élément est peu mobile dans le sol, la pollution des eaux peut être engendrée par l'érosion de sol fertile ou le ruissellement à la suite de pluies importantes. Le couvert végétal et le fait que la pomme ne soit pas une culture sarclée réduisent ces risques pour cette production. Toutefois, certaines situations de déséquilibre anionique peuvent rendre le phosphore lessivable dans le sol et c'est pourquoi il faut tenir compte de l'indice de saturation en phosphore (ISP), qui est exprimé par un rapport entre le phosphore et l'aluminium ainsi que des valeurs critiques en fonction des textures de sol. Pour plus d'informations, se référer à la page 177 du *Guide de référence en fertilisation*.

Il est aussi important de noter que des taux élevés d'application de phosphate peuvent augmenter les carences en zinc et en cuivre.

Il faut donc incorporer le phosphore au sol, là où se développera la zone racinaire et ce avant la plantation. L'incorporation de taux appropriés de phosphate, représentant parfois un apport important, durant la préparation du sol en pré-plantation devrait donc fournir le phosphore suffisant pour la durée de vie du verger, si le pH du sol est maintenu entre 6,0 à 6,5 dans toute la zone racinaire. Le chaulage des sols acides pourra donc être recommandé pour améliorer la disponibilité du phosphore. Pour de plus amples informations à ce sujet, se référer à la [fiche 39](#).

Des mycorhizes ajoutées avant ou au moment de la plantation peuvent aussi favoriser une meilleure absorption du phosphore par les racines. Pour plus d'informations à ce sujet, se référer à la section « Les mycorhizes » au chapitre « La préparation du terrain » du guide *L'implantation d'un verger de pommiers*.



L'apport de phosphate pour l'entretien des parcelles déjà en place se limite quant à lui aux cas où les analyses du sol ou de feuillage révèlent des niveaux trop faibles. Pour maximiser une absorption racinaire éventuelle, les applications se font en bandes vis-à-vis la limite extérieure de la ramure, là où se retrouve la zone plus importante de jeunes racines.

Pour terminer, les applications foliaires de cet élément ne sont pas recommandées. Même sous ses formes les plus sophistiquées, il n'y a pas de résultats de recherches scientifiques qui démontrent une absorption foliaire appréciable de cet élément.

Potassium (K)

Le potassium est un constituant important des cellules végétales et est impliqué dans la synthèse des enzymes et le métabolisme des hydrates de carbone. Par son importance pour l'ouverture des stomates, il influence l'assimilation de l'eau par les racines et joue un rôle dans la respiration et la photosynthèse. Le potassium, comme l'azote, aide les fruits à atteindre un bon calibre. En plus, il contribue à l'atteinte d'une belle coloration des fruits.



La carence en potassium s'observe d'abord sur les vieilles feuilles. Elle se caractérise par une nécrose marginale de la feuille et soit un jaunissement ou un brunissement de son pourtour. Une ligne pourpre démarque la limite entre les tissus morts et les tissus verts et normaux du reste de la feuille. Les arbres qui sont faibles ou déficients en potassium sont plus vulnérables aux dommages par le froid hivernal, et leurs bourgeons et fleurs sont plus sensibles aux gels printaniers.

Même s'il ne s'agit pas d'un élément fortement impliqué dans les cycles physiologiques du pommier, des quantités importantes de potassium sont prélevées par les pommes à la récolte. Une bonne récolte de 40 t/ha représente une exportation de 60 kg/ha de K_2O (voir le [tableau à la fin de cette fiche](#)). Pour remédier à ce problème, il faut faire des applications d'entretien de façon régulière. De cette façon, les exportations sont compensées et le niveau de potassium dans le sol est maintenu à un niveau adéquat. Malgré le fait que le potassium soit plus mobile dans le sol que le phosphore, il est quand même souhaitable de l'appliquer en bandes vis-à-vis la zone de concentration racinaire. Les apports importants de potassium doivent habituellement s'accompagner d'une certaine quantité de magnésium pour ne pas créer un déséquilibre entre ces deux éléments (consultez le paragraphe suivant pour la recommandation). Le potassium est très peu

absorbé par le feuillage et n'est pas appliqué en pulvérisation, même pour corriger des carences.

Magnésium (Mg)

Le magnésium est un constituant clé de la chlorophylle qui capte l'énergie solaire et donne la coloration verte des feuilles saines. Il est aussi impliqué dans l'activité enzymatique. La carence en magnésium entraîne une chlorose interveinale caractérisée par la perte de chlorophylle, le brunissement et la désagrégation des tissus entre les nervures. C'est une des carences le plus communément observées en verger. Les symptômes commencent à apparaître généralement à la fin de juillet ou au début d'août. Comme cet élément est mobile dans la plante, ce sont les premières feuilles de la pousse de l'année qui sont d'abord affectées. Celles-ci se dégarnissent plus ou moins selon l'intensité de la carence. Dans les cas graves, les fruits restent petits et tombent prématurément.



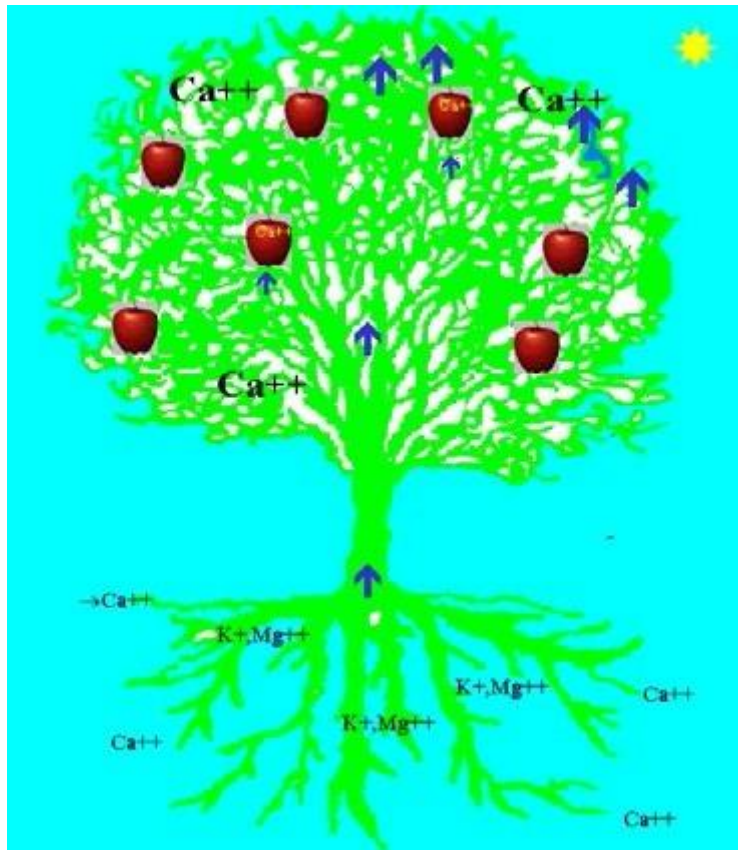
Les corrections possibles sont variées et se font à la lumière des résultats d'analyses ou des symptômes observés :

- Lors de la préparation des sols : un sol à pH acide sera amendé en magnésium par l'incorporation de chaux dolomitique (au moins 20 % de carbonate de magnésium) ou magnésienne (au moins 5 % de carbonate de magnésium) dans le sol.
- En fertilisation d'entretien : utiliser un sulfate double (magnésium et potassium), aussi connu sous le nom de Sulpomag, lorsqu'il y a des apports de potassium à faire. En effet, à chaque application de 100 kg de potasse (K_2O) avec ce produit, 50 kg de magnésium sont ajoutés.

Le magnésium, contrairement au phosphore et au potassium, est bien absorbé par le feuillage et les pulvérisations nutritives sont une pratique d'entretien régulier recommandée. C'est aussi la façon idéale de corriger rapidement les carences.

Calcium (Ca)

Le calcium est essentiel à la division cellulaire. C'est aussi un constituant important des parois cellulaires sous forme de pectate de calcium, contribuant au maintien de la structure des tissus végétaux et aidant à prévenir leur affaissement en entreposage. Étant peu mobile dans la plante, cet élément tend à manquer dans les tissus les plus jeunes.



Absorption du calcium par les racines du pommier.

Le calcium est assimilable sous la forme de Ca^{++} dans la plante. Son seul point d'entrée est l'extrémité des racines et il se déplace dans la plante grâce au phénomène de la transpiration semblable à une pompe à eau. Les pousses vigoureuses, tirant plus d'eau que les pommes, sont donc en forte compétition avec celles-ci. Si les niveaux de calcium dans la pomme sont trop faibles, il y aura carence liée à l'apparition de symptômes de point amer ou de brunissement de sénescence pouvant s'aggraver en entrepôt.



Point amer sur Honeycrisp. Voir aussi la photo de la « tache amère » à la [fiche 119](#).

À des niveaux évitant la carence, mais inférieurs à l'idéal, une moins bonne aptitude à l'entreposage peut être observée. Il faut noter toutefois que les résultats de recherches à l'égard du gain de fermeté des fruits apportés par le calcium ne sont pas toujours concluants.

Les corrections de base sont faites au sol afin de s'assurer d'avoir un niveau adéquat. Le chaulage lors de la correction des sols trop acides est la principale méthode utilisée pour atteindre ce but, compte tenu des apports importants de calcium par la chaux. De plus, tel qu'illustré dans la figure ci-haut, les racines du pommier absorbent par le même mécanisme le calcium et d'autres éléments chargés positivement tels le potassium (K) et le magnésium (Mg). Ces éléments peuvent entrer en compétition avec l'absorption du

calcium et il faut donc éviter les excès de fertilisation en K et en Mg si les niveaux de ces derniers sont déjà adéquats.

Néanmoins en pratique ce sont les applications foliaires qui permettent de prévenir les carences auxquelles certains cultivars (Honeycrisp, Cortland, Belmac, Primevère) sont particulièrement sensibles. Pour plus d'informations sur les formes de calcium foliaires et leur impact en phytoprotection, consultez le bulletin [suivant](#).

Oligo-éléments

Bore (B). Le bore tient un rôle important dans la physiologie du pommier où il participe à plusieurs processus, dont la multiplication cellulaire, de même que la translocation des sucres et du calcium. Les symptômes de carence au niveau du fruit peuvent inclure les gerçures sur jeunes fruits, le cœur liégeux et le brunissement interne. Sur les pousses, un dépérissement du point de croissance (bourgeon terminal) peut être observé. Le bore est un élément peu mobile dans la plante.



Les corrections au sol sont essentielles, principalement en pré-plantation et particulièrement si le pH est élevé. Toutefois, l'application d'apports foliaires doit compléter cette correction, car même si le sol est bien pourvu en bore, cet élément est mal assimilé lors de conditions sèches, surtout dans les sols légers.

Zinc (Zn). Le zinc est principalement impliqué dans l'activation des enzymes. De plus, il contribue à la résistance des pommiers au froid. Peu mobile dans la plante, il tend à demeurer dans les tissus plus âgés. Les symptômes de carence sont une chlorose interveinale (jaunissement) des jeunes feuilles et des feuilles plus petites, de même qu'une croissance réduite et atrophiée en forme de rosettes. La disponibilité du zinc est affectée négativement par des pH trop alcalins ou par des niveaux de phosphore trop élevés.

Il est rare que le zinc soit incorporé à la formule d'engrais et des applications préventives ou correctives sont principalement appliquées au feuillage. L'analyse foliaire permet

d'ajuster le nombre de traitements foliaires sans avoir à attendre la manifestation de carences.

Fer (Fe), cuivre (Cu), manganèse (Mn). Les autres éléments mineurs, tels le fer, le cuivre et le manganèse, sont rarement problématiques et doivent être corrigés par des applications foliaires au besoin seulement.

Besoins nets annuels des pommiers en azote, en phosphate, en potasse, en oxyde de calcium et en magnésie.

Prélèvement (kg/ha) :	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
Transport dans les fruits (40 t/ha)	20,0	13,0	60,0	5,0	3,0
Immobilisation dans la charpente	15,5	8,5	15,0	52,0	3,5
Retour au sol dans le bois de taille	10,0	4,4	4,0	32,0	2,5
Retour au sol dans les feuilles	43,0	6,5	54,5	98,0	27,0
Prélèvements totaux annuels	88,5	32,4	133,5	187,0	36,0
Besoins réels annuels (fruits et charpente)	35,5	21,5	75,0	57,0	6,5
Besoins/tonne de fruits (kg/t)	0,89	0,53	1,86	1,42	0,16

Repris de *L'implantation d'un verger de pommiers*, p.11.

Cette fiche est une mise à jour de la fiche originale du *Guide de référence en production fruitière intégrée à l'intention des producteurs de pommes du Québec 2015*. © Institut de recherche et de développement en agroenvironnement. Reproduction interdite sans autorisation.



La fertilisation sans nuire à la phytoprotection

Fiche 37a

Vincent Phillon et Évelyne Barriault

Les apports d'engrais sont essentiels pour obtenir des rendements optimaux de qualité. Une fertilisation déficiente diminue les rendements, mais des apports trop importants et mal ciblés peuvent aussi déséquilibrer les arbres en faveur de la croissance au lieu de nourrir les fruits. L'atteinte d'un optimum entre les feuilles et les fruits pour l'interception de la lumière sans trop ombrager la culture est déterminant¹. La fertilisation des arbres peut aussi compliquer la gestion des ravageurs et en particulier des maladies. Ce bulletin a pour but de présenter une approche de fertilisation qui répond à la fois aux impératifs physiologiques des arbres, sans pour autant augmenter les problèmes de maladies et des insectes. Ce bulletin centré sur l'azote, le calcium et le bore est complémentaire à la [fiche 37](#) du guide PFI et ne traite pas d'aspects fondamentaux de la nutrition des arbres comme le pH des sols, le drainage et l'oxygène au niveau des racines, ou les besoins des autres éléments (ex. : phosphore, potassium, magnésium). Notez que les besoins en fertilisation varient selon le cultivar, la charge des arbres et d'autres facteurs² qui débordent du cadre de cette fiche. En pomologie, une [analyse foliaire](#) annuelle standardisée environ 60 jours après la chute des pétales³ est essentielle pour établir un diagnostic précis qui servira à assurer que les apports soient en équilibre et mieux cibler le moment de vos interventions. Dans les vergers en production, les analyses de sol sont complémentaires aux analyses foliaires⁴.



La croissance excessive retarde la formation du bourgeon terminal, ce qui favorise les ravageurs comme les pucerons et le feu bactérien.

Azote (N)

Quand l'azote du sol est limitatif, les apports aident à maintenir la vigueur des arbres, le calibre des fruits, limitent la bisannualité², etc. Cependant, quand les réserves de l'arbre excèdent les besoins, les apports additionnels peuvent être nuisibles. Puisque l'azote interfère avec l'absorption du calcium (Ca) et du potassium (K), les apports doivent en tenir compte pour éviter une perte de rendement par manque de potassium⁵ ou les conséquences du manque de calcium (voir la section sur le calcium) qui s'ajouteraient aux problèmes que peuvent engendrer l'azote directement.

L'azote doit être disponible à l'arbre très tôt pendant la période de croissance, à la floraison et pendant la multiplication cellulaire dans les fruits. En dehors de cette période les excès d'azote peuvent avoir des effets néfastes sur l'environnement (pollution), mais aussi sur l'arbre et les fruits.

Les excès d'azote ont des effets physiologiques néfastes connus depuis très longtemps⁶ sur la coloration, la fermeté⁵, la chute prématurée et plusieurs désordres de conservation des fruits (liège, point amer, scald, brunissement vasculaire, sénescence)^{7,8}. Les arbres en excès sont aussi plus sensibles au gel hivernal⁹. L'effet d'un excès d'azote sur l'augmentation du point amer n'est pas nécessairement corrigé par des traitements répétés de calcium^{10,11}. L'excès d'azote peut aussi causer des effets dominos : le retard dans l'apparition de la couleur force une date de récolte plus tardive, mais comme la maturation est aussi accélérée par l'excès d'azote, il s'en suit davantage de désordres de conservation et de pourriture en entrepôt⁵.

Pour les maladies, les arbres en excès d'azote fournissent des acides aminés aux agents pathogènes et produisent moins de mécanismes de défense¹⁸. Or, en produisant moins de composés phénoliques les arbres répondent moins bien aux traitements d'éliciteurs (ex. : Apogee) qui visent à augmenter leurs défenses contre les maladies¹⁹.

Les effets négatifs d'un excès d'azote peuvent débiter tout de suite après la floraison. Par exemple, l'azote pendant le mois suivant la floraison peut contribuer à la roussissure sur fruits¹². Pendant l'été, les effets négatifs de l'azote sont souvent plus importants que les effets positifs. Par exemple, l'azote disponible à l'arbre tardivement retarde la formation du bourgeon terminal, ce qui augmente les problèmes de tavelure¹³, de feu bactérien¹⁴⁻¹⁶ et de pucerons notamment. Les risques de pourriture amère augmentent aussi avec la concentration en azote des fruits¹⁷. Finalement, l'azote après la récolte peut aggraver les problèmes de chancre européen²⁰. En plus de l'impact du moment, la forme de l'azote (nitrate vs ammoniacque) et la méthode d'application (sol vs foliaire) s'ajoutent aux multiples interactions qui compliquent la compréhension des effets négatifs de l'azote¹⁸.

Pour optimiser la disponibilité de l'azote au bon moment, il faut tenir compte des réserves de l'arbre et fertiliser en conséquence, au moment opportun²¹. L'objectif est d'assurer un maximum d'azote dans l'arbre en début de saison et laisser le niveau décliner naturellement^{2,3,22,23}. À cause de notre climat, l'azote appliqué au sol au printemps est souvent disponible trop tard et n'est utile que pour l'année suivante quand il n'est pas

simplement perdu. L'azote appliqué au sol tardivement entre juin et septembre est toujours une nuisance pendant la saison de croissance. Les applications foliaires après la récolte sont possibles, mais les applications tôt au printemps sont les plus efficaces et correspondent au moment où l'arbre en a besoin²⁴. Les applications d'azote sous forme d'urée foliaire sont aussi efficaces que le même apport d'azote au sol²⁵. En fait, l'urée foliaire est probablement plus efficace²⁶.

Azote au sol

Les engrais à base d'ammonium devraient être évités parce qu'ils acidifient le sol⁹ et nuisent à l'absorption du calcium⁷. Les fruits des parcelles traitées au sol avec du nitrate⁹ ou du sulfate⁶ d'ammonium sont généralement moins colorés et moins fermes.

Cependant, une application au sol très tôt en saison (avant le débourrement) d'urée (qui libère de l'ammoniaque) est encouragée pour combattre la tavelure (voir [fiche 101](#)). L'application en solution de 50 kg/ha d'urée au sol (23 unités d'azote par hectare) remplace le DAP (diammonium phosphate), pour la même quantité d'azote.

La balance de l'apport d'azote au sol devrait être fournie préférentiellement sous forme de nitrate (ex. : nitrate de calcium), ou une combinaison (ex. : nitrate d'ammonium calcique, 24,5-0-0). En général, le nitrate de calcium est préférable au nitrate d'ammonium parce que l'apport de calcium au sol réduit l'incidence de point amer, améliore la qualité générale des fruits¹¹, et augmente la résistance des arbres au gel d'hiver²⁷. Le calcium peut cependant être fourni à l'automne par chaulage. N'appliquez que l'azote qui est nécessaire. Une partie des excès d'azote au sol nourrit le gazon et non l'arbre^{2,9}, l'apport dirigé vers la zone désherbée autour des arbres est recommandé².

Azote foliaire

L'urée foliaire (et probablement toutes les sources d'azote) ne devrait pas être appliquée sur les arbres déjà en excès d'azote. Cependant, l'urée foliaire appliquée tôt en saison (entre le stade débourrement avancé et le stade calice) est utile à l'arbre et aide même à réprimer la tavelure^{28,29}. Lorsqu'appliquée au moment de la floraison, l'urée a un léger effet d'éclaircissage³⁰. L'urée foliaire peut aussi atténuer les dommages de gel, en prévenant la formation de cristaux de glace pendant un épisode de gel printanier léger. Toutefois elle pourrait aggraver les dommages lors d'un gel sévère³¹. Même si l'arbre absorbe l'urée encore plus efficacement lors des applications plus tardives après la nouaison²⁵, le bénéfice n'est pas toujours mesurable²⁵ et c'est lors des applications tardives que les problèmes commencent. **Les applications foliaires d'azote sous toutes ses formes ne devraient pas être faites plus de 10-14 jours après le stade calice², de sorte que l'azote commence à chuter après la multiplication cellulaire dans les fruits qui se termine environ 28 jours après la pleine fleur¹.**

Les problèmes de l'azote en été ne sont pas seulement reliés à l'urée tardif. **Même si la quantité d'azote appliquée en été lors des traitements de nitrate de calcium ou de nitrate de zinc est généralement faible, les effets négatifs de l'azote tardif restent mesurables. Suite aux traitements de nitrate de calcium, la quantité d'azote dans la**

pelure et la chair des fruits augmente³² et a pour effet une dégradation de la couleur³³ et la qualité des fruits³⁴. La quantité d'azote dans la pelure des fruits est d'ailleurs un excellent paramètre pour prédire le point amer dans la Honeycrisp¹⁰. Les fertilisants à base de calcium, zinc ou autres appliqués en été n'ont pas besoin de contenir de l'azote. Privilégiez les formulations sans azote (voir la section sur le chlorure de calcium).

Dans les vergers où le chancre européen n'est pas un problème²⁰, l'urée foliaire à l'automne (post récolte) nourrit les bourgeons et constitue une réserve pour l'arbre qui est disponible au moment où ils en ont besoin, soit au moment du débourrement pour l'année suivante³⁵. Ce traitement inhibe aussi partiellement la tavelure (voir [fiche 101](#)).

Directives pour les traitements foliaires d'azote : La stratégie proposée pour optimiser les bénéfices de l'azote consiste à appliquer de l'urée à répétition dès que des feuilles du bouquet sont étalées (stade du débourrement avancé)²² et jusqu'à maximum 10-14 jours après la chute des pétales² à raison de 3 ou 4 kg/ha par application pour un total d'environ 5 ou 6 passages (≈ 20 kg/ha d'urée au total donne environ 9 unités d'azote). Mélanger l'urée à vos traitements fongicides 1x par semaine est probablement la meilleure approche pour y arriver. En outre, l'urée est compatible en mélange avec le bore, avec le zinc (Zn-EDTA)²² et avec le chlorure de calcium. Le calcium peut même favoriser l'absorption de l'azote³⁶. En principe, l'urée est aussi compatible avec le sel d'Epsom²², mais ce mélange cause parfois du dommage au feuillage jeune². Un traitement d'urée au stade calice en mélange avec le bore et le chlorure de calcium est une avenue intéressante³⁷, mais il est préférable d'appliquer le sel d'Epsom séparément. Aucune forme d'azote ne devrait être appliquée sur les arbres entre le 1^{er} juin³⁶ (environ 10 jours après calice) et la récolte. Lors des traitements, l'urée prend plusieurs heures après séchage avant d'être entièrement absorbé par l'arbre, mais le volume de bouillie n'a pas d'effet sur la quantité finale d'azote absorbée par la feuille. Par exemple, jusqu'à 6 kg d'urée dans 150 L/ha d'eau³⁸.

Calcium (Ca)

Le niveau de calcium dans les arbres et dans les fruits est tributaire de la disponibilité du calcium dans le sol et de la charge fruitière. Les apports de calcium devraient être faits en considérant la cause de la carence. Par exemple, les carences (bore, zinc)² ou certains excès (azote, magnésium)³⁹ et un pH de sol trop faible³⁹ peuvent expliquer les problèmes de calcium. De même, les arbres peu chargés⁴⁰ et donc avec des fruits plus gros⁴¹ sont plus sujets aux désordres comme le point amer (bitter pit) sans que le calcium soit problématique pour une charge fruitière normale.

Plus la croissance est importante, pire sont les problèmes de point amer et ce, peu importe le calcium disponible. La croissance est même utilisée pour prédire le point amer sur Honeycrisp¹⁰. Favoriser la formation rapide d'un bourgeon terminal (éviter l'azote et la taille, régulateur de croissance, etc.) augmente donc l'absorption du calcium.

Le chaulage, les apports calciques au sol (ex. : nitrate de calcium), les paillis de bois⁴² (ex. : bois raméal) contribuent à la fertilisation en calcium, mais ne sont pas toujours efficaces pour augmenter la concentration en calcium des fruits⁴¹ et réprimer le point amer⁴³. Les applications foliaires de calcium durant l'été sont souvent essentielles pour prévenir le point amer, mais aussi d'autres désordres physiologiques (ex. : scald^{32,44}, cork spot du poirier⁴⁵), notamment sur des cultivars comme Cortland³⁹, Spartan⁷ et Honeycrisp⁴⁶. Les apports de calcium peuvent contribuer aussi à prévenir les dommages liés au gel hivernal²⁷. Pour des pommes au même niveau de maturité, les apports foliaires de calcium peuvent aussi améliorer la grosseur, densité, fermeté, couleur et l'apparence générale des fruits^{32,44}.

De plus, le calcium a aussi un effet contre les maladies^{47,48}. Les arbres bien fournis en calcium sont moins affectés par le feu bactérien¹⁶. Le chlorure de calcium foliaire (mais pas les autres formes de calcium) réprime en partie la tavelure (feuilles et fruits)⁴⁹, le blanc⁵⁰, la suie-moucheture⁵¹⁻⁵³, la pourriture amère^{51,54}, la rouille⁴⁷, *Alternaria*⁵⁵ et les pourritures d'entreposage⁵⁶. La même chose est observée pour plusieurs maladies du poirier^{57,58}. La seule exception est la pourriture blanche associée à *Botryosphaeria dothidea* qui pourrait être amplifiée par le chlorure de calcium⁵⁹ mais cette maladie est à peu près absente au Québec. Par ailleurs, le chlorure de calcium inhiberait cette maladie dans la poire, sauf quand la dose de calcium est excessive⁶⁰.

Cependant, l'ensemble des bénéfices des traitements foliaires de calcium ne sont pas toujours mesurables. Une faible quantité peut suffire à réprimer le point amer, alors que la fermeté et la résistance aux maladies ne sont mesurables qu'avec des apports plus importants⁵.

Pour assurer un usage optimal et une pénétration suffisante de calcium, des applications répétées sont requises et les traitements doivent généralement commencer avant la mi-juin⁶¹. Cependant, l'absorption par les jeunes fruits est variable et la date optimale de début des traitements pourrait varier selon le cultivar⁶². Steve Hoying (Cornell) recommandait en fait de débiter les traitements de calcium dès la chute des pétales⁶³. Plus de 6 traitements par année peuvent être nécessaire pour en bénéficier⁴⁴ (ex. : aux 2 semaines), mais la fréquence optimale peut être encore plus élevée. Il est possible d'obtenir un effet positif du calcium avec un seul traitement à deux semaines de la récolte, mais cette pratique est en général risquée (phytotoxicité, maturation plus rapide des fruits, etc.)⁷. La pénétration du calcium peut être bonne lors des applications tardives de calcium, mais les bénéfices pour réprimer le point amer seront moindres⁴³.

Lors des traitements foliaires, la vitesse de pénétration du calcium dans les fruits est assez constante entre 15-30 °C⁶⁴, mais relativement lente. Il est donc important de choisir un sel avec la pénétration la plus rapide pour éviter les pertes à cause du lessivage par la pluie.

Chlorure de calcium (CaCl₂)

De toutes les formulations de calcium, le chlorure (CaCl₂) vendu sous forme de flocons (77 % CaCl₂, soit 28 % Ca) est la plus efficace, la moins chère et son usage est permis en

production biologique⁶⁵. En laboratoire, la vitesse de pénétration du CaCl_2 est supérieure à la vitesse de pénétration de la plupart des autres formulations de calcium, incluant les formulations commerciales plus complexes, parfois appelées « organiques » (acétate, carbonate, lactate, proprionate, nitrate)^{41,43,66}. Cette observation s'explique par le fait que le chlorure de calcium a un point de déliquescence très faible. Autrement dit, le chlorure est très hygroscopique. En présence d'humidité il revient rapidement en solution, ce qui permet son absorption par la plante. Ces résultats ont été confirmés en verger³²; les fruits traités avec le chlorure sont plus fermes qu'avec les autres sources de calcium. Aucune autre source de calcium n'est supérieure au chlorure pour réduire le point amer sur Honeycrisp^{10,46,67}. Les formes chélatées de calcium contiennent trop peu de calcium pour être efficaces et ne sont pas recommandées². Les spécialistes de la fertilisation n'hésitent pas à recommander le chlorure, plus que tout autre produit³⁹.

Malgré ses qualités, le chlorure de calcium peut devenir problématique quand la vitesse de pénétration dépasse la capacité de la plante. Le chlorure de calcium devient alors phytotoxique et cause une brûlure du feuillage. La sévérité de la brûlure est variable et ne porte pas toujours à conséquence. Cet effet est observé notamment lorsque la dose par hectare est excessive et que le produit est appliqué lors de conditions de séchage très lentes, lorsque la température dépasse 26-27 °C, que le feuillage est très jeune et sensible à cause du temps très nuageux³⁹, qu'il est déjà fragilisé par des ravageurs (ex. : acariens), ou en fin de saison³². Certains cultivars sont aussi plus sensibles (ex. : Empire^{39,68}). Néanmoins, il est possible d'utiliser le chlorure de calcium de façon sécuritaire : la clef est d'ajuster la dose de chlorure de calcium à la baisse, éviter des mélanges trop agressifs et s'ajuster aux circonstances. Par exemple, attendre la baisse de la température en soirée avant de traiter. L'ajout d'adjuvants et d'agents mouillants (ex. : LI-700, vinaigre) pour ajuster le pH (pH = 6) et limiter l'accumulation de grosses gouttes sur le bout des feuilles peuvent aider³⁹, mais seulement lorsque le chlorure de calcium est appliqué seul. Ces produits ne sont pas nécessaires pour l'absorption du chlorure de calcium, mais bien pour éviter une accumulation locale de la bouillie caustique. Lorsque le chlorure de calcium est utilisé en mélange avec des pesticides commerciaux, les adjuvants additionnels ne sont pas nécessaires et peuvent causer des problèmes.

Pour « clore » le sujet, certains produits à base de calcium indiquent que les formulations à base de chlore sont à proscrire en lien avec les risques décrits précédemment, et d'autres risques non spécifiés. Tant que les précautions sont suivies, le chlorure de calcium est efficace, sécuritaire et avantageux. Aucune justification environnementale ou agronomique fondamentale qui pourrait justifier son abandon n'a été trouvée dans le cadre de cette revue de la littérature scientifique.

Directives pour les traitements foliaires de chlorure de calcium : Débuter les applications entre la fin mai et le début juin et continuez jusqu'à la récolte en baissant graduellement la fréquence. Par exemple, chaque semaine en juin (4 applications), chaque 10 jours en juillet (3 applications) et aux deux semaines par la suite (3 applications). Les applications hâtives sont les plus efficaces contre le point amer et les applications tardives apportent les autres bénéfices⁴³. La dose usuelle de chlorure de calcium varie selon le moment de l'application et débute à 4 kg/ha^{39,63} monte à 7 kg/ha⁶²,

9 kg/ha⁴⁴ et même plus^{43,63} par traitement. Il est toujours préférable d'augmenter le nombre de traitements et diminuer la dose que l'inverse. Un programme entre 30 et 72 kg/ha par saison de la formulation est recommandé (8 à 10 applications)^{39,69} pour un total approximatif entre 8 et 20 kg/ha de calcium par année. Sur des petits arbres (TRV faible), les programmes avec moins de 3,25 kg/ha de calcium élémentaire, soit environ 12 kg/ha de formulation pendant la saison, n'ont aucun effet mesurable⁶⁷. En absence de pluie il n'est pas utile de renouveler un traitement encore en place.

La quantité à appliquer doit être ajustée à la dimension des arbres (ex. : TRV). Cependant, le volume de bouillie n'a pas d'impact sur l'absorption. Pour une même quantité par hectare, les traitements en concentré (ex. : 250 L/ha ou même moins) sont aussi efficaces que les traitements en dilué^{62,70}. Les traitements avec un volume réduit sont souvent moins phytotoxiques qu'en dilué⁶⁸, mais la phytotoxicité peut être aggravée si le pulvérisateur est mal calibré³⁹. À raison de 1 \$/kg pour le chlorure de calcium, le coût des traitements (ex. : 10 applications à 4-10 kg/ha \approx 70 \$/ha) est très faible.

Notes additionnelles pour les traitements foliaires de chlorure de calcium : Si une application de chlorure de calcium coïncide avec un traitement de APOGEE ou de KUDOS, ne pas mélanger les produits⁷¹. Traiter APOGEE ou KUDOS au moins deux ou trois jours avant le calcium pour assurer l'efficacité du régulateur de croissance⁷². L'hormone sera moins efficace si elle est appliquée sur des résidus de calcium⁷¹. Si possible, attendez qu'une pluie lessive un peu le calcium avant d'appliquer l'hormone.

Le chlorure de calcium est incompatible⁶³ avec le sel d'Epsom^{22,39} et génère un précipité d sulfate de calcium² (plâtre de Paris) qui peut bloquer les buses. En absence de blocage avec votre équipement, ce mélange fonctionne.

Le mélange du chlorure de calcium et du bicarbonate de potassium produit une suspension de carbonate de calcium qui est très peu efficace comme source de calcium⁴³ et annule l'effet fongicide du bicarbonate⁷³.

Techniquement, le chlorure de calcium peut être ajouté en mélange avec la plupart des pesticides utilisés en été³⁹, incluant le soufre⁷⁴. Les risques de brûlure associés au mélange de chlorure de calcium et soufre (toutes les formes) sont probablement liés aux années avec un climat très nuageux ou pluvieux pendant la période de division cellulaire des fruits (1 mois suivant la floraison). Le problème n'est pas observé dans les pays très ensoleillés comme l'Afrique du Sud.

Il est possible de mélanger le chlorure de calcium et le Captan, tant qu'un surfactant n'est pas ajouté au mélange³⁹. Au stade calice, le mélange de bore et de chlorure de calcium améliore la pénétration du bore⁷⁵.

Après la récolte : Le trempage des fruits dans le chlorure de calcium après récolte a peu d'efficacité contre le point amer, mais peut réduire une partie des problèmes de sénescence⁷. C'est une solution de dernier recours³⁹.

Autres formulations de calcium :

D'autres produits à base de calcium existent, mais ont des lacunes importantes. La plupart contiennent très peu de calcium et sont chers, et/ou contiennent de l'azote. Ils sont aussi responsables de phytotoxicité. **Par exemple, le nitrate de calcium est plus souvent sujet à la phytotoxicité sur poiriers⁴⁵ à causer des dommages aux lenticelles des fruits (Idared, Spartan)⁶⁹ et un liège sur des cultivars comme la délicateuse². Le nitrate de calcium et les formulations de chélatés de tous les minéraux⁷⁶ pourraient même favoriser d'autres maladies à la surface des fruits⁷⁷. Le chlorure de calcium a donc graduellement remplacé le nitrate qui était recommandé avant 1960⁷.** Par ailleurs, le phosphite de calcium (aussi appelé phosphonate), laisse des résidus très persistants dans les arbres pendant des années (voir [fiche 49](#)).

Bore (B)

Le bore est essentiel à la floraison de l'année en cours, la nouaison⁷⁸ et la formation des bourgeons pour l'année suivante. Le bore prévient aussi une partie des dommages de gel durant la fleur⁷⁹, la roussissure sur les jeunes fruits¹² et le cœur liégeux en été. Les carences en bore sont fréquentes en verger⁷⁵, notamment en période de sécheresse² et affectent (entre autres) l'absorption du calcium et du potassium⁷⁸. Les applications au sol peuvent suffire, mais les applications foliaires répondent plus rapidement aux besoins de la plante au printemps.

Dans le contexte de la phytoprotection, le bore a un effet reconnu pour inhiber les champignons, dont la tavelure du pommier^{80,81}, au point où une application foliaire de bore pourrait remplacer un traitement fongicide⁸⁰. À la dose de 2 kg/ha d'acide borique (350 g/ha B), le bore serait aussi efficace que des traitements de référence autant en protection qu'en post-infection⁸¹. Le bore foliaire réduit aussi les risques de pourriture amère¹⁷. Les excès de bore sont rares, mais peuvent augmenter la sensibilité au feu bactérien¹⁶. Les traitements foliaires sont recommandés avant la floraison, au stade calice et en post-récolte⁷⁹. Cependant, le bore est reconnu phytotoxique durant la floraison⁸⁰.

Directives pour les traitements foliaires de bore

Le bore est obtenu par l'application d'acide borique (H_3BO_3 , borax, 17,5 % bore), de solubor (Étidot-67 EP) (disodium octaborate tétrahydrate, $Na_2B_8O_{13} \cdot 4 H_2O$, 20 % bore) ou d'autres formulations. Toutes les formes commerciales de bore incluant le « borax » (utilisé sans préférence dans ce texte) sont équivalentes et il n'est pas pertinent de payer plus cher pour celles qui font la promotion d'adjuvants particuliers (ex. : urée, sucres, acides)⁸².

L'apport annuel « classique » en bore de 0,56 kg/ha⁷⁵ ou de 1,12 kg/ha dans les sols plus légers⁸² est obtenu par une application annuelle minimale de 2,8 kg/ha à 5,6 kg/ha de borax. La dose foliaire totale annuelle suggérée varie selon l'apport au sol et peut atteindre 9 kg/ha de formulation par année. Comme les excès de bore peuvent mener à une toxicité, votre apport annuel doit reposer sur des analyses foliaires.

Les applications de bore devraient être fractionnées et appliquées au bouton rose⁷⁵ et après la floraison⁸², par exemple lors du premier traitement avec le chlorure de calcium⁷⁵. En cas de carence, le bore est recommandé parfois dès le stade du débourrement avancé²² et jusqu'à un mois après la chute des pétales^{2,78}. Les applications plus tard en saison (juillet et août) ne sont pas recommandées et pourraient provoquer un mûrissement hâtif². Cependant, une application foliaire après récolte sur du feuillage encore fonctionnel est bénéfique pour mieux passer l'hiver². Le fractionnement en plusieurs doses pourrait permettre de mieux profiter de l'action fongicide (ex. : 5 applications de 0,6 à 1 kg de formulation par hectare) mais cette dose est peut-être insuffisante comme fongicide.

Deux restrictions importantes sont à considérer : le bore est incompatible en mélange avec l'huile et avec les sachets hydrosolubles (ex. : Captan WSP). Diluer les sachets dans l'eau avant d'ajouter le bore ou prévoir une formulation liquide de Captan (formulation SC).

Calendrier de fertilisation foliaire (azote, bore, calcium)

Les apports de magnésium et de zinc débordent de cette fiche mais sont inclus dans le calendrier, parce que les carences de ces minéraux sont fréquentes dans le Nord-Est de l'Amérique². Les apports de magnésium peuvent être faits au sol (chaux dolomitique), mais pour le zinc, les applications foliaires sont plus fiables et plus rentables que les apports au sol ou par fertigation⁷⁸.

Exemple de calendrier

Le symbole « + » précise que le mélange en réservoir est préconisé. Ex. : Urée + Bore

Préfloral :

- Débourrement avancé : Urée (3 kg/ha) + Zinc-EDTA
- Bouton rose : Urée (3 kg/ha) + 0,6 kg/ha de formulation bore (ex. : borax) (+ Zinc-EDTA si souhaité)
- Bouton rose avancé : même recette

Floraison :

- Urée (3 kg/ha)

Stade calice (chute des pétales) :

- Trio du calice ABC (Azote, Bore, Calcium) : Urée (3 kg/ha) + Borax (0,6 kg/ha) + Chlorure de calcium (4 kg/ha)

Nouaison :

- Urée (3 kg/ha) (dernier) + Sel d'Epsom (magnésium) (45 kg/ha)²
- Traitement séparé si du magnésium est appliqué : Borax (0,6 kg/ha) + Chlorure de calcium (4 kg/ha) (par exemple avec un fongicide)
- Fin de l'azote 28 jours après la floraison : Pour un total de 6 applications d'urée.

Mi-juin :

- Sel d'Epsom (magnésium) + Zinc-EDTA + Borax (0,6 kg/ha) OU
- Borax (0,6 kg/ha) + Chlorure de calcium (4 kg/ha) (par exemple avec un fongicide)
(Pour un total de 5 applications de bore en fractionnement)

Fin juin :

- Sel d'Epsom (magnésium) + Zinc-EDTA
- Traitement séparé : Chlorure de calcium (par exemple avec un fongicide)

Été :

- Chlorure de calcium à intervalle régulier (ex. : chaque deux semaines). (Attention, voir risques de brûlure plus haut dans le texte)

Post récolte (sur les arbres encore verts) :

- Borax (0,6 kg/ha) + Urée (jusqu'à 50 kg/ha, en absence de chancre européen)

Références

1. Wünsche JN, Lakso AN. Apple tree physiology-implications for orchard and tree management. Compact Fruit Tree 2000;33:82-8.
2. Stiles WC, Reed WS. Orchard nutrition management. Cornell Univ Coop Ext Info Bul Internet 1991; Disponible sur : <https://dspace.library.cornell.edu/handle/1813/3305>.
3. Hoying S, Fargione M, Iungerman K. Diagnosing apple tree nutritional status: leaf analysis interpretation and deficiency symptoms. N Y Fruit Q 2004;12:16-9.
4. Stiles WC. Soil analysis and interpretation. N Y Fruit Q 2004;12:28-30.
5. Fallahi E, Conway WS, Hickey KD, Sams CE. The role of calcium and nitrogen in postharvest quality and disease resistance of apples. HortScience American Society for Horticultural Science, 1997;32:831-5.
6. Hill H. Foliage analysis as a means of determining orchard fertilizer requirements. Rep XIIIth Int Hort Congr Lond 1952.
7. Bramlage WJ, Drake M, Lord WJ. The influence of mineral nutrition on the quality and storage performance of pome fruits grown in North America. Acta Hort 1980;29-40.
8. Sharples RO. The influence of orchard nutrition on the storage quality of apples and pears grown in the United Kingdom. Acta Hort 1980;17-28.

9. Raese JT, Drake SR, Curry EA. Nitrogen Fertilizer Influences Fruit Quality, Soil Nutrients and Cover Crops, Leaf Color and Nitrogen Content, Biennial Bearing and Cold Hardiness of 'Golden Delicious'. J Plant Nutr 2007;30:1585-604.
10. Baugher TA, Marini R, Schupp JR, Watkins CB. Prediction of Bitter Pit in 'Honeycrisp' Apples and Best Management Implications. HortScience 2017;52:1368-74.
11. Raese JT, Staiff DC, others. Fruit calcium, quality and disorders of apples (*Malus domestica*) and pears (*Pyrus communis*) influenced by fertilizers. Plant Nutr Tree Physiol Appl Kluwer Acad Publ Dordr 1990;619-23.
12. Lindner L. Die Problematik der Fruchtberostung und des „Weißen Hauches“ 2008. Obstbau Weinbau 2008;45:377-80.
13. Leser C, Treutter D. Effects of nitrogen supply on growth, contents of phenolic compounds and pathogen (scab) resistance of apple trees. Physiol Plant 2005;123:49-56.
14. Jackson HS. Fire blight of pear and apple. [Corvallis, Or.]. Oregon Agricultural College and Experiment Station, 1910. Disponible sur : https://ir.library.oregonstate.edu/concern/administrative_report_or_publications/rf55z8808.
15. Parker KG, Fisher EG, Mills WD. Fire blight on pome fruits and its control. New York State College of Agriculture, 1956.
16. Zwet T, Keil HL. Fire blight, a bacterial disease of Rosaceous plants. Agric Handb Sci Educ Adm 1979;
17. Everett KR, Timudo-Torrevilla OE, Scheper RWA, et al. The influence of nutrition, maturity and canopy density on the incidence of apple bitter rot. N Z Plant Prot 2016;69:99-110.
18. Dordas C. Role of nutrients in controlling plant diseases in sustainable agriculture. A review. Agron Sustain Dev Springer, 2008;28:33-46.
19. Bubán T, Földes L, Fekete Z, Rademacher W. Effectiveness of the resistance inducer prohexadione-Ca against fireblight in shoots of apple trees inoculated with *Erwinia amylovora*. EPPA Bull 2004;34:369-76.
20. Dryden GH, Nelson MA, Smith JT, Walter M. Postharvest foliar nitrogen applications increase *Neonectria ditissima* leaf scar infection in apple trees. N Z Plant Prot 2016;69:230-7.
21. Sugar D, Righetti TL, Sanchez EE, Khemira H. Management of Nitrogen and Calcium in Pear Trees for Enhancement of Fruit Resistance to Postharvest Decay. HortTechnology 1992;2:382-7.
22. Cheng L, Robinson T, Autio WR. Nutrient Management of Apple Orchards. In: New England tree fruit management guide Internet 2010:100-8. Disponible sur : <https://ag.umass.edu/sites/ag.umass.edu/files/pdf-doc-ppt/2010-10-nutrient.pdf>.
23. Hansen P. Yield components and fruit development in 'Golden Delicious' apples as affected by the timing of nitrogen supply. Sci Hortic 1980;12:243-57.
24. Dong S, Cheng L, Scagel CF, Fuchigami LH. Timing of urea application affects leaf and root N uptake in young Fuji/M. 9 apple trees. J Hortic Sci Biotechnol 2005;80:116-120.
25. Fisher EG. The principles underlying foliage applications of urea for nitrogen fertilization of the McIntosh apple. In: Proc Amer Soc Hort Sci 1952.91-98.
26. Wargo JM, Merwin IA, Watkins CB. Fruit size, yield, and market value of « GoldRush » apple are affected by amount, timing and method of nitrogen fertilization. HortTechnology American Society for Horticultural Science, 2003;13:153-61.

27. Raese JT. Calcium nutrition affects cold hardiness, yield, and fruit disorders of apple and pear trees. *J Plant Nutr* 1996;19:1131–1155.
28. Stoddard EM. Fungicidal synergism between urea and sulfur. *Phytopathology Internet* 1950;40. Disponible sur : <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19500300712>.
29. Palmiter DH, Hamilton JM. Influence of Certain Nitrogen and Fungicide Applications on Yield and Quality of Apples. 1954;
30. Basak A. The search for safer technologies of apple fruitlets thinning. *VII Int Symp Plant Growth Regul Fruit Prod* 329 1993;240–242.
31. Mayland H, Cary JW. Frost and chilling injury to growing plants. In: *Advances in Agronomy Elsevier*, 1970:203-34.
32. Raese JT, Drake SR. Effect of calcium spray materials, rate, time of spray application, and rootstocks on fruit quality of 'red' and 'golden delicious' apples. *J Plant Nutr* 2000;23:1435-47.
33. Sharples RO, Little RC. Experiments on the use of calcium sprays for bitter pit control in apples. *J Hortic Sci* 1970;45:49-56.
34. Meheriuk M. Skin color in 'Newtown' apples treated with calcium nitrate, urea, 'diphenylamine, and a film coating. *HortScience* 1990;25:775-6.
35. Cheng L, Schupp J. Nitrogen fertilization of apple orchards. *N Y Fruit Q* 2004;12:22-5.
36. Swietlik D. The Interaction between Calcium Chloride and Ammonium-Nitrogen on Growth, Nitrogen Uptake and Translocation in Apple and Sour Orange. In: *V International Symposium on Mineral Nutrition of Fruit Plants* 721 2005.159–164.
37. Stover E, Fargione M, Risio R, Stiles W, Lungerman K. Prebloom Foliar Boron, Zinc, and Urea Applications Enhance Cropping of Some 'Empire' and 'McIntosh' Apple Orchards in New York. *HortScience* 1999;34:210-4.
38. Toselli M, Tagliavini M, Le Bris K, et al. Leaf uptake and tree partitioning of urea-N as affected by concentration and volume of sprayed solution and leaf age of apple trees. *Acta Horti International Society for Horticultural Science*, 2002.
39. Watkins C, Schupp J, Rosenberger D. Calcium Nutrition and Control of Calcium-related Disorders. *N Y Fruit Q* 2004;12:15-21.
40. Telias A, Hoover E, Rosen C, Bedford D, Cook D. The effect of calcium sprays and fruit thinning on bitter pit incidence and calcium content in 'Honeycrisp' apple. *J Plant Nutr* 2006;29:1941–1957.
41. Yamane T. Foliar Calcium Applications for Controlling Fruit Disorders and Storage Life in Deciduous Fruit Trees. *Jpn Agric Res Q JARQ* 2014;48:29-33.
42. Yao S, Merwin IA, Bird GW, Abawi GS, Thies JE. Orchard floor management practices that maintain vegetative or biomass groundcover stimulate soil microbial activity and alter soil microbial community composition. *Plant Soil* 2005;271:377–389.
43. Neilsen G, Neilsen D, Dong S, Toivonen P, Peryea F. Application of CaCl₂ sprays earlier in the season may reduce bitter pit incidence in 'Braeburn' apple. *HortScience* 2005;40:1850–1853.
44. Kadir SA. Fruit Quality at Harvest of "Jonathan" Apple Treated with Foliarly-Applied Calcium Chloride. *J Plant Nutr* 2005;27:1991-2006.
45. Richardson DG, Lombard PB. Cork spot of anjou pear: Control by calcium sprays. *Commun Soil Sci Plant Anal Taylor & Francis*, 1979;10:383-9.
46. Biggs AR, Peck GM. Managing bitter pit in 'honeycrisp' apples grown in the mid-atlantic united states with foliar-applied calcium chloride and some alternatives. *HortTechnology* 2015;25:385-91.

47. Biggs AR, Hogmire HW, Collins AR. Assessment of an alternative IPM program for the production of apples for processing. *Plant Dis* 2000;84:1140–1146.
48. Cooley DR, Aluja M, Leskey TC, Vincent C, others. Biorational approaches to disease management in apples. *Biorational Tree Fruit Pest Manag* T Leskey M Aluja C Vincent Eds CABI Publ Wallingford UK 2009;214–252.
49. Percival GC, Haynes I. The influence of calcium sprays to reduce fungicide inputs against apple scab (*Venturia inaequalis* (Cooke) G. Wint.). *Arboric Urban For* 2009;35:263–270.
50. Al-Rawashd Z. Ability of Mineral Salts and Some Fungicides to Suppress Apple Powdery Mildew Caused by the Fungus *Podosphaera leucotricha*. *Asian J Plant Pathol* 2013;7:54-9.
51. Biggs AR. Effects of Calcium Salts on Apple Bitter Rot Caused by Two *Colletotrichum* spp. *Plant Dis* 1999;83:1001-5.
52. Cooley DR, Autio WR, Tuttle A, Krupa J. Alternative fungicides for management of sooty blotch and flyspeck. *Fruit Notes* 2006;71:3.
53. Gleason ML, Batzer JC, Sun G, et al. A New View of Sooty Blotch and Flyspeck. *Plant Dis* 2011;95:368-83.
54. Boyd-Wilson KSH, Butler RC, Alspach PA, Everett KR, Pushparajah IPS, Walter M. Compounds alone and in combination with yeasts to control *Colletotrichum acutatum* in apples. *Australas Plant Pathol* 2014;43:703-14.
55. Biggs AR, Ingle M, Solihati WD. Control of *Alternaria* infection of fruit of apple cultivar Nittany with calcium chloride and fungicides. *Plant Dis* 1993;77:976-80.
56. Trapman M, Jansonius PJ. Disease management in organic apple orchards is more than applying the right product at the correct time. In: Ecofruit Internet Fördergemeinschaft Ökologischer Obstbau eV (FÖKO), 2008.16–22. Disponible sur : <http://orgprints.org/13633/1/016-022.pdf>.
57. Sugar D, Powers KA, Hilton RJ. Enhanced resistance to side rot in pears treated with calcium chloride during the growing season. *Plant Dis* 1991;75:212-4.
58. Sugar D, Benbow JM, Powers KA, Basile SR. Effects of sequential calcium chloride, ziram, and yeast orchard sprays on postharvest decay of pear. *Plant Dis* 2003;87:1260-2.
59. Biggs AR. Effect of inoculum concentration and calcium salts on infection of apple fruit by *Botryosphaeria dothidea*. *Plant Dis* 2004;88:147-51.
60. Sun X, Pan B, Wang Y, Xu W, Zhang S. Exogenous Calcium Improved Resistance to *Botryosphaeria dothidea* by Increasing Autophagy Activity and Salicylic Acid Level in Pear. *Mol Plant Microbe Interact Am Phytopath Society*, 2020;MPMI–04.
61. Peryea FJ, Neilsen GH, Faubion D. Start-timing for calcium chloride spray programs influences fruit calcium and bitter pit in ‘Braeburn’ and ‘Honeycrisp’ apples. *J Plant Nutr* 2007;30:1213-27.
62. Wojcik P. Effect of calcium chloride sprays at different water volumes on “Szampion” apple calcium concentration. *J Plant Nutr* 2001;24:639–650.
63. Calcium sprays for bitter pit should start at petal fall. *Good Fruit Grower*. 2013. Disponible sur : <https://www.goodfruit.com/calcium-sprays-for-bitter-pit-should-start-at-petal-fall/>.
64. Schönherr J. Characterization of aqueous pores in plant cuticles and permeation of ionic solutes. *J Exp Bot* 2006;57:2471-91.
65. Organic production systems Permitted substances lists. CAN/CGSB-32.311-2015.
66. Schönherr J. Foliar nutrition using inorganic salts: laws of cuticular penetration. In: *International Symposium on Foliar Nutrition of Perennial Fruit Plants* 594 Internet 2001.77–84. Disponible sur : http://www.actahort.org/books/594/594_5.htm.

67. Rosenberger DA, Schupp JR, Hoying SA, Cheng L, Watkins CB. Controlling bitter pit in « Honeycrisp » apples. HortTechnology 2004;14:342–349.
68. Rosenberger D. Don't burn the fruit! Scaffolds fruits journal 1999;8.
69. Apple Best Practice Guide. Defra and AHDB(Agriculture and Horticulture Development Board. Disponible sur : <http://apples.ahdb.org.uk>.
70. Greene GM, Smith CB. The influence of calcium chloride rate and spray method on the calcium concentration of apple fruits. Acta Hort 1980;316-7.
71. Greene DW, Autio WR. Apogee®-a new growth retardant for apples. Univ Mass Ext Factsheet F-127R 2002;
72. Rademacher W, Kober R. Efficient Use of Prohexadione-Ca in Pome Fruits. Eur J Hortic Sci 2003;68:101-7.
73. Montag J, Schreiber L, Schönherr J. An in vitro study on the postinfection activities of hydrated lime and lime sulphur against apple scab (*Venturia inaequalis*). J Phytopathol 2005;153:485–491.
74. Børve J, Røen D, Stensvand A. Alternative methods to reduce storage decay in organic apple production; time of harvest and calcium applications. 2008.47.
75. Peryea FJ, Neilsen D, Neilsen G. Boron Maintenance Sprays for Apple: Early-season Applications and Tank-mixing with Calcium Chloride. HortScience 2003;38:542-6.
76. Baric S, Lindner L, Marschall K, Dalla Via J. Haplotype diversity of *Tilletiopsis* spp. causing white haze in apple orchards in Northern Italy. Plant Pathol 2010;59:535–541.
77. Marschall K, Rizzolli, W., Reyes-Dominguez Y. Leaf fertilizer applications promote white haze and sooty mould in apple. IOBC-WPRS Bull 2015;110:77.
78. Stiles WC. Micronutrient management in apple orchards. N Y Fruit Q 2004;12:5-8.
79. Štampar F, Hudina M, Dolenc K, Usenik V. Influence of foliar fertilization on yield quantity and quality of apple (*Malus domestica* Borkh.). In: Anac D, Martin-PrÉvel P, éditeurs. In: Improved crop quality by nutrient management Internet Dordrecht: Springer Netherlands, 1999:91-4. Disponible sur : http://link.springer.com/10.1007/978-0-585-37449-9_21.
80. Arslan U. Efficacy of Boric Acid, Monopotassium Phosphate and Sodium Metabisulfite on the Control of Apple Scab. J Phytopathol 2016;164:678-85.
81. Bugiani R, Donati G, Capriotti M, et al. Evaluation of boric acid activity against apple scab (*Venturia inaequalis*) in semi-field and field trials. In: Giornate Fitopatologiche 2020 Internet Bologna, 2020.27-36. Disponible sur : https://www.researchgate.net/publication/344073357_EVALUATION_OF_BORIC_ACID_ACTIVITY_AGAINST_APPLE_SCAB_VENTURIA_INAEQUALIS_IN_SEMI-FIELD_AND_FIELD_TRIALS.
82. Peryea FJ. Comparison of commercial boron spray products applied at the pink flowering stage on 'Fuji' apple. Hortscience American Society for Horticultural Science, 2005;40:1487-92.