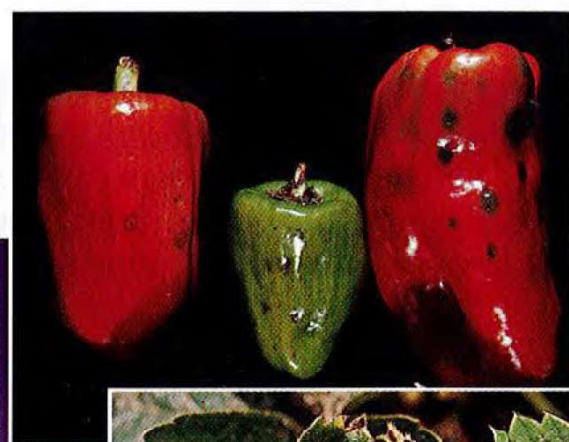


Nutrition en calcium : problèmes et prévention

Le calcium est un élément essentiel pour la croissance d'une plante. Bien que les sols ainsi que les milieux de culture utilisés en serre soient habituellement bien pourvus en cet élément minéral, des dommages reliés à des carences momentanées en calcium peuvent apparaître sur certaines parties des plantes. Généralement, la situation prédisposant les plantes à ce problème nutritionnel est reliée à un taux de croissance rapide, lequel ne permet pas au calcium d'atteindre les tissus en croissance active. Ainsi, tout facteur engendrant une poussée de croissance crée des conditions favorables pouvant induire une carence en calcium dans les tissus végétaux.



Cultures sensibles

La distribution inégale du calcium dans les différentes parties d'une plante provoque, sous certaines conditions, l'apparition de symptômes sur les jeunes feuilles, les bractées (feuilles colorées accompagnant une fleur), l'apex de la tige et les fruits. Au Québec, les principaux problèmes associés à la nutrition en calcium se rencontrent sur les cultures suivantes :

Culture	Organe affecté	Problème
Céleri	Jeunes feuilles	Cœur noir
Crucifères	Jeunes feuilles	Brûlure de la pointe, nécrose interne
Fraisier	Jeunes feuilles	Brûlure de la pointe
Laitue	Jeunes feuilles	Brûlure de la pointe
Poinsettia	Bractées	Brûlure des bractées
Poivron	Fruits	Pourriture apicale, tache amère
Pomme de terre	Germes (tige)	Brûlure de l'apex
Pommier	Fruits	Fossette amère
Tomate	Fruits	Pourriture apicale, moucheture dorée

Rôle du calcium

Le calcium fait partie des éléments minéraux essentiels à la croissance d'une plante. Avec l'azote et le potassium, il est un des éléments dont les teneurs sont les plus élevées dans les tissus végétaux. Cependant, sa distribution n'est pas uniforme. Les racines ainsi que les feuilles médianes et basales contiennent davantage de calcium comparativement aux jeunes feuilles et aux fruits.

Contrairement aux autres éléments minéraux, le calcium joue son principal rôle à l'extérieur des cellules. **L'une des fonctions premières du calcium est de créer des liens entre les parois des cellules. Il maintient donc la structure entre les cellules en les cimentant les unes aux autres.** Un manque de calcium implique une perte de cohésion entre les cellules, qui se traduit par une brûlure de l'apex ou de la marge des jeunes feuilles. Avec l'expansion foliaire, des malformations et du gaufrage apparaissent sur les feuilles affectées. Des dommages peuvent apparaître à l'apex des fruits ; ils se caractérisent par une lésion affaissée brune ou noire.

Par son rôle structural, le calcium contribue à maintenir la qualité des fleurs, des fruits et des légumes à la suite de la récolte et durant l'entreposage.

Le calcium est également présent à l'intérieur des cellules. Il est particulièrement abondant dans les vacuoles (structures dans une cellule contenant divers composés). À cet endroit, **le calcium neutralise certains acides pour éviter qu'ils ne deviennent toxiques pour la plante**. Cette régulation des teneurs en acides peut contribuer au développement de symptômes sur les fruits. La moucheture dorée chez la tomate et la tache amère chez le poivron en sont deux exemples.

À l'intérieur des cellules, le calcium se retrouve à divers autres endroits (cytoplasme, chloroplastes, mitochondries), où il est associé à des activités primordiales pour la plante :

- le développement racinaire (élongation cellulaire) et la croissance du tube pollinique ;
- le mûrissement des fruits (relation entre le calcium et la synthèse de l'éthylène, composé impliqué dans le mûrissement). Un excès de calcium retarde le mûrissement des fruits ;
- l'initiation des réactions de la plante à des facteurs environnementaux (ex. : infections parasitaires, stress...) ;
- l'activation de certains enzymes.

Absorption et transport du calcium dans la plante

L'absorption du calcium est qualifiée de passive, puisque son entrée dans la plante est principalement liée à l'absorption d'eau par les racines. À l'intérieur de la plante, le calcium doit être transporté vers les feuilles et les fruits. Pour ce faire, il se déplace dans le xylème, structure s'apparentant à un cylindre présent dans les racines, la tige et les nervures des feuilles. L'eau et le calcium, en voyageant dans le xylème, sont distribués dans toutes les parties de la plante.

L'absorption et la circulation de l'eau dans la plante sont étroitement reliées à la transpiration foliaire. Plus la transpiration foliaire est élevée, plus l'absorption et le mouvement de l'eau à l'intérieur de la plante sont importants et rapides. Ce déplacement de l'eau dans la plante sert de moyen de transport pour le calcium. Un organe ayant un fort taux de transpiration reçoit donc davantage d'eau et de calcium. Ainsi, les feuilles basales et médianes reçoivent des quantités plus grandes de calcium, car elles transpirent plus que les jeunes feuilles, les bractées et les fruits.

Qu'est-ce que la pression racinaire ?

La pression racinaire est une poussée interne qui se crée dans la racine et qui favorise l'ascension de l'eau, donc du calcium, vers les parties supérieures de la plante. Cette pression se produit lorsque l'absorption des éléments minéraux par les racines est abondante et que la plante

transpire peu. La faible transpiration foliaire fait en sorte que les éléments minéraux s'accumulent dans les racines. La concentration en éléments minéraux devient donc plus grande dans les racines que dans le sol entourant celles-ci, ce qui engendre une entrée d'eau dans la racine. Cette absorption d'eau favorise la création d'une pression interne qui induit un mouvement de l'eau ainsi que du calcium vers les jeunes feuilles et les fruits. La pression

racinaire se produit la nuit lorsque l'humidité relative est élevée et que le sol est bien pourvu en eau. Une salinité excessive et une basse température du sol sont des facteurs défavorables à la pression racinaire. Le matin, l'expression de la pression racinaire peut être observée, chez certaines plantes, par la présence de gouttelettes d'eau à la marge ou à l'extrémité des feuilles. Ce phénomène est connu sous le nom de guttation.

Le calcium est un élément non mobile, c'est-à-dire qu'il est fixé dans le tissu où il a été initialement distribué.

Ces connaissances permettent de comprendre pourquoi les jeunes feuilles et les fruits sont plus sensibles à une carence en calcium :

- ❖ Ces organes, en transpirant peu, reçoivent moins d'eau et de calcium.
- ❖ Le calcium étant non mobile, une fois localisé et fixé dans les tissus les plus âgés, il ne peut être redistribué vers les jeunes feuilles et les fruits.
- ❖ Les jeunes feuilles et les fruits, étant en croissance active, ont un besoin accru de calcium.

Il est capital de connaître les facteurs qui influencent l'absorption du calcium :

- ❖ Le calcium est uniquement absorbé par l'extrémité des jeunes racines. Tout facteur créant une altération à cette partie racinaire nuit à l'absorption du calcium.
- ❖ L'absorption du calcium est également en étroite relation avec le contenu en eau dans le sol. Un manque ou un excès d'humidité dans le sol interfère avec l'absorption du calcium.
- ❖ La température de la zone racinaire influe sur l'absorption du calcium. Une température trop basse limite son absorption.
- ❖ Le calcium est un cation, c'est-à-dire un élément minéral chargé positivement. En fait, le calcium est absorbé par la plante sous la forme de Ca^{++} . Il entre donc en compétition avec d'autres cations, comme le NH_4^+ (ammonium), le K^+ (potassium), le Mg^{++} (magnésium) et le Na^+ (sodium) pour son absorption par les racines.

À la suite de l'absorption racinaire, le calcium doit être distribué vers les jeunes feuilles et les fruits afin d'éviter une carence localisée en cet élément :

- ❖ La perte d'eau par transpiration foliaire, accompagnée d'un approvisionnement régulier en eau dans le sol, représente les conditions adéquates pour un transport efficace du calcium dans la plante.
- ❖ La pression racinaire est un second moyen d'apporter le calcium aux jeunes feuilles et aux fruits (voir l'encadré).

Symptômes associés à une toxicité en calcium

Le calcium n'est pas un élément toxique pour la plante, même à des concentrations élevées. Les effets sont indirects. Dans le sol, des teneurs élevées en calcium engendrent une augmentation du pH, ce qui diminue l'absorption de certains éléments, comme le bore (B), le fer (Fe), le manganèse (Mn) et le zinc (Zn). La faible absorption de ces éléments peut induire l'apparition de symptômes sur la plante. Tel qu'indiqué précédemment, le calcium entre en compétition avec l'absorption d'autres cations, comme le magnésium (Mg) et le potassium (K), ce qui peut provoquer une carence en ces éléments.

Des quantités élevées de calcium dans les fruits peuvent conduire à l'apparition de symptômes à la suite de la neutralisation d'acides (ex. : formation de cristaux d'oxalate de calcium). Chez le poivron et la tomate, l'accumulation de cristaux d'oxalate de calcium engendre respectivement la tache amère et la moucheture dorée. **Un excès de calcium dans les fruits est en relation avec les facteurs diminuant l'assimilation de cet élément par les feuilles** telles que des températures basses, une humidité relative élevée et des apports importants en calcium. Une étude réalisée au Québec chez la tomate de serre, rapporte qu'un faible déficit de pression de vapeur (DPV) (0,1 à 0,3 kPa) accroît les dépôts d'oxalate de calcium. Les résultats d'une seconde étude démontrent également que la moucheture dorée tend à être plus importante chez les fruits produits sous des DPV (jour/nuit) de 0,33/0,19 kPa (H.R. 88%/91%) comparativement à des DPV de 0,76/0,55 kPa (H.R. 73%/74%).

D'autres facteurs, comme l'utilisation d'azote sous forme de nitrate (NO_3), des teneurs élevées en phosphore (P) et des faibles quantités en potassium (K) et en magnésium (Mg), favorisent les problèmes liés à un excès de calcium.

POIVRON (tache amère ou « stip »)

Ce problème se caractérise par des taches brunes (fruit vert) ou vert noirâtre (fruit à maturité) dont le diamètre peut atteindre 0,5 cm. Ces taches se situent sur le côté du fruit. Elles sont la conséquence de la formation et de l'accumulation de cristaux d'oxalate de calcium.

TOMATE (moucheture dorée ou « gold speck »)

Les symptômes se développent dans la partie supérieure du fruit, soit près du pédoncule (point d'attache). Il s'agit de minuscules taches (< 0,1 mm) de couleur blanche sur les fruits verts et de couleur jaune sur les fruits rouges. Leur densité peut être de 100 ponctuations/cm². La moucheture dorée affecte l'apparence du fruit. La durée de conservation des fruits peut être diminuée en raison des dommages physiques occasionnés aux cellules par les cristaux d'oxalate de calcium. Un excès de calcium a également un effet négatif sur le goût des fruits.

Comment les cristaux d'oxalate de calcium se forment-ils ?

Lorsque le calcium se lie à l'acide oxalique pour le neutraliser, il y a formation de cristaux insolubles d'oxalate de calcium, qui précipitent dans les vacuoles des cellules. En présence d'un excès de calcium, la concentration de cristaux d'oxalate de calcium devient suffisamment importante pour induire le développement de symptômes.

Symptômes associés à une carence en calcium

Les symptômes d'une carence en calcium sont la conséquence d'un manque localisé de cet élément à l'apex ou à la marge des jeunes feuilles et des bractées, à l'extrémité des tiges ou à la zone apicale (partie opposée au point d'attache) des jeunes fruits. Les extrémités des jeunes organes sont les premières à montrer des symptômes car elles sont en croissance active, d'où un besoin accru en calcium. Ces organes sont également défavorisés pour leur nutrition en calcium, étant donné qu'ils transpirent peu.

Symptômes sur les feuilles

CÉLERI (cœur noir)

Les dommages se caractérisent par un noircissement des jeunes feuilles situées au cœur de la plante. Le problème peut également se présenter sous la forme d'une brûlure et d'un dessèchement de l'extrémité des jeunes feuilles. La mort du bourgeon terminal peut survenir. Les feuilles externes demeurent saines. Des champignons et des bactéries peuvent envahir les tissus affectés et causer une pourriture.

CRUCIFÈRES (nécrose interne) (chou, chou chinois, chou de Bruxelles)

À l'intérieur du chou, les symptômes débutent par des taches brunes à la marge des jeunes feuilles. Par la suite, les dommages évoluent en de larges zones brunes ou par le dessèchement de la marge. Une pourriture peut s'installer à la suite d'infections fongiques ou bactériennes. Si les feuilles affectées ne sont pas celles situées immédiatement au centre du chou, cela indique que la carence en calcium était passagère. Les conditions étant redevenues favorables pour une meilleure distribution du calcium, le développement des jeunes feuilles se poursuit normalement. Les parties externes ne présentent pas de symptômes. Les gros choux et ceux ayant dépassé leur maturité semblent plus sensibles à la nécrose interne.

CRUCIFÈRES (brûlure de la pointe) (chou-fleur)

Le symptôme se définit par une brûlure de l'extrémité des jeunes feuilles entourant l'inflorescence.

FRAISIER (brûlure de la pointe)

Une brûlure de l'extrémité des jeunes feuilles, situées au cœur de la plante, suivie d'une déformation et d'un gaufrage de la partie apicale de ces feuilles, représente les symptômes caractéristiques. Les feuilles prennent quelquefois la forme d'un cœur.

LAITUE (brûlure de la pointe)

Les symptômes initiaux se caractérisent par des taches brun foncé à la marge des feuilles internes. Le regroupement de ces taches se traduit par le brunissement d'une partie importante de la marge. Les petites nervures peuvent devenir brunes. Dans certains cas, la croissance du bourgeon terminal est inhibée. Des pourritures prennent place à la suite de l'envahissement par des champignons et des bactéries. Les vieilles feuilles demeurent saines. La brûlure de la pointe apparaît habituellement à l'approche de la récolte. À maturité, la laitue possède un plus grand nombre de feuilles, ce qui augmente sa capacité de photosynthèse, d'où un taux de croissance plus rapide. Ainsi, le calcium peut ne pas être distribué assez rapidement pour atteindre les points de croissance, d'où les brûlures sur les jeunes feuilles.

Symptômes sur les bractées

POINSETTIA (brûlure des bractées)

Les symptômes débutent par de petites taches brunes à l'extrémité ou à la marge des bractées. Par la suite, les taches s'agrandissent et deviennent plus foncées. Ces symptômes apparaissent dès le début de l'anthèse (floraison). Les bractées situées le plus bas sur la plante, soit celles ayant atteint leur pleine expansion, sont souvent les plus affectées. Les plus jeunes bractées demeurent généralement intactes. Habituellement, une carence en calcium affecte les plus jeunes organes. Chez le poinsettia, il est donc considéré que l'initiation des symptômes survient au moment où les bractées sont en pleine croissance, bien que les brûlures n'apparaissent qu'à leur maturité. Les bractées sont des tissus qui transpirent peu (nombre restreint de stomates), d'où leur prédisposition à développer une carence en calcium. Des études récentes tendent à démontrer que la brûlure des bractées chez le poinsettia ne serait pas la seule conséquence d'une carence localisée en calcium. D'autres facteurs, comme l'influence de certaines hormones de croissance, pourraient être impliqués (McAvoy et Bible 1996, 1998).

Symptômes sur la tige

POMME DE TERRE (brûlure des germes)

Le symptôme d'une carence en calcium se traduit par un noircissement de l'extrémité d'un ou de quelques germes émergeant d'un tubercule. Ce dommage engendre l'arrêt de croissance des germes affectés et le développement de germes secondaires à partir de la base de ceux qui sont endommagés.

Symptômes sur les fruits

POIVRON (pourriture apicale)

Les symptômes apparaissent directement ou près de la zone apicale du fruit. Au début, il s'agit d'une lésion beige ayant un aspect humide, mais ferme. Par la suite, cette lésion se dessèche et s'affaisse. À la suite de l'envahissement par des champignons secondaires, la lésion devient noire ou brun foncé. La pourriture apicale peut être confondue avec une insolation. Dans ce cas, le dommage se caractérise par une zone blanche et déprimée, localisée sur le côté du fruit exposé au soleil.

TOMATE (pourriture apicale)

Le dommage apparaît dans la zone apicale du fruit. Il débute par une tache circulaire ou légèrement irrégulière ayant une couleur brun pâle. En s'agrandissant, cette tache se dessèche, devient déprimée et noircit. Cette lésion peut être envahie par des organismes causant une pourriture du fruit. Dans certains cas, aucun symptôme extérieur ne se développe ; seules des zones noires sont présentes à l'intérieur du fruit. Les fruits des deux premières grappes sont généralement les plus affectés par la pourriture apicale. À ce stade de croissance, un plant de tomate possède un grand nombre de feuilles comparativement à la quantité de fruits. Il résulte donc un important transfert des produits de la photosynthèse vers les fruits engendrant un taux de croissance rapide, d'où une sensibilité accrue à une carence en calcium. Les fruits sont plus sensibles à une carence en calcium de 7 à 10 jours après l'anthèse (floraison). Cependant, les symptômes apparaissent lorsque les fruits ont atteint un tiers ou plus de leur grosseur.

POMMIER (fossette amère ou « bitter pit »)

La fossette amère est également connue sous le nom de point amer. Les symptômes débutent à l'intérieur du fruit, pour éventuellement devenir apparents à l'extérieur. Ils se manifestent par des taches brunes, sèches, liégeuses, ayant un diamètre de 3 à 5 mm et situées immédiatement sous l'épiderme (pelure). Sur le fruit, les taches sont circulaires ou légèrement irrégulières, d'aspect humide et de couleur foncée (pourpre, brunâtre ou noirâtre). Ces dommages apparaissent principalement dans la zone du calice.

L'initiation des symptômes commence de 4 à 6 semaines après la chute des pétales. La fossette amère peut se manifester en verger, mais les dommages apparaissent généralement après une période d'entreposage. À la suite de la récolte, les fruits placés immédiatement à basse température ne présentent les symptômes de la fossette amère qu'après plusieurs jours ou semaines d'entreposage.

Les fruits les plus sensibles à la fossette amère sont ceux ayant un taux de croissance rapide, à savoir :

- les fruits portés par des branches ayant une croissance végétative luxuriante et un port vertical ;
- les fruits se développant sur de jeunes pommiers en début de production ;
- les fruits de gros calibre portés sur des arbres ayant une faible production. Les fruits provenant d'arbres moins luxuriants, mais ayant une forte production (calibre du fruit plus petit) sont moins sensibles.

Origine de la fossette amère

Deux hypothèses peuvent expliquer l'origine du problème :

- Lors du développement du fruit, des acides sont formés, lesquels sont neutralisés par le calcium. Si la quantité de calcium est insuffisante, les acides s'accumulent et les cellules affectées meurent, puis brunissent.
- La distribution rapide du calcium vers le cœur du fruit engendre une carence localisée de cet élément dans la chair près de l'épiderme. Les cellules privées de calcium meurent et brunissent.

Facteurs favorisant une carence momentanée en calcium

Les dommages associés à une carence en calcium ne sont généralement pas la conséquence d'un manque de cet élément dans le sol ou dans le milieu de culture. Il s'agit d'une carence induite par une combinaison de facteurs qui provoque un changement rapide du taux de croissance de la plante, favorisant une carence momentanée en calcium dans les tissus ayant une grande division cellulaire. Il est donc capital de connaître les éléments qui ont un impact non seulement sur le taux de croissance, mais également sur l'absorption et le transport du calcium.

Taux de croissance

Si la croissance est plus rapide que le transport du calcium vers les tissus en expansion, il y aura développement de symptômes. Les facteurs suivants sont propices aux poussées de croissance :

- ❖ Une variation soudaine de la température, caractérisée par une période défavorable pour la plante, suivie de températures propices à une croissance rapide.
- ❖ Des fluctuations dans l'approvisionnement en eau (ex. : journées chaudes et sèches, suivies de pluies abondantes).
- ❖ Le passage d'une période à faible luminosité (journées nuageuses) à des journées très ensoleillées.
- ❖ Une fertilisation azotée excessive.

Absorption du calcium

Les conditions ayant un effet négatif sur l'absorption du calcium sont les suivantes :

- ❖ Une basse humidité du sol limitant le développement racinaire ainsi que le déplacement du calcium vers les racines.
- ❖ Une teneur trop élevée en eau dans le sol réduisant la disponibilité de l'oxygène pour la croissance racinaire. Une humidité élevée favorise également le développement d'une couche de subérine dans les racines. La subérine est une substance cireuse imperméable. L'eau et le calcium ne peuvent pas la traverser.
- ❖ Une basse température du sol ou du milieu de culture (serre) limitant l'absorption du calcium.
- ❖ Des teneurs élevées en certains cations dans le sol, comme NH_4^+ , Mg^{++} , K^+ , Na^+ , entrant en compétition avec le Ca^{++} pour son absorption.
- ❖ Une salinité élevée diminuant l'absorption de l'eau, d'où la réduction de l'entrée du calcium. Une étude réalisée au Québec rapporte qu'une salinité (SSE) de 2,9 – 5,6 mS/cm comparativement à 1,8 – 2,3 mS/cm accroît le nombre de fruits (tomate de serre) atteints de la pourriture apicale.
- ❖ Des teneurs inadéquates en calcium dans le sol ou dans le milieu de culture (serre).
- ❖ Un pH acide du sol (culture en champ) restreignant l'absorption en calcium attribuable à la compétition avec l'aluminium (Al^{3+}).
- ❖ Une mauvaise préparation du sol inhibant la pénétration et l'expansion des racines dans le sol. Quant à la présence de baissières, elles sont propices pour l'accumulation d'eau, condition inadéquate pour les racines mais favorable pour les maladies.

- ❖ Des blessures altérant l'extrémité des racines (infections par des champignons et des nématodes, dommages par des insectes, toxicité en aluminium en sol acide, salinité élevée, blessures mécaniques causées aux racines par un sol compact, bris racinaires lors de la transplantation ou du sarclage, excès d'eau, brûlures par des engrais...).

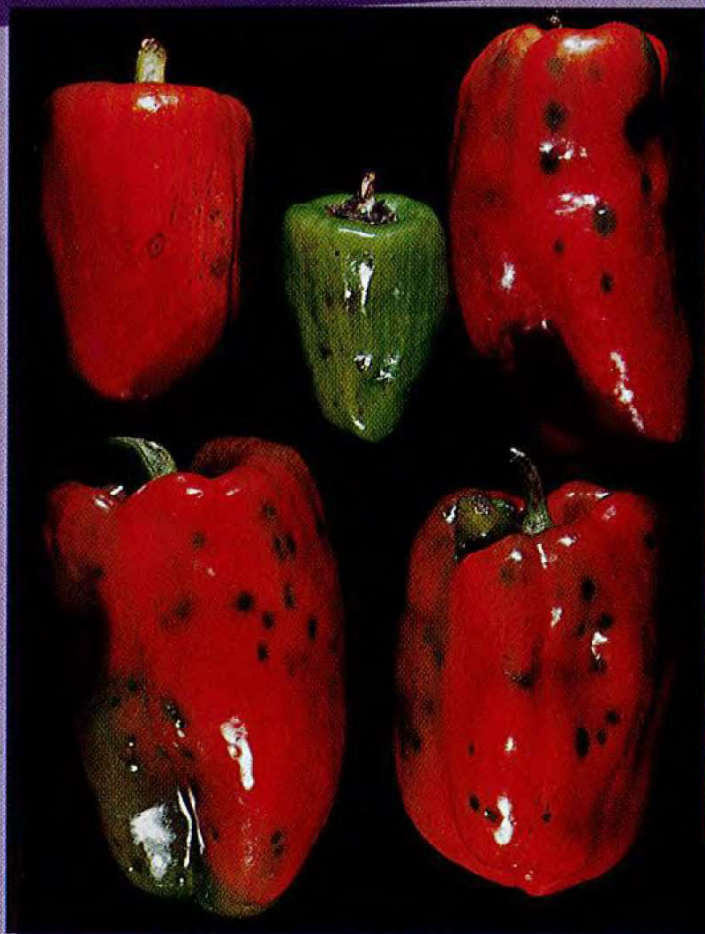
Transport du calcium

Si les conditions environnementales favorisent une transpiration excessive, les tissus ayant un taux élevé de transpiration recevront des quantités importantes de calcium (feuilles basales et médianes) au détriment des organes transpirant peu (jeunes feuilles, bractées et fruits). Bien que la transpiration foliaire soit essentielle pour la montée du calcium, elle doit être optimale, équilibrée et accompagnée d'un approvisionnement régulier en eau dans le sol. Les facteurs diminuant le transport du calcium vers les tissus en croissance active sont les suivants :

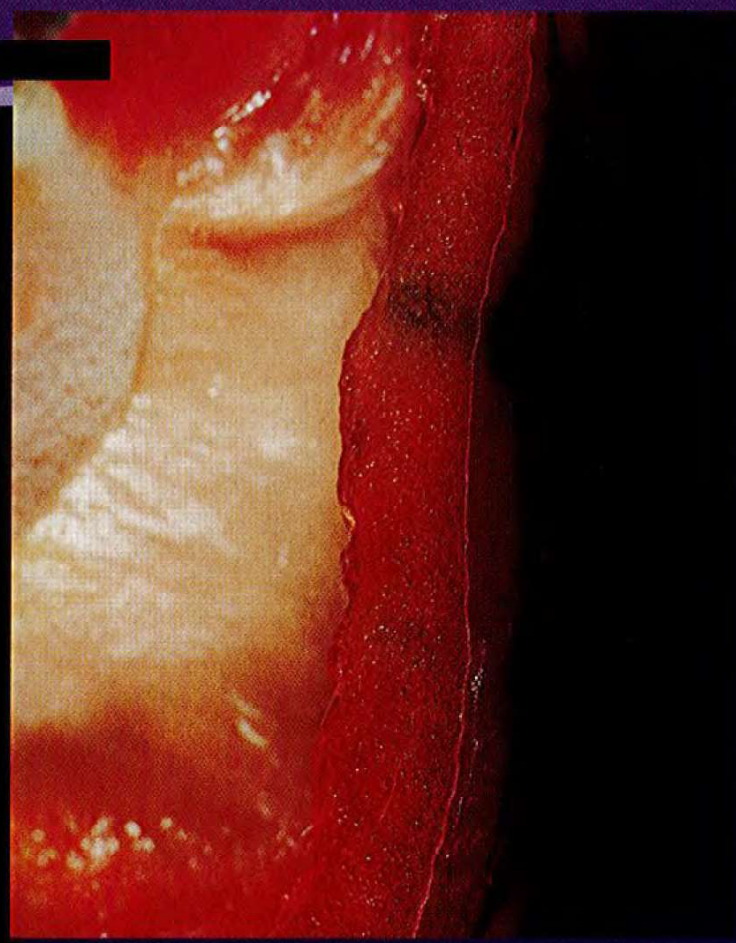
- ❖ Une humidité relative élevée le jour, diminuant la transpiration foliaire et favorisant le développement de la brûlure de la marge des jeunes feuilles et des bractées. Chez la laitue, les symptômes de la brûlure de la pointe apparaissent plus rapidement à une humidité relative de 74 % comparativement à 51 %. Pour les fruits, une carence en calcium est associée à une basse humidité relative. Chez la tomate de serre, il est considéré qu'une humidité relative inférieure à 75 % accroît l'apparition de la pourriture apicale.
- ❖ Une croissance végétative luxuriante augmentant considérablement la surface foliaire des feuilles basales et médianes qui, en transpirant plus, recevront plus de calcium que les jeunes feuilles et les fruits.
- ❖ Des conditions favorisant une transpiration intense, d'où un transport du calcium vers les feuilles médianes et basales plutôt que vers les jeunes feuilles et les fruits (ex. : journées chaudes, venteuses et ensoleillées, couplées à un manque d'eau dans le sol).
- ❖ Une basse humidité relative la nuit, jumelée à une salinité élevée, inhibant le développement d'une pression racinaire favorable à la montée du calcium dans la plante. Chez la laitue, il est rapporté qu'une humidité relative de 95 % la nuit retarde l'apparition de la brûlure de la pointe comparativement aux humidités de 65, 72 et 90 %. Pour la tomate, il a été observé qu'une humidité relative de 87 % la nuit diminue l'incidence de la pourriture apicale comparativement à une humidité de 61 %.
- ❖ Une faible quantité de fruits entraînant leur croissance rapide, d'où un risque accru d'un manque de calcium dans la zone apicale (division cellulaire active).

Excès de calcium sur les fruits

Poivron (tache amère)

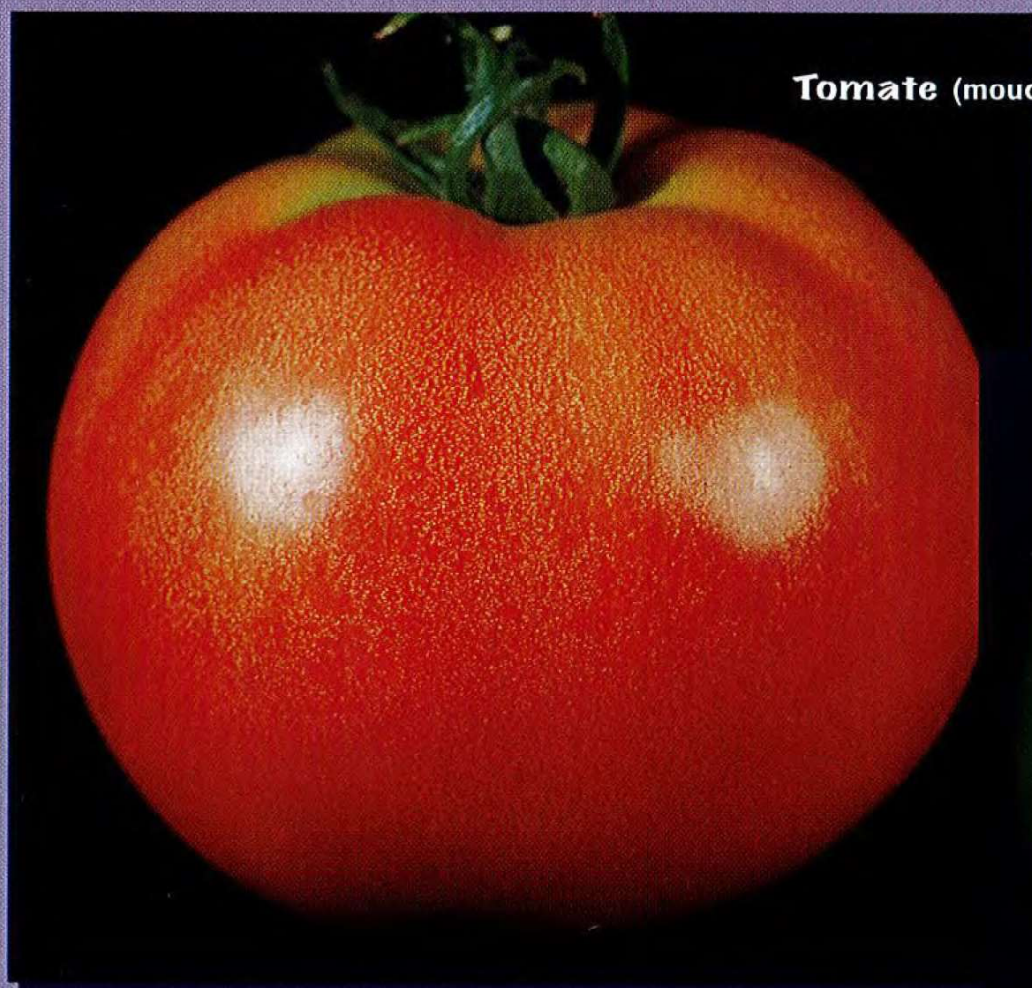


Taches brunes ou verdâtres sur des fruits
(Bernard Drouin, MAPAQ)

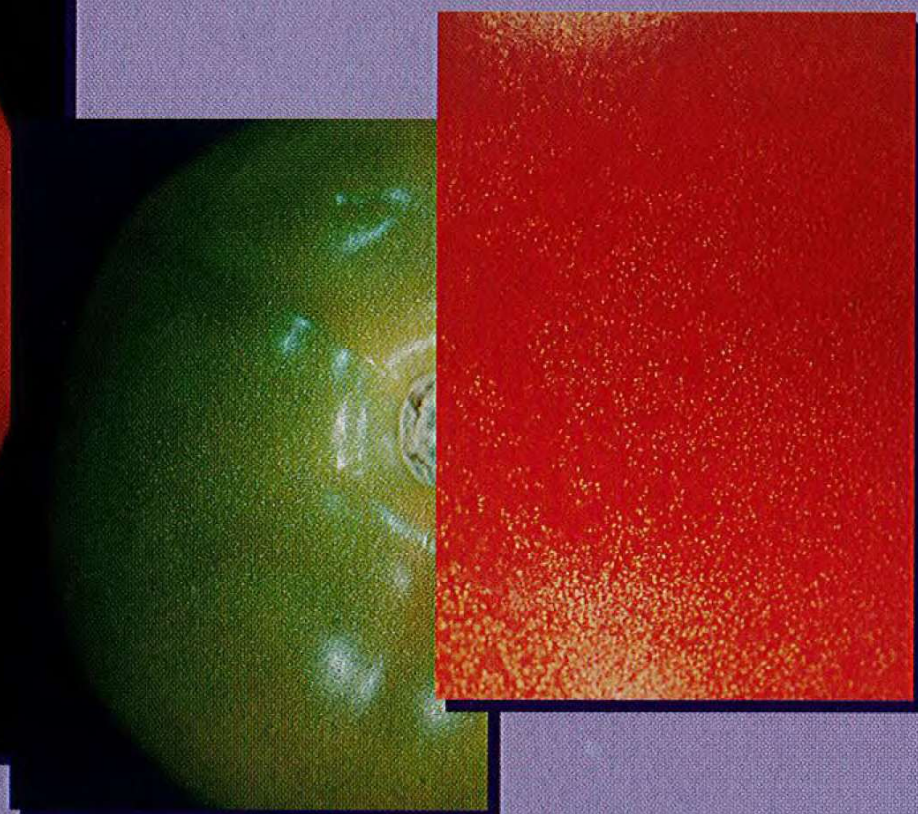


Brunissement localisé dans la chair d'un fruit
(Bernard Drouin, MAPAQ)

Tomate (moucheture dorée)



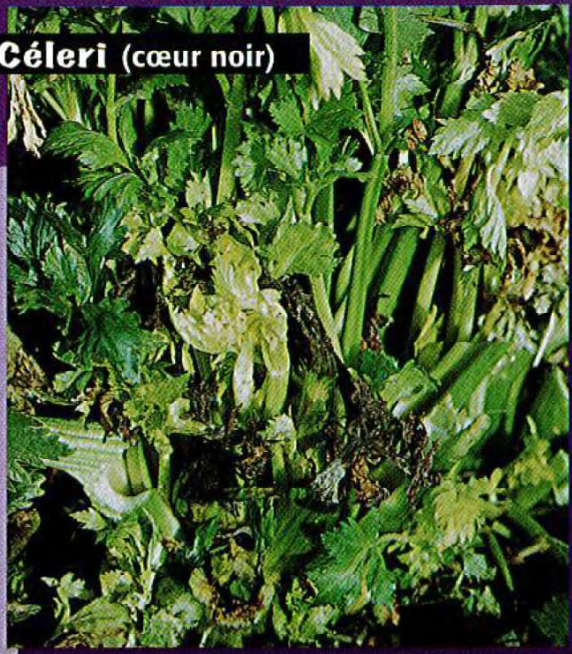
Nombreuses ponctuations jaunes sur un fruit.
Les ponctuations sont plus abondantes
dans la région du pédoncule (Bernard Drouin, MAPAQ)



Grossissement des ponctuations jaunes ou blanches sur un fruit
(cristaux d'oxalate de calcium) (Bernard Drouin et Michel Lacroix, MAPAQ)

Carence en calcium sur les feuilles et les bractées

Céleri (cœur noir)



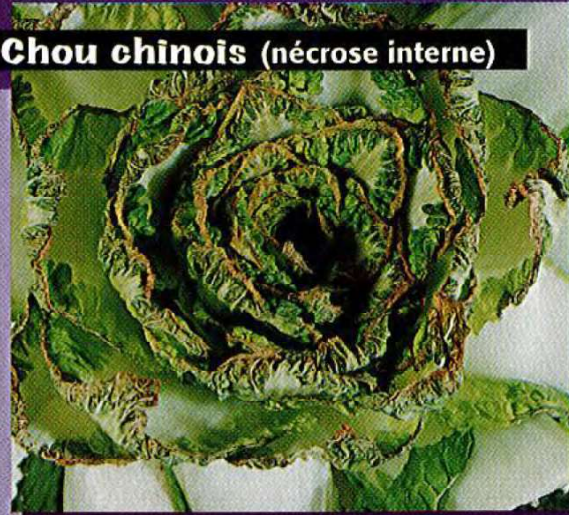
Noircissement des jeunes feuilles situées au cœur de la plante
(Léon Tartier, MAPAQ)

Chou (nécrose interne)



Brunissement ou noircissement à la marge des feuilles situées à l'intérieur du chou (Avec la permission de Seminis)

Chou chinois (nécrose interne)



Dessèchement de la marge des feuilles situées au cœur de la plante
(Bernard Drouin, MAPAQ)

Chou-fleur (brûlure de la pointe)



Brûlure des jeunes feuilles entourant l'inflorescence (Pascal Fafard, PRISME)

Fraisier (brûlure de la pointe)

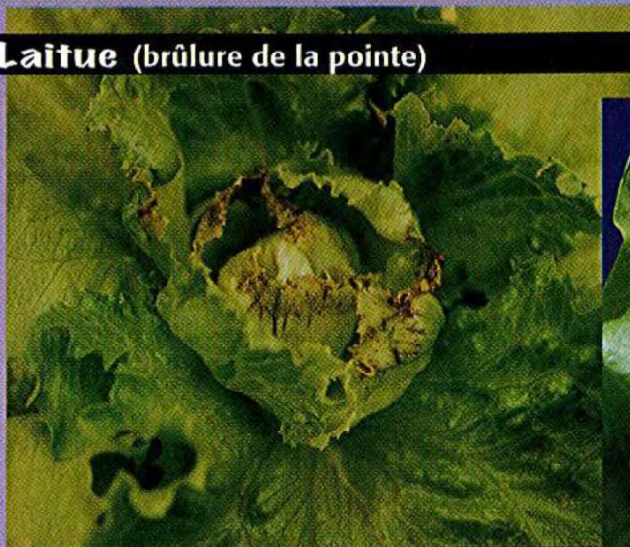


Brûlure de l'extrémité des jeunes feuilles
(Bernard Drouin, MAPAQ)



Atrophie de l'apex et gaufrage des jeunes feuilles (Bernard Drouin, MAPAQ)

Laitue (brûlure de la pointe)



Brûlure de la marge des jeunes feuilles et brunissement des nervures (laitue Iceberg) (Pierre O. Thibodeau, IRDA)



Dessèchement de la marge des jeunes feuilles (laitue Boston, culture en serre)
(Michel Lacroix, MAPAQ)

Poinsettia (brûlure des bractées)



Brûlure à l'apex et à la marge des bractées (Claude Vallée, IQDHO)

Carence en calcium sur la tige

Pomme de terre (brûlure de l'apex)



Noircissement de l'extrémité des germes
(Bernard Drouin, MAPAQ)



Arrêt de croissance des germes d'origine
et développement de germes secondaires
(Léon Tartier, MAPAQ)

Carence en calcium sur les fruits

Tomate (pourriture apicale)



Tache brune ou noire à l'apex
des fruits (Léon Tartier, MAPAQ)



Noircissement interne près
de la zone apicale d'un fruit,
absence de symptômes externes
(Léon Tartier, MAPAQ)

Poivron (pourriture apicale)



Lésion beige et humide près de la zone
apicale d'un fruit (Léon Tartier, MAPAQ)

Poivron (pourriture apicale)



Fruits affectés par la pourriture apicale
et infectés par des champignons (Léon Tartier, MAPAQ)

Pomme (fossette amère)



Taches circulaires brunes situées
dans la région du calice d'un fruit
(Bernard Drouin, MAPAQ)



Taches brunes d'aspect liégeux
situées dans la chair d'un fruit près
de l'épiderme (Roger Desmarreau, MAPAQ)

Problèmes phytosanitaires pouvant être confondus avec une carence ou un excès en calcium

Poinsettia



Moisissure grise (*Botrytis cinerea*) sur une feuille (Daniel Vaillancourt, MAPAQ)

Pomme de terre

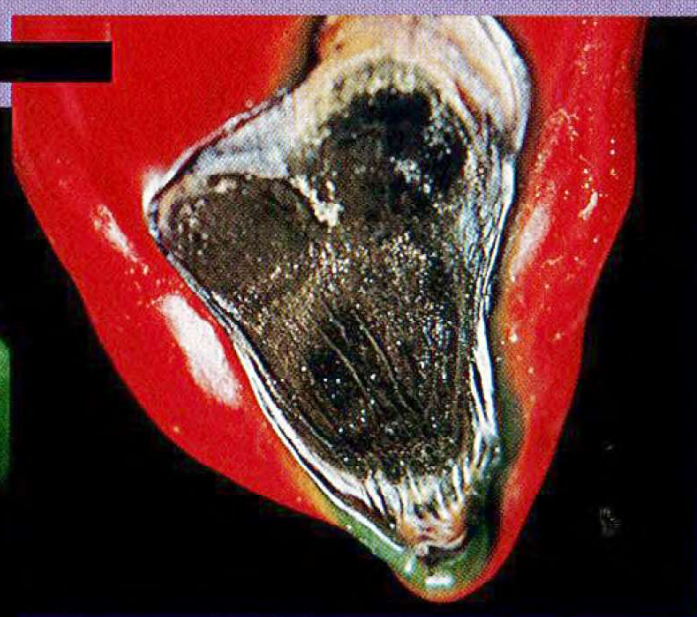


Rhizoctonie (*Rhizoctonia solani*) sur un germe (Barbara Otrysko, MAPAQ)

Poivron

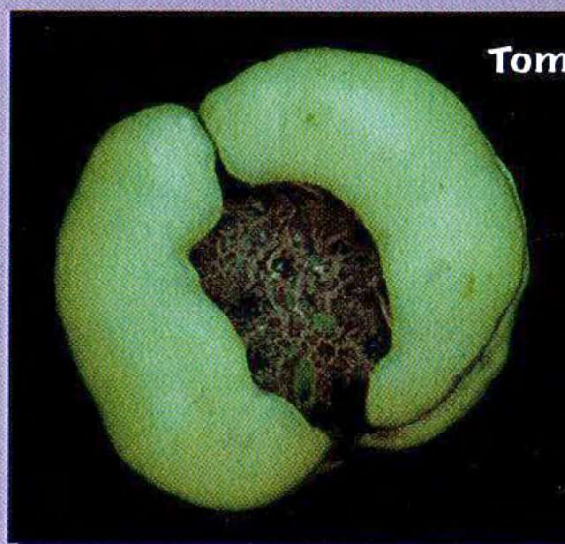


Insolation sur un fruit (Léon Tartier, MAPAQ)



Fruit affecté par une insolation et infecté par un champignon (*Alternaria* sp.) (Léon Tartier, MAPAQ)

Tomate



Symptôme de la face de chat situé à l'apex d'un fruit. Cette maladie est associée à une mauvaise pollinisation (Léon Tartier, MAPAQ)



Mûrissement inégal caractérisé par de larges zones jaunes débutant dans la région du pédoncule (Léon Tartier, MAPAQ)

Méthodes générales pour prévenir une carence momentanée en calcium

L'approche à préconiser pour éviter les problèmes liés à la nutrition en calcium doit être axée sur la mise en place et le maintien de conditions garantissant une croissance régulière de la culture et un apport constant en calcium dans les diverses parties de la plante.

Irrigation

- ❖ Préconiser une irrigation régulière, mais non excessive, pour favoriser une absorption constante du calcium. Un apport régulier en eau demeure le facteur clé pour que le calcium parvienne constamment aux points de croissance.
- ❖ Pour certaines cultures, l'utilisation d'un paillis de plastique permet de maintenir une humidité constante dans le sol. Un système d'irrigation est alors essentiel afin de maintenir un approvisionnement régulier en eau.

Fertilisation

- ❖ Préconiser une fertilisation équilibrée afin d'éviter les poussées de croissance. Une fertilisation excessive favorise une croissance végétative trop luxuriante. En ce qui concerne la fertilisation et le taux de croissance rapide, les stades les plus sensibles à une carence en calcium sont :
 - début de formation des fruits (poivron, tomate, pomme...);
 - expansion des parties végétatives (chou, chou chinois, laitue...);
 - coloration des bractées (poinsettia).
- ❖ Éviter les teneurs élevées en potassium (K^+) et en magnésium (Mg^{++}) dans le sol.
- ❖ Accorder la priorité à l'utilisation d'azote sous forme nitrate (NO_3^-) plutôt que l'ammonium (NH_4^+). Maintenir les niveaux d'azote aussi bas que possible, tout en respectant l'obtention d'un rendement optimal.
- ❖ Maintenir le calcium dans le sol aux teneurs recommandées pour la culture.
- ❖ Éviter les salinités excessives. L'utilisation de fertilisants ayant un bas indice de salinité peut être bénéfique.
- ❖ Faire des applications foliaires de calcium aux moments les plus opportuns (consulter la section sur les méthodes spécifiques).

Sol

- ❖ Le chaulage permet d'augmenter les teneurs en calcium dans le sol et de maintenir un pH optimal, à savoir :
 - légumes, 6,3 à 7,2 (sol minéral) et 5,5 à 6,0 (terre noire);
 - pomme de terre, 5,5 (lutte contre la gale commune);
 - fraisier, 6,0 à 6,5;
 - poinsettia, 5,5 à 6,5;
 - tomate de serre, 5,8 à 6,5.
- ❖ Assurer une préparation adéquate du sol pour permettre un développement maximal du système racinaire.
- ❖ Maintenir un sol bien drainé afin d'éviter les excès d'eau propices aux pourritures racinaires et aux infections fongiques.

Plante cultivée

- ❖ Éviter d'endommager les racines lors des diverses pratiques culturales.
- ❖ Suivre les cultures afin de dépister les insectes et les maladies affectant les racines.

Méthodes spécifiques par culture pour prévenir les carences en calcium

Céleri, chou, chou chinois, chou de Bruxelles, chou-fleur, laitue

- ❖ Planifier la récolte des plants afin qu'ils ne dépassent pas leur maturité. Les plantes ayant une maturité excessive semblent plus sensibles aux carences de calcium au niveau des jeunes feuilles.
- ❖ Lors de périodes favorables à un taux de croissance rapide, il est souhaitable de faire des applications foliaires de calcium. Pour être efficaces, les traitements doivent obligatoirement atteindre les jeunes feuilles situées au centre de la plante. Pour cette raison, les applications foliaires peuvent être bénéfiques au céleri et à la laitue en feuilles. En ce qui concerne les laitues Iceberg, Boston et romaine, de telles applications n'ont aucun effet bénéfique dès que la pomaison est commencée ou dès que les feuilles empêchent le calcium d'entrer en contact avec les feuilles situées au cœur de la plante. Pour les crucifères, les pulvérisations de calcium sont efficaces lors de la croissance végétative, soit avant la pomaison ou avant le développement de l'inflorescence.
- ❖ Les cultivars peuvent démontrer des sensibilités différentes aux problèmes liés à une carence en calcium. Consultez votre grainetier pour connaître les caractéristiques de chaque cultivar.

Fraisier

- ❖ Lors de conditions propices à un taux de croissance rapide, il est préférable de faire des applications foliaires de calcium. Il est nécessaire que les traitements atteignent les jeunes feuilles situées au cœur de la plante, sinon l'intervention est inefficace. Généralement, dans les fraisières en production, deux traitements de calcium sont appliqués à une semaine d'intervalle. La première application est réalisée lors de la croissance de la 3^e ou 4^e nouvelle feuille ou au début de la floraison.

Poinsettia

- ❖ Maintenir des teneurs de 150 à 250 ppm de calcium dans le substrat (analyse SSE).
- ❖ S'assurer que la salinité dans le substrat n'est pas supérieure à 1,5 mS/cm (SSE).
- ❖ Maintenir un rapport K:Ca:Mg de 2:3:1 (SSE).
- ❖ Réduire la fertilisation en potassium à 100 ppm à partir de la floraison.
- ❖ Favoriser une température du sol au-dessus de 16 °C, permettant un fonctionnement racinaire adéquat.
- ❖ Durant les journées nuageuses, réduire le taux d'humidité relative aux environs de 75 %.

- ❖ Effectuer des applications foliaires de calcium à raison d'une fois par semaine à une dose variant de 200 à 400 ppm en utilisant du chlorure de calcium. La dose utilisée est déterminée par la sensibilité du cultivar à la brûlure des bractées et par la présence de conditions favorables au développement des symptômes. Commencer les traitements au début de la coloration des bractées et les poursuivre jusqu'à la fin novembre ou au début de décembre. Traiter les plantes lorsqu'elles ne sont pas fanées et que le substrat est humide. Un traitement tôt le matin permettra un assèchement du feuillage avant la nuit, ce qui est souhaitable.
- ❖ Les cultivars de poinsettia ne démontrent pas la même sensibilité à la brûlure des bractées. Consultez votre fournisseur pour connaître les caractéristiques de chaque cultivar.

Pommier

- ❖ Éviter les tailles trop sévères durant la saison de dormance, lesquelles favorisent une croissance végétative luxuriante et prédisposent l'arbre à une faible production et à la formation de fruits de gros calibre. Le cultivar Cortland est particulièrement sensible à la taille sévère.
- ❖ Éviter les éclaircissements excessifs.
- ❖ Préconiser une taille d'été pour les arbres ayant une croissance végétative luxuriante ou une faible production.
- ❖ Éviter les dommages au tronc.
- ❖ Effectuer des applications foliaires de calcium en commençant les traitements de 8 à 10 jours après le stade calice. Préconiser un minimum de 6 applications, chacune à 2 semaines d'intervalle.
- ❖ Récolter les fruits seulement lorsqu'ils ont atteint leur maturité.
- ❖ Favoriser les conditions d'entreposage retardant la sénescence, comme un refroidissement rapide des fruits, de basses températures d'entreposage, une humidité relative élevée et une atmosphère contrôlée.
- ❖ Les cultivars ne démontrent pas la même sensibilité à la fossette amère. Les cultivars Cortland, Empire et Melba semblent particulièrement sensibles.

Pour les cultures en champ

- ❖ L'application de calcium au début de la formation des premiers fruits peut aider à prévenir la pourriture apicale :

Injecter des engrais contenant du calcium dans le système goutte-à-goutte. Trois interventions au calcium sont recommandées. Effectuer un premier traitement lorsque les fruits ont 1 cm de diamètre. Répéter l'application de calcium à raison d'une fois par semaine pendant 2 semaines supplémentaires.

En l'absence d'un système goutte-à-goutte, effectuer 3 pulvérisations de calcium, chacune espacée d'une semaine à partir du moment où les fruits atteignent 1 cm de diamètre. Il est absolument essentiel que le calcium entre en contact avec la partie apicale du fruit, sinon le traitement sera inefficace. Des observations sur le terrain ainsi que certaines références indiquent que les pulvérisations de calcium ont peu d'incidence sur la diminution de la pourriture apicale. Il est important de rappeler que le calcium pulvérisé sur les feuilles ne se déplacera pas vers les fruits. De plus, les fruits ne possèdent pas d'ouverture sur leur épiderme (pelure) permettant l'entrée du calcium. Cette pratique culturale peut donc ne pas apporter les résultats escomptés. Toutefois, si vous appliquez du calcium, il est primordial de commencer les traitements dès le début de la formation des fruits (nouaison) et de s'assurer que le calcium vient en contact direct avec le fruit.

- ❖ Les cultivars de tomate et de poivron peuvent démontrer des sensibilités différentes à la pourriture apicale. Consultez votre grainetier pour connaître les caractéristiques de chaque cultivar.

Pour les cultures en serre

- ❖ Durant le jour, maintenir une humidité relative entre 70 et 75 % pour favoriser la transpiration foliaire et ainsi augmenter l'absorption d'eau et de calcium. En contrepartie, une humidité relative élevée durant la nuit crée une pression racinaire qui engendre un mouvement du calcium vers les fruits.
- ❖ Assurer un équilibre des différents ions dans la solution nutritive. Maintenir une concentration adéquate de phosphore, puisque cet élément favorise l'absorption du calcium.
- ❖ Éviter les croissances végétatives excessives par une gestion adéquate de la température et de la fertilisation.
- ❖ Pour les cultures en laine de roche et en film nutritif (NFT), si vous devez augmenter la salinité de la solution nutritive, préconiser l'utilisation du NaCl plutôt que des macroéléments (ex. : potassium, magnésium).
- ❖ Préconiser une charge équilibrée en fruits.
- ❖ Dès le début de la formation des fruits, réaliser des pulvérisations de calcium à raison de 2 fois par semaine. Le calcium doit venir en contact direct avec la partie apicale du fruit, sinon le traitement sera inefficace (voir les remarques pour les cultures en champ). Les applications de calcium ne représentent pas une pratique systématique pour la production de la tomate de serre. Certains producteurs préconisent des traitements au calcium seulement si les conditions favorisent le développement de la pourriture apicale (ex. : quelques journées nuageuses suivies d'une journée ensoleillée).
- ❖ Les cultivars de tomate de serre peuvent démontrer des sensibilités différentes à la pourriture apicale. Consultez votre grainetier pour connaître les caractéristiques de chaque cultivar.

Références

Information générale

- Kirkby, E.A. et D.J. Pilbeam. 1984. Calcium as a plant nutrient. *Plant Cell Environ.* 7: 397-405.
- Marschner, H. 1986. Mineral nutrition of higher plants. Chapitre 8: fonctions of mineral nutrients: macronutrients. Academic Press. 195-267.
- Mills, H.A. et J.B. Jones Jr. 1996. Plant analysis handbook II. Micro Macro-Publishing inc. 422 p.
- Morard, P. 1996. Le calcium et les végétaux cultivés. *PHM Revue Horticole* 371: 10-13.
- Shear, C.B. 1975. Calcium-related disorders of fruits and vegetables. *Hort-Science* 10: 361-365.

Céleri

- Bible, B.B. et B. Stiehl. 1986. Effect of atmospheric modification on the incidence of blackheart and the cation content of celery. *Scientia Hortic.* 28: 19-28.

Crucifères

- Palzkill, D.A. et T.W. Tibbitts. 1977. Evidence that root pressure flow is required for calcium transport to head leaves of cabbage. *Plant Physiol.* 60: 854-856.
- Pscheidt, J. 1997. Tipburn of cabbage. An online guide to plant disease control. Oregon State University, Department of botany and plant pathology. <http://www.orst.edu/dept/botany/epp/guide/list.html>
- Rosen, C.J. 1990. Leaf tipburn in cauliflower as affected by cultivar, calcium sprays and nitrogen nutrition. *HortScience* 25: 660-663.
- Wiebe, H.J., H.P. Schätzler et W. Kühn. 1977. On the movement and distribution of calcium in white cabbage in dependence on the water status. *Plant and Soil* 48: 409-416.

Laitue

- Bres, W. et C.A. Weston. 1992. Nutrient accumulation and tipburn in NFT-grown lettuce at several potassium and pH levels. *HortScience* 27: 790-792.
- Collier, G.F. et T.W. Tibbitts. 1984. Effects of relative humidity and root temperature on calcium concentration and tipburn development in lettuce. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 109: 128-131.
- Misaghi, I.J., C.A. Matyac et R.G. Grogan. 1981. Soil and foliar applications of calcium chloride and calcium nitrate to control tipburn of head lettuce. *Plant Dis.* 65: 821-822.
- Pscheidt, J. 1997. Tipburn of lettuce. An outline guide to plant disease control. Oregon State University, Department of botany and plant pathology. <http://www.orst.edu/dept/botany/epp/guide/list.html>

Poinsettia

- Anonyme. 1997. Shipping healthy poinsettias. *Grower Talks* (novembre): 64-65.
- Hammer, P.A. 1994. Potassium and poinsettia bract necrosis. *Grower Talks* (septembre): 94.
- McAvoy, R.J. et B.B. Bible. 1996. Silica sprays reduce the incidence and severity of bract necrosis in poinsettia. *HortScience* 31: 1146-1149.
- McAvoy, R.J. et B.B. Bible. 1998. Poinsettia bract necrosis is affected by scion/ rootstock combinations and arrested by a benzyladenine spray. *Hort-Science* 33: 242-246.
- Morel, P. 1996. Poinsettia, calcium et qualité. *PHM Revue Horticole* 371: 18.
- Morel, P., J. Granger et J.C. Laury. 1996. Poinsettia, intérêt du chlorure de calcium en pulvérisation foliaire. *L'Horticulture Française Magazine* 11: 26.
- Nell, T.A. et J.E. Barrett. 1985. Nitrate-ammonium nitrogen ratio and fertilizer application method influence bract necrosis and growth of poinsettia. *HortScience* 20: 1130-1131.
- Nell, T.A. et R.T. Leonard. 1996. Protecting poinsettias from postproduction losses. *Grower Talks* (juillet): 98-104.
- Sénécal, M. et D. Vaillancourt. 1997. La brûlure des bractées du poinsettia en 1997. *Bulletin d'information du Réseau d'avertissements phytosanitaires du MAPAQ* 18: 1-3.
- Vallée, C. 1991. La brûlure des bractées chez le poinsettia. *Option Serre* (septembre): 26-29.
- Woltz, S.S. et B.K. Harbaugh. 1986. Calcium deficiency as the basic cause of marginal bract necrosis of «Gutbier V-14 Glory» poinsettia. *HortScience* 21: 1403-1404.

Pommier

- Andris, H., B. Mitcham et C.H. Crisosto. 1997. Bitter pit. Factsheet on fruit physiological disorders: apple. University of California. <http://axp.ipm.ucdavis.edu/default.html>
- CPVQ (Conseil des productions végétales du Québec inc.). 1999. Guide des traitements foliaires du pommier.
- Lonstroth, M. 1997. Calcium and bitter bit management in apple. Michigan State University Extension. <http://www.canr.msu.edu/vanburen/appleweb.htm>
- Owings, M.A. 1997. Bitter pit control. Apple Production Newsletter. North Carolina State University. Cooperative extension service <http://henderson.ces.state.nc.us/newsletters/apple/july97/a.html>
- Pscheidt, J. 1997. Bitter pit of apple. An online guide to plant disease control. Oregon State University, Department of botany and plant pathology. <http://www.orst.edu/dept/botany/epp/guide/list.html>
- Witney, G.W., M.M. Kushad et J.A. Barden. 1991. Induction of bitter pit in apple. *Scientia Hortic.* 47: 173-176.

Tomate, poivron

- Adams, P. et L.C. Ho. 1993. Effects of environment on the uptake and distribution of calcium in tomato and on the incidence of blossom-end rot. *Plant and Soil* 154 : 127-132.
- Bradfield, E.G. et C.G. Guttridge. 1984. Effect of night-time humidity and nutrient solution concentration on the calcium content of tomato fruit. *Scientia Hort.* 22 : 207-217.
- Dekreij, C. 1996. Interactive effects of air humidity, calcium and phosphate on blossom-end rot, leaf deformation, production and nutrient contents of tomato. *J. Plant Nutr.* 19 : 361-377.
- Dekreij, C., J. Janse, B.J. van Goor et J.D.J. van Doesburg. 1992. The incidence of calcium oxalate crystal in fruit walls of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as affected by humidity, phosphate and calcium supply. *J. Hort. Sci.* 67 : 45-50.
- Dorais, M. et le Syndicat des producteurs en serre du Québec. 1999. Qualité de la tomate de serre, aspects physiologiques et culturels. CPVQ (à paraître).
- Elmer, W.H. et F.J. Ferrandino. 1991. Early and late-season blossom-end rot of tomato following mulching. *HortScience* 26 : 1154-1155.
- Hennart, J.W. 1995. Qualité et sélection du piment. *PHM Revue Horticole* 365 : 52-55.
- Miller, S.A., R.C. Rowe et R.M. Riedel. 1996. Blossom-end rot of tomato, pepper and eggplant. Extension factsheet. The Ohio State University Extension. <http://ohioline.ag.ohio-state.edu/lines/facts.html>
- Morard, P. et A. Pujos. 1996. La nécrose apicale de la tomate. *PHM Revue Horticole* 371 : 16-17.
- Nukaya, A., K. Goto, A. Kano et K. Ohkawa. 1995. Effect of NH₄-N level in the nutrient solution on the incidence on blossom-end rot and gold specks on tomato fruit grown in rockwool. *Acta Hort.* 401 : 381-388.
- Sonneveld, C. et W. Voogt. 1991. Effects of Ca-stress on blossom-end rot and Mg-deficiency in rockwool grown tomato. *Acta Hort.* 294 : 81-88.
- Swift, C. 1997. Blossom-end rot, a common problem of tomato, pepper and summer squash. Colorado State University, Cooperative extension Tri River Area. <http://www.colostate.edu/Depts/CoopExt/TRA/PLANTS/index.html>
- Villeneuve, C. et P.E. Yelle. 1997. Poivron et tomate : pourriture apicale. Avertissement du Réseau d'avertissements phytosanitaires du MAPAQ 7 : 1-3.

Ce feuillet fait partie d'une série de documents sur les problèmes phytosanitaires. Ces documents ont pour objet de regrouper des informations récentes sur les maladies parasitaires et non parasitaires des plantes cultivées au Québec afin de bien les connaître et d'adopter une approche de lutte intégrée et raisonnée. La réalisation de ces feuillets est une initiative du personnel du Laboratoire de diagnostic en phytoprotection de la Direction des services technologiques du MAPAQ.

Autres feuillets sur les problèmes phytosanitaires, réalisés par le Laboratoire de diagnostic en phytoprotection

- Flétrissement et dépérissement de la tomate de serre. 1994. 5 pages. Publication VO 221 (94-0221 sur le feuillet). 3 \$
- Virus de la maladie bronzée de la tomate. 1994. 5 pages. Publication VO 222 (94-0222 sur le feuillet). 3 \$
- Distinction entre la nervation noire et la tache bactérienne des crucifères. 1999. 12 pages. Publication VT 047. 4 \$
- Problèmes racinaires de la tomate de serre. 1999. 16 pages. Publication VT 048. 4 \$

Ces feuillets sont disponibles chez Distribution de livres Univers au (418) 831-7474 ou 1 800 859-7474.

Recherche et synthèse de l'information

- Johanne CARON, phytopathologiste et Lucie LAVERDIÈRE, technologiste, Horti-Protection.

Rédaction

- Michel LACROIX, agronome-phytopathologiste, Laboratoire de diagnostic en phytoprotection, Direction des services technologiques, MAPAQ.

Révision technique

- Serge BÉGIN, coordonnateur, et Bruno MALTAIS, coordonnateur adjoint du Réseau d'avertissements phytosanitaires, Direction des services technologiques, MAPAQ.
- Lucie CARON, Régis CHARBONNEAU, Michel SÉNÉCAL, Luc URBAIN et Daniel VAILLANCOURT, agronomes, conseillers horticoles, MAPAQ.
- Patrick SULLIVAN, technologiste, conseiller horticole, MAPAQ.
- Martine DORAIS, agronome, Centre de recherche sur les cultures abritées et industrielles, Agriculture et Agroalimentaire Canada.
- Gérard GILBERT, agronome-phytopathologiste, Laboratoire de diagnostic en phytoprotection, Direction des services technologiques, MAPAQ.
- Pierre O. THIBODEAU, agronome-phytopathologiste, Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA).

Révision linguistique

- Sylvie CLAVEL, traductrice, Centre d'analyse et de services en communications, MAPAQ.

Mise en page

- Carolle FORTIN, agente de bureau, Laboratoire de diagnostic en phytoprotection, Direction des services technologiques, MAPAQ.

Édition

- France CROCHETIÈRE, agronome, Conseil des productions végétales du Québec inc.
- Lyne LAUZON, biologiste, Conseil des productions végétales du Québec inc.

Conception graphique

- Marc BRAZEAU, graphiste.

Contribution financière



© MAPAQ – Gouvernement du Québec

Publication VT 046

ISBN 2-89457-195-X

Dépôt légal

Bibliothèque nationale du Québec, 1999

Bibliothèque nationale du Canada, 1999