

## Description des fongicides non sujets à la résistance

Vincent Phillion

Les matières fongicides qui altèrent plusieurs mécanismes dans la biochimie des champignons permettent rarement la sélection d'individus tolérants (résistants) au sein des populations. On retrouve dans ce regroupement toutes les matières actives plus anciennes et dont la toxicité environnementale et humaine est élevée, mais aussi les sels comme le bicarbonate qui ne laissent présager aucun risque de résistance et dont la toxicité est faible.

### Minéraux et dérivés

Les fongicides minéraux sont les plus anciens en usage. Ils sont utilisés principalement en production biologique. Ils agissent surtout par contact, mais les sels sont également absorbés par des pores moléculaires de la cuticule des feuilles et des fruits<sup>1,2</sup>, ce qui ouvre la possibilité d'une efficacité restreinte en post infection. Ces produits comprennent le cuivre (depuis 1760), incluant la bouillie bordelaise (1885), le soufre (1824) et la bouillie soufrée (1833). Plus récemment, des essais ont démontré que les sels (ex. : le chlorure de calcium,  $\text{CaCl}_2$ ) incluant les carbonates (ex. : bicarbonate de potassium) et la chaux hydratée pouvaient aussi réprimer les maladies. Les minéraux comme le silicium sous forme soluble (silicate de potassium) ont aussi des effets connus contre plusieurs maladies<sup>3</sup>. Des mélanges de ces produits sont aussi possibles.

### Produits à base de cuivre

Le cuivre est un métal lourd qui s'accumule de façon permanente dans les sols et qui est toxique pour les vers de terre, les poissons, etc. Dans plusieurs pays d'Europe, son usage est désormais interdit, ou alors la dose permise à l'hectare est fortement limitée d'ici au bannissement complet. Néanmoins, l'efficacité du cuivre pour combattre à la fois le feu bactérien, la tavelure du pommier et plusieurs maladies secondaires en PFI pousse les producteurs à intégrer annuellement au moins un traitement de cuivre. Au Canada, un assouplissement des étiquettes des produits est prévu pour permettre un usage moins restrictif du cuivre contre la tavelure et le feu en cours de saison.

**Efficacité vs phytotoxicité :** Les traitements au cuivre ont démontré depuis plus de 200 ans leur efficacité contre un bon nombre de maladies, mais ils peuvent également être phytotoxiques. Ainsi, les ions de cuivre qui sont toxiques aux bactéries et aux champignons peuvent également causer des dommages aux feuilles et aux fruits. Au moins quatre facteurs importants jouent sur l'efficacité et la phytotoxicité du cuivre : la formulation, la dose, la disponibilité (pH) et le volume d'application.

**Formulation :** Le cuivre en solution (sulfate de cuivre pentahydraté) est immédiatement disponible et a le plus gros potentiel de phytotoxicité. Différents mélanges et différentes formulations de cuivre le rendent moins immédiatement disponible. Ralentir ou « fixer » le cuivre diminue (mais n'élimine pas) la phytotoxicité. Le cuivre « fixe » (peu importe sa formulation) est conçu pour laisser un résidu peu soluble à la surface des feuilles. Lorsque le feuillage est mouillé, les ions cuivre s'échappent lentement de ces dépôts et s'attaquent aux bactéries et champignons. Cette libération graduelle du cuivre maintient une efficacité pendant une plus longue période et évite que la concentration d'ions devienne trop grande et provoque l'effet phytotoxique redouté. En pomiculture, on utilise seulement des formulations de cuivre « fixe ». Au Canada, il existe cinq possibilités : hydroxyde, oxychlorure, octanoate, sulfate tribasique et bouillie bordelaise maison. Nos voisins américains ont accès à plusieurs autres formulations (ex. : oxyde de cuivre<sup>4</sup>) et des mélanges (ex. : C-O-C-S, oxychlorure + sulfate), avec des adjuvants comme le gypse et d'autres éléments qui ont pour fonction de « fixer » le cuivre à des degrés divers. En Europe, l'éventail des possibilités est encore plus grand. Toutes les formulations de cuivre sont homologuées en production biologique, mais certains producteurs continuent de privilégier la bouillie bordelaise. La bouillie bordelaise n'est pas recommandée en PFI puisque les autres produits plus simples à manipuler existent.

L'efficacité des produits cuivrés est surtout liée à la quantité de cuivre traitée et à la finesse des particules en suspension<sup>4</sup> et moins à leur forme chimique. Dans ce contexte, il peut être approprié de considérer seulement le coût par kilogramme d'ingrédients actifs pour guider son choix. Cette règle est applicable même pour les produits plus récents comme l'octanoate, puisque les données disponibles ne permettent pas de garantir que ce produit a une efficacité égale avec moins de cuivre métal.

**Dose :** La quantité de cuivre requise par application dépend du type de traitement et a un impact direct sur la phytotoxicité. Selon l'usage, la dose peut être optimisée. Les doses homologuées (ex. : 3,2 kg/ha pour l'oxychlorure) sont souvent conçues pour laisser un dépôt important sur le bois en début de saison et maintenir une efficacité à long terme (pendant quelques semaines). Le cuivre est alors libéré et lessivé graduellement. Pour des traitements réguliers contre la tavelure ou le feu, la dose requise est moindre et l'effet recherché est immédiat. Le mélange de cuivre et de soufre est souvent privilégié pour bénéficier de l'efficacité du cuivre et éviter la phytotoxicité. Sans soufre, la dose de 0,4 kg/ha de formulation (50 % cuivre sous forme d'oxychlorure) donne environ 200 g de métal par hectare, une dose plancher pour combattre la tavelure lorsque les applications sont ciblées et que le risque n'est pas trop élevé.

**Effet du pH :** La vitesse de libération des ions cuivre est fonction de l'acidité de la bouillie de pulvérisation. Plus l'eau est acide (pH faible), plus les résidus libèrent d'ions cuivre. Inversement, lorsque le pH est alcalin, la toxicité du cuivre envers les bactéries et les champignons diminue parce que moins d'ions sont libérés. Comme chaque application peut réactiver le cuivre en place, la sensibilité au pH continue après le traitement initial. Dans les blocs traités au cuivre au printemps (usage unique), il faut éviter les traitements « acidifiants » avec des produits comme le phosphonate, le LI700 et les bouillies acides en général, parce que la libération de cuivre serait accélérée.

**Volume d'eau :** Réduire le volume de bouillie à l'hectare (ex. : 300 L/ha<sup>8</sup>) lors des applications et viser des périodes de séchage rapide peut grandement diminuer les risques de phytotoxicité du cuivre lors des applications régulières. Pour éviter la phytotoxicité, le cuivre n'est pas recommandé sur feuillage humide (rosée) ou pendant la pluie. Ce produit n'est donc pas recommandé pendant la fenêtre de germination de la tavelure. Cependant, avant la floraison certains auteurs recommandent malgré tout le cuivre à dose faible en mélange avec du soufre pendant la période de germination des spores<sup>8,9</sup>. Selon la sensibilité du cultivar et le moment de l'application, cette approche peut être risquée.

**Autres contraintes :** Le cuivre appliqué juste avant des périodes de froid pourrait accentuer les dégâts de gel<sup>4,10</sup>. Les programmes d'applications à base de cuivre pour lutter contre la tavelure peuvent affecter la coloration de certains cultivars<sup>7</sup> en comparaison aux programmes de lutte plus conventionnels.

### **Recommandations d'usage pour les produits commerciaux à base de cuivre :**

- **Traitement de début de saison :** Pour augmenter l'efficacité fongicide et bactéricide du cuivre et économiser un passage au verger, il est possible de combiner le cuivre fixe et l'huile de dormance dans un même traitement. Ce mélange est préconisé depuis très longtemps<sup>11</sup>. La fenêtre d'application du cuivre est un peu trop hâtive pour que le mélange réprime entièrement les acariens rouges, mais ce traitement peut réprimer les cochenilles et les pucerons roses (voir la [fiche 78](#)). Il faut profiter des conditions favorables pour l'application d'huile quand elles se présentent. Le mélange peut causer une légère phytotoxicité sur feuillage. Comme les traitements à l'huile sont souvent réalisés à basse vitesse ou avec deux passages, la couverture antibactérienne et fongicide n'en sera que meilleure. L'huile est compatible avec toutes les formulations de cuivre fixe, incluant la bouillie bordelaise.

Plus le cuivre à haute dose est appliqué tardivement (ex. : pré bouton rose), plus il risque par la suite d'être « éclaboussé » sur les fleurs et causer une roussissure (rugosité) inacceptable sur les fruits des cultivars Empire, Idared, Jonagold, McIntosh, Spartan (entre autres) et une baisse de la nouaison. À l'inverse, le cuivre n'occasionne aucun problème sur Gala ou sur les poires qui tolèrent bien le cuivre.

- **Pour le feu bactérien pendant la floraison :** Là où c'est légal, le cuivre (ex. : hydroxyde), est efficace à des doses assez faibles (400 g/ha en équivalent métal) pour réprimer partiellement le feu pendant la floraison<sup>12</sup>. Cependant, cette fenêtre d'application est la plus à risque pour la phytotoxicité. Le mélange de cuivre avec l'agent de lutte biologique Double Nickel pourrait atténuer cette phytotoxicité<sup>12,13</sup>, mais cette approche n'est pas constante et n'est pas préconisée<sup>14</sup>.

**Pour la tavelure du pommier :** Là où c'est légal, l'oxychlorure (50 %) est souvent privilégié par les producteurs parce que plus abordable que le CUEVA pour une efficacité jugée similaire. Le mélange de cuivre et soufre en protection est plus efficace que chacune des molécules utilisées seules<sup>7</sup>, probablement parce que le lessivage du cuivre est moindre que pour le soufre et que le soufre a un meilleur effet en post

infection. Le ratio 1:10, (exemple 200 g/ha de cuivre métal et 2 kg/ha de soufre) est souvent utilisé. Avec ce mélange, les producteurs bio en Nouvelle-Zélande<sup>5</sup> réussissent à réprimer la tavelure aussi bien qu'avec un programme conventionnel en utilisant de 1,2 à 1,5 kg de cuivre métallique par hectare pendant toute la saison (sur environ huit traitements), soit 200 à 300 g/ha de cuivre par traitement bien ciblé; les autres traitements étant à base de soufre ou de bouillie soufrée. Des doses plus élevées (ex. : 800 g/ha de formulation) sont rapportées pour des applications non ciblées (de type calendrier)<sup>6</sup>. Même avec une dose faible, toutes les formulations peuvent provoquer une rugosité commercialement inacceptable dans les traitements à fort volume (ex. : 1000 L/ha)<sup>7</sup>.

Exemples de doses en usage :

4 kg/ha soufre (ex. : 5 kg/ha de KUMULUS) + 450 g/ha de cuivre métal (ex. : 900 g/ha de cuivre fixe formulé à 50 %)<sup>15</sup>.

2,9 kg/ha soufre (ex. : 3,6 kg/ha de KUMULUS) + 250 g/ha de cuivre métal (ex. : 640 g/ha de cuivre fixe formulé à 40 %)<sup>7</sup>.

Mélange de cuivre et soufre pendant la période de germination<sup>8,9,16</sup> :

4,8 kg/ha soufre (ex. : 6 kg/ha de KUMULUS) + 480 g/ha de cuivre métal (ex. : 960 g/ha de cuivre fixe formulé à 50 %)<sup>16</sup>.

### Produits commerciaux :

- **CUIVRE FIXE / FIXED COPPER SPRAY** (50 % de cuivre sous forme d'oxychlorure de cuivre) : N'ajoutez pas de chaux hydratée au cuivre fixe.
- **COPPER 53W** (sulfate de cuivre tribasique) : Le cuivre « 53W » est un autre cuivre fixe homologué sur le pommier. Comme l'étiquette du « 53W » stipule qu'il faut néanmoins ajouter de la chaux pour usage sur la pomme, il est rarement utilisé et ne présente pas d'avantage particulier.
- **CUEVA** (10 % octanoate de cuivre, 63,6 g/mol (Cu)/350 g/mol (octanoate) soit 1,8 % de cuivre métallique) : Homologué au Canada depuis 2016. La dose homologuée selon la façon de lire l'étiquette canadienne va de 2,5 L dans 500 L (0,5 %) à 20 L dans 1000 L (2 %) par hectare. La quantité de cuivre homologuée varie donc d'environ 45 g à 360 g/ha, soit un facteur 8x. L'étiquette très vague (#31825, 2015) ne permet donc pas de recommandations précises actuellement. La dose américaine (1 % v/v en dilué) correspond à un maximum de 28-30 L/ha dans une parcelle avec un TRV de 100 %, soit environ 0,54 kg de cuivre métallique par hectare. Une dose similaire est homologuée en Europe. Dans la plupart des vergers, la dose correspondante est donc de l'ordre de 15 à 20 L/ha (TRV entre 50 % et 66 %).

Cependant, la dose efficace la plus faible obtenue dans les tests pour réprimer le feu bactérien pendant la floraison est d'environ 5 L/ha<sup>17-19</sup> de formulation soit environ 90 g de cuivre élémentaire par hectare. Une dose similaire est requise pour réprimer les maladies d'été (sue, moucheture, pourriture amère)<sup>17</sup>. La dose

testée pour limiter la propagation du feu en été est aussi d'environ 5 L/ha<sup>20,21</sup> et est celle recommandée<sup>14</sup>. Il est donc possible de réduire la dose par rapport à celle préconisée sur l'étiquette.

- **PARASOL** (liquide, 24,4 % de cuivre métallique sous forme d'hydroxyde de cuivre) (Nufarm) : Homologué à la dose de 4,7 L/ha, soit environ 1,15 kg de cuivre par hectare. La formulation granulaire ou en poudre n'est cependant pas homologuée sur la pomme et l'étiquette ne mentionne pas la tavelure. Similaire à KOCIDE ou NU-COP aux USA).

**Bouillie bordelaise** : Le botaniste français Millardet a découvert que l'effet phytotoxique du sulfate de cuivre soluble pouvait être grandement atténué en le mélangeant avec de la chaux hydratée. Ce mélange a pour effet de « fixer » le cuivre, soit neutraliser l'acidité du cuivre mis en solution. Cette « bouillie bordelaise » reste donc une option en agriculture biologique, à condition de vouloir faire ce mélange soi-même. Même si la bouillie bordelaise est plus efficace que l'oxychlorure de cuivre, elle est aussi potentiellement plus phytotoxique et peu compatible avec les autres traitements.



Il existe plusieurs recettes de bouillie bordelaise et une notation un peu particulière. Par exemple, la formule courante à 1 % consiste à mélanger 1 kg de chaux par kilogramme de sulfate de cuivre dans 100 L d'eau, ce qui donne la formulation 1-1-100, soit la même chose que la formulation 10-10-1000 qui est souvent citée sur Internet. Notez que le pH élevé des résidus de la bouillie bordelaise peut inactiver complètement d'autres molécules, notamment la streptomycine<sup>22</sup>. Il n'est donc pas possible d'appliquer la streptomycine rapidement après un traitement à la bouillie bordelaise, à moins que la pluie ne délave complètement les résidus du traitement avant la fleur.

#### Produits à base de soufre

Le soufre (toutes les formulations) est un fongicide à action multisites ayant aussi des propriétés acaricides, surtout (et malheureusement) contre les acariens prédateurs. L'utilisation régulière de soufre à dose élevée entraîne souvent des problèmes d'acariens<sup>23</sup>, le soufre est cependant utilisé pour réprimer le « rust mite » (ériophyides) (Triloff, comm. pers.) L'effet sur les prédateurs n'est pas rapporté aux doses faibles recommandées en PFI<sup>8</sup>.

Tous les produits à base de soufre sont efficaces contre plusieurs maladies fongiques. Par contre, le soufre est peu résiduel et généralement moins efficace que les fongicides de

synthèse à moins que les traitements soient réalisés au moment optimum (ex. : traitement de germination).

**Phytotoxicité liée à la chaleur :** L'utilisation de toutes les formulations de soufre comporte un risque élevé de phytotoxicité (brûlure, roussissure sur les fruits) si utilisées par temps chaud. Le soufre élémentaire cause des problèmes à partir de 30 °C<sup>25</sup>, la bouillie soufrée est problématique dès 26 °C<sup>24</sup>. Les brûlures apparaissent surtout sur les fruits orientés vers le sud-ouest, où la surface des fruits est la plus exposée (Triloff). Le soufre ne devrait jamais être appliqué si des températures très élevées sont prévues au cours des prochains jours. En absence de pluie pour lessiver le soufre en place, la phytotoxicité due à la chaleur peut survenir lors d'une canicule, lorsque le temps est « lourd » (humide, sans vent) et ce, plusieurs semaines après l'application (Trapman, comm. pers.) L'ouverture des stomates par temps très humide est possiblement le point d'entrée pour la sublimation gazeuse de soufre à la surface des fruits (Triloff).

Cette phytotoxicité du soufre n'est pas réduite en pulvérisant avec de petites gouttelettes, n'est pas affectée par le temps de séchage et est possible même à très faible dose (Triloff, comm. pers.) Les risques diminuent très légèrement à la fin de l'été avec la baisse de l'intensité solaire (angle) (Triloff).

Pour minimiser les risques d'insolation en période de risque liés à la chaleur, les produits à base de soufre devraient être appliqués immédiatement **avant** une période de pluie prévue, ou pendant la pluie, mais non **après** les pluies.

Les produits à base de soufre sont aussi phytotoxiques lorsqu'ils sont mélangés avec de l'huile ou tout autre produit contenant des distillats de pétrole. Il faut respecter un minimum d'une semaine avant ou après une application de soufre (ou ses dérivés) pour appliquer de l'huile.

Dans le sol, le soufre est oxydé graduellement en acide sulfurique, ce qui entraîne une lente acidification du sol<sup>24</sup>.

Certains cultivars de fruits sont très sensibles au soufre, alors que d'autres bénéficient des traitements. L'utilisation répétée du soufre à la dose élevée de l'étiquette a généralement un effet cumulatif néfaste sur la physiologie des arbres. L'utilisation répétée du soufre en été peut augmenter les problèmes de pourritures estivales, probablement par un effet phytotoxique sur les lenticelles des fruits. Une partie des problèmes liés au soufre peuvent être atténués voire éliminés en diminuant la dose par rapport à celle préconisée sur l'étiquette. À dose faible (4-5 kg/ha en équivalent soufre), les problèmes associés au soufre sont assez mineurs<sup>26</sup>.

Aux doses faibles proposées en PFI, le soufre garde certains effets négatifs mineurs sur la photosynthèse<sup>7</sup>, un effet d'éclaircissage<sup>7</sup>, affecter la coloration de certains cultivars<sup>7</sup>, mais peut aussi augmenter les rendements par son action fertilisante<sup>9</sup>.

Il existe trois types de formulations de soufre : 1) le soufre élémentaire presque pur; 2) formulé avec des adjuvants; 3) en mélange avec de la chaux éteinte pour produire la chaux soufrée (voir cette section). Pour une quantité égale de soufre, la chaux soufrée est la plus efficace contre la tavelure<sup>8</sup> mais aussi la plus toxique aux arbres. Le soufre élémentaire (et formulé) est parfois recommandé en mélange avec du cuivre<sup>8</sup> (voir la section sur le cuivre).

Les produits à base de soufre sont tous admissibles en production biologique. Toutes les étiquettes de soufre stipulent un maximum de huit applications par année.

**Soufre élémentaire et formulé :** Le soufre élémentaire à 92 % est une poudre mouillable qui peut être appliquée avec un pulvérisateur conventionnel mais qui était aussi traditionnellement poudrée sans eau sur les cultures, notamment pour le blanc. Le soufre à 80 % est vendu sous différentes formulations granulaires qui permettent de faciliter la dispersion du soufre dans l'eau et de créer une suspension uniforme.

Outre son effet sur le blanc et la tavelure, le soufre élémentaire (et formulé) en mélange à l'argile (Kaolin) peut réduire la roussissure pendant la période post florale.

- **Pour la tavelure du pommier :** Le soufre utilisé seul est relativement peu efficace en protection. Les traitements en protection peuvent difficilement arrêter une épidémie de tavelure, à moins que le niveau de tavelure de départ soit très faible. La pleine dose homologuée pour le soufre élémentaire ou formulé (>18 kg/ha) n'est pas nécessaire pour être utile, mais à la dose de 4 kg/ha, le soufre laisse passer plus de taches que les traitements conventionnels à faible dose appliqués aux mêmes dates<sup>26,27</sup>. La meilleure fenêtre d'utilisation du soufre est en lien avec les traitements durant la fenêtre de germination (pendant la pluie), autant au printemps qu'en été. En fait, le soufre fonctionne jusqu'à quelques heures après le début de l'infection<sup>9,28</sup>. Le soufre est aussi préconisé en mélange avec le bicarbonate de potassium, la chaux hydratée et le cuivre (voir la fiche sur les mélanges).
- **Produits commerciaux :**
  - **SOUFRE MICROFIN :** Poudre mouillable (plusieurs manufacturiers : ex. : Bartlett, UAP).
  - **KUMULUS, MICROTHIOL DISPERS, COSAVET DF EDGE :** Formulation granulaire des compagnies BASF, United Phosphorus et Engage Agro respectivement.

**Bouillie ou chaux soufrée :** Ce produit est aussi connu sous le nom de bouillie nantaise, bouillie versaillaise<sup>23</sup>, eau de Grison<sup>23</sup>, bouillie sulfo-calcaïque, polysulfure de calcium, sulfure de calcium (en anglais, calcium polysulfide, lime sulfur ou LLS pour Liquid Lime Sulfur). Ce produit est obtenu par la réaction de l'hydroxyde de calcium en solution dans l'eau avec du soufre et un surfactant. La molécule obtenue de dimension variable est une association entre un atome de calcium et plusieurs atomes de soufre (CaS<sub>x</sub> où x est variable entre 2 et 7). D'autres sous-produits sont présents dans les mélanges. La bouillie était traditionnellement fabriquée à la ferme, mais les formulations commerciales standardisées sont préférables.

La bouillie soufrée (1851, Versailles, France) est le tout premier pesticide synthétique (fabriqué par l'homme), mais est néanmoins admissible en production biologique. Il est utilisé à la fois comme traitement insecticide au stade dormant (psylle du poirier, pucerons, cochenille), comme acaricide, bactéricide, agent éclaircissant et comme fongicide. Son utilité comme fongicide est connue depuis plus d'un siècle<sup>29</sup>. Jusqu'à l'arrivée du [bicarbonate de potassium](#), la bouillie soufrée était le seul fongicide approuvé en agriculture biologique qui pouvait être appliqué pour réprimer la tavelure comme traitement en post infection. Pour la tavelure, la bouillie soufrée serait moins efficace pour protéger les fruits que les feuilles (Karl Schloffer, comm. pers.) La chaux soufrée est très efficace contre le complexe suie-moucheture<sup>30</sup> et le blanc. Cependant, la bouillie n'est pas efficace contre la rouille et peut aggraver les pourritures de fruits (ex. : pourriture amère)<sup>30</sup>. La bouillie est alcaline (pH > 11) et est donc incompatible en mélange avec la plupart des pesticides.

La bouillie soufrée est beaucoup plus efficace comme fongicide que le soufre élémentaire, mais est aussi beaucoup plus phytotoxique<sup>24</sup>.

L'utilisation régulière de la bouillie soufrée diminue les rendements en comparaison au soufre élémentaire. L'utilisation répétée de la bouillie soufrée à la dose homologuée est phytotoxique sur feuillage et peut causer une roussissure inacceptable sur certains cultivars (ex. : Gala, Jonagold, Golden<sup>23</sup>). Une partie des problèmes de phytotoxicité disparaît dans les traitements à volume faible<sup>24</sup>. De plus, la bouillie soufrée est efficace à partir de 5 L/ha et n'est pas phytotoxique à cette dose réduite. Contrairement aux indications de l'étiquette, la bouillie soufrée peut être utilisée sur feuillage humide, sauf pendant la période critique pour le roussissement ([fiche 108](#)). Le cultivar Red Delicious serait sensible à la bouillie soufrée, même en été.

- **Pour la tavelure du pommier :** Pour une même quantité de soufre, la bouillie soufrée est plus efficace que le soufre seul<sup>16</sup>. De plus, la bouillie soufrée est plus versatile que le soufre. La bouillie soufrée est efficace en protection<sup>26</sup>, pendant la période de germination et en post infection. Cependant, ce produit même à forte dose (15 L/ha) laisse passer plus de taches que les traitements conventionnels à faible dose appliqués aux mêmes dates<sup>26</sup>. À faible dose (5 L/ha), il est préférable de l'utiliser sur feuillage mouillée pendant la fenêtre de germination des spores. La bouillie soufrée est efficace jusqu'à 300 DH après le début de l'infection, mais la dose doit être augmentée à 14 L/ha. Son effet en post infection est aussi moindre que celui obtenu par les traitements conventionnels de post infection<sup>26</sup>. Le mélange de bicarbonate de potassium et de soufre est aussi efficace que la bouillie soufrée en post infection<sup>27,31</sup>.
- **Pour l'éclaircissage et le feu bactérien :** La « phytotoxicité » de la bouillie soufrée peut être utilisée avantageusement lors de l'éclaircissage pour brûler les fleurs après pollinisation et réduire les risques de feu bactérien. La dose d'éclaircissage est de 20 L/ha ou plus. L'ajout d'huile de poisson à la bouillie soufrée augmente l'effet d'éclaircissage (voir la fiche sur l'éclaircissage). L'huile de poisson peut être substituée par de l'huile minérale d'été. La bouillie soufrée est cependant incompatible avec le Blossom Protect et la séquence des traitements doit en tenir compte. Les traitements de bouillie soufrée sont habituellement appliqués avant le BLOSSOM PROTECT ([fiche 49](#)).



En été, la bouillie soufrée est efficace contre la suie-moucheture à une dose faible (7 L/ha) mais pas contre la pourriture noire<sup>32</sup>.

Note : Un dérivé de la bouillie soufrée appelé « soufre colloïdal » peut être fabriqué à la ferme en ajoutant simplement du sulfate de fer (500 g/ha) au réservoir contenant la bouillie soufrée commerciale. Cette variation créée par Tafradzhijski est très prisée en Europe de l'Est, mais n'a pas été retenue par la littérature américaine<sup>29</sup>. Le soufre colloïdal serait moins phytotoxique que la bouillie soufrée standard. Ce mélange serait légal dans la mesure où le fer est appliqué comme engrais foliaire.

- **Produits commerciaux :**

- **CHAUX SOUFRÉE** (polysulfure de calcium 22 % à 30 % selon la formulation) : La concentration en polysulfure varie selon les manufacturiers et la dose doit être ajustée en conséquence. Contrairement à tous les pesticides liquides dont la densité est proche de celle de l'eau, la densité de la chaux (bouillie) soufrée peut atteindre 1,27 kg/L selon les formulations. Il faut donc en tenir compte dans les calculs de conversion entre les recommandations en poids ou en volume.

#### Sels et autres molécules inorganiques simples

Plusieurs sels sont efficaces pour réprimer différentes maladies. Les sels peuvent agir par contact avec les agents pathogènes à la surface des plantes, mais aussi dans la plante. La cuticule des plantes est une barrière généralement efficace pour l'eau et prévient la déshydratation. Cependant, cette barrière n'est pas parfaite et les sels appliqués en solution sur les surfaces aériennes des plantes peuvent être absorbés (ex. : l'urée comme engrais foliaire). Le principe s'applique pour le calcium et d'autres éléments. Cette pénétration des sels est passive et résulte d'un processus physique simple. Les sels et l'eau passent lentement la barrière cuticulaire cireuse par des pores aqueux de dimension moléculaire<sup>1</sup>. Tant que la plante demeure mouillée ou que l'humidité relative de l'air reste au-dessus du point de déliquescence du sel (hygroscopicité), les sels continuent d'entrer dans la plante par cette voie. Il est possible de prédire la vitesse de pénétration du sel dans la plante par sa constante de déliquescence. Cependant, comme la pluie lessive également les sels, la quantité réellement absorbée par la plante est limitée par l'intensité de la pluie après le traitement. Des tensioactifs (surfactants) sont nécessaires pour maximiser le contact entre les sels et la cuticule et ainsi maximiser leur pénétration dans la plante.

**Carbonates :** Les carbonates (carbonate et bicarbonate (monohydrogéné)) sont des sels basiques très solubles qui n'ont aucune rémanence sur le feuillage dès qu'il pleut. De plus, les carbonates ont une efficacité généralement assez faible contre les champignons. Par exemple, les carbonates peuvent inhiber partiellement la germination des spores de la tavelure, mais seulement à des doses très élevées (ex. :  $K_2CO_3$  (9 g/L)<sup>33</sup>). Cependant, les carbonates sont en partie absorbés par la cuticule<sup>2</sup> et ont donc une efficacité en post infection. Quand les carbonates sont bien synchronisés en post infection et qu'ils peuvent agir sans être lessivés, ils sont efficaces contre la tavelure du pommier. Ils sont aussi connus pour leur efficacité à réprimer le blanc dans plusieurs cultures. Le carbonate de calcium ( $CaCO_3$ , calcaire, ou craie non soluble) n'a pas d'effet utile contre la tavelure<sup>34</sup>.

Selon la fréquence d'utilisation et à dose élevée (ex. : 10 kg/ha), les carbonates peuvent provoquer une chlorose (jaunissement) du feuillage. Les nombreuses formulations commerciales de carbonates dans le monde (ARMICARB, ASTRAL, BI-CARB, KALIGREEN, OMNI PROTECT, TUI ECO-FUNGICIDE, VITISAN) sont souvent plus efficaces que le bicarbonate pur contre la tavelure<sup>28</sup>, mais peuvent être plus phytotoxiques que la matière active utilisée seule<sup>35</sup>.

- **Bicarbonate de potassium** : De tous les carbonates (calcium, sodium<sup>9</sup>, ammonium<sup>9</sup>,  $K_2CO_3$ , etc.), le bicarbonate de potassium ( $KHCO_3$ ) a été identifié comme le plus efficace<sup>28</sup> et le plus utile en pomiculture. En plus de l'effet fongicide du bicarbonate, l'apport de potassium contribue aussi à la répression de plusieurs maladies.

Ne confondez pas le carbonate (potasse, pearl ash, potash,  $K_2CO_3$ ) et le bicarbonate ( $KHCO_3$ ) de potassium. Le carbonate de potassium (potasse) est un engrais fréquemment appliqué au sol où il est sans effet sur la tavelure<sup>36</sup>. Pour des traitements foliaires, le carbonate est efficace<sup>37</sup>, mais les quantités requises le rendent inabordable et l'apport de potassium serait excessif. La conversion du carbonate (pH = 11,4<sup>33</sup>) en bicarbonate (pH = 8,4) est facile en acidifiant la solution, mais seul le bicarbonate avec une étiquette réglementaire est homologué contre la tavelure.

Le bicarbonate de potassium est souvent vendu comme engrais foliaire avec la formulation 0-0-47 et comme ingrédient dans l'industrie alimentaire. Le 0-0-47 et le bicarbonate de potassium alimentaire sont identiques au produit homologué, mais ne sont pas permis pour lutter contre la tavelure sans l'étiquette réglementaire de l'ARLA.

Le bicarbonate de potassium est utilisé en Europe en pomiculture depuis plus de dix ans pour réprimer la tavelure et d'autres maladies. Le bicarbonate est largement utilisé en production biologique puisque ce produit est non toxique, peu coûteux et efficace pour les traitements en post infection. En plus de la tavelure, le bicarbonate est efficace pour réprimer le blanc et le complexe suie-moucheture en été. À dose élevée (> 15 kg/ha) et avec des applications répétées, le bicarbonate peut aussi aider au contrôle de la charge fruitière<sup>38</sup>. Son action hygroscopique assècherait les stigmates et empêcherait la germination du pollen.

**Pour la tavelure du pommier** : Au laboratoire, les applications à n'importe quel moment du bicarbonate de potassium sont efficaces contre la tavelure<sup>28</sup>. En pratique, la pluie lessive rapidement le bicarbonate et il doit donc être appliqué après l'arrivée des spores pour être utile. Le bicarbonate peut être utilisé seul pendant la germination des spores ou en post infection autant sur feuillage sec<sup>9,39</sup> que sur feuillage mouillé. Cependant, la couverture peut être améliorée lors des applications sur feuillage mouillé. Comme le bicarbonate de potassium est hygroscopique<sup>40</sup> (déliquescent), son absorption par la feuille continue après le séchage. Pour pallier la tendance au lessivage et augmenter l'efficacité, le

bicarbonate de potassium est souvent appliqué en mélange avec du soufre élémentaire ([fiche 52](#)) ou vendu formulé pour améliorer sa rémanence et son efficacité. D'autres mélanges sont possibles<sup>9,41</sup>, mais doivent être validés avant l'emploi à grande échelle. Par exemple, le mélange (1:1, ex. : 4 kg/ha + 4 L/ha) bicarbonate et d'huile minérale horticole d'été est intéressant (mais sans ajouter de soufre). Lorsque la dose de bicarbonate est plus élevée, l'huile en mélange réduit les risques de phytotoxicité<sup>9</sup>. Cependant, l'utilisation d'huile peut interférer avec vos autres traitements. L'huile végétale n'améliore pas l'efficacité du bicarbonate<sup>28</sup>.

Une fiche ([Le bicarbonate et RIMpro](#)) a été publiée pour aider à bien cibler les traitements.

Restrictions : Ne pas mélanger le bicarbonate avec des agents mouillants non testés ou homologués, des produits ayant des formulations EC ou des produits à base de cuivre liquide. Quand les conditions sont propices à la roussissure des fruits, le bicarbonate peut augmenter les symptômes, notamment en présence de résidus de cuivre. Le mélange de bicarbonate et de cuivre réduit l'adhérence du cuivre<sup>42</sup>.

Ne pas modifier le pH de la solution. Une partie de l'efficacité du bicarbonate provient de son pH élevé (pH > 8,4)<sup>43</sup>. L'acidification de la solution entraîne automatiquement une diminution de l'efficacité. Le bicarbonate de potassium est incompatible en mélange avec le chlorure de calcium (voir la fiche sur la fertilisation). La recommandation actuelle est de laisser un délai de cinq jours entre les applications de bicarbonate de potassium et de chlorure de calcium.

Le bicarbonate de potassium est stable et peut être stocké pendant plusieurs années dans un contenant fermé. Cependant, l'exposition prolongée à une température supérieure à 25 °C et à une humidité relative élevée pourrait dégrader le produit et conduire à une libération graduelle de CO<sub>2</sub> et la formation de carbonate, comme c'est le cas pour le bicarbonate de sodium<sup>40</sup>.

Selon les pays, la dose usuelle de traitement pour le bicarbonate de potassium est de 3 à 9 kg/ha selon la taille des arbres et l'efficacité est fonction de la dose<sup>9</sup>. Dans la plupart des vergers, 4-5 kg/ha suffisent. Cependant, comme la dose homologuée au Canada est déjà très faible, ne coupez pas la dose. Aucun ajustement de dose (ex. : TRV) à la baisse n'est possible. Le bicarbonate a été testé avec succès dans les volumes de bouillie réduit (ex. : 300 L/ha<sup>8</sup>).

### **Produits commerciaux :**

- **BICARBONATE DE POTASSIUM 100 %** : Une homologation de bicarbonate de potassium alimentaire « générique » a été obtenue au Québec à l'automne 2016 par Naturpac (coopérative de Deux-Montagnes). (Numéro 32451).

- **SIROCCO ou MILSTOP** : Une formulation américaine de bicarbonate vendue au Canada jusqu'à 2021. Non disponible en 2022.

### Autres sels :

- **Hydroxyde de calcium** : La chaux hydratée (chaux éteinte, slaked lime) sous forme de suspension (lait de chaux) a un effet reconnu contre la tavelure<sup>37,42,44</sup>, mais n'a pas d'efficacité contre le blanc<sup>15</sup>. À concentration égale, l'efficacité contre la tavelure au laboratoire est supérieure aux autres fongicides alcalins (bicarbonate<sup>33</sup>, chaux soufrée). Certains producteurs commerciaux (Australie, Nouvelle-Zélande) utilisent régulièrement la chaux comme traitement fongicide foliaire contre la tavelure<sup>45</sup>. Ce choix est possible quand la pression de la maladie est faible. Pendant la période des infections primaires, la chaux est appliquée comme le bicarbonate en traitements foliaires (jusqu'à 14 kg/ha selon la dimension des arbres) pour des traitements en post infection. Une solution saturée ne suffit pas pour obtenir l'effet fongicide, il faut une suspension assez concentrée pour laisser un dépôt insoluble (lait de chaux). Une partie de l'efficacité est liée au pH élevé (pH > 12,4). La chaux est rapidement convertie en carbonate de calcium (inefficace) et ne peut donc pas être appliquée en protection<sup>33</sup> et donc des traitements non dirigés (type calendrier) ne sont pas assez efficaces<sup>15,45</sup>, même avec un taux d'application élevé (30 kg/ha<sup>7</sup>). Contrairement à la bouillie soufrée, la chaux n'est pas phytotoxique<sup>34</sup> et ne cause pas de roussissure<sup>15</sup>. Le dépôt blanc laissé sur les fruits n'affecte pas la coloration<sup>7,15</sup> et peut même prévenir l'insolation<sup>7</sup>. Cependant le résidu doit parfois être lavé à la récolte. L'agitation en cuve est importante pour maintenir la chaux en suspension. Attention : La chaux est corrosive et peut abîmer certaines pompes (ex. : pompe à piston).
- Mélanges :  
La chaux est compatible en mélange avec le cuivre<sup>15</sup>, mais ce mélange est moins efficace que d'autres combinaisons (ex. : soufre + cuivre). Le mélange de chaux et d'huile est inefficace<sup>41</sup>. Comme la chaux est un engrais son statut légal est incertain pour un usage fongicide<sup>34</sup>. **La combinaison de chaux éteinte et de la bouillie soufrée aurait un effet synergique contre les maladies, notamment celles causées par *Alternaria*<sup>46</sup>.**
- **Chlorure de calcium** : Le chlorure de calcium n'a pas d'effet fongicide (du moins pour la tavelure<sup>33</sup>) ou bactéricide direct. Cependant, ce produit exerce différents effets bénéfiques pour lutter contre les maladies. Par exemple, lorsqu'il est utilisé pour l'éclaircissage<sup>47</sup> durant la fleur, le chlorure de calcium réduit indirectement les risques d'infection du feu bactérien. Comme engrais foliaire, le chlorure de calcium réprime en partie la tavelure (feuilles et fruits)<sup>48</sup>, le blanc, la suie-moucheture et la pourriture amère. Les apports répétés de chlorure de calcium diminuent les risques de point amer (désordre physiologique), mais aussi les risques de pourritures en entrepôt (gloeosporioses). Le trempage des fruits après récolte dans le chlorure de calcium est également bénéfique. La plupart des autres formulations de calcium en été (ex. : nitrates<sup>48</sup>, chélatés), n'ont pas ces bénéfices et peuvent même empirer les problèmes de maladie (feu bactérien, pourritures d'entrepôt) et des problèmes physiologiques comme le point liégeux<sup>49</sup>. Les applications de nitrate de calcium en été peuvent aussi contribuer à l'augmentation des problèmes de cicadelles, pucerons, acariens, tordeuses, etc. Voir la fiche fertilisation pour une stratégie de fertilisation azotée efficace. Les mélanges de calcium avec les fongicides usuels (ex. : Captan, Sovran) diminuent l'absorption du calcium<sup>50</sup> et les adjuvants compris dans ces fongicides ne corrigent pas le problème. Le

chlorure de calcium est incompatible avec le bicarbonate de potassium. Le chlorure de calcium est recommandé en mélange avec le bore (Solubor) et augmente l'efficacité du bore<sup>51</sup>. (Voir la fiche fertilisation et phytoprotection.) Pour augmenter l'efficacité, le chlorure de calcium peut être mélangé à un agent mouillant pour réduire la tension de surface. La pénétration accélérée du calcium mélangé à l'agent mouillant permet notamment d'éviter le lessivage<sup>52</sup>. Cependant, évitez les conditions qui favorisent une trop grande absorption de calcium qui peuvent mener à une phytotoxicité. Les produits à base d'alkyls polyglucoside<sup>53</sup> sont à privilégier (voir tensioactifs). Le tensioactif Silwet L77 (organosilicone) est aussi efficace<sup>48</sup>, de même que l'huile de canola<sup>54</sup>.

### Autres molécules inorganiques simples :

- **Urée** : L'urée inhibe la reproduction de la tavelure dans les feuilles de litière et a donc un effet « fongicide » (voir la [fiche 101](#)). L'urée appliquée comme engrais foliaire au printemps inhibe aussi la tavelure (voir la fiche fertilisation et phytoprotection). Les traitements immédiatement avant la pluie sont les plus efficaces.
- **Silicium ( $K_2SiO_3$ , silicate de potassium)** : Le silicium en solution est partiellement efficace contre le blanc et la tavelure du pommier<sup>55</sup>, notamment lorsque les traitements sont dirigés pendant la germination du champignon<sup>56</sup>. Le silicate n'est pas plus efficace en mélange avec le bicarbonate de potassium<sup>57</sup> (confirmé par Fibl en 2021, comm. pers.)
  - Silicate de potassium seul (2,6 kg/ha) (efficacité moyenne), parfois inefficace<sup>16,58</sup>.
  - Bicarbonate de potassium (B2K) (2,5 kg/ha + Silicate de potassium (0,5 kg/ha actif)<sup>56</sup> (efficacité similaire au mélange B2K (5 kg/ha) + soufre (2 kg/ha) ).

Le silicate en solution a un pH élevé et est incompatible avec plusieurs produits. Le silicate de potassium est utilisé dans l'industrie alimentaire comme additif (E560) pour ajuster le pH.

Tensioactifs et autres adjuvants (surfactants, agents mouillants) (en anglais : spreader/sticker)

Les adjuvants ont une variété d'effets, mais sont surtout utilisés pour faciliter la répartition de la bouillie de pulvérisation et contrôler la mousse (tensioactifs), « coller » le produit en place (adsorption), faciliter la pénétration dans la plante (absorption), ou simplement ajuster le pH. Ils sont souvent intégrés comme additifs aux formulations commerciales, mais il est également possible d'en ajouter lors des traitements. Certains manufacturiers en font la promotion parce qu'ils peuvent augmenter l'efficacité des traitements. Les adjuvants n'ont en général pas d'effet direct sur les maladies, mais leur effet indirect sur la répartition et l'adsorption des gouttelettes peut être appréciable dans la gestion des maladies. Certains produits ont aussi parfois un effet direct sur les spores, notamment pour lutter contre la tavelure, mais cette efficacité est relativement faible.

Les adjuvants tensioactifs (surfactants) réduisent la tension de surface, ce qui a pour effet d'écraser les gouttes et donc d'augmenter la surface qu'elles occupent. La bouillie prend

plus la forme d'un film d'eau que de gouttes individuelles. C'est l'effet « mouillant ». Leur usage est plus important avec les buses à grosses gouttes. Les tensioactifs sont catégorisés selon leur charge ou polarité (ioniques, ou non). Les agents anti mousse (ex. : diméthylpolysiloxane) sont souvent intégrés aux formulations des tensioactifs.

Certains adjuvants ont aussi une propriété « collante » (sticker) qui limitent le lessivage par la pluie<sup>59</sup>, les pertes par évaporation, ou par le soleil (photodégradation). Finalement, certains adjuvants sont à la fois mouillants et collants. Cependant, les meilleurs agents collant (ex. : latex et résines) ne sont pas aussi efficaces comme agents mouillants. Même si l'idée de « coller » un fongicide peut sembler intéressante, l'utilité pour des maladies comme la tavelure et le blanc est limitée puisque la durée de protection est plus souvent limitée par la croissance des feuilles que par le lessivage par la pluie.

D'autres adjuvants sont conçus pour réduire la dérive en augmentant la viscosité et le diamètre des gouttelettes. Comme ces produits peuvent altérer la répartition des gouttelettes et nuire à l'efficacité de vos traitements, il est préférable d'adopter d'autres méthodes de réduction de la dérive.

Malgré leur potentiel, les adjuvants ne sont pas toujours utiles et peuvent même être responsables de réactions phytotoxiques. Mélanger des adjuvants avec des pesticides qui en contiennent déjà peut avoir des effets parfois imprévisibles.

Par exemple, les produits conçus pour abaisser le pH (ex. : LI-700) peuvent augmenter l'efficacité des fongicides comme le Captan lorsque l'eau est alcaline, mais neutralisent l'effet des produits comme le bicarbonate de potassium et peuvent augmenter l'effet phytotoxique des produits comme le cuivre. Certains tensioactifs non ioniques éthoxylés (ethoxylated surfactants) (ex. : Agral, Enhance, Ag-Surf) peuvent nuire à l'absorption du calcium<sup>50</sup> ou modifier la couche cireuse et provoquer une phytotoxicité<sup>60</sup> ou une augmentation des maladies. Finalement, les adjuvants doivent être homologués pour la culture. Le choix de l'adjuvant est donc important.

### **Produits commerciaux (ou ingrédient générique) :**

- **Xiameter/Silwet L77** (organosilicone) (Stilwet) : Facilite la pénétration des engrais. Sécuritaire en pomiculture<sup>48</sup>. Augmente l'effet des insecticides et fongicides<sup>61</sup>, mais n'a pas d'effet direct sur la tavelure<sup>48</sup>. Fonctionne pour des solutions à pH élevé<sup>62</sup> et serait donc optimal en mélange avec le bicarbonate de potassium (mais non testé à notre connaissance).
- **Glucopon et Plantacare**<sup>33</sup> (250 ppm) : Ils peuvent inhiber la germination des spores et la croissance du mycelium de la tavelure<sup>33</sup>. C'est probablement le cas des autres membres de cette famille de tensioactifs (polyglycoside, APG ou Alkyl polysaccharide surfactant) (APS). Ces produits (CAS 68515-73-1) sont sur la liste d'exemption de l'EPA parce que sécuritaires sur les aliments (§ 180.910). Ces produits sont sécuritaires pour la culture et pour l'environnement.
- **Nu-Film-P** (0,1 %, ex. : 0,3 L/ha) : Produit à base de terpène. En mélange avec du cuivre ou des fongicides à base de soufre, peut contribuer à une réduction de la tavelure<sup>63</sup>.

- **Liberate** : Tensioactif à base de lécithine de soya. Effet neutre sur le pH et n'affecte pas la cuticule.
- **LI-700** : Effet acidifiant. Augmente l'effet fongicide du Captan<sup>64</sup> mais diminue l'efficacité de la Kasumin.
- **Pod-Stik (Max-Bond)** : Agent collant à base de latex synthétique. Effet neutre sur le pH. Augmente l'effet fongicide du Captan<sup>64</sup>.
- **Huile de canola** : Augmente l'étalement des gouttelettes de pulvérisation, ce qui favorise une plus grande surface de contact et une plus grande absorption du calcium<sup>54</sup>.
- **Lait écrémé en poudre** : (0,05 % m/v de bouillie, ex. : 50 g par 100 L) Agent collant. Augmente considérablement la rétention de la bouillie pesticide<sup>65</sup>.
- **Regulaid** : Couramment utilisé aux USA pour augmenter l'efficacité de la streptomycine, mais non homologué au Canada.

### Fongicides de contact multisites

Les fongicides de contact homologués en pomiculture sont issus de deux grands groupes de fongicides (Dithiocarbamates et Dicarboximides) développés il y a une cinquantaine d'années et le fluazinam (Pyridinamine), breveté il y a un peu plus de vingt ans. Les quinones, qui ne sont plus homologués au Canada, sont présentés dans la liste du fait de leur importance historique et leur utilisation actuelle en pomiculture dans la plupart des pays exportateurs de pommes.

Tous les produits issus de ces familles sont des génériques qui ne sont plus protégés par brevet. Ils partagent une efficacité contre une gamme variée de maladies, incluant la tavelure et le complexe suie-moucheture, mais aucun n'est très efficace contre le blanc du pommier. Ces produits agissent surtout par contact. C'est à dire qu'ils doivent être appliqués avant l'arrivée des spores du champignon visé ou pendant leur germination puisqu'ils ont une efficacité limitée en post infection. À l'exception du fluazinam, ces produits n'adhèrent qu'assez peu à la cuticule des feuilles et ne sont pas absorbés. Ils sont donc lessivés graduellement par les pluies. Vu leurs modes d'actions complexes, ils sont rarement sujets à la résistance et la rotation entre les familles de fongicides de contact ou leur mélange n'est donc pas utile à cet égard. Malgré leurs similitudes, les différents produits ont des particularités propres dont il faut tenir compte dans le choix des produits à traiter.

#### Dithiocarbamates

Historiquement, les dithiocarbamates ont remplacé le soufre et le cuivre parce qu'ils étaient actifs à des doses moindres et moins phytotoxiques. En plus des maladies réprimées par tous les fongicides de contact, les dithiocarbamates sont efficaces contre la tache ocellée et d'autres maladies mineures. Aux États-Unis, les dithiocarbamates sont surtout prisés pour leur efficacité contre la rouille, une maladie quasi absente au Québec. Aucun cas de résistance n'a jamais été rapporté contre les dithiocarbamates. L'avantage majeur des dithiocarbamates est leur compatibilité en mélange avec la plupart des autres pesticides, les régulateurs de croissance et les engrais foliaires alors que les autres

familles de produits ont souvent des restrictions d'usage importantes pour éviter la phytotoxicité. Par exemple, les dithiocarbamates sont compatibles en mélange avec l'huile.

Par ailleurs, les dithiocarbamates ont tous des effets toxiques à des degrés divers contre les prédateurs d'acariens dont il faut tenir compte en PFI. Aucun fongicide de cette famille n'est admis dans les cahiers de charge de PFI de nombreux pays.

Le premier dithiocarbamate à avoir été homologué est le THIRAM. Par la suite, différentes variations ont été découvertes comme le FERBAM et le ZIRAM. Plus récemment dans les années 1960, un sous-groupe (EBDC) comprenant le mancozèbe, (une combinaison de manèbe et de zineb) et le métirame ont été homologué. Chacun se distinguait par les ions (fer, zinc, etc.) coordonnés à la portion dithiocarbamate qui était commune à tous les produits. Les différents ions conféraient aux produits des propriétés particulières et servaient d'engrais foliaire. Les éléments présents dans chaque produit sont indiqués dans la liste.

Le sous groupe des EBDC partage une même toxicologie incluant leur principal produit de décomposition, l'éthylènthiourée (ETU). Conséquemment, les mêmes restrictions s'appliquent aux EBDC homologués, incluant un délai d'usage de 45 jours avant récolte. Certaines craintes quant à la toxicité du ETU font en sorte que l'homologation du métirame a été entièrement révoquée et que celle du mancozèbe est en révision.

### **Produits commerciaux :**

- **Produits retirés :**

- **THIRAM 65WP, GRANUFLO T** (thirame) : Produit utilisé principalement en mélange avec une peinture au latex pour la prévention des chancres sur le tronc des pommiers. Utilisé comme répulsif contre le campagnol, le lapin et le chevreuil avec des résultats variables. Le **THIRAM** a été remplacé comme fongicide par d'autres dithiocarbamates parce qu'environ 25 % de la population blanche y est allergique. Le **THIRAM** n'est plus homologué dans la pomme (décision de l'ARLA RVD2018-38).
- **FERBAM 76WDG** (76 % ferbame) : (ions fer) Le FERBAM est le premier dithiocarbamate à avoir été homologué pour réprimer la tavelure du pommier. Le fer contenu dans ce produit laissait à la récolte des traces noirâtres sur les fruits. Le **FERBAM** n'est plus homologué dans la pomme (décision de l'ARLA RVD2018-37).
- **ZIRAM, ZIRAM GRANUFLO** (zirame) : (ions zinc) Les fongicides avec la marque commerciale **ZIRAM** sont à base du dithiocarbamate « zirame », qui ne doit pas être confondu avec le zinèbe. Le zinèbe n'a pas été homologué au Canada. Le **ZIRAM** a seulement été homologué sur la pomme en Colombie-Britannique. Le **ZIRAM** est très facilement lessivé par la pluie et a donc une faible capacité résiduelle par rapport aux autres EBDC. Le **ZIRAM** n'est plus homologué dans la pomme (décision de l'ARLA RVD2018-39).
- **POLYRAM DF** (métirame) : (ions zinc). Produit banni en 2020. Cet EBDC aurait moins d'effets toxiques sur les prédateurs d'acariens. En comparaison aux



autres fongicides de contact, les fruits traités au **POLYRAM** ont souvent moins de roussissure.

- **Produits en usage courant (2020) :**
  - **DITHANE, FORTUNA, KINGPIN, MANZATE, PENNCOZEB** (75 % mancozèbe) : (ions zinc + manganèse) Le mancozèbe est le EBDC le plus utilisé en pomiculture. À la dose usuelle (4,5 kg/ha), il est moins efficace que le captane (3 kg/ha) pour réprimer la tavelure, mais aussi moins cher. La matière active du Captan est environ 2x plus efficace que le mancozèbe. Lorsque les doses sont ajustées de façon à rendre leur prix égal, l'efficacité des deux produits est similaire. Baisser la dose a une incidence immédiate sur le nombre de taches observée lorsque les conditions sont favorables à la maladie. Des doses plus faibles de mancozèbe (ex. : 3 kg/ha) sont parfois recommandées en mélange avec d'autres produits pour augmenter l'efficacité<sup>66</sup>. Les étiquettes mentionnent une possible phytotoxicité sur Golden.

#### Phthalimides

Classe de fongicides variés issus du groupe des dicarboximides. Dans cette classe, différents fongicides ont été utilisés en pomiculture, dont le DIFOLATAN (captafol) qui a été retiré en 1988. Deux molécules de ce groupe sont encore homologuées au Canada en pomiculture, soit le captane et le folpet. Le CAPTAN et le FOLPAN (folpet) sont très similaires. Le renouvellement de l'homologation du Captan (2018) et du Folpet (2020) ont restreint les possibilités d'usage pour ces deux fongicides.

#### Produits commerciaux :

- **CAPTAN 80WP, SUPRA CAPTAN 80 WDG, MAESTRO, SHARDA CAPTAN 48SC** (captane) : Le captane est très efficace contre une gamme variée de maladies sur le pommier. Outre la tavelure, il est efficace contre le complexe suie-moucheture et la tache ocellée. Par contre, le captane est légèrement moins efficace que les EBDC pour réprimer le complexe suie-moucheture. Le captane est aussi homologué contre certaines maladies mineures rarement présentes au Québec et qui ne sont pas couvertes dans ce guide (ex. : tache de Brooks). Pour la tavelure, le Captan est utile en protection, pendant la fenêtre de germination des spores, mais peut aussi stopper la croissance du champignon sous la cuticule<sup>23</sup> dans les heures suivant l'infection. Ce produit possède d'excellentes propriétés de redistribution sur le feuillage et protège bien les fruits. Par contre, le captane est régulièrement impliqué dans des problèmes de phytotoxicité quand les conditions climatiques et certains mélanges favorisent son absorption<sup>67</sup>. Le Captan appliqué seul n'est à peu près jamais problématique<sup>67</sup>. Le mélange d'huile et de captane est très phytotoxique et ne doit pas être utilisé. Les applications de captane sont aussi à éviter dans les sept à dix jours précédant ou suivant une application d'huile. Les agents mouillants sont à éviter en mélange avec le captane à moins de l'avoir testé. Le mélange soufre et captane ne doit pas être utilisé sur les cultivars reconnus sensibles au soufre. Le guide de traitements de l'université Cornell recommande d'éviter les mélanges avec captane dans les semaines suivant la floraison parce que les réactions phytotoxiques pour ce produit sont de plus en plus difficiles à prédire. Augmenter le nombre de produits en mélange augmente certainement la probabilité que le mélange favorisera l'absorption du captane qui mènera à une réaction phytotoxique<sup>67</sup>.

Des conditions nuageuses prolongées qui nuisent à la formation de la cuticule avant une application de captane peuvent parfois suffire pour provoquer des symptômes de phytotoxicité<sup>67</sup>, notamment des taches foliaires semblables à la tache ocellée ([fiche 110](#)) (captan spot). À l'inverse, le captane peut aussi parfois provoquer des symptômes de phytotoxicité par temps chaud (> 29 °C)<sup>25</sup>. Les bouillies avec un pH élevé (ex. : bouillie soufrée, bicarbonate de potassium) peuvent réduire l'efficacité du captane.

La dose homologuée en Amérique jusqu'en 2020 (3,75 kg/ha de Captan 80 %) est très élevée par rapport à la dose usuelle en Nouvelle-Zélande (1,5 kg/ha<sup>7</sup>), la dose homologuée en Europe (1,9 kg/ha en France) ou même la dose jugée « normale » en Angleterre en 1969 (2,75 kg/ha)<sup>68</sup>. Une dose élevée n'est pas nécessaire pour être efficace. La dose homologuée à partir de 2020 au Canada (3 kg/ha de Captan 80 %) est encore plus élevée que nécessaire.

- **FOLPAN** (Folpet) : Ce fongicide est homologué au Canada contre les mêmes maladies que le captane et les deux produits sont très similaires. Le FOLPAN est aussi homologué contre la tache alternarienne, mais le diagnostic de cette maladie est ambigu et des traitements ne sont pas nécessairement requis. Comme le Captan, le Folpan est associé à différents problèmes de roussissure. Le folpet a été discontinué aux USA notamment à cause de ses effets sur la santé humaine<sup>69</sup>. Des données récentes<sup>70</sup> et des modifications à la réglementation internationale sur les résidus permettent l'exportation de fruits traités au FOLPAN dans les pays où cette molécule est interdite, dans la mesure où la limite de résidus est respectée. D'un point de vue agronomique, ce produit pourrait remplacer le Captan dans les parcelles où des restrictions limitent les traitements. Par contre, il faut une dose de matière active 2,1x plus élevée de Folpan pour obtenir la même efficacité que le Captan (2,6 kg/ha de Folpan 80WDG = 1,2 kg/ha de Captan Supra 80). Un maximum de six applications de Folpan est possible par année à raison de 3 kg/ha de matière active (3,75 kg/ha de formulation).

#### Pyridinamines (pyridine)<sup>60,61</sup>

Classe de fongicide représentée dans la pomme avec un seul produit.

**ALLEGRO 500F** (40 % fluazinam) : Le fluazinam est un fongicide développé dans les années 1980. Fongicide à large spectre qui inhibe la germination et la croissance mycéliale des spores. Malgré son effet sur le mycélium, le fluazinam ne serait efficace qu'en protection<sup>71</sup>. Cependant des tests en serres ont démontré une efficacité en post infection contre la tavelure<sup>73</sup>. Contrairement aux autres fongicides de contact, le fluazinam ne serait pas lessivé par la pluie. Le renouvellement des traitements est donc en fonction de la croissance. Ce produit est homologué et efficace en prévention pour réprimer la tavelure du pommier<sup>74,75</sup>, le complexe suie-moucheture et des maladies mineures comme les rouilles, l'alternariose, la pourriture noire, les pourritures estivales (gloesporiose) et le Brooks spot (*Mycosphaerella pomi*). Par contre, son utilité pour les maladies mineures est limitée par le délai avant récolte de 28 jours.

Pour la tavelure, l'efficacité de la dose maximale homologuée de 1 L/ha (400 g actif par hectare) est similaire à celle obtenue avec une demi-dose de captane (1,9 kg/ha). De très bons résultats sont possibles avec 300 g ai/ha<sup>76</sup>. L'étiquette indique qu'un minimum de 1000 L/ha est requis pour la pulvérisation, mais cette recommandation n'est pas nécessaire et les traitements peuvent être faits à volume réduit comme pour les autres produits. Allegro est régulièrement utilisé à volume réduit lors des tests sur pommiers à l'IRDA. L'utilisation régulière d'**ALLEGRO** à la dose maximale réprime partiellement les populations d'acariens phytophages (tétranyque rouge, à deux points, ériophyide)<sup>71</sup>, mais n'aurait pas d'impact sur les prédateurs<sup>74</sup>. Le produit est incompatible avec les traitements d'huile. En PFI, le produit est classé rouge en lien avec l'indice santé alors qu'il est classé « à risques réduits » par l'ARLA.

#### Quinones

Cette vieille famille de fongicides comprend différents produits dont le dichlone (PHYGON) qui n'est plus homologué dans la pomme, mais qui comprend également le dithianon<sup>69</sup> (DELAN), encore largement autorisé en Europe<sup>77</sup> et ailleurs dans le monde mais jamais homologué en Amérique. Le DELAN est le fongicide multisite le plus utilisé en Europe. Très efficace contre la tavelure à 500 g d'ingrédients actifs par hectare<sup>76</sup>.

*NOTE : La liste est complète en date de publication de ce document. À chaque début de saison, le Réseau d'avertissements phytosanitaires (RAP) du pommier diffuse les ajouts et retraits de pesticides par le biais de communiqués. Consultez la [fiche 9](#) pour en savoir plus sur le RAP. Pour une information complète et à jour sur les pesticides, visitez le service en ligne d'information sur les pesticides du gouvernement du Québec (<http://www.sagepesticides.qc.ca>) et du Canada (<http://pr-rp.hc-sc.gc.ca/lr-re/index-fra.php>).*

*ATTENTION DOSES RÉDUITES : l'ARLA ne prend pas action contre ceux qui préconisent de telles pratiques, si elles n'entraînent pas de danger pour la santé ou la sécurité humaine ou pour l'environnement et qu'elles ne sont pas destinées à promouvoir la vente de produits antiparasitaires. Si toutefois l'utilisation de doses réduites ou adaptées devait entraîner des pertes pour les utilisateurs, les conseillers ou les organisations qui les recommandent pourraient être tenus responsables de leurs recommandations dans des actions civiles.*

#### Références

1. Schönherr J. Characterization of aqueous pores in plant cuticles and permeation of ionic solutes. J Exp Bot 2006;57:2471-91.
2. 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](http://www.actahort.org/books/594/594_5.htm).

3. Belanger RR. Soluble Silicon: Its Role in Crop and Disease Management of Greenhouse Crops. *Plant Dis* 1995;79:329.
4. Rosenberger D, Iungerman K. Tree fruit copper sprays - options, benefits, liabilities. Cornell university cooperative extension Northeast Tree Fruit 2012;16.
5. Tate KG, Manktelow DW, Walker JT, Stiefel H. Disease management in Hawkes Bay apple orchards converting to organic production. *N Z Plant Prot* 2000;53:1-6.
6. Yoder KS, Cochran, A.E., Royston WS, Kilmer SW. Test of coppers and biopesticides for the control of fire blight and apple scab on Gala apple, 2016. *Plant Dis Manag Rep* 2017;11:PF024.
7. Palmer JW, Davies SB, Shaw PW, Wünsche JN. Growth and fruit quality of 'Braeburn' apple (*Malus domestica*) trees as influenced by fungicide programmes suitable for organic production. *N Z J Crop Hortic Sci* 2003;31:169–177.
8. Jamar L, Pahaut B, Lateur M. A low input strategy for scab control in organic apple production. In: *Organic Fruit Conference 873 Internet 2008*.75–84. Disponible sur : [http://www.actahort.org/books/873/873\\_6.htm](http://www.actahort.org/books/873/873_6.htm).
9. Jamar L. Innovative strategies for the control of apple scab (*Venturia inaequalis* [Cke.] Wint.) in organic apple production. Université de Liège, 2011.
10. Lehnert R. Working with copper. *Good Fruit Grower*. 2013. Disponible sur : <https://www.goodfruit.com/working-with-copper/>.
11. Comité de protection des vergers. Manuel de pulvérisation du verger. Ministère de l'agriculture, Québec, 1957.
12. Yoder KS, Cochran AE, Royston WS, Kilmer SW. Fire blight blossom blight and fungal disease suppression and fruit finish effects by coppers and Blossom Protect, 2014. *Plant Dis Manag Rep* 2015;9:PF020.
13. Yoder KS, Cochran AE, Royston WS, Kilmer SW, Kowalski A. Fire blight blossom blight test on Idared apple, 2017. *Plant Dis Manag Rep* 2018;12:PF036.
14. Peter KA. Disease Update: Dealing with Fire Blight Infections. PennState Extension. 2018. Disponible sur : <https://extension.psu.edu/disease-update-dealing-with-fire-blight-infections>.
15. Beresford RM, Walker JTS, Spink MJ, Marshall RR, White V. Copper and slaked lime for the control of black spot and powdery mildew in apples. In: *Proceedings of the New Zealand Plant Protection Conference 1995*.83–88.
16. Jamar L, Lefrancq B, Fassotte C, Lateur M. A during-infection spray strategy using sulphur compounds, copper, silicon and a new formulation of potassium bicarbonate for primary scab control in organic apple production. *Eur J Plant Pathol Springer*, 2008;122:481-93.
17. Yoder KS, Cochran AE, Royston WS, Kilmer SW, Borden, M.A. L, Repass, J.K. Evaluation of shoot blight suppression, summer disease control, and fruit finish by post-bloom copper applications on Gala apple, 2015. *Plant Dis Manag Rep* 2016;10:PF008.
18. Cox KD, Villani SM, Ayer K, Tancos KA. Evaluation of bactericide and chemical regulator programs for the management of fire blight on 'Idared' apples in NY, 2015. *Plant Dis Manag Rep* 2016;10:PF014.
19. Cox KD, Ayer K, Kuehne S. Evaluation of bactericide programs for the management of fire blight on « Gala » apples in NY, 2016. *Plant Dis Manag Rep* 2017;11:PF003.
20. Yoder KS, Cochran AE, Royston WS, Kilmer SW, Borden, M.A. L, Repass, J.K. Shoot blight suppression, fruit finish, and summer disease control by Cueva and Double Nickel on Gala apple, 2013. *Plant Dis Manag Rep* 2014;8:PF023.

21. Yoder KS, Cochran AE, Royston WS, Kilmer SW. Shoot blight suppression, summer disease control, and fruit finish by post-bloom applications on Gala apple, 2014. *Plant Dis Manag Rep* 2015;9:PF018.
22. Parker KG, Fisher EG, Mills WD. Fire blight on pome fruits and its control. New York State College of Agriculture, 1956.
23. Lhoste J. Les fongicides. Paris: Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (ORSTOM), 1961.
24. Tweedy BG. Inorganic sulfur as a fungicide. In: *Residue Reviews* Springer, 1981:43-68.
25. Cowgill Jr WP, Oudamans P, Ward D, Rosenberger D. Not understanding phytotoxicity can damage your bottom line. *Fruit Notes* 2013;78:15-23.
26. Holb IJ, Jong PFD, Heijne B. Efficacy and phytotoxicity of lime sulphur in organic apple production. *Ann Appl Biol* 2003;142:225-33.
27. Holb IJ, Kunz S. Integrated control of apple scab and powdery mildew in an organic apple orchard by combining potassium carbonates with wettable sulfur, pruning, and cultivar susceptibility. *Plant Dis Am Phytopath Society*, 2016;100:1894–1905.
28. Jamar L, Lefrancq B, Lateur M. Control of apple scab (*Venturia inaequalis*) with bicarbonate salts under controlled environment. *J Plant Dis Prot* 2007;114:221–227.
29. Wallace E, Blodgett FM, Hesler LR. Studies of the fungicidal value of lime-sulfur preparations. Cornell University, 1911.
30. Lalancette N, Blaus L, Feldman P. Evaluation of Serenade Optimum and Lime-Sulfur for Disease Management in Organic Apple Orchards. *Fruit Notes* 2017;82:9-13.
31. Philion V, Joubert V. Use pattern and limits of potassium bicarbonate for apple scab control in Quebec orchards. *IOBC-WPRS Bull* 2015;110:199-212.
32. Rosenberger D, Cox K. Integration of OMRI-Approved Fungicides, Sanitation, and Cultural Controls for Managing Summer Diseases on Apples. 2010; Disponible sur : <https://ecommons.cornell.edu/handle/1813/42458>.
33. Schulze K, Schönherr J. Calcium hydroxide, potassium carbonate and alkyl polyglycosides prevent spore germination and kill germ tubes of apple scab (*Venturia inaequalis*)/Calciumhydroxid, Kaliumcarbonat und Alkylpolyglykoside verhindern die Sporenerkeimung und töten Keimschläuche von Apfelschorf (*Venturia inaequalis*) ab. *Z Für Pflanzenkrankh PflanzenschutzJournal Plant Dis Prot* 2003;36–45.
34. 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.
35. Kelderer M, Claudio C, Lardschneider E. Formulated and unformulated carbonates to control apple scab (*Venturia inaequalis*) on organic apple. In: Ecofruit Internet Fördergemeinschaft Ökologischer Obstbau eV (FÖKO), 2008.47–53. Disponible sur : <http://orgprints.org/13641/1/047-053.pdf>.
36. Hall FH. Bulletin: Number 140, Edition popular: Wood Ashes Not an Apple Scab Preventive. Agricultural Experiment Station, 1897.
37. Grimm-Wetzel P, Schönherr J. Erfolgreiche bekämpfung des apfelschorfs mit kalziumhydroxid. *Erwerbs-Obstbau Springer*, 2005;47:131–137.
38. Weibel FP, Lemcke B, Monzelio U, Giordano I, Kloss B. Successful Blossom Thinning and Crop Load Regulation for Organic Apple Growing with Potassium-bi-carbonate (Armcarb (R)): Results of Field Experiments over 3 Years and with 11 Cultivars. *Eur J Hortic Sci* 2012;77:145–153.
39. Kunz S, Hinze M. Assessment of biocontrol agents for their efficacy against apple scab. In: *Proceedings of the 16th International Conference on Organic Fruit Growing Internet*

2014. Disponible sur :  
[http://www.ecofruit.net/2014/9RP\\_Kunz\\_biocontrol\\_agents\\_p65-71.pdf](http://www.ecofruit.net/2014/9RP_Kunz_biocontrol_agents_p65-71.pdf).
40. Kuu W-Y, Chilamkurti R, Chen C. Effect of relative humidity and temperature on moisture sorption and stability of sodium bicarbonate powder. *Int J Pharm* 1998;166:167–175.
  41. Beresford RM, Wearing CH, Marshall RR, Shaw PW, Spink MJ, Wood PN. Slaked lime, baking soda and mineral oil for blackspot and powdery mildew control in apples. *Proc N Z Plant Prot Conf* 1996;49:106-13.
  42. Kunz S, Hinze M. Efficacy of biocontrol agents against apple scab in greenhouse trials. In: *Proceedings of the 17th International Conference on Organic Fruit-Growing Filderstadt: F u T Mueller-Bader Fördergemeinschaft Ökologischer Obstbau eV (FÖKO), 2016.25-31.*
  43. Philion V, Joubert V. Mise au point sur l'utilisation du bicarbonate de potassium pour lutter contre la tavelure du pommier. 2015. Report No.: IRDA-1-13-AD09. Disponible sur :  
[http://www.mapaq.gouv.qc.ca/SiteCollectionDocuments/Agroenvironnement/AD09\\_Rapport.pdf](http://www.mapaq.gouv.qc.ca/SiteCollectionDocuments/Agroenvironnement/AD09_Rapport.pdf).
  44. Grimm-Wetzel P, Schönherr J. Successful control of apple scab with hydrated lime. In: *Ecofruit Fördergemeinschaft Ökologischer Obstbau eV (FÖKO), 2006.83–86.*
  45. Washington WS, Villalta O, Appleby M. Control of pear scab with hydrated lime alone or in schedules with other fungicide sprays. *Crop Prot* 1998;17:569–580.
  46. Prechsl UE, Marschall K, Casera C, Kelderer M. In search of alternative approaches to reduce *Alternaria* leaf blotch and fruit spots of apple: Testing interactions between slaked lime and sulphur lime. In: *Ecofruit Fördergemeinschaft Ökologischer Obstbau eV (FÖKO), 2018.228-30.*
  47. Long GS. Calcium chloride fruit blossom thinning agent. 2002. Disponible sur :  
<http://www.google.com/patents/US6440901>.
  48. 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.
  49. 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.
  50. Schlegel TK, Schönherr J. Mixing calcium chloride with commercial fungicide formulations results in very slow penetration of calcium into apple fruits. *J Plant Nutr Soil Sci* 2004;167:357-62.
  51. 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.
  52. Grimm-Wetzel P, Schönherr J. Spritzungen mit Calciumchlorid erhöhen die Calcium- und reduzieren die Kaliumkonzentrationen der peripheren Schichten von Apfelfrüchten. *Erwerbs-Obstbau* 2007;49:75-83.
  53. Bai RQ, Schlegel TK, Schönherr J, Masinde PW. The effects of foliar applied  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  and  $\text{K}_2\text{CO}_3$  combined with the surfactants Glucopon and Plantacare on gas exchange of 1 year old apple (*Malus domestica* BORKH.) and broad bean (*Vicia faba* L.) leaves. *Sci Hortic* 2008;116:52–57.
  54. 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.
  55. Percival GC. Evaluation of Silicon Fertilizers and a Resistance Inducing Agent for Control of Apple and Pear Scab under Field Conditions. *Arboric Urban For* 2018;44.



56. Mitre V, Erzsébet B, Lukacs L, et al. Management of apple scab and powdery mildew using bicarbonate salts and other alternative organic products with fungicide effect in apple cultivars. *Not Bot Horti Agrobot Cluj-Napoca* 2018;46:115-21.
57. Mitre V, Mitre I, Sestras AF, Sestras RE. New products against apple scab and powdery mildew attack in organic apple production. *Not Bot Horti Agrobot Cluj-Napoca* 2010;38:234-8.
58. Creemers P, Van Laer S, Van Mechelen A, Vorstermans B, Hauke K. Evaluation of the users value of salts against apple scab and powdery mildew for fruit production. In: Ecofruit Internet Fördergemeinschaft Ökologischer Obstbau eV (FÖKO), 2008.76-81. Disponible sur : <http://orgprints.org/13648/1/076-081.pdf>.
59. Beckerman JL. Fruit Diseases: Using Adjuvants in Apple Disease Management. Purdue University Cooperative Extension Internet 2016; Disponible sur : <https://extension.purdue.edu/extmedia/BP/BP-198-W.pdf>.
60. Roy S, Conway WS, Buta JG, Watada AE, Sams CE, Wergin WP. Surfactants affect calcium uptake from postharvest treatment of « Golden delicious » apples. *J Am Soc Hortic Sci* 1996;121:1179-84.
61. Walker JTS, Shaw PW, Stevens PJG. Evaluation of Silwet L-77 as an adjuvant for sprays to control apple pests and diseases. *Proc NZ Plant Prot Conf* 1992;45:274-8.
62. Knoche M. Organosilicone surfactant performance in agricultural spray application: a review. *Weed Res* 1994;34:221-39.
63. Zimmer J, Benduhn B, Mayr U, Kunz S, Rank H. Strategy to reduce the investment of copper for control of apple scab in organic apple growing. In: Ecofruit Internet Fördergemeinschaft Ökologischer Obstbau eV (FÖKO), 2012.22–28. Disponible sur : <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20133110089>.
64. Abbott CP, Beckerman JL. Incorporating Adjuvants with Captan to Manage Common Apple Diseases. *Plant Dis* 2018;102:231–236.
65. Sup CH. Retention, Tenacity and Effect of Insecticides in the Fungicidal Control of Apple Bitter Rot. *Korean J Appl Entomol* 1970;9:75-80.
66. Aćimović SG, Meredith CL. Evaluation of SDHI and DMI fungicides in mix with surfactants and of new DMI revysol® for control of apple scab in the Hudson valley. *N Y Fruit Q* 2019;27.
67. Rosenberger D. The captan conundrum: scab control vs. phytotoxicity. *Scaffolds fruits journal* 2013;22:6-8.
68. Hislop EC, Cox TW. Effects of captan on the non-parasitic microflora of apple leaves. *Trans Br Mycol Soc* 1969;52:223–235.
69. Waxman MF. *The Agrochemical and Pesticides Safety Handbook*. 1 édition. Boca Raton: CRC Press, 1998.
70. Brancato A, Brocca D, Lentdecker CD, et al. Modification of the existing maximum residue levels for folpet in apples and pears. *EFSA J* 2017;15:e05041.
71. Draber W, Fujita T. *Rational approaches to structure, activity, and ecotoxicology of agrochemicals*. CRC Press, 1992.
72. Wood, Alan. *Compendium of Pesticide Common Names*. Disponible sur : <http://www.alanwood.net/pesticides/index.html>.
73. Battistini G, Finestrelli A, Brunelli A, Fiaccadori R. Evaluation of curative activity of old and recent fungicides on *Venturia inaequalis*. *Atti Giornate Fitopatol Chianciano Terme Siena* 8-11 Marzo 2016 Vol Secondo Alma Mater Studiorum, Università di Bologna, 2016;345-51.

74. Mattedi L, Forno F, Rizzi C, Forti D. Evaluation of the activity and the side effects on populations of predatory mite (Acarina, Phytoseiidae) of some fungicides for the control of apple scab (*Venturia inaequalis*)[*Malus pumila* Mill.-Trentino-Alto Adige]. Atti Delle Giornate Fitopatol Italy 1998;
75. Mattedi L, Forno F, Rizzi C, Forti D. Evaluation of the effectiveness of some fungicides to control apple scab (*Venturia inaequalis*)[*Malus pumila* Mill.-Trentino]. Atti Delle Giornate Fitopatol Italy 2002;
76. Bugiani R, Franceschelli F, Bevilacqua T, Antoniacci L, Rossi R. Efficacy evaluation of some fungicides for the control of apple scab [*Malus pumila* Mill.; Emilia-Romagna]. Atti Delle Giornate Fitopatol Italy 2006;
77. Le catalogue des produits phytopharmaceutiques et de leurs usages, des matières fertilisantes et des supports de culture autorisés en France. Disponible sur : <https://ephy.anses.fr/ppp/delan-wg>.

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.

Principaux partenaires de réalisation et commanditaires:

