

# Le **RAP**

RÉSEAU D'AVERTISSEMENTS PHYTOSANITAIRES

Leader en gestion intégrée  
des ennemis des cultures

## FICHE TECHNIQUE | GÉNÉRAL

### Le cuivre dans les cultures maraîchères

#### Origine, formes et caractéristiques des produits

Origine des différentes formes de cuivre « fixe »

C'est l'ion  $\text{Cu}^{2+}$  qui confère l'effet bactéricide et fongicide des produits cuivrés

Quantité d'ions cuivre appliqués

Caractéristiques des produits commerciaux cuivrés

#### Les pulvérisations

Facteurs clés pour optimiser l'efficacité des produits cuivrés quand on les applique

Comment éviter la phytotoxicité

Stratégies d'utilisation des produits cuivrés – À RETENIR!

Le cuivre et les biofongicides

#### Problématiques

Cas de résistance au cuivre

Risques pour l'environnement

Des besoins au niveau de la recherche : le cuivre n'y fait pas exception!

#### Introduction

L'utilisation du cuivre est pratique courante en production maraîchère. Il est utilisé dans plusieurs cultures, dont celles des cucurbitacées (concombres et courges, entre autres), des solanacées (tomates, poivrons, pommes de terre), des liliacées (oignons, poireaux), des crucifères (dont le brocoli) et des haricots. En production biologique, plusieurs produits commerciaux à base de cuivre sont homologués et font partie des options pour contrôler certains champignons et bactéries. Dans les cultures en régie conventionnelle, le nombre de formulations est plus élevé et ces produits sont principalement utilisés pour le contrôle des maladies bactériennes. Dans une même culture, selon le délai avant la récolte à respecter, qui varie entre 1 et 2 jours, différents produits à base de cuivre peuvent être utilisés. Toutefois, les applications de cuivre doivent être répétées et le résultat de ces applications sur les maladies peut être décevant. Aussi, il est important de bien comprendre comment les produits à base de cuivre fonctionnent et de connaître les conditions gagnantes qui augmentent leur efficacité lors des applications.

# Origine, formes et caractéristiques des produits

## Origine des différentes formes de cuivre « fixe »

Différents produits commerciaux cuivrés existent. Ils sont très nombreux aux États-Unis et en Europe. Le cuivre de ces produits peut être soluble ou « fixe » dans la bouille de pulvérisation, selon la forme de cuivre utilisée. Le sulfate de cuivre II pentahydraté est le seul cuivre à être soluble dans la bouille, indépendamment du pH. On retrouve ce cuivre sous différents noms commerciaux de fongicides vendus chez nos voisins américains, comme le **MASTERCOP** ou le **PHYTON 35**. Au Canada, seuls les types de cuivre « fixe » sont homologués. Peu solubles dans l'eau dont le pH est alcalin, ces formes de cuivre restent en suspension dans la bouillie de pulvérisation.



### Bon à savoir...

Pour remplir le pulvérisateur, selon la source de l'eau, le pH peut être acide ou alcalin.

Pour utiliser les produits cuivrés, l'eau devrait avoir un pH supérieur ou égal à 6,5 :

- Eau d'aqueduc : pH ≈ 7 à 10,5;
- Rivière, cours d'eau, lac : pH ≈ 7;
- Eau de pluie : pH ≈ 5 à 6,3. Augmenter le pH si vous utilisez l'eau d'un réservoir d'eau de pluie.

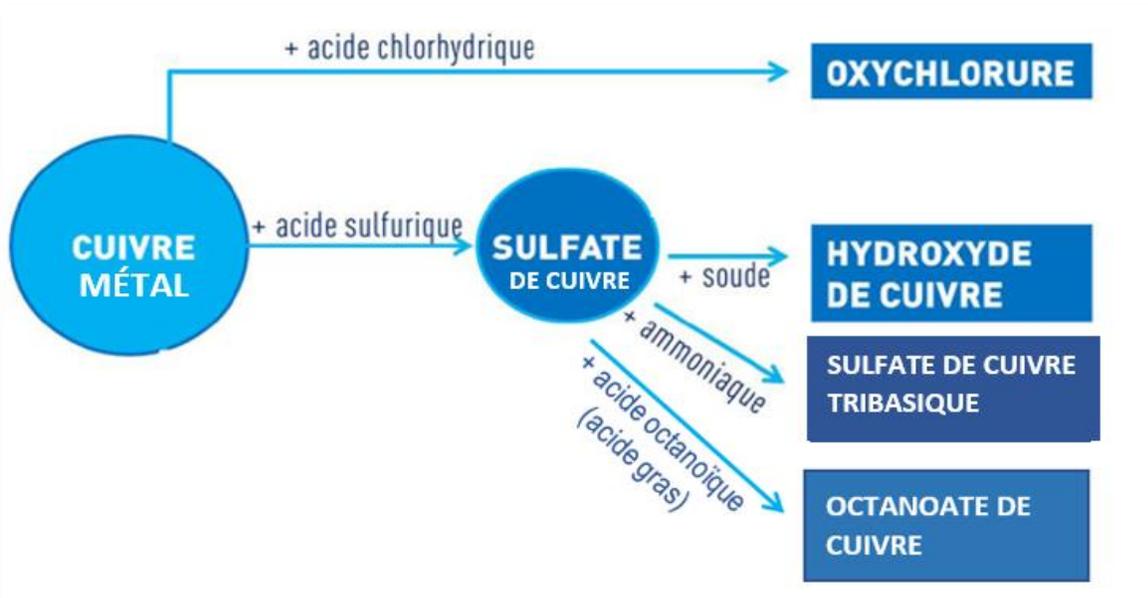


Figure 1 : Schéma des différentes formes de cuivre fixe homologuées au Canada  
D'après le schéma trouvé dans le document [Le cuivre en viticulture biologique](#)

### L'oxychlorure de cuivre

L'oxychlorure de cuivre est le sel de cuivre obtenu du traitement du cuivre métal à l'acide chlorhydrique.

### Le sulfate de cuivre (II) pentahydraté neutralisé

Les trois autres sels de cuivre commercialisés au Canada tirent leur origine du traitement du cuivre métal avec l'acide sulfurique qui donne le sulfate de cuivre (II) pentahydraté. Ce sel est à la fois très corrosif et très soluble dans l'eau. Afin de l'utiliser sans danger sur les végétaux, il est neutralisé ou « fixe » en ajoutant soit de la chaux, de la soude, de l'ammoniaque ou un acide gras.

- **L'hydroxyde de cuivre** est le sel obtenu du traitement du sulfate de cuivre à la soude.
- **Le sulfate de cuivre tribasique** est obtenu du traitement du sulfate de cuivre avec l'ammonique.
- **L'octanoate de cuivre** est obtenu par l'ajout de l'acide octanoïque qui est un acide gras, au sulfate de cuivre. On obtient un savon de sel de cuivre ou, dit autrement, un sel de cuivre d'acide gras. L'acide octanoïque est un acide gras saturé à chaîne courte.

Ainsi, les produits cuivrés homologués au Canada sont composés de sels de cuivre très peu solubles dans l'eau à pH neutre ou alcalin. Une fois appliqués, ces produits sont conçus pour laisser un résidu à la surface des feuilles. En présence d'eau libre (pluie, rosée, eau d'irrigation par aspersion), les ions cuivre ( $\text{Cu}^{2+}$ ) sont alors graduellement libérés du résidu de sel de cuivre présent à la surface de la feuille.

L'ajout d'un produit cuivré dans l'eau du pulvérisateur dont le **pH** est :

**< 6,4 : risque de phytotoxicité accru**, car beaucoup d'ions  $\text{Cu}^{2+}$  relâchés dans la cuve.

Entre **6,5 et 7** : faible proportion d'ions  $\text{Cu}^{2+}$  relâchés.

**≥ 7** : cuivre en suspension dans l'eau, **sans action immédiate**.

**Tableau 1 : Les types de cuivre homologués au Canada**

Type de cuivre (Sel de cuivre)	Formule chimique	Nom commercial	Formulation
Hydroxyde de cuivre	$\text{Cu}(\text{OH})_2$	PARASOL WG PARASOL FL COPPERCIDE WP KOCIDE 2000-O	Granulés mouillables Suspension concentrée Poudre mouillable Pâte granulée
Oxychlorure de cuivre	$\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$	CUIVRE EN VAPORISATEUR	Poudre mouillable
Sulfate de cuivre tribasique	$\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$	CUIVRE 53W	Poudre mouillable
Octanoate de cuivre	$\text{C}_{16}\text{H}_{30}\text{CuO}_4$	CUEVA COMMERCIAL	Émulsion

\*Liste non exhaustive, consultez SAgE pour les dernières mises à jour

## C'est l'ion $\text{Cu}^{2+}$ qui confère l'effet bactéricide et fongicide des produits cuivrés

L'efficacité des produits cuivrés contre les bactéries, le mildiou et les autres champignons qui ont besoin d'eau libre pour se développer, réside dans leur capacité à libérer des ions  $\text{Cu}^{2+}$  lors d'un épisode pluvieux. C'est l'ion  $\text{Cu}^{2+}$  qui est la matière active des produits cuivrés.

### Mode d'action des ions $\text{Cu}^{2+}$

Les produits commerciaux cuivrés agissent par contact. On doit commencer les applications préventivement, avant la pluie, quand les conditions sont favorables à l'apparition des champignons ou des bactéries. Lorsque l'application de cuivre est faite, les ions  $\text{Cu}^{2+}$  sont libérés des résidus grâce à la pellicule d'eau laissée par la pluie, la rosée ou l'irrigation. Les ions  $\text{Cu}^{2+}$  vont alors se coller sur les spores de champignons ou sur les bactéries qui sont à la surface de la feuille. Adsorbés sur la surface cellulaire, les ions  $\text{Cu}^{2+}$  altèrent la membrane semi-perméable du phytopathogène en se substituant aux ions  $\text{H}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  ou  $\text{Mg}^{2+}$ , s'en suit l'entrée du cuivre dans les cellules de l'agent pathogène. Une fois à l'intérieur, le cuivre va interagir avec des protéines intracellulaires en se liant à des acides aminés. Ces interactions vont perturber la structure d'un grand nombre de protéines qui empêcheront la germination des spores dans le cas des champignons, et pour les bactéries, provoqueront leur destruction.

## Quantité d'ions cuivre appliqués

### Proportion d'ions Cu<sup>2+</sup> de la formulation commerciale

L'ion cuivre (Cu<sup>2+</sup>) est l'élément qui agit contre les agents pathogènes, c'est l'ingrédient actif des sels de cuivre. Sur les [étiquettes](#) des produits homologués, la quantité d'ions cuivre, parfois aussi appelé cuivre élémentaire, est exprimée en pourcentage de cuivre, par rapport au poids du produit commercial (poids cuivre/poids produit). Sur les étiquettes plus récentes, on peut aussi trouver la mention « Équivalent en cuivre métallique », exprimée en pourcentage (P/P).

À titre d'exemple, voici des informations extraites de certaines étiquettes :

#### CUIVRE 53W

GARANTIE : Cuivre, présent sous forme de sulfate de cuivre basique  
53,4 %  
CONTENU NET : 10 kg

Il y a 53,4 % d'ions Cu<sup>2+</sup> dans le produit commercial. Si celui-ci a un poids de 10 kg, il y a 5,34 kg d'ions cuivre.

#### KOCIDE 2000-O

PRINCIPE ACTIF : Hydroxyde de cuivre 53,8% (équivalent en cuivre métallique 35%)  
Contenu net : (1-25) Kg.

Ce produit contient 35 % de cuivre élémentaire ou d'ions Cu<sup>2+</sup> (P/P).

#### PARASOL FL

PRINCIPE ACTIF : Cuivre élémentaire, sous forme d'hydroxyde de cuivre...24,4 %  
Contenu net : 1-450 litres.

Dans ce produit, 24,4 % du poids de la suspension de cuivre est sous forme de cuivre élémentaire (P/P). Si la densité relative du produit est de 1,43 selon la [fiche de données de sécurité](#), on obtient 0,349 kg de cuivre élémentaire/L de PARASOL FL.

Les étiquettes américaines mentionnent la proportion de sel de cuivre contenu dans le produit commercial ainsi que le pourcentage d'ions Cu<sup>2+</sup>, exprimé en Metallic Copper Equivalent (MCE). Lorsque le produit est liquide, la quantité de cuivre élémentaire ou de sel de cuivre en poids par volume de produit est également fournie. Cette donnée, ou celle de la densité du produit, est essentielle car on ne peut présumer que la suspension de particules de cuivre a le même poids que l'eau pour un volume donné.

À titre d'exemple, vous trouverez ci-bas un extrait de l'étiquette américaine du **CHAMP 2F**, qui est très semblable au produit canadien **PARASOL FL**. Remarquez que sur l'étiquette de CHAMP 2F, c'est le poids du sel de cuivre, en livre (lb), qui est donné par gallon et non pas le poids du cuivre métal. Une règle de trois doit être faite pour connaître le poids de ce dernier, alors que sa proportion est de 24,4 %. Ainsi, l'étiquette américaine nous informe indirectement qu'il y a 350 grammes de cuivre élémentaire par litre de CHAMP 2F.

#### CHAMP 2F

<b>ACTIVE INGREDIENT :</b>	
Copper Hydroxide* (CAS No. 20427-59-2) .....	37.5 %
OTHER INGREDIENTS:.....	62.5 %
TOTAL:.....	100.0 %
*Metallic Copper Equivalent 24.4 %	
Contains 4.5 lb copper hydroxide per gallon	

## Quantité de cuivre élémentaire (Cu<sup>2+</sup>) appliqué à l'hectare

Afin de connaître ou de comparer la quantité d'ions Cu<sup>2+</sup> appliquée au champ, on doit calculer la quantité de cuivre élémentaire appliquée à l'hectare selon la ou les doses homologuées du produit cuivré.

**Formule permettant de calculer la quantité de Cu<sup>2+</sup> /ha des produits cuivrés de forme solide (granulés, poudre, pâte) :**

$$\text{Kg Cu}^{2+} / \text{ha} = \frac{\% \text{ cuivre élémentaire du produit cuivré}}{100} \times \text{dose (kg/ha) du produit cuivré}$$

**Formule permettant de calculer la quantité de Cu<sup>2+</sup> /ha des produits cuivrés de forme liquide (suspension ou émulsion) :**

$$\text{Kg Cu}^{2+} / \text{ha} = \text{Densité du produit} \times \frac{\% \text{ cuivre élémentaire du produit cuivré}}{100} \times \frac{\text{kg}}{\text{L}} \times \text{dose (L/ha) du produit cuivré}$$

La valeur de densité se trouve dans la fiche de données de sécurité du produit, qu'on retrouve sur Internet ou sur le site de la compagnie titulaire.

**Tableau 2 : Sommaire des produits commerciaux cuivrés et quantité de Cu<sup>2+</sup> appliqué à l'hectare selon les doses homologuées dans l'exemple du groupe de culture des cucurbitacées**

Type de cuivre	Formule chimique	Produit commercial	% sel de Cu du produit	% Cu <sup>2+</sup>	Dose produit/ha	Cu <sup>2+</sup> /ha	Nb de trait. max/an
Hydroxyde de cuivre*	Cu(OH) <sub>2</sub>	PARASOL FL	36,5	24,4	2,3-3,12 L	0,80-1,09 kg	5
		PARASOL WG	75,0	50,0	2,25-3,25 kg	1,1-1,6 kg	
		COPPERCIDE WP	75,0				
		KOCIDE 2000-O	53,8	35,0	1,6-2,3 kg	560-805 g	
Oxychlorure de cuivre	Cu <sub>2</sub> Cl(OH) <sub>3</sub>	CUIVRE EN VAPORISATEUR	85,0	50,0	3,2 kg (autres cucurbit.)	1,6 kg	5
					4,0 kg (concombre)	2,0 kg	
Sulfate de cuivre tribasique	CuSO <sub>4</sub> .3Cu(OH) <sub>2</sub>	CUIVRE 53W	95,0	53,4	2,5-3,0 kg	1,3-1,6 kg	5
Octanoate de cuivre	C <sub>16</sub> H <sub>30</sub> CuO <sub>4</sub>	CUEVA COMMERCIAL	10,0	1,8	2,5L dans 500L d'eau (0,5%) - 20,0L dans 1000 L d'eau (2%)	45-360 g	15

\*Homologué dans le concombre uniquement

## Caractéristiques des produits commerciaux cuivrés

Une foule de produits commerciaux cuivrés existent. Ils diffèrent selon la forme de cuivre utilisée, mais peuvent aussi se distinguer entre eux par les **formulants** qui sont les ingrédients « autres » qui font partie de la composition du produit commercial. Les formulants améliorent les propriétés physiques des différents sels de cuivre. En effet, le formulant, qui est ajouté intentionnellement au produit, mais qui ne figure pas dans la liste des ingrédients actifs, peut améliorer la qualité de la pulvérisation, la solubilité, le pouvoir d'étalement et la stabilité du produit commercial. Des études suggèrent que ce sont d'ailleurs davantage les produits de formulation qui induiront des différences d'action entre les produits commerciaux plutôt que la forme de cuivre utilisée.



### Bon à savoir...

Un produit antiparasitaire est constitué d'une **matière active** ainsi que de **formulants**. Ces derniers, aussi appelés produits de formulation, améliorent les propriétés physiques du produit commercial. Contrairement aux ingrédients actifs, les produits de formulation ne sont pas inscrits sur l'étiquette du pesticide. C'est un peu comme la recette secrète du fabricant.

### Teneur en cuivre métal = quantité de matière active contenue dans le produit cuivré

Ce sont les ions cuivre libérés en milieu aqueux qui agissent contre les champignons et les bactéries, et ce, quelle que soit la forme de cuivre du produit commercial utilisé. Dans ce contexte, le coût du kilogramme de matière active pourrait aider au choix du produit cuivré.

### Grosseurs des particules et solubilité des produits commerciaux cuivrés

La grosseur des particules en suspension dans l'eau et la solubilité à un pH donné sont des paramètres qui peuvent varier selon le sel de cuivre. Bien qu'en théorie, ces paramètres peuvent influencer l'efficacité des produits cuivrés, les formulants des produits commerciaux aplanissent ces différences.

### Grosueur des particules

L'étiquette du produit commercial ne donne pas d'information sur la finesse des particules du sel de cuivre. Aussi, il est très difficile d'obtenir ces données de la part du fabricant ou du distributeur. Sachez cependant que pour un même sel de cuivre, il y a un grand éventail de tailles de particules dans le produit commercial. En effet, on trouve de très petites particules, des moyennes et des plus grosses en proportions variables dans le contenant. Pour toutes ces raisons, il n'est pas évident de comparer les grosseurs de particules entre les différents produits. Ajoutons l'effet des formulants qui peut aussi jouer sur le pouvoir d'étalement du produit commercial et compenser pour des produits qui auraient une plus grande proportion de grosses particules.



### Envie d'en savoir plus?

Nufarm Canada nous a transmis les tailles des particules d'hydroxyde de cuivre des produits **PARASOL** :

10 % des particules ont une taille inférieure à 0,6 micron;

90 % des particules ont une taille entre 0,6 et 2,6 microns.

La moyenne pondérée calculée suggère que la taille moyenne des particules est entre 1,0 et 1,2 microns. Aussi, le produit étant broyé, il faut s'attendre à des variations d'un échantillon à un autre.

À titre indicatif, une référence australienne compare la taille médiane des particules de cuivre selon le sel de cuivre contenu dans les produits commerciaux.

**Tableau 3 : Taille médiane, en micron, des particules de sel de cuivre de produits cuivrés, d'après des données australiennes**

Sel de cuivre	Taille médiane des particules (microns)
Hydroxyde de cuivre	0,15 - 2,50
Oxychlorure de cuivre	1,40
Sulfate de cuivre tribasique	0,70 - 3,00

Source : *Using copper sprays to control diseases in citrus*

Pour une même quantité de cuivre appliquée, l'efficacité d'un produit cuivré est considérablement améliorée par la réduction de la taille des particules. La couverture est meilleure avec des particules plus petites et il y a beaucoup plus de surface couverte par gramme de produit. La figure 2 illustre la différence de couverture, selon la finesse des particules, pour une même quantité de cuivre appliqué par surface.

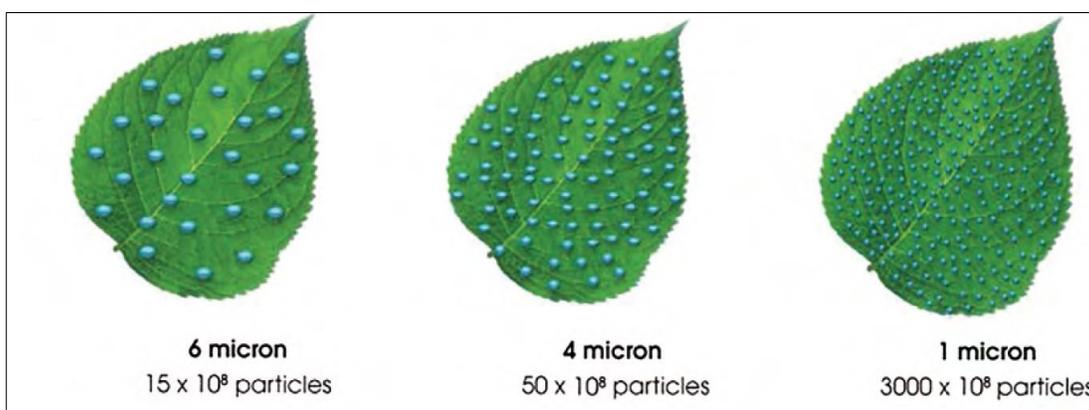


Figure 2 : Plus les particules de cuivre sont fines, meilleure est la couverture du produit cuivré et donc de la protection, pour une même quantité de cuivre appliqué par surface

Source : *Using copper sprays to control diseases in citrus*

### Solubilité des sels de cuivre

Selon le sel de cuivre impliqué, le relâchement des ions  $\text{Cu}^{2+}$ , à un pH donné, peut être différent comme le montre le tableau 4. Par contre, **ce paramètre n'a que très peu d'influence sur l'efficacité du fongicide, car les formulants des produits commerciaux optimisent la solubilité et la persistance du sel de cuivre.**

**Tableau 4 : Comparaison de la solubilité et de la persistance des sels de cuivre**

Sel de cuivre	Solubilité	Persistance
Oxychlorure de cuivre	0,00001 mg/L	-
Hydroxyde de cuivre	0,64 mg/L	↑
Sulfate de cuivre tribasique	3,42 mg/L	↑
Sulfate de cuivre	142 g/L	-

Source : *Using copper sprays to control diseases in citrus*

Pour conclure, que ce soit pour l'oxychlorure de cuivre, l'hydroxyde de cuivre ou encore pour le sulfate de cuivre tribasique, beaucoup d'études françaises font le constat que ces différentes formes de cuivre sont intéressantes, quel que soit leur grosseur de particules ou leur solubilité et qu'aucun produit commercial ne se distingue particulièrement, pour une même quantité de cuivre métallique à l'hectare.



### Et l'octanoate de cuivre?

L'octanoate de cuivre, qui entre dans la composition du [CUEVA](#), est un sel de cuivre qui n'a pas encore fait l'objet de beaucoup d'étude, car le produit est relativement récent en Amérique du Nord alors qu'il n'est pas encore homologué en Europe. C'est ce qui explique l'absence de données comparatives avec les autres sels de cuivre. Les données disponibles jusqu'à maintenant ne permettent pas de garantir que ce produit a une efficacité égale avec moins de cuivre métal.

## Les pulvérisations

### Facteurs clés pour optimiser l'efficacité des produits cuivrés quand on les applique

Afin d'augmenter les chances de succès, il y a des facteurs clés à connaître, et ce, en contexte d'absence de résistance au cuivre.

#### Moment du début des traitements

Le choix du moment d'application du **premier** traitement est important et a un impact sur le bon fonctionnement des produits à base de cuivre.

Pour les **maladies bactériennes** qui évoluent rapidement sur un même plant et dont le nombre de plants atteints devient important dans un champ, il est préconisé d'appliquer le cuivre **avant l'infection**. Appliqués tôt, les ions cuivre pourront être en place et s'attaquer aux parois cellulaires des bactéries s'il y a infection. On maximise ainsi les chances de contrôler la maladie. La tache bactérienne dans le poivron, la moucheture et la tache bactérienne dans la tomate ainsi que la tache angulaire dans le concombre sont des exemples de maladie à traiter rapidement, avant l'apparition des premiers symptômes, compte tenu de la sévérité des attaques.

Dans la courge, l'oignon et le haricot, l'évolution des bactéries est moins fulgurante. Aussi, dans ces cultures, il est conseillé d'**attendre les premiers symptômes** avant de débiter la régie de cuivre. Garder un historique annuel de l'apparition des premières taches bactériennes est alors intéressant, afin d'avoir un bon portrait de l'intervalle à risque et ainsi mieux cibler le moment du premier traitement en évitant de faire des applications fréquentes non justifiées. Il est important de traiter dans les jours précédant la pluie puisqu'elle favorise l'entrée des bactéries dans les feuilles et qu'on souhaite protéger un maximum de feuillage.

Concernant la gestion des différents **mildious et autres champignons**, c'est en production biologique que le cuivre est davantage utilisé, car il est un des seuls produits ayant démontré une relative efficacité, alors qu'en production conventionnelle, plusieurs produits existent, certains pouvant être translaminaires ou systémiques. Dans ce contexte, puisqu'on ne sait pas quand sera l'arrivée des premiers symptômes de mildiou, il faut traiter au cuivre lorsque les conditions de développement sont propices et que l'inoculum se rapproche. On peut aussi commencer les traitements lorsque les premiers symptômes ont été déclarés dans la région ou l'environnement proche. Retarder le premier traitement après l'arrivée des premiers symptômes de mildiou est très risqué dans la mesure où une stabilisation des symptômes est plus difficile.



Symptômes de bactéries dans le poivron et dans la tomate et sporulation du mildiou dans la pomme de terre (*Phytophthora infestans*) et dans le concombre (*Pseudoperonospora cubensis*)  
Photos : Nadia Surdek, agr. (PleineTerre)

### Qualité du recouvrement et volume d'eau

Puisque les produits à base de cuivre sont des produits de contact, ils restent à la surface et ne se déplacent pas à l'intérieur des plants. La bouillie permet aux particules de cuivre de se positionner sur la surface. Si la quantité d'eau est insuffisante, les endroits qui n'ont pas eu de bouillie ne seront pas protégés.

Les volumes d'eau sont parfois précisés sur l'étiquette des produits. Certaines étiquettes mentionnent aussi d'utiliser suffisamment d'eau pour bien recouvrir toutes les parties des plantes. Elles mentionnent aussi que le volume peut varier selon le pulvérisateur et la grosseur des plants.

**Tableau 5 : Volume d'eau mentionné sur les étiquettes commerciales**

Type de cuivre (Sel de cuivre)	Nom commercial	Volume d'eau sur l'étiquette
Oxychlorure de cuivre	CUIVRE EN VAPORISATEUR	Dans la majorité des cultures homologuées : 1 000 L/ha Sauf l'oignon : 500 L/ha
Hydroxyde de cuivre	PARASOL WG PARASOL FL COPPERCIDE WP KOCIDE 2000-O	<b>PARASOL (WG, FL)</b> : pas toujours inscrit selon la formulation. Lorsque mentionné, c'est seulement pour quelques cultures, autres que maraîchères. <b>COPPERCIDE WP</b> : volume d'eau non inscrit pour les cultures maraîchères. <b>KOCIDE 2000-O</b> : volume d'eau non inscrit pour les cultures maraîchères mais seulement pour quelques cultures.
Sulfate de cuivre basique	CUIVRE 53W	Pas inscrit pour toutes les cultures maraîchères homologuées (1 000 L/ha précisé seulement pour cucurbitacées homologuées et aubergine).
Octanoate de cuivre	CUEVA	470 à 940 L à l'hectare

## Les stomates : la voie des agents pathogènes

Les pathogènes pénètrent les feuilles préférentiellement par les stomates qui se trouvent majoritairement à la face inférieure des feuilles. Ainsi pour s'assurer d'une protection optimale, lors de l'application de la bouillie cuivrée, il est important d'avoir une bonne couverture de l'ensemble du feuillage, incluant le dessous des feuilles. Dès que le pathogène est entré dans les tissus de l'hôte, les ions  $\text{Cu}^{2+}$  n'ont plus d'effet.

## Renouvellement des traitements : selon la quantité d'eau reçue et la croissance

Puisque les produits à base de cuivre sont des produits de contact, ils peuvent être délavés par la pluie. Des [essais en France](#) ont conclu que :

- Il y aurait peu de différences entre les différentes formes de cuivre en lien avec le délavage;
- Pour une pluie de même quantité et intensité, le pourcentage d'ions cuivre délavé est constant, peu importe la quantité initiale d'ions cuivre appliqués ;
- À pareille dose, la quantité d'ions cuivre résiduelle est la même pour des intensités de pluie de 15, 35, 60 ou 90 mm/h;
- La quantité résiduelle de cuivre est la même lorsque 30 mm de précipitations ont été comparés à 3 épisodes de 10 mm;
- Entre l'application de cuivre et une pluie, que le temps de séchage soit de 2 heures ou de 7 jours, la quantité résiduelle de cuivre est la même.



### Bon à retenir...

La dose initiale, la forme de cuivre, l'intensité et la fréquence de pluie ainsi que le temps de séchage n'influencent pas le pourcentage de perte due au délavage!

Donc, qu'est-ce qui fait la différence? **LA QUANTITÉ D'EAU REÇUE!** (précipitations et/ou irrigation par aspersion)

Ce qui est ressorti de cette même étude **est l'effet des premiers millimètres d'eau :**

Le délavage du cuivre est en majeure partie causé par les premiers millimètres de pluie qui éliminent 25 à 40 % du cuivre déposé sur le feuillage après seulement 2 mm d'eau. À partir de 5 mm, le taux de cuivre résiduel diminue beaucoup plus lentement pour se stabiliser aux environs de 40 % de la dose initiale.

### Renouvellement, on le fait quand?!

Après un cumul de 20 mm de pluie depuis la dernière application OU si le plant a poussé significativement depuis la dernière application, pour protéger le nouveau feuillage.

Par contre, vaut mieux devancer une application de cuivre même s'il n'a pas plu 20 mm, si on annonce des précipitations importantes afin de conserver une protection optimale.



Les nouvelles pousses sont à protéger puisque le cuivre ne se déplace pas dans la plante  
Photos : Nadia Surdek, agr. (Pleine Terre)

### Et l'ajout d'adjuvant, une bonne idée pour réduire le délavage?

On pourrait penser que l'ajout d'un adjuvant afin de bien faire coller les produits cuivrés sur la surface foliaire pourrait être nécessaire. Ce n'est pas le cas. Plusieurs étiquettes commerciales précisent qu'aucun agent tensioactif n'est nécessaire. Il est important de bien lire les étiquettes afin d'éviter tout problème de phytotoxicité.

### Comment éviter la phytotoxicité

L'utilisation de produits à base de cuivre rime aussi avec précautions et règles de bases à connaître afin d'éviter la phytotoxicité.

Des symptômes associés à la phytotoxicité sont :

- Des brûlures (taches) sur le feuillage déployé et les parties commercialisables;
  - jaunissement ou nécroses (solanacées, cucurbitacées);
  - lésions blanchâtres (crucifères, liliacées);
- Des pourtours de jeunes feuilles brûlés;
- Des avortements de fleurs;
- Arrêt temporaire de croissance des plants.



Symptômes de phytotoxicité causée par le cuivre sur un plant de tomate, de brocoli, d'oignon et de jeunes feuilles de tomate

Photos : Nadia Surdek, agr. (Pleine Terre)

## Conditions météorologiques

Les conditions météorologiques ont une influence sur les risques de phytotoxicité. Il est particulièrement important d'éviter l'application de la dose maximale autorisée en conditions fraîches et humides puisque ceci augmente non seulement la quantité d'ions solubilisés, mais aussi la durée d'exposition des différentes surfaces à ces concentrations d'ions. Pour les mêmes raisons, il est recommandé d'éviter de traiter avec les doses maximales pendant une pluie, à la suite d'une pluie, ou en présence de rosée.

## pH de la bouillie

Un pH de l'eau du réservoir inférieur à 6,5 est risqué puisque ceci favoriserait un relâchement trop rapidement des ions de la bouillie et la culture risquerait d'en absorber.

## Mélange en cuve à éviter

Selon la directive de l'ARLA sur l'[étiquetage des mélanges en cuve](#), pour que le mélange en cuve soit autorisé, l'étiquette du produit doit contenir un énoncé qui permet expressément le mélange en cuve. Ce texte peut se présenter sous deux formes :

- une mention explicite des produits entrant dans la composition du mélange en cuve (par exemple le produit X peut être mélangé en cuve avec le produit Y);
- l'énoncé général de l'étiquette qui permet le mélange en cuve.

## Les risques de phytotoxicité sont documentés pour les cas suivants :

- L'ajout d'adjuvant acidifiant (ex. : LI-700) est réalisé dans la bouillie puisque ceci réduit le pH;
- Le mélange est effectué avec des fongicides à base d'acides phosphoreux puisque ceux-ci réduisent aussi le pH;
- L'application est effectuée en mélange avec des engrais foliaires;
- Mélangé avec l'IMIDAN, le SEVIN XLR ou les produits à base de captane (une source américaine mentionne la réduction d'efficacité du cuivre et l'augmentation des risques de phytotoxicité);
- Certains pesticides augmentent son absorption par le feuillage;
- En combinaison avec le soufre et à une température supérieure à 27 °C.

Avec l'augmentation de l'utilisation des produits à base d'acide peracétique/péroxyde d'hydrogène, sachez qu'une application de cuivre en premier, suivi d'une application d'un de ces produits à l'intérieur de 24 heures, cause de la phytotoxicité. Celle-ci est probablement causée par une trop grande concentration d'ions de cuivre relâchés.

## Application – conditions extrêmes

Le terme phytotoxicité est plus souvent associé aux applications d'herbicides puisque les conséquences peuvent être graves en cas d'erreur. Ce qui est aussi inscrit sur certaines étiquettes d'herbicides est d'éviter les applications lorsque la culture croît en conditions extrêmes : température caniculaire, fin d'une exposition prolongée aux forts vents, stress hydrique, retrait récent des mini-tunnels ou couvertures flottantes. Sachez que ces conditions d'applications sont également à éviter lors d'application de produits cuivrés.

## Sur-application

Appliquer de façon répétée par temps sec peut entraîner une stagnation de croissance des plants puisqu'aucun délavage n'est effectué, entraînant une accumulation de cuivre sur le feuillage. Également, un excès d'ions cuivre risque d'être relâché lors de l'évènement de pluie.

## Stratégies d'utilisation des produits cuivrés – À RETENIR!

1. Appliquer le premier traitement avant l'apparition des symptômes. Des applications répétées seront, par la suite, nécessaires;
2. Appliquer dans les quelques jours avant une pluie, lorsque les conditions sont favorables aux agents pathogènes;
3. Porter une attention au pH de l'eau du pulvérisateur : en dessous de 6,5, il y a un risque accru de phytotoxicité;
4. Investiguer au niveau de la sensibilité des organismes ravageurs, particulièrement si les conditions d'application sont idéales et que le contrôle est décevant;
5. Utiliser le bon volume d'eau afin de favoriser un recouvrement adéquat du feuillage : volume d'eau trop faible = pas de cuivre déposé = pas d'action des  $\text{Cu}^{2+}$  !;
6. Les conditions fraîches et humides augmentent les risques de phytotoxicité : si vous devez absolument appliquer, privilégiez les doses minimales homologuées;
7. Idéalement, appliquer lorsque les vents sont faibles, mais que l'assèchement du feuillage est favorisé;
8. Éviter de traiter lorsque la culture se développe en conditions extrêmes : canicule, surexposition aux vents, sécheresse, etc.;
9. Renouveler l'application (avant la prochaine pluie) généralement après un cumulatif de 20 mm de précipitations ou d'irrigation par aspersion ou si les rosées sont fréquentes;
  - lorsque les épisodes de pluies sont particulièrement fréquents ou que les rosées sont abondantes et que la croissance est active : il vaut parfois mieux renouveler avant le 20 mm d'eau afin d'éviter la perte de contrôle.

### En passant, saviez-vous que...

Lorsque mentionné à l'étiquette, le mélange de cuivre et de mancozèbe est avantageux. L'ajout de mancozèbe réduit légèrement le pH de la bouillie. Les modes d'action des matières actives sont complémentaires. Un contrôle amélioré de la tache bactérienne dans la tomate et la tache auréolée dans le haricot avait été observé dans certaines études. Une attention doit toutefois être portée au pH de l'eau utilisée, afin d'éviter la phytotoxicité.

## Le cuivre et les biofongicides

Plusieurs questions se posent lorsque les biofongicides sont utilisés avec les produits cuivrés :

- Peut-on **mélanger** ces produits avec un produit cuivré?
  - Est-ce une compatibilité réelle biologique n'affectant pas l'organisme en question?
  - Est-ce une compatibilité physique ne résultant pas à un précipité?
  - Est-ce en présumant que l'eau sera alcaline donc le cuivre est inactif?
- Peut-on utiliser ces produits en **alternance** avec les produits cuivrés?
  - En présence de compatibilité biologique, peut-on présumer qu'en alternance, ils demeurent compatibles?
  - Est-ce que la compatibilité est seulement grâce au pH alcalin donc le risque d'inactivation est réel suite à une période de mouillure (pluie, irrigation, rosée)?
  - Le mélange est à éviter donc l'utilisation en alternance est à éviter?

Ces questions se posent et très peu d'information se retrouve sur les différentes étiquettes canadiennes de ces biofongicides. Le tableau 6 résume les informations trouvées en consultant les étiquettes et les sites Internet des compagnies qui, lorsque disponibles, fournissent des informations supplémentaires sur la compatibilité en mélange ou en alternance.

**Tableau 6 : Compatibilité en cuve ou en alternance de biofongicides avec les produits cuivrés**

Produit	Matière active	Compatibilité en cuve avec les produits cuivrés (en mélange)	Compatibilité en alternance
ACTINOVATE SP	<i>Streptomyces lydicus</i> , souche WYEC 108	NC	NC
AMYPROTEC 42	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> (souche FZB42)	Non – selon étiquette américaine 12	NC
BOTECTOR	<i>Aureobasidium pullulans</i> souches DSM 14940 et DSM 14941	Octanoate de cuivre : Non Hydroxyde de cuivre : variable selon produit (KOCIDE 2000-O : oui) Oxychlorure de cuivre : Non, généralement	NC
DOUBLE NICKEL LC DOUBLE NICKEL 55	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> , souche D747	Oui - spécifié dans section fruits à pépins <sup>[1]</sup>	Oui – étiquette américaine mentionne un contrôle amélioré
LIFEGARD WG	Isolat J de <i>Bacillus mycoides</i>	Oui – type de compatibilité non précisé	Oui - précisé pour certaines cultures dans étiquette américaine
MINUET RHAPSODY ASO SERENADE SOIL	<i>Bacillus subtilis</i> , souche QST 713	Oui – avec métabolites des <i>Bacillus</i> et non <i>Bacillus</i> en tant que tel	Oui – avec métabolites des <i>Bacillus</i> et non <i>Bacillus</i> en tant que tel
ROOTSHIELD PLUS G ROOTSHIELD PLUS WP	<i>Trichoderma harzianum</i> Rifai (souche KRL-AG2) <i>Trichoderma virens</i> (souche G-41)	Non – seulement précisé pour le sulfate de cuivre pentahydraté	Le site américain de la compagnie précise uniquement d'attendre 24 h entre une application de sulfate de cuivre pentahydraté
SERIFEL	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> , souche MBI 600	Oui	Oui
STARGUS	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> , souche F727	Oui - contrôle amélioré en mélange	NC
TAEGRO 2	<i>Bacillus subtilis</i> var. <i>amyloliquefaciens</i> souche FZB24	Oui – compatibilité précisé avec le KOCIDE 2000-O; type de compatibilité non précisé	NC
TRIANUM P	<i>Trichoderma harzianum</i> (souche T-22)	Non – précision générale de toujours appliquer TRIANUM P, seul	NC

NC : Compatibilité non confirmée

<sup>[1]</sup>: Peut-être mélangé avec des fongicides au cuivre pour améliorer la suppression (étiquette)

# Problématiques

## Cas de résistance au cuivre

L'utilisation répétée de cuivre peut avoir des résultats décevants. Un aspect important à investiguer si l'évolution des symptômes sur la ferme ne fait qu'augmenter : la résistance aux produits cuivrés! Lorsque les facteurs concernant la qualité de la pulvérisation et les moments d'application optimaux sont respectés, mais que le contrôle est défaillant, la résistance pourrait être en cause.

Les produits commerciaux à base de cuivre sont dans le groupe de résistance M 01, donc en théorie, peu de résistance se développe avec l'utilisation des produits de ce groupe de fongicide. Toutefois, la réalité est différente puisque plusieurs cas de bactéries résistantes au cuivre ont été détectés en cultures maraîchères dont :

- Au Québec, peu de données sont disponibles. Toutefois, des cas de *Pseudomonas syringae* et *Xanthomonas campestris* résistantes ont été détectés dans la tomate de serre. Dans la tomate de champ, des cas de *Pseudomonas syringae* et *Xanthomonas hortorum* résistantes ont aussi été analysés. Les pathovar n'ont pas été identifiés.
- En Ontario, en 2012, une caractérisation des espèces de *Xanthomonas* a été faite dans la tomate de champs. Quatre espèces de *Xanthomonas* ont été identifiées, dont majoritairement *X. perforans* et *X. gardneri* qui représentaient 62 % des espèces identifiées. 88 % des *X. perforans* et 97 % des *X. gardneri* étaient résistantes au cuivre. Au total, dans cet essai, 88 % de toutes les souches de *Xanthomonas* confondues étaient résistantes.
- Un échantillonnage similaire a été réalisé dans la tomate et le poivron dans le New Jersey entre 2019 et 2021. La conclusion : la majorité des espèces sont *X. euvesicatoria* et *X. perforans*, et 54 % des fermes échantillonnées avaient des souches de *Xanthomonas* résistantes au cuivre. Les espèces de *Xanthomonas* peuvent varier de ferme en ferme et même de champ en champ!

## Risques pour l'environnement

Le cuivre s'accumule dans le sol, car il est fortement absorbé sur les particules de sol. Il se fixe dans les dix premiers centimètres où il peut devenir toxique pour la microfaune et la flore du sol, mais avec des niveaux très différents selon les sources bibliographiques. Les sols acides rendent le cuivre plus soluble et augmentent les risques de toxicité pour les racines et les plantes ainsi que pour la microfaune et la flore du sol. Le cuivre est toxique en milieu aquatique.

La teneur en cuivre est généralement peu variable dans les sols du Québec. Les concentrations moyennes varient entre 16 ppm et 24 ppm. Quelques concentrations de 98 ppm et de 65 ppm sont observées dans les secteurs de Saint-Mathieu-de-Beloeil et de Calixa-Lavallée. Des concentrations oscillantes entre 40 et 50 ppm sont également retrouvées dans les secteurs de Saint-Hyacinthe, Saint-Damase, Beauharnois et Vaudreuil (B-Nadeau, Luc, 2016).

Des études françaises indiquent que des teneurs de cuivre dans le sol au-delà de 150-200 ppm, peuvent aggraver les champignons et les bactéries. Les sols viticoles en Europe peuvent avoir des concentrations de cuivre entre 200 et 300 ppm. Au Québec, les teneurs en cuivre du sol sont relativement faibles par rapport à celles trouvées en Europe. On doit cependant rester vigilant à ne pas utiliser le cuivre à l'excès.

## Des besoins au niveau de la recherche : le cuivre n'y fait pas exception!

Mis à part l'existence d'un portrait plus complet des cas de résistance des bactéries au cuivre dans différentes cultures légumières au Québec, les besoins de recherche restent nombreux.

En ce sens, il est intéressant de mentionner que plusieurs essais en France et en Europe ont démontré qu'une quantité de cuivre métallique d'au plus 500 g/ha, lorsqu'appliqué et renouvelé au bon moment, est suffisante pour lutter efficacement contre une forte pression du mildiou dans la vigne. Au Canada, aux doses homologuées, c'est parfois jusqu'à 2 kg de cuivre métallique qui peuvent être appliqués à l'hectare. Dans un souci de diminuer l'accumulation de métaux lourds dans le sol, il pourrait être pertinent de revoir les quantités de cuivre métallique/ha pouvant assurer une bonne protection contre les mildious en cultures légumières.

Également, puisque peu de données existent sur les savons de sels de cuivre (comme l'octanoate) par rapport aux autres sels de cuivre, il serait intéressant de documenter leurs caractéristiques, comme la persistance du [CUEVA COMMERCIAL](#), par exemple. Aussi, il serait utile de comparer scientifiquement si les très faibles doses de cuivre métal homologué pour ce produit sont aussi efficaces pour le contrôle des différents ravageurs par rapport à celles des autres sels de cuivre.

## Pour plus d'information

Abbasi, P.A., Khabbaz, S.E., Weselowski, B., & Zhang, L. (2015, octobre). [Occurrence of copper-resistant strains and a shift in \*Xanthomonas\* spp. causing tomato bacterial spot in Ontario](#). Can J Microbiol. 2015 Oct;61(10):753-61.

Aveline, N., Becquet, S., Cayla, L., Dupin, S., & Guégniard, S. (2022, mai). [Memo cuivre en viticulture, mai 2022](#). Vinopôle Bordeaux, Aquitaine.

Baillargeon, Nadeau, L., (2016). [Inventaire géochimique et environnemental des métaux et métalloïdes des sols du sud du Québec](#). Mémoire. Montréal (Québec, Canada), Université du Québec à Montréal, Maîtrise en sciences de la Terre.

Berriau, G. (2012, mise à jour 2014, avril). [L'utilisation du cuivre en viticulture](#). Chambre régionale d'agriculture des Pays de Loire.

Cuegniet, A. (2020). Chambre d'Agriculture Pyrénées-Orientales. [Le cuivre en viticulture biologique](#)

Donovan, N., & Creek, A. (2021, mars). [Using copper sprays to control diseases in citrus](#). NSW Government

Fortier, E. (2023, 24 avril). [Mélanges en cuve : Changements réglementaires en cours](#).

Goldenhar, K. (2023, 5 avril). [Clearing the Cobwebs on Copper – ONVegetables](#).

Johnson, G., (2013, juin 28). [Caution with copper fungicides and spray surfactants in vegetables and fruits](#). University of Delaware, weekly crop update.

Phillion, V. (2024, 20 mars). [Fiche 50 description des fongicides non sujets à la résistance](#). Réseau-Pommier.

Pscheidt, J.W. (2023, mars). [Cooper-based bactericides and fungicides](#). Oregon State University.

Roy, J. (2020, janvier). [État de la situation sur l'utilisation du cuivre en production biologique](#). Présentation Power Point.

Rusinek, T., (2018, 7 juin). [Copper Sprays : How they work and avoiding plant injury](#). Cornell Cooperative Extension.

- Scheufele, S. B., Hazzard, R., Zitter, T., & Rosenberg, D. (2017, 13 juillet). [Using copper fungicides](#). UMass Extension Vegetable Notes.
- Schilder, A. (2014, 8 juillet). *How to get the most out of your fungicide sprays*. Michigan State University Extension. [How to get the most out of your fungicide sprays - MSU Extension](#)
- Sénécal, M. (2006). [Avertissement N° 1](#) du 19 avril 2006. Cultures en serres. Réseau d'avertissements phytosanitaires.
- Stef, C., (2024, 8 avril). [Le cuivre resterait efficace contre le mildiou de la vigne même après 30 mm de pluie](#). Vitisphere.
- Tremblay, I-J., & Dubé, G. (2021). [Le cuivre en viticulture](#). Bulletin d'information Vigne. Réseau d'avertissements phytosanitaires.
- Tuttle McGrath, M. (2020, 27 juillet). [Copper Fungicides for Disease Management in Vegetables](#). Université Cornell.
- Villeneuve, C., & Fortier-Brunelle, A. (2021). [Stratégies d'intervention contre les maladies bactériennes de la tomate et du poivron de champ](#). Fiche technique Solanacées. Réseau d'avertissements phytosanitaires.
- Wyenandt, A., Homa, K., & Simon, J. (2020, 1 février). [Options for controlling basil downy mildew in the field](#). Rutgers University.

*Cette fiche technique a été rédigée par Isabelle Couture, agronome (MAPAQ) et Nadia Surdek, agronome (Pleine Terre) puis révisée par Isabel Lefebvre, M.Sc. (CIEL) et Yveline Martin, agronome (MAPAQ). Pour des renseignements complémentaires, vous pouvez contacter [le secrétariat du RAP](#). La reproduction de ce document ou l'une de ses parties est autorisée à condition d'en mentionner la source. Toute utilisation à des fins commerciales ou publicitaires est cependant strictement interdite.*

9 août 2024