

Mars 2018

## COMMENT ASSURER LES RECOLTES EN AB AVEC DE MOINS EN MOINS DE CUIVRE

Selon le principe curatif communément admis depuis le début de l'agriculture industrielle, une maladie se traite mais ne s'anticipe pas vraiment, or c'est justement l'inverse qu'il faut considérer, la maladie est évitable.

De nombreuses recherches montrent qu'il est possible **de prévenir les maladies en changeant de paradigme culturel.**

### LA MALADIE DOIT ETRE UNE EXCEPTION

L'activité antibiotique des champignons et des bactéries n'est pas une nouveauté.

L'arsenal biocide des bactéries et des champignons est impressionnant et les chercheurs patentés du CIRAD principalement, nous expliquent que dans un **sol riche en matière organique (M.O.) et un environnement riche en biodiversité, la maladie devient une exception !**

Pour lutter contre une maladie fongique, bactérienne, oomycète, virus et autres, il faut mettre les plantes et les cultures dans un environnement favorable à la diversité biologique : ce qui n'est pas toujours le cas dans les vignobles.

Il faut également, dans le cas d'une maladie microbienne, faire en sorte que les sols soient « fertiles », c'est-à-dire avec une structure qui permette **les échanges gazeux, la pénétration de l'eau et ses remontées capillaires, favorise l'activité microbienne pour le développement capital des hyphes fongiques et l'activité bactérienne rhyzosphérique, l'implantation des mycorhizes, etc.** Bref, des sols organiques avec toutes les retombées bénéfiques sur la structure et la capacité d'échange cationique (CEC), les taux essentiels de substance humiques (SH), le tout influençant la résistance des plantes aux maladies et régulant l'équilibre microbien au niveau du sol.

Dans un tel environnement, aucun pathogène n'arrive à s'exprimer, à se développer car il sera immédiatement contrecarré par les milliers d'autres espèces de microorganismes présentes dans le sol. Un oomycète comme le *Plasmopora viticola*, aux parois cellulaires composées de cellulose, est un repas idéal pour les protozoaires, les collemboles ou les champignons du sol (+/- 75 000 espèces répertoriées) dont plusieurs milliers sont présentes simultanément dans n'importe quel sol. Les prédatations incessantes, la lutte permanente pour la survie entre espèces par productions de biocides et d'antibiotiques et tous les stratagèmes mécaniques d'attaques fongiques, induisent dans les sols conduits avec une fertilisation et un environnement essentiellement organique, **une pression microbienne pathogène particulièrement faible.**

Il en est de même sur les parties aériennes où la pression pathogénique est amoindrie par la présence des M.O. laissées en litières et les plantes-abris pour les insectes auxiliaires et les

arachnides. Cet environnement écologique est capital pour l'équilibre microbiologique de la phyllosphère.

Ce travail naturel et spontané du réseau trophique, lorsqu'il est parfaitement maîtrisé, assure une croissance importante et régulière, une meilleure induction florale, des plantes saines grâce aux apports **d'éliciteurs biochimiques ou d'antibiotiques par les bactéries et les champignons.**

## **LE CUIVRE EST NECESSAIRE JUSQU'A UN CERTAIN NIVEAU**

La première précaution à prendre pour éviter les pulvérisations de cuivre liées à la présence de pathogènes aériens fongiques ou oomycètes, est de remettre les vignobles dans un environnement organique et écologique équilibré.

Le cuivre est présent dans des **enzymes** impliquées notamment dans **la respiration cellulaire, la défense contre les radicaux libres, les fonctions de neurotransmission, la biosynthèse des tissus conjonctifs et le métabolisme du fer dans les cellules.** C'est un cofacteur qui confère aux enzymes leur structure allostérique appropriée à leur activité catalytique. En clair, le Cu favorise la structuration chimique des enzymes qui influenceront quantités d'activités métaboliques en abaissant la quantité d'énergie nécessaire pour les réaliser. Le Cu allège la charge énergétique dont les plantes usent pour se développer ce qui favorise leurs autonomies et un meilleur rendement de la photosynthèse.

**Une quantité de cuivre comprise entre 5 et 20 ppm est nécessaire** dans le tissu des plantes terrestres pour une croissance normale. Une quantité inférieure à 4 ppm est considérée comme insuffisante et une **quantité supérieure à 20 ppm est considérée comme excessive** (Nriagu 1979 ; Robson et Reuter 1981 ; Alloway 1995 ; Stevenson 1986). Le problème est donc de connaître le taux de Cu dans le cep et dans le sol pour savoir s'il y a suffisance ou non.

Dans la rhizosphère, le cuivre est généralement **majoritairement complexé à la matière organique du sol** (exsudats racinaires, substances humiques...), mais également **sous forme minérale** dans une proportion qui dépend de la nature du milieu. **Les quantités absorbées par les plantes sont corrélées à la quantité d'ions libres en solution à proximité des racines** (Quartacci et al. 2009), **et donc au pH.** Quand celui-ci décroît, que l'acidité augmente, l'activité de l'ion libre s'accroît du fait de la dissolution des minéraux et de la protonation des groupements fonctionnels (carboxyles, amines, phénols...) de la matière organique.

Dans les sols acides  $pH < 5$ , le cuivre est le plus mobile et soluble. A  $pH > 7$ , il précipite sous la forme  $Cu(OH)_2$  et n'est pratiquement plus mobile (Adriano 1986). **Le cuivre dissous est en compétition avec les autres éléments chimiques** pour son absorption racinaire, dont  $Ca^+$ ,  $K^+$ ,  $NH_4^+$ , et principalement  $Zn^{2+}$  (Alloway 1995). Le cuivre étant un oligo-élément, toutes les plantes possèdent un niveau de base de tolérance. Quand les quantités de cuivre dépassent les besoins nécessaires, les stratégies des plantes varient selon les espèces.

En fonction des quantités absorbables on distingue alors les plantes tolérantes des plantes hyper-accumulatrices qui peuvent accumuler plus de 1000 mg.kg-1 matière sèche dans leurs tissus aériens (Ali et al. 2002).

Deux processus principaux de défense contre l'absorption ont été décrits : **l'exclusion** quand il y a réduction de l'absorption racinaire, et **l'accumulation** lorsque la barrière endodermique des racines est franchie (Baker et Walker 1990).

En cas d'**accumulation**, dans la grande majorité des cas, la partie en excès du cuivre qui pénètre n'est pas transférée vers les parties aériennes mais reste localisée dans les racines. Soit le métal est fixé à la paroi des cellules, soit il est stocké à l'intérieur des cellules, dans le cytosol associé aux métallothionéines ou dans les vacuoles associées aux phytochélatines et à des acides organiques (Clemens 2001 ; Kupper et al. 2009). Les parois et vacuoles seraient les principaux sites d'accumulation du cuivre (Arru et al. 2004 ; Lou et al. 2004).

Il se peut néanmoins que le cuivre ne reste pas stocké dans les racines, et il a été observé des accumulations dans les tiges (dans les tissus du xylème), les cellules des pousses, les épines et trichomes abaxiaux (Arru et al. 2004).

## LE CUIVRE EN VITICULTURE

### 1/ Effets négatifs de l'excès de Cu sur la physiologie de la vigne

Quand la concentration en cuivre dans les organismes est trop importante, il interfère avec de nombreux processus physiologiques. Cette toxicité biochimique découle de la haute réactivité de cet élément. Il est capable de se lier fortement aux molécules riches en électrons, en raison de ses propriétés oxydo-réductrices. Cette réactivité peut entraîner par exemple une dépolarisation accompagnée d'un dysfonctionnement physiologique des récepteurs et des transporteurs moléculaires cellulaires, ou encore sa fixation sur des sites actifs de macromolécules (ADN...) contenant des thiols (-SH), des carboxyles (-COO), ou des noyaux imidazoles (C<sub>3</sub>H<sub>4</sub>N<sub>2</sub>) (Nriagu 1979 ; Alt et al. 1990). Ainsi, en se fixant aux groupements thiols des protéines des membranes cellulaires, il provoque la peroxydation des lipides insaturés (Devos et al. 1989). On peut également observer **la production de radicaux libres** suivant la réaction suivante (réaction de Fenton) :  $Cu^+ + H_2O_2 \rightarrow Cu^{2+} + OH^* + OH$ . La production excessive de ces radicaux libres peut entraîner des réactions d'oxydo-réduction en chaîne (stress oxydant) qui aboutissent à la perte de l'intégrité cellulaire (Goldstein et Czapski 1986). Lors de la réaction de photosynthèse, **l'excès de cuivre perturbe le photosystème II**, soit par insertion dans la Phéo (molécule de chlorophylle sans atome central de magnésium), soit par substitution des ions Mg<sup>2+</sup> dans la chlorophylle elle-même (Cedeno-Maldonado et al. 1970 ; Kupper et al. 2009).

Dans les parties aériennes des plantes, les effets d'une toxicité métallique sont sensiblement les mêmes que ceux de la déficience : nécrose (chlorose + enroulement) et dépérissement des jeunes pousses (Foy et al. 1978) qui résultent d'une inhibition du processus photosynthétique (Irtelli et al. 2009).

Dans les parties souterraines, un excès de cuivre se traduit par la réduction du développement racinaire (Brams et Fiskell 1971 ; Daniels et al. 1972). Ces modifications morphologiques, soutenues par des altérations physiologiques, **diminuent l'absorption des macronutriments** et entraînent un retard de croissance.

## **2/Action du Cu sur la microfaune et la microflore**

Dans les sols et les eaux, il a été montré que le cuivre a une influence sur le nombre et la biodiversité des organismes (Yamamoto et al. 1985; Komarek et al. 2010). Cette toxicité pour la microfaune et la microflore ralentit l'absorption et la bio-minéralisation des M.O. **Un sol riche en MO absorbera plus facilement l'excès de Cu et des autres minéraux libres par l'extraordinaire activité enzymatique développée par les microorganismes.**

L'utilisation de cuivre à des fins pesticides (purification de l'eau, bouille bordelaise...) a conduit à un enrichissement spectaculaire de certains milieux (Pietrzak et McPhail 2004). Ce sont principalement la forme solvatée Cu (H<sub>2</sub>O)<sup>n 2+</sup> et les petits complexes organiques capables de traverser les membranes cellulaires qui sont les plus biodisponibles.

**Tout facteur capable de modifier l'abondance de ces espèces labiles est susceptible d'augmenter ou de diminuer la toxicité du cuivre.**

Le **pH**, le **potentiel d'oxydoréduction (Eh)**, la **composition et la concentration des solutés** (i.e. l'activité de tous les ions dans la phase aqueuse) sont de ce point de vue des paramètres déterminants, sur lesquels il est possible d'intervenir pour atténuer l'effet d'une contamination.

En effet, toute contamination en Cu ou molécules de synthèse (désherbants et autres) est atténuée, voire bloquée par ce que j'appelle « l'éponge protonique » des sols. **La résistance sera d'autant plus forte et rapide que la richesse des M.O en décomposition ou stockées, constituant cette « éponge protonique », sera importante, de la matière organique fraîche (M.O.F) aux substances humiques (SH), liée à l'acte volontaire d'un vigneron ou d'un agriculteur de mettre sur le sol les quantités de M.O. indispensables.**

Le sol, par ses composantes abiotiques et biotiques contribue à l'atténuation naturelle des pesticides.

Les processus **abiotiques** contribuent à la dissipation (adsorption, transformation) et au transfert (volatilisation, ruissellement et lessivage) des pesticides. Ces processus peuvent être partiellement réversibles (désorption) et conduire à l'accumulation de métabolites secondaires (transformation physicochimique) faisant du sol un *puits* mais également une *source secondaire* de résidus de pesticides pouvant contribuer à des événements de pollution différée.

Les processus **biotiques** contribuent à la dissipation (biodégradation) et dans une moindre mesure à la dispersion (absorption et accumulation le long de la chaîne trophique) des pesticides. **La biodégradation microbienne est le principal processus responsable de la transformation des pesticides dans les sols.** Elle peut être partielle conduisant à l'accumulation de métabolites (co-métabolisme) qui sont parfois plus persistants et plus

toxiques que la molécule mère dont ils dérivent ou totale (métabolisme) permettant d'éradiquer les pesticides des sols.

Les processus d'adsorption et de désorption catalysés par la composante abiotique des sols contribuent à la rétention (stockage) et au relargage (restitution) de résidus de pesticides des sols, respectivement. De ce fait, le sol est une source de contamination secondaire dont il reste difficile de prédire le comportement.

Malgré l'importance du Service Ecologique (SE) d'atténuation naturelle des pesticides par les sols, il n'existe pas actuellement de méthode ni d'indicateurs associés permettant de rendre compte de l'accomplissement de ce SE à l'échelle d'un territoire.

## **QUANTITE DE CUIVRE QU'UN SOL BIOLOGIQUEMENT ACTIF PEUT ABSORBER**

La dose actuelle de **6 kg/ha/an** est-elle supportable par un sol ordinaire? **Non**, ni à moyen, ni à long terme car il y aura accumulation.

La dose préconisée de **2kg/ha/an** est-elle plus appropriée? **Oui**, car cela correspond aux exportations additionnées des besoins physiologiques de l'accroissement de la taille des ceps.

**2kg/ha/an est la dose maximale à utiliser. Au-delà on accumule avec des risques d'intoxications imprévisibles.**

Pour contrer la nuisance biochimique du Cu, il faudrait que la culture biologique soit réellement biologique. **Je ne suis pas sûr qu'un vrai travail de biologisation global des sols soit réalisé dans les vignobles, même en Bio.**

D'où ma préconisation des cultures intercalaire et l'écimage de cette végétation temporaire entre les rangs pour apporter de la M.O., ou mieux encore avec des apports de fumiers. Il faut environ **20 t/ha/an de M.O.** pour compenser la minéralisation des humus et entretenir la CEC et la structure du sol par les liaisons électriques cationiques et **20 à 25 t/ha/an** pour compenser les exportations minérales par la récolte.

La redynamisation de l'activité microbienne que ces apports de M.O. induisent, est la clé de la croissance des plantes, de la fertilité des sols et de la résistance des plantes aux maladies microbiennes.

**Le Cuivre à faibles doses doit devenir le remède de secours si l'approche écologique et biologique montre des failles, pas plus. Sauf analyse chimique des feuilles et ceps qui en dévoilerait un manque.**

Christian de Carné Carnavalet  
Agence 3C AGRO Conseil  
60 Impasse de Font Roubert  
06250 Mougins  
06 67 53 66 94

[www.agro-conseil-carnavalet.eu](http://www.agro-conseil-carnavalet.eu)  
Agriculture/agronomie/Biologie du sol