

N° 48 – Juillet 2021

En bref :

✚ Impact du cuivre sur la qualité biologique du sol viticole : des constats expérimentaux rassurants

✚ Impact du cuivre sur la qualité biologique du sol viticole : des constats expérimentaux rassurants

Utilisé depuis la fin du XIX^{ème} siècle, le **cuivre est un fongicide** naturel et allié des viticulteurs biologiques dans la lutte contre le mildiou. Employé de manière préventive, il est lessivé par les pluies et se retrouve donc facilement dans les sols. Peu mobile, il est généralement **fixé par la matière organique dans les dix premiers centimètres du sol**. Cependant, le travail du sol entraîne son homogénéisation jusqu'à 25cm de profondeur. Bien qu'à faibles doses, le cuivre soit un **oligo-élément essentiel à certains processus biologiques**, son accumulation dans les sols viticoles amène néanmoins à se questionner sur les possibles effets néfastes du cuivre sur le sol, les ressources en eau et la biodiversité. En effet, les **25 premiers centimètres du sol hébergent une grande diversité d'organismes** vivants. Cette biodiversité assure le bon fonctionnement du sol en dégradant la matière organique, recyclant les nutriments, stabilisant la structure du sol et en contrôlant les pathogènes. Il est donc primordial de connaître le réel impact de ce produit sur les sols puisqu'à l'heure actuelle, il n'existe pas d'alternative naturelle qui soit aussi efficace que le cuivre principalement contre le mildiou, en faisant donc un produit très répandu sur les vignobles conduits suivant les principes de l'agriculture biologique, mais également les vignobles menés en conventionnel. Aujourd'hui, différentes réglementations restreignent l'utilisation du cuivre. Dès 2002, le cahier des charges de l'Agriculture Biologique limitait son utilisation à 6kgCu/ha/an.

Le saviez-vous ?

L'ion Cu²⁺ a besoin d'eau pour fonctionner.

En présence d'eau, l'ion Cu²⁺ est transformé en ion Cu⁺ par les protéines membranaires. Grâce aux protéines transmembranaires, celui-ci peut ensuite entrer dans la cellule du pathogène où il redevient un ion Cu²⁺. En agissant sur plusieurs sites de la cellule, il bloque la germination et la sporulation du mildiou.

Depuis 2018, cette réglementation a été revue à la baisse par la Commission Européenne, bornant son utilisation à un **maximum de 28kgCu/ha sur 7 ans, soit en moyenne 4kgCu/ha/an**.

En 2021, une synthèse bibliographique concernant plus de 200 études indépendantes, a été publiée par un groupe de chercheurs français avec l'objectif d'évaluer objectivement les risques du cuivre sur la qualité du sol (Karimi *et al.*, 2021).

D'après cette analyse, les premières études questionnant l'impact du cuivre sur les sols remontent aux années 1990 mais c'est surtout à partir de 2010 que la majorité des expérimentations ont eu lieu, principalement en Italie, France, Espagne et en Chine. Les expérimentations pouvaient être réalisées en laboratoire, à partir d'échantillons de sol sur lesquels est appliqué du cuivre en conditions contrôlées, mais aussi en champs, avec des essais sur une à une centaine de parcelles. La mesure de la biodiversité était généralement faite dans les 20 premiers centimètres du sol. Les paramètres mesurés varient selon les études, de même que les organismes ciblés. Par ailleurs, le cuivre utilisé pouvait être sous différentes formes bien que ce soit le sulfate de cuivre sous forme de bouille bordelaise qui soit le plus récurrent.

Le saviez-vous ?

Hydroxyde de cuivre, oxyde de cuivre, cuivre oxychlorure, cuivre tribasique, bouillie bordelaise : tous ont la même solubilité.

Les petites molécules ont tendance à laisser partir plus facilement les ions Cu^{2+} que les grosses molécules mais c'est la formulation qui est la plus importante !

En effet, le coformulant peut créer une barrière de protection plus ou moins perméable à l'eau, rendant le produit moins lessivable. Le coformulant peut aussi donner une meilleure dispersion (empêchant le pulvérisateur de se boucher), un bon étalement (optimisant la surface de contact entre le produit et la feuille) et un meilleur profil granulométrique (apportant une meilleure biodisponibilité tout en évitant les risques de phytotoxicité).

Impact de la dose de cuivre apportée sur la qualité biologique du sol, les doses sont généralement appliquées en une seule fois et varient entre **2,8 et 20 000kgCu/ha/an**.

Les micro-organismes, que ce soit des bactéries ou des champignons, peuvent être influencés par de fortes doses de cuivre.

En effet, **la biomasse microbienne** a été mesurée. Entre 2,8 et 800kgCu/ha, cette biomasse reste inchangée mais au-dessus de 800kgCu/ha (ou 4 000kgCu/ha selon les sols), une diminution de 40 à 60% de la biomasse est observable.

Par ailleurs, **la respiration microbienne** diminue de 30% entre 508 et 8112kgCu/ha et de 62% entre 508 et 20 000kgCu/ha.

La croissance des micro-organismes peut aussi être affectée par le cuivre puisque celle-ci diminue de 50 à 86% entre 508 et 8112kgCu/ha.

De plus, **l'activité des micro-organismes** du sol a aussi été étudiée : les activités peroxydase et bêta-glucosidase, impliquées dans le cycle du carbone et la dégradation de la matière organique, ont notamment été mesurées.

On observe que l'activité peroxydase des micro-organismes est stimulée pour des doses allant de 2 000 à 20 000kgCu/ha lors des 28 jours suivant l'application du cuivre. Cependant, cette tendance s'inverse par la suite et une diminution de 30 à 90% de cette activité apparaît pour des doses de cuivre supérieures à 400kg/ha, 106 jours après son application.

S'agissant de l'activité bêta-glucosidase, une diminution est aussi observable, allant de 16 à 20% pour des doses de cuivre entre 600 et 1800kg/ha.

D'autres paramètres d'activités ont par ailleurs été pris en compte, tels que l'activité uréase et le potentiel de nitrification qui ont un rôle majeur dans le cycle de l'azote.

Pour l'activité uréase, aucune influence n'est notable entre 200 et 1 600kgCu/ha. Néanmoins, une diminution de 50% de cette activité est atteinte pour une application de 3 200kgCu/ha.

La diminution du potentiel de nitrification intervient aussi mais à de plus faibles doses puisqu'une diminution de 50% de cette activité se manifeste dès 1 016kgCu/ha.

A propos du **cycle du phosphore**, c'est l'activité phosphatase qui a été étudiée.

Celle-ci a connu une réduction de 20 à 30% pour une dose de 600kgCu/ha et pouvait atteindre 45 à 55% à 1 800kgCu/ha.

Une dernière activité a été mesurée : l'activité arylsulfatase, impliquée dans **le cycle du soufre**.

On observe ici une diminution de cette activité de 35% à 600kgCu/ha et de 60% à 1 800kgCu/ha.

Enfin, **la diversité des espèces de micro-organismes** a été analysée et on observe que cette communauté est peu influencée sur les doses étudiées, allant de 80 à 240kgCu/ha.

C'est cependant à plus long terme qu'elle peut être perturbée. En effet, les modifications de la communauté microbienne sont visibles 2 mois après l'application du cuivre mais une résilience existe puisque, au bout de 4 mois, ces modifications ne sont plus apparentes.

L'influence des doses de cuivre sur les nématodes, micro-prédateurs régulant les populations de bactéries, a aussi été sujet d'études mais pas spécifiquement sur les sols viticoles. Seules l'abondance et la richesse des genres ont été étudiées.

Le cuivre semble avoir peu d'impact sur les nématodes puisque l'abondance de celles-ci reste inchangée même à des doses allant jusqu'à 3 200kgCu/ha. Cependant, bien que la richesse des genres ne semble pas influencée jusqu'à 1 200kgCu/ha, on observe tout de même une diminution de 30% de la diversité des nématodes à 3 000kgCu/ha.

Ainsi, les doses de cuivre ont un impact négligeable sur les nématodes jusqu'à 3 000kgCu/ha. Des doses inférieures à 200kgCu/ha pourraient même stimuler la population.

Il faut cependant être attentif au pH du sol. En effet, un sol acide présente une meilleure solubilité du cuivre. C'est la raison pour laquelle les sols ayant un pH inférieur à 5 et soumis à des applications de cuivre ont tendance à perturber plus fortement l'abondance et la structure des populations de nématodes.

Quant aux **collembolles, détritivores participant à la fragmentation de la matière organique**, l'impact des doses de cuivre sur cette population n'a pas non plus été étudié sur les sols des vignobles en particulier. Dans cette étude, la population de collembolles est suivie 70 jours après l'application du cuivre. Il en ressort que le taux de survie diminue de 50% entre 3 476 et 8 000kgCu/ha. Pour le taux de reproduction, les conclusions sont plus compliquées à tirer puisqu'il existe de fortes variations selon les sols et les espèces. Néanmoins, on observe généralement une diminution de 50% du taux de reproduction des collembolles entre 408 et 4 000kgCu/ha.

Concernant les enchytrées, il semblerait que ces très petits vers soient peu voire pas sensibles au cuivre.

En effet, leur taux de survie reste inchangé entre 12,8 et 20 000kgCu/ha et leur biomasse ne diminue significativement de 60% que pour la dose maximale de 20 000kgCu/ha. On observe cependant une diminution de la reproduction de 50% entre 1 896 et 2 468kgCu/ha mais jusqu'à 1 280kgCu/ha, celle-ci se maintenait inchangée.

Enfin, **l'impact des doses de cuivre sur les vers de terre** a été étudié mais pas uniquement sur des sols viticoles. Les résultats varient selon les études, les sols et les espèces impliqués.

Ainsi, la survie des vers de terre peut ne pas être menacée jusqu'à 20 000kgCu/ha alors qu'une autre étude indique une mortalité de 20% à 1 320kgCu/ha.

Pour la biomasse, des diminutions de 15% sont observables à 12,8, 800 et 2 000kgCu/ha et de 30% à 40, 1 600 et 20 000kgCu/ha selon les différentes études. De plus, on observe une diminution de 86% de l'activité de cette population entre 2 000 et 20 000kgCu/ha.

Les effets génotoxiques du cuivre ont aussi été étudiés sur les vers de terre et, là aussi, les résultats varient à court terme selon les espèces. Six jours après le contact avec un sol contaminé à 240kgCu/ha, 20% de l'ADN des vers de terre était endommagé et cela s'élève à 45% pour une contamination à 480kgCu/ha. Néanmoins, cette génotoxicité semble réversible puisque 9 jours après le contact avec le sol le plus contaminé, le taux d'ADN endommagé est à 32%. **De fait, malgré la diversité des résultats, on peut affirmer que des effets néfastes du cuivre sur les vers de terre apparaissent à partir de 200kgCu/ha.**

Pour ce qui est de **l'impact de l'accumulation du cuivre sur la vie des sols**, les études ont analysées des sols présentant des taux de cuivre allant de 60 à 18 000 kgCu/ha, soit entre 15 et 4 500 mgCu/kg. Les sols présentant des taux de cuivre inférieurs à 200kgCu/ha, ou 50mgCu/kg, étaient considérés comme témoins non-contaminés. Les expérimentations se sont intéressées aux populations de micro-organismes et de collembolles.

Concernant **les micro-organismes**, l'accumulation de cuivre dans les sols à des teneurs entre 88 et 560kgCu/ha n'impacte pas leur biomasse. Cependant, on observe une diminution de 33

et 45% de cette biomasse à 1 800 et 18 000kgCu/ha respectivement. Aux mêmes taux de cuivre dans le sol, la richesse bactérienne est aussi réduite de 10% et 33%.

S'agissant de la **respiration microbienne**, les résultats diffèrent : certaines études montrent que la respiration reste inchangée jusqu'à 400kgCu/ha et d'autres, une diminution de 40% entre 200 et 400kgCu/ha.

En outre, **l'activité microbienne** est altérée de 65 à 75% à partir de 600kgCu/ha. Toutefois, la croissance des micro-organismes reste inchangée entre 60 et 1 200kgCu/ha. Les différences de résultats peuvent s'expliquer par des sols aux caractéristiques divergentes. Néanmoins, il ressort que, pour les sols viticoles, les effets néfastes du cuivre sur les micro-organismes sont observables à partir de 200kgCu/ha, soit 50mgCu/kg.

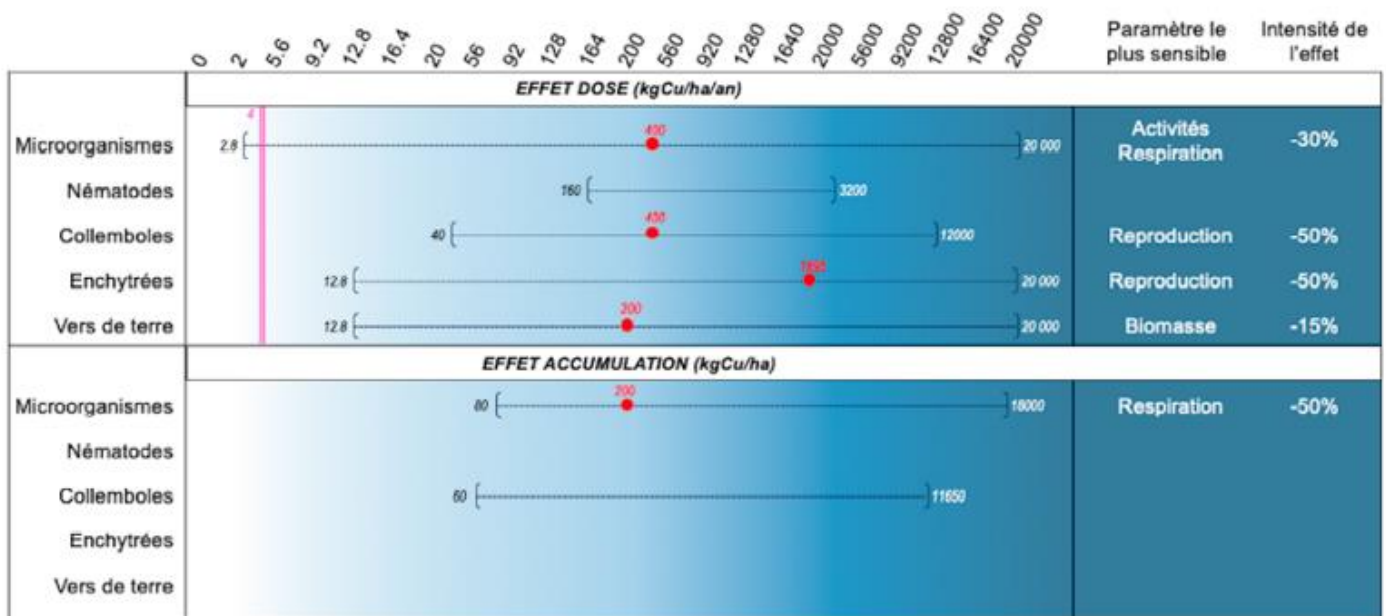
Précédemment, les études ont montré que la dose de cuivre, avaient peu voire pas d'effet sur la population de collemboles du sol. De même, l'accumulation de cuivre dans le sol ne semble pas importuner ce type d'organismes. En effet, même à des teneurs en cuivre atteignant 11 648kgCu/ha, la survie, l'abondance et la taille des adultes et juvéniles restent inchangées.

CONCLUSION

Cette étude a permis d'avoir une synthèse des expérimentations réalisées et d'évaluer les effets néfastes du cuivre sur le sol.

On notera que les doses testées allaient de 2,8 à 20 000kgCu/ha/an dont 80% étaient supérieures à 200kgCu/ha/an, ce qui représente des **doses environ 50 fois supérieures aux réglementations** en vigueur. Par ailleurs, d'après les analyses, **la qualité des sols serait impactée à partir de 200kgCu/ha/an.**

Cela varie selon les espèces comme présenté précédemment et résumé dans la figure ci-après.



Légendes : [-] Doses testées / Teneurs dans le sol dans les études
 ● Seuil d'écotoxicité du cuivre
 | Dose actuellement autorisée par la Commission Européenne

Synthèse des seuils d'écotoxicité du cuivre pour chaque groupe biologique

(dose minimale de cuivre ou teneur minimale de cuivre dans le sol pour laquelle des effets délétères ont été observés)

(source : Karimi et al., 2021)

Ceci montre donc que **l'utilisation du cuivre aux doses actuellement autorisées assure l'intégrité biologique des sols.**

Il faudrait néanmoins des études plus poussées pour pouvoir l'affirmer complètement. En effet, des expérimentations utilisant des doses proches de celles utilisées par les viticulteurs, suivant des traitements renouvelés 4 à 12 fois sur 3 mois et suivant les populations à court, moyen et long terme permettraient de mieux approcher les conditions réelles d'utilisation du cuivre et de mieux évaluer sa véritable influence sur les sols.

En savoir plus :

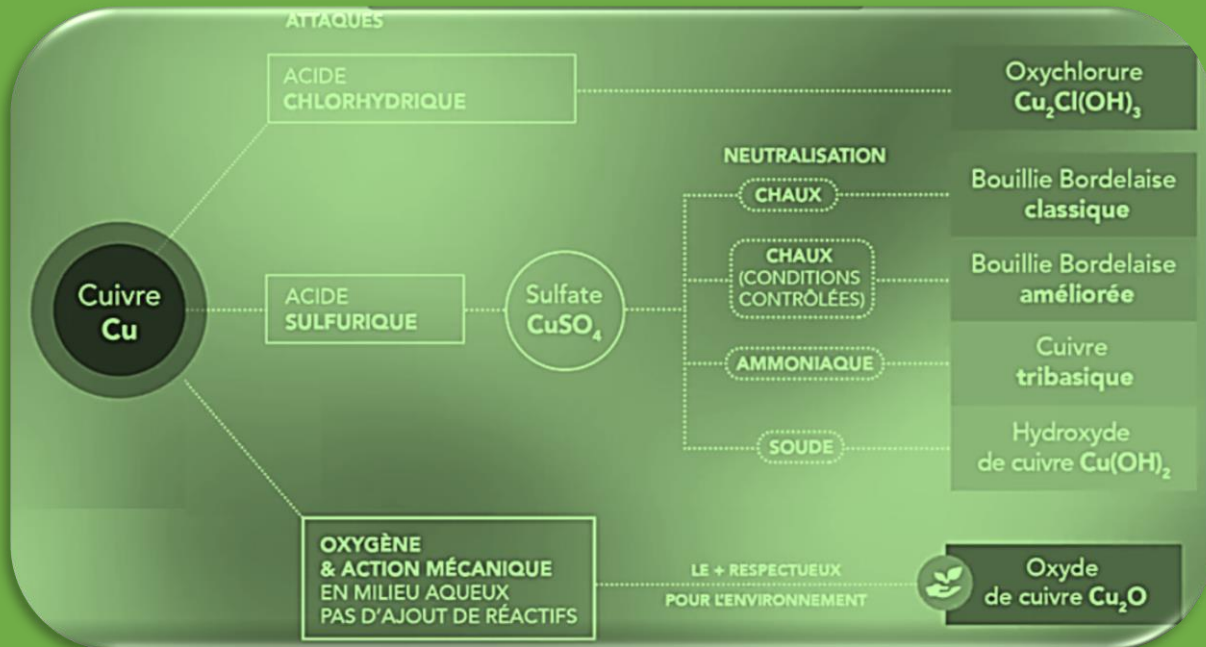
KARIMI B., MASSON V., GUILLAND C., LEROY E., PELLEGRINELLI S., GIBOULOT E., MARON P.-A., RANJARD L., (2021), *La biodiversité des sols est-elle impactée par l'apport de cuivre ou son accumulation dans les sols vignes ? Synthèse des connaissances Scientifiques*, Etude et Gestion des Sols, 28, 71-92

CERTIS, *Le cuivre à l'ère du biorational : comment réduire les doses et optimiser chaque gramme de Cu ?*

Le saviez-vous ?

L'oxyde de cuivre est la forme dont la production est la plus respectueuse de l'environnement.

En effet, contrairement à l'oxychlorure, l'hydroxyde de cuivre, le cuivre tribasique ou la bouillie bordelaise, le processus de production de l'oxyde de cuivre n'implique aucun réactif : le cuivre et l'oxygène réagissent seuls en milieu aqueux et sous une simple action mécanique.



Rédaction : Agathe SENECHAL, stagiaire ingénieure à la chambre d'agriculture du Var

Document élaboré par :

Garance MARCANTONI - CA 83 - tel : 06 14 52 08 86
garance.marcantoni@var.chambagri.fr
Référénte Bio Viticulture PACA

Coordination :



Participation financière :

