



LE CUIVRE EN SOLS VITICOLES

ADAPTER LES PRATIQUES POUR MIEUX EN CONTENIR LES EFFETS

L'usage de fongicides à base de cuivre (Cu) pour lutter contre le mildiou de la vigne a conduit à une contamination cuprique des sols qui peut, dans certains contextes, altérer le fonctionnement et la durabilité des écosystèmes viticoles. Il convient donc, en complément de la recherche d'alternatives au cuivre, d'identifier des leviers agronomiques à même de réduire la pression cuprique dans les parcelles viticoles à risque.

Les analyses de terre effectuées dans les vignobles de France et du monde sont claires : la concentration en cuivre des sols de vigne est plus élevée que le fond pédogéochimique local. Ceci est vrai avant tout dans l'horizon de surface car le cuivre apporté par les traitements migre peu en profondeur en raison de sa forte affinité pour la phase solide du sol, notamment pour la matière organique (MO). Le cuivre est « dilué » dans l'horizon labouré donc le plus souvent dans les 20 premiers centimètres. En France, la concentration médiane de cuivre mesurée dans l'horizon de surface (0-20 cm) des sols de vigne est comprise, selon les sources, entre 50 et 100 mg kg⁻¹. Cette médiane qui est 5 à 10 fois supérieure à la médiane du fond pédogéochimique, traduit une contamination en cuivre « modérée » de la plupart des sols viticoles, comparé aux sols pollués au cuivre (industriels ou miniers) dont la concentration excède souvent 1 000 mg kg⁻¹. Cependant, certaines parcelles viticoles historiques peuvent atteindre les 500 mg kg⁻¹ de Cu.

Les parcelles viticoles anciennes sont davantage chargées en cuivre

Le niveau de contamination en cuivre des sols de vigne est étroitement lié à l'âge viticole de la parcelle. En effet, les doses de cuivre appliquées en traitement de la vigne étaient nettement supérieures par le passé qu'elles ne le sont actuellement. L'équivalent de la dose annuelle de cuivre autorisée actuellement en viticulture (4 kg Cu ha⁻¹) pouvait être apporté en un seul traitement au début du 20^{ème} siècle. La majorité du cuivre stocké dans le sol des vignes les plus anciennes provient donc du cuivre appliqué au siècle dernier.

L'écotoxicité du cuivre à la parcelle souvent évoquée mais rarement démontrée

Si le cuivre est un oligo-élément indispensable à la vie, son accumulation en excès est toxique pour les organismes. L'excès de cuivre se traduit souvent par un déséquilibre de la nutrition en fer qui, chez les plantes, s'extériorise par un jaunissement internervaire des feuilles. Le cuivre peut également provoquer des « stress oxydants » pouvant altérer l'intégrité des membranes des cellules et provoquer la perte d'ions et de solutés. En fonction de la sévérité de la toxicité, le cuivre provoque de légers désordres physiologiques jusqu'à des lésions voire des dépérissements. Les démonstrations de toxicité du cuivre à la parcelle sont rares et se limitent à notre connaissance à deux contextes :

- Celui des sols sableux acides (pH < 5) du Médoc dans lesquels l'excès de cuivre a provoqué dans les années 1960 un dépérissement des vignes à la plantation.
- Celui des sols calcaires du Languedoc dans lesquels l'excès de cuivre a pénalisé dans les années 2000 la croissance du blé dur semé après l'arrachage des vignes. Plusieurs études soulignent également que la

qualité biologique des sols de vigne, par exemple leur biomasse microbienne, est inférieure à celle d'autres agroécosystèmes ; mais cela est a priori lié à plusieurs caractéristiques des sols viticoles, à commencer par leur teneur en MO souvent plus faible.

Plusieurs raisons peuvent expliquer le peu d'exemples d'écotoxicité de cuivre à la parcelle :

- Les symptômes visuels de toxicité cuprique s'expriment en premier lieu au niveau des racines.
- La vigne extériorise rarement une toxicité cuprique car ses racines plongent assez rapidement en deçà de l'horizon de surface où s'accumule le cuivre.
- Le cuivre ne s'accumulerait pas à des doses écotoxiques dans la plupart des sols viticoles, c'est-à-dire à des doses supérieures à celles que peuvent tolérer les organismes du sol.

Les symptômes visuels de toxicité du cuivre seraient donc à analyser sur les couverts végétaux de l'inter rang, via des observations minutieuses de l'architecture racinaire : élongation moindre, épaississement, sur-ramification, mais cela est rarement réalisé.

Une écotoxicité du cuivre sous la dépendance de sa biodisponibilité

L'effet écotoxique de cuivre ne dépend pas que de la charge en cuivre du sol mais surtout de sa biodisponibilité. La biodisponibilité est le degré auquel une substance chimique présente dans le sol peut être absorbée ou métabolisée par une cible biologique. Les plantes et les organismes du sol prélèvent le cuivre dans l'eau de porosité du sol (ou solution de sol) alors même que l'extrême majorité du cuivre du sol est associée à la phase solide, notamment à la MO et aux oxyhydroxydes métalliques. La biodisponibilité du cuivre dépend donc d'une part de la capacité du cuivre associé à



la phase solide à passer en solution, ou « solubilité ». Par ailleurs, les plantes et les organismes du sol prélèvent le cuivre sous sa forme ionique libre Cu^{2+} alors même qu'en solution de sol l'extrême majorité du cuivre est associée à la matière organique dissoute. La biodisponibilité du cuivre dépend donc aussi des formes sous lesquelles le cuivre est présent en solution, ou « spéciation ».

Le pH et la matière organique : deux paramètres clés

Le pH et la teneur en MO du sol sont deux des paramètres physico-chimiques influant le plus sur la biodisponibilité du cuivre car ils influent à la fois sur la solubilité et sur la spéciation du cuivre en solution. La biodisponibilité du cuivre est ainsi plus élevée dans les sols de pH acide et plus élevée dans les sols dont la teneur en MO est faible. En effet, la MO, solide comme dissoute, fixe une part importante du cuivre du sol.

Quels leviers agronomiques pour contenir la biodisponibilité du cuivre ?

Contenir la biodisponibilité du cuivre passe en premier lieu par limiter au maximum les apports de fongicides à base de cuivre dans les parcelles de vigne à risque de toxicité cuprique. Toutefois, même si la quantité de cuivre

apporté par ces fongicides a nettement diminué au cours du siècle dernier, il est difficile d'envisager à moyen terme de remplacer complètement le cuivre en viticulture, notamment en viticulture biologique. Il convient donc, dans ces parcelles à risque, de contenir la biodisponibilité de cuivre dans le sol via d'autres leviers agronomiques, notamment via une bonne gestion du pH et de la teneur en MO du sol.

Relever et/ou maintenir par chaulage le pH du sol au-dessus de 6,5 est un moyen efficace pour contenir la biodisponibilité de cuivre dans le sol. Le chaulage a permis de régler dans les années 1960 le problème de toxicité cuprique sur jeunes plants de vigne observé dans les sols de graves, naturellement très acides ($\text{pH} < 5$), du vignoble bordelais. Enrichir le sol en MO par l'apport d'amendements organiques est un autre moyen pour contenir la biodisponibilité de cuivre dans les sols, sous réserve que l'amendement organique apporté soit peu chargé en cuivre. L'apport de MO permet ainsi de corriger des situations de toxicité cuprique. La photo 1 montre qu'un apport de compost en surface peut limiter la toxicité cuprique et favoriser la croissance du blé dur sur un sol à antécédent viticole.

La phytoremédiation* est parfois évoquée comme moyen de contenir les effets délétères de l'excès de cuivre en sols viticoles. Les systèmes viticoles sont des systèmes dans lesquels la culture de plantes de service est relativement aisée, que ce soit à l'inter rang ou en période de jachère. Mais



Impact de l'apport de compost en surface sur la toxicité du cuivre sur céréale à pailles dans un sol à antécédent viticole

*Phytoremédiation : méthode de dépollution des sols utilisant l'activité métabolique des plantes.



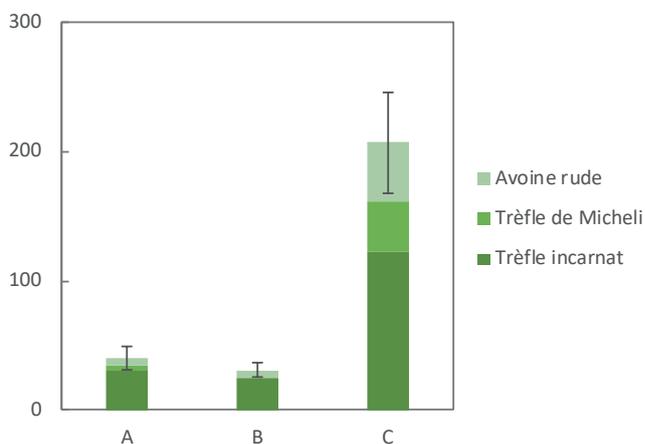
quels services peuvent rendre ces cultures vis-à-vis de la problématique cuivre ? Ce qui semble faire consensus est que l'enherbement ou l'implantation d'engrais verts à l'inter rang permet de limiter les transferts latéraux et verticaux de cuivre, et ainsi de limiter la dissémination du cuivre vers les eaux et les agroécosystèmes adjacents. Ces plantes de services seraient également susceptibles d'offrir une protection rhizosphérique aux organismes du sol via la baisse locale de la biodisponibilité de cuivre dans leur rhizosphère. Pour bien jouer leur rôle, ces plantes pourraient être sélectionnées, en matière d'espèce et de variété, pour leur capacité à tolérer le cuivre.

La phytoextraction du cuivre : un levier efficace pour réduire la pression cuprique ?

Ce qui est plus sujet à caution est que des plantes de service pourraient extraire des quantités de cuivre assez importantes pour alléger la charge en cuivre des sols viticoles. Cette question a été traitée dans le cadre du projet EXTRACUIVRE (2021-2024) financé par le CIVB et coordonné par l'INRAE de Nouvelle-Aquitaine (UMR ISPA) dont les objectifs principaux étaient :

- d'évaluer le potentiel de cette technique,
- d'identifier des itinéraires de cultures simples capables de maximiser les rendements de phytoextraction de cuivre.

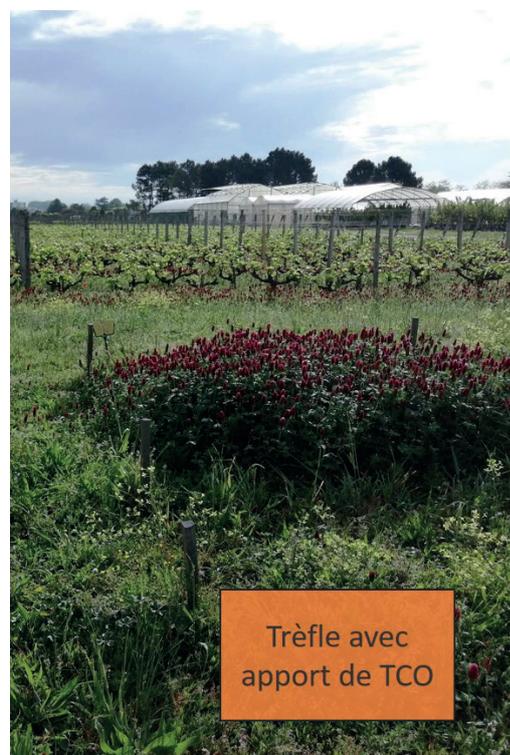
Des prélèvements d'engrais verts sur plusieurs parcelles du vignoble bordelais ont montré qu'en l'absence d'optimisation, les rendements de phytoextraction de cuivre peuvent varier de 30 à 200 g ha⁻¹ an⁻¹ suivant le niveau de biodisponibilité de cuivre dans le sol et la nature du couvert semé (voir graphique).



Quantité de cuivre extrait par un mélange d'engrais vert (avoine rude, trèfle de Micheli, trèfle incarnat) semé à l'inter rang de 3 parcelles viticoles (A, B, C) du vignoble bordelais (collaboration avec la Chambre d'agriculture de la Gironde)

Une expérimentation en microplacettes a montré que l'apport au sol de thé de compost oxygéné (TCO) peut augmenter la quantité de cuivre extrait par le trèfle incarnat de près d'un facteur trois (voir photo 2 et 3).

Cette augmentation est due majoritairement à un effet positif du TCO sur la croissance du trèfle que l'on attribue à sa richesse en azote. Dans une proportion moindre, l'augmentation de la phytoextraction de cuivre est due à une concentration plus élevée de cuivre dans les parties aériennes du trèfle en présence de TCO. Cette hausse d'accumulation de cuivre reste toutefois limitée, et ce malgré un effet prononcé du TCO



Trèfle incarnat à floraison sur un sol viticole de graves (AOP Pessac-Léognan) ayant reçu ou non un apport répété de thé de compost oxygéné (TCO).



sur la biodisponibilité du cuivre dans le sol, en raison de la régulation fine de translocation de Cu des racines vers les organes aériens que mettent en place la plupart des plantes. En conséquence, le TCO à lui seul ne permet pas d'extraire des quantités de Cu de l'ordre de celles apportées annuellement par les produits de traitement. Pour ce faire, l'usage de TCO doit impérativement s'accompagner de la mise en place d'un couvert accumulateur de Cu. En ce sens, un screening de plantes candidates à la phytoextraction de Cu en sols viticoles a été réalisé dans le cadre du projet, sans toutefois permettre d'identifier une espèce accumulatrice de Cu. En effet, si la majorité des 19 espèces testées semble tolérer le Cu aux doses auxquelles il s'accumule dans les sols viticoles (exception faite de certaines brassicacées et plantes crassuléscentes) aucune n'accumule le Cu à plus de 100 mg kg⁻¹ de matière sèche dans ses organes aériens, c'est-à-dire à une concentration permettant de phytoextraire des quantités de Cu de l'ordre de celles apportées annuellement par les produits de traitements. La phytoextraction de Cu en contexte viticole semble donc suspendue à l'identification de plantes accumulatrices de Cu - identification qui est loin d'être certaine tant ce trait est rarement observé dans le monde végétal. S'ajoute à cette nécessité celle de valoriser le couvert enrichi en Cu, idéalement pour le Cu qu'il contient. A ce sujet, deux voies de valorisation sont actuellement étudiées : l'écocatalyse qui consiste à préparer à partir de couverts enrichis en métaux des catalyseurs biosourcés utilisés ensuite pour la synthèse de molécules d'intérêts, et l'utilisation de ces couverts en alimentation animale pour couvrir les « besoins nutritionnels », notamment des porcs, en Cu.

Conclusion

La connaissance de la biogéochimie de Cu permet de contenir les effets potentiellement phytotoxiques de Cu dans la plupart des sols de vigne en y limitant sa biodisponibilité. A l'exception peut-être des sols calcaires où les couverts de l'inter-rang ainsi que les cultures succédant à la vigne peuvent exprimer une toxicité cuprique pour des raisons encore mal comprises. Il convient également de rappeler que l'écotoxicité de Cu n'a pas été suffisamment investiguée à la parcelle. Il paraît donc utile de dédier davantage d'études sur le sujet, par exemple, en suivant sur le moyen terme l'effet de doses de Cu similaires à celles utilisées au vignoble sur un cortège de cibles et de traits permettant une évaluation précise de la vie biologique des sols, ainsi que des leviers permettant sur le long terme de la préserver.

Rédigé par

Paul-Armel SALAUN, Conseiller en viticulture bio
Bio Nouvelle Aquitaine
pa.salaun@bionouvelleaquitaine.com

Jean-Yves CORNU, INRAE
Centre de Bordeaux Aquitaine, UMR ISPA
jean-yves.cornu@inrae.fr

Crédit photo

ARVALIS et Jean-Yves CORNU, INRAE

Pour citer cet article

Paul-Armel SALAUN (Bio Nouvelle-Aquitaine) et Jean-Yves CORNU (INRAE).
Le cuivre en sols viticole, adapter les pratiques pour mieux en contenir les effets.
ProFilBio numéro 23. Octobre 2024

Quelques ressources complémentaires :

- Webinaire du 12 mars 2024 : www.vignevin.com
- Bilan du projet BasIC : www.produire-bio.fr