

Effet de l'utilisation répétée de bouillie bordelaise sur la contamination des sols, la biodisponibilité du cuivre et son accumulation dans la vigne

Laurence Denaix, Laetitia Anatole-Monnier, Denis Thiery

▶ **To cite this version:**

Laurence Denaix, Laetitia Anatole-Monnier, Denis Thiery. Effet de l'utilisation répétée de bouillie bordelaise sur la contamination des sols, la biodisponibilité du cuivre et son accumulation dans la vigne. 46. Colloque du Groupe Français des Pesticides, May 2016, Bordeaux, France. hal-01869886

HAL Id: hal-01869886
https://hal.science/hal-01869886

Submitted on 2 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Effet de l'utilisation répétée de bouillie bordelaise sur la contamination des sols, la biodisponibilité du cuivre et son accumulation dans la vigne.

Denaix Laurence (1), Anatole-Monnier Laetitia (1,2), Thiéry Denis (2)

(1) *UMR ISPA, INRA BSA, Centre Bordeaux Aquitaine, 71, avenue Edouard Bourleaux – CS 20032 – 33882 Villenave d'Ornon Cedex – laurence.denaix@bordeaux.inra.fr*

(2) *UMR SAVE, INRA, BSA, ISVV, Centre Bordeaux Aquitaine, 71, avenue Edouard Bourleaux – CS 20032 – 33882 Villenave d'Ornon Cedex*

Mots-clés : cuivre, biodisponibilité, vigne, sol, contamination

Introduction

Depuis la découverte de la bouillie bordelaise en 1882 pour lutter contre le mildiou, l'utilisation prolongée du cuivre en tant que fongicide a entraîné son accumulation dans les sols viticoles. En effet, le cuivre à une forte affinité avec la matière organique et s'accumule dans les premiers horizons des sols. Ainsi, des concentrations élevées ont pu être observées dans différentes régions viticoles de France et du monde (Bravin, 2008, Anatole-Monnier, 2014).
Le cuivre étant un élément phytotoxique, son accumulation dans le végétal peut conduire à des modifications morphologiques, biochimiques ou physiologiques dans les différentes parties de la plante (Adrees et al. 2015). En particulier, des effets rhizotoxiques, tels que des épaississements et des brunissements de racines ont été mis en évidence.
L'objectif de cette étude était donc de tester l'impact d'un apport répété de bouillie bordelaise sur l'accumulation du cuivre dans les sols et sa biodisponibilité pour la vigne. En particulier, nous avons analysé la variabilité de prélèvement et de répartition selon les cépages ainsi que la répartition du cuivre entre les différents organes, pour des concentrations en cuivre croissantes, mais représentatives de la contamination environnementale.

Matériels et Méthodes
Les échantillons de sols ont été prélevés sur 47 parcelles différentes appartenant à treize propriétés viticoles dans l'appellation Pessac-Léognan (Sud de Bordeaux). La couche 0-20 cm a ainsi été prélevée au moyen d'une tarière à main, puis un échantillon composite a été constitué avec six points de prélèvements par parcelle. Les caractéristiques pédologiques classiques (pH, granulométrie, CEC, teneur en carbone, azote et en calcaire total) ainsi que la teneur totale en cuivre, extraite à l'eau régale, et la teneur en cuivre extraite à l'EDTA ont été analysées. Sur sol humide, réhumecté à 100% de la capacité au champ, la solution du sol a été extraite par bougie microporeuse et sa concentration en cuivre analysée. Des capteurs passifs DGT (Diffusive Gradient in Thin films) ont été déposés pendant 48 heures à 5 cm sous la surface du sol et le cuivre a été dosé dans la résine chélante qui les compose. La concentration DGT a ainsi été obtenue comme indicateur de la disponibilité en cuivre (Zhang et Davison, 2015). Ces paramètres nous ont permis de déterminer la gamme de contamination pour les cultures en hydroponie de boutures franches de vignes et de sélectionner les trois sols utilisés pour la culture de plants greffés.
Pour analyser la répartition du cuivre dans la vigne et sa réponse à une contamination croissante, des boutures de trois cépages différents (Merlot, Cabernet-Sauvignon et le porte-greffe 101.14) ont été exposées à des concentrations de cuivre croissantes (0.2 ; 1 ; 2.5 ; 10 µM Cu) sur substrat de culture inerte (perlite). Après une préculture d'un mois en solution hydroponique à une concentration en cuivre de 0.2

µM puis quinze jours d'exposition à une concentration en cuivre définie comme précédemment indiqué, nous avons mesuré la concentration du cuivre dans les différents organes de la vigne : racines, tiges, feuilles, en distinguant les différents étages foliaires, ainsi que la biomasse de ces organes.
Une expérience complémentaire a été réalisée sur sol. Des plants de Cabernet Sauvignon greffés sur le porte greffe 101.14 ont été cultivés en pots sur trois sols issus des parcelles viticoles précédemment analysées. Pour ce faire, ont été sélectionnés le sol le moins concentré en cuivre et les deux sols présentant pour le cuivre la concentration dans la solution ou la concentration DGT la plus élevée. Après une culture de cinq mois sous serre, les plants ont été récoltés, la biomasse et la concentration en cuivre des racines, cep, tige, et feuilles ont été analysés.

Résultats

Contamination des sols

Les sols ont été sélectionnés pour être représentatifs des sols de la région. Le tableau 1 récapitule les données mesurées sur les sols.

Tableau 1 : Paramètres physicochimiques des 47 échantillons de sols (0-20 cm) prélevés

	pH	CEC cmol+/kg	Argile %	$CaCO_3$ g/kg	Matière organique %	Cu total mg/kg	Cu en solution µM	Cu DGT µM
Minimum	4.5	1.8	4	<1	0.9	1.4	0.1	0.03
Maximum	8.6	23	31	260	8.2	383	7.5	2.6
Médiane	7.1	7.1	11	5.4	1.9	89	1.5	0.42

La médiane des teneurs en cuivre mesurées est beaucoup plus élevée que la médiane des sols français qui est de 13.9 mg/kg (GISSol, 2011). Mais les teneurs dans cette petite région restent dans la gamme des concentrations observées sur des sols viticoles d'autres régions (Bravin, 2008, Anatole-Monnier, 2014). La comparaison des teneurs totales et des teneurs obtenues après une extraction EDTA montre une relation linéaire significative (figure 1). Ainsi, 65% du cuivre total des sols est extrait par EDTA. Cette relation nous permettrait ainsi d'utiliser cette extraction pour avoir un estimateur de la teneur totale en cuivre des sols viticoles.

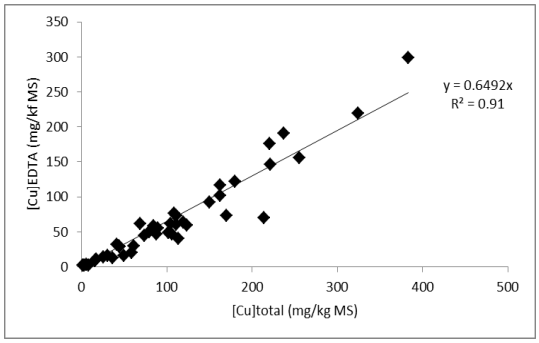


Figure 1 : Relation entre la teneur en cuivre total extrait à l'eau régale et la teneur en cuivre extraite à l'EDTA.

Cette analyse nous a confirmé une forte variabilité de teneur. Sur l'ensemble des parcelles, les teneurs totales varient d'un facteur 64, les concentrations en solution d'un facteur 75 et les concentrations mesurées par le capteur passif DGT d'un facteur 86. Cette variation s'observe aussi entre des parcelles différentes au sein d'un même domaine. La teneur totale en cuivre du sol actuelle a été corrélée à l'historique d'usage de ces parcelles.

En effet, à partir d'enquêtes et de photographies aériennes anciennes, nous avons pu estimer la durée de l'usage en viticulture pour chaque parcelle et nous avons trouvé une relation linéaire significative entre cette variable et la teneur totale en cuivre de la parcelle. Ainsi, à partir de la durée d'usage viticole du sol estimée, il est possible de prévoir sa concentration totale en cuivre.
Sur ces parcelles, nous avons analysé la disponibilité du cuivre au moyen de capteurs passifs DGT et par extraction de la solution du sol via des bougies microporeuses. Nos résultats montrent que la concentration de cuivre en solution et la concentration DGT sont fortement variables d'une parcelle à l'autre et dépendent non seulement de la concentration totale en cuivre mais aussi des teneurs en carbone total et en particules fines du sol. Les relations multifactorielles suivantes ont été calculées :

Log (concentration en cuivre dans la solution du sol)= 3,15 + 0,61.log (teneur en cuivre EDTA du sol)- 0,30.log (teneur en argiles) – 0,39.log (teneur en matières organiques)- 0,15.pH [R^2=0,74 p=1,3 10^{-11}].

Log (concentration en cuivre mesuré par DGT)= 1,33 + 0,82 x log (teneur en cuivre EDTA du sol)- 0,39 x log (teneur en argiles + limons fins) – 0,39 log (teneur en carbone total) [R^2=0,85 et p=2 10^{-16}].

Ainsi, à partir d'une analyse de sol classique, il est possible d'estimer la concentration de cuivre disponible, susceptible de passer en solution et d'être prélevée par une plante dans cette région viticole. Nous confirmons ainsi sur sols viticoles que les paramètres contrôlant la disponibilité du cuivre dans les sols sont bien le pH, la teneur totale, la teneur en matières organiques (Sauvé et al., 1997).

Transfert du cuivre sur boutures franches dans différents cépages

L'exposition de boutures de vignes à des concentrations croissantes de cuivre a montré que, quels que soient les cépages et la dose appliquée, l'organe le plus concentré en cuivre était la racine.

Pour une concentration en cuivre faible (0.2 µM), les cépages accumulent différemment le cuivre. Pour les racines, la concentration en cuivre est significativement plus faible pour *Vitis vinifera* cv. Merlot (11,2 mg/kg), puis elle augmente pour cv. Cabernet Sauvignon (16,2 mg/kg) et elle est la plus élevée pour *Vitis riparia x Vitis rupestris* cv. 101.14 (18,7 mg/kg). Dans les feuilles, la concentration la plus faible est trouvée pour le Cabernet Sauvignon (3,6 mg/kg).

Lorsque la concentration en cuivre dans le milieu de culture augmente, la concentration dans les racines augmente pour tous les cultivars. Elle reste constante dans les organes aériens pour le Cabernet-Sauvignon et le porte-greffe 101.14 jusqu'à la concentration de 2.5 µM dans le milieu de culture alors qu'elle augmente régulièrement pour le Merlot. Pour la concentration de 10 µM, tous les cépages présentent une augmentation de la concentration pour les organes aériens.

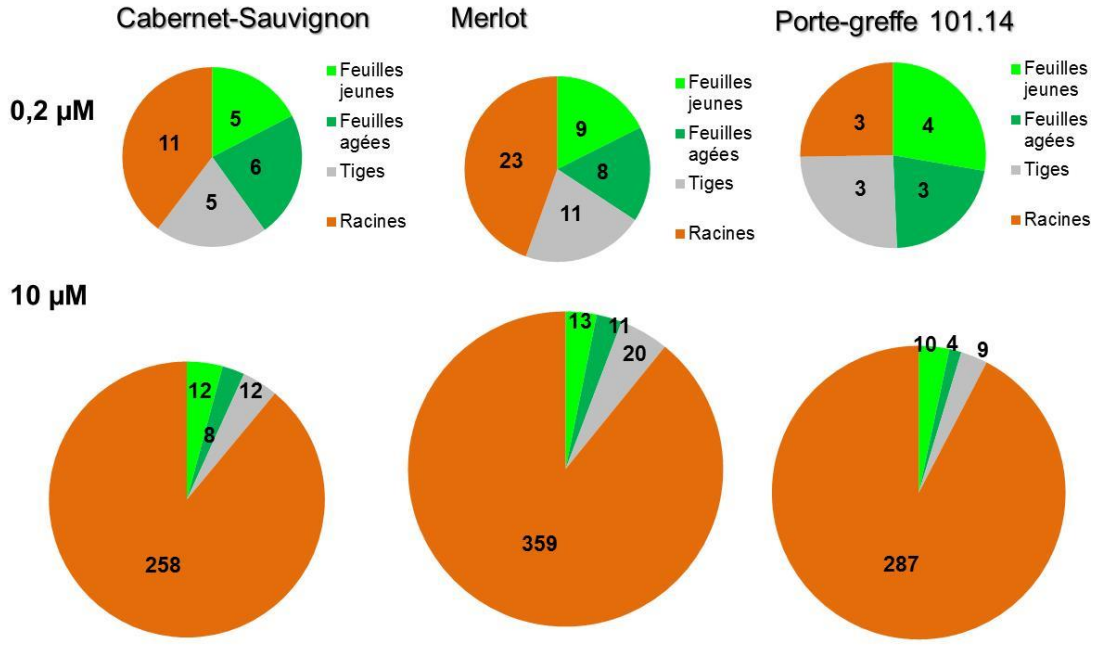


Figure 2: Répartition de la minéralomasse du cuivre entre les organes racines, tiges, feuilles agées et jeunes feuilles dans les trois cépages de vigne testés, pour le niveau d'exposition le plus faible (0,2 µM) et le plus élevé (10 µM)

Nous avons ainsi démontré des différences d'accumulation entre les organes, entre les cépages et une réponse différente des trois cépages à une augmentation de la contamination cuprique. Ainsi le Merlot transfère le cuivre vers les parties aériennes lorsque l'exposition racinaire augmente alors que le Cabernet Sauvignon le stocke dans les racines jusqu'à un certain seuil d'exposition, une augmentation de transfert

vers les parties aériennes n'intervenant qu'au-delà de ce seuil de 2.5 µM. Comme nous l'avons montré précédemment, cette valeur seuil se rencontre dans certains sols viticoles de la région analysés dans la première partie.
Comme le montre la figure 2, entre 23% et 45% du cuivre total de la plante est stocké dans les racines lorsque le niveau d'exposition est faible, alors qu'il atteint de 72% à 89% lorsque la concentration en cuivre atteint 10 µM. La vigne a donc bien tendance à bloquer le cuivre dans les racines quand le niveau de contamination du milieu de croissance augmente.

Transfert du cuivre sur plans greffés
Une expérimentation sur des plants greffés (Cabernet Sauvignon sur porte greffe 101.14) cultivés sur des sols peu ou fortement contaminés en cuivre a permis de confirmer les effets observés sur bouture, à savoir une forte augmentation de la concentration en cuivre dans les racines pour les sols les plus contaminés. Les concentrations de cuivre en solution des 3 sols testés correspondent aux niveaux de contamination testés dans l'expérience sur boutures, soit de 0,5 µM à 7 µM.

Tableau 2 : Moyennes des concentrations mesurées sur les sols et les plants greffés

	Sol 1	Sol 2	Sol 3
Teneur en cuivre dans les sols (mg/kg MS)	3,1	108	325
Concentration en cuivre dans la solution du sol (µg/L)	33	437	74
Concentration en cuivre mesurée par le capteur passif DGT (µg/L)	47	396	766
Concentration en cuivre dans la racine (mg/kg MS)	25	309	439
Concentration en cuivre dans le cep (mg/kg MS)	4	3	4
Concentration en cuivre dans les jeunes feuilles (mg/kg)	3	3	4

Par contre, sur les plans greffés, il n'y a pas eu d'augmentation de concentration dans les feuilles sur les sols les plus contaminés. Cela peut être du soit à une spéciation du cuivre différente dans le sol que celle qui était obtenue dans de la perlite, soit à un mécanisme de translocation du cuivre différent dans le cas d'une plante greffée par rapport à une bouture franche.

Conclusion
A partir d'une analyse des niveaux de contamination en cuivre de sols viticoles d'une petite région, nous avons pu mettre en évidence la grande variabilité des concentrations dans les sols, expliquée en grande partie par l'historique d'usage des sols. La disponibilité du cuivre estimée par la concentration totale de cuivre en solution ou la concentration mesurée par le capteur passif DGT a pu être prédite par une relation statistique à partir de la teneur totale en cuivre du sol, du pH du sol et la proportion de phases sorbantes : matières organiques et particules fines. Les cultures réalisées sur boutures ou sur plans greffés ont confirmé la capacité de la vigne à stocker le cuivre dans les racines lorsque l'exposition au cuivre augmentait. Ainsi, l'organe qui sera le plus affecté par une augmentation de la contamination des sols est la racine, qui risque de voir sa croissance perturbée et donc la fonction de prélèvement des éléments nutritifs affectée. Cet effet s'observe parfois sur le terrain pour les jeunes vignes puis s'atténue pour les vignes âgées de plus de 4 ans car le cuivre s'accumule dans l'horizon de surface du sol (Brun et al., 1998) et la vigne a tendance à faire plonger ses racines en profondeur en deçà des horizons contaminés.
Enfin, nous avons montré que la distribution et comportement de répartition du cuivre dans la vigne variait suivant les cépages. Il serait intéressant de tester une gamme plus importante de cépages pour les classer selon leur capacité à stocker ou à transloquer le cuivre vers les parties aériennes. Les mécanismes de transfert du cuivre dans les plantes greffées seraient également à mieux explorer pour comprendre les différences observées entre le plant greffé et la bouture franche.

Références
Anatole-Monnier, L., 2014. Effets de la contamination cuprique des sols viticoles sur la sensibilité de la vigne à un cortège de bio-agresseurs. Thèse de l'universiré de Bordeaux.

Adrees, M., Ali, S., Rizwan, M., Ibrahim, M., Abbas, F., Farid, M., Zia-ur-Rehman, M., Irshad, M.K., Bharwana, S.A., 2015. The effect of excess copper on growth and physiology of important food crops: a review. Environmental Science and Pollution Research 22, 8148–8162. doi:10.1007/s11356-015-4496-5

Bravin, N., 2008. Processus rhyzosphériques déterminant les biodisponibilité du cuivre pour le blé dur cultivé en sols à antécédent viticole. Thèse de l'université de Montpellier.

Brun, L.A., Maillet, J., Richarte, J., Herrmann, P., Remy, J.C., 1998. Relationships between extractable copper, soil properties and copper uptake by wild plants in vineyard soils. Environmental Pollution 102,151–161.

Gis Sol. 2011. L'état des sols de France. Groupement d'intérêt scientifique sur les sols, 188 p.

Sauvé, S., McBride, M.B., Norvell, W.A., Hendershot, W.H., 1997. Copper solubility and speciation of in situ contaminated soils: effects of copper level, pH and organic matter. Water, Air, and Soil Pollution 100,133–149.

Zhang, H., Davison, W., 2015. Use of diffusive gradients in thin-film for studies of chemical speciation and bioavailability. Environmental Chemistry 12, 85–101. doi:10.1071/EN14105