IVES Technical Reviews
vigne & vin

https://doi.org/10.20870/IVES-TR.2026.10074

# Interception foliaire de fongicides à base de cuivre par les couvre-sols : un moyen de prévenir la contamination cuprique des sols viticoles ?

**Jean-Yves Cornu[1]✉, Jean-Marc Deogratias[2], Valentin Duquesne[2], Romain Jouannic[2], Diana Salvador[3], Sónia M. Rodrigues[4], Astrid Avellan[5]**

[1] ISPA, Bordeaux Sciences Agro, INRAE, 33140 Villenave d'Ornon, France
[2] ASTREDHOR Sud-Ouest, 33140, Villenave d'Ornon, France
[3] Department of Biology and Centre for Environmental and Marine Studies (CESAM), Universidade de Aveiro, Portugal
[4] Department of Environment and Planning and Centre for Environmental and Marine Studies (CESAM), Universidade de Aveiro, Portugal
[5] Géosciences Environnement Toulouse (GET), CNRS, UMR 5563, UT3, IRD, CNES, OMP, France

L'utilisation de fongicides à base de cuivre (Cu) en viticulture a entraîné une accumulation de Cu dans l'horizon de surface des sols viticoles, menaçant la santé des sols et la durabilité des écosystèmes viticoles. La présente étude examine le potentiel de couvre-sols comme plantes « parapluie » pour intercepter le Cu des fongicides cupriques avant qu'il n'atteigne le sol, et investigue les mécanismes par lesquels le Cu pourrait être retenu par les feuilles exposées à ces fongicides.

## Matériel et méthodes

Une première expérience (Exp. 1) a cherché à évaluer le potentiel de couvre-sols à intercepter le Cu présent dans les fongicides cupriques. Six couvre-sols susceptibles d'être implantés sous le rang de vignes car peu concurrentiels : *Herniaria glabra, Lippia nodiflora, Sedum album coral carpet, Trifolium fragiferum et Sedum kamtschaticum* (Fig. 1) ont été cultivés dans des micro-parcelles de 1 m² sur le site INRAE de Villenave d'Ornon (Gironde, France), et ont reçu un apport répété (n= 12), soit d'hydroxyde de Cu (Kocide flow®) soit de bouillie bordelaise (BB-RSR disperss®). Ces 2 formes de Cu sont actuellement les plus utilisées en viticulture et présentent des « solubilités » de Cu a priori contrastées[1]. À l'issue du dernier traitement, le taux de couverture des différents couvre-sols a été évalué à l'aide du logiciel Canopeo®, et la fraction de Cu intercepté a été quantifiée à partir du taux de couverture, de la densité de biomasse et de la concentration finale en Cu des parties aériennes des couvre-sols. Les méthodes relatives à l'Exp. 1 sont détaillées dans le document joint (https://ives-technicalreviews.eu/article/view/10074/53227).

Une seconde expérience (Exp. 2) a cherché à déterminer les mécanismes de rétention de Cu sur les feuilles traitées. Ceci a été réalisé sur de jeunes plants de vigne afin de bénéficier de feuilles homogènes en âge et en concentration initiale de Cu. Des graines de *Vitis vinifera* subsp. sylvestris ont été mises à germer et cultivées jusqu'au stade de 10 feuilles. À ce stade, 3 gouttes de solution de $CuSO_4$, ou d'eau déionisée (témoin), ont été déposées sur la face inférieure des 6ème et 7ème feuilles. Les plantes ont ensuite été cultivées pendant 7 jours avant que la cartographie foliaire par µXRF et les analyses de spéciation de Cu par µXANES ne soient réalisées à partir de coupes transversales des feuilles traitées. Les méthodes relatives à l'Exp. 2 sont détaillées dans l'article original.

## Résultats et discussion

### 1. Les couvre-sols peuvent intercepter jusqu'à 11 % du Cu présent dans les fongicides cupriques

À la récolte, le taux de couverture moyen des couvre-sols était compris entre 29 % pour *Sedum kamtschaticum* et 77 % pour *Herniaria glabra* (Figure 1), sans différence notable entre les 2 fongicides cupriques testés. La concentration en Cu des parties aériennes a augmenté ($p < 0.05$) dans tous les couvre-sols suite à la pulvérisation de fongicide cuprique, dans des proportions similaires entre couvre-sols mais contrastées entre fongicides (Figure 2a). Pour tous les couvre-sols sauf *Trifolium fragiferum*, la concentration en Cu des parties aériennes était de l'ordre de 2 fois supérieure ($p < 0.05$) pour les plantes traitées avec la bouillie bordelaise comparées à celles traitées avec l'hydroxyde de Cu. Ce résultat contraste avec certaines études menées sur la vigne à ce sujet[2], qui montrent peu de différence de lessivage entre les différentes formes de Cu. Chez les plantes ayant reçu des fongicides cupriques, la concentration en Cu des parties aériennes était toujours supérieure à 30 µg $g^{-1}$, dépassant souvent 100 µg $g^{-1}$ qui est la concentration minimale requise pour une valorisation de leur biomasse en écocatalyse[3 4]. Une telle concentration en Cu dans les parties aériennes a très rarement été observée chez des plantes sans nuire à leur croissance[5], sauf chez certaines hyperaccumulatrices de Cu (e.g. *Haumaniastrum* spp.)[6]. Cela souligne que le surplus de Cu mesuré dans les parties aériennes des plantes traitées provient très probablement de l'interception du Cu contenu dans les fongicides cupriques, et suggère que le Cu intercepté est stocké dans des lieux (tissus, organites cellulaires) et/ou sous des formes qui ne perturbent pas la physiologie de la plante.

La Figure 2b montre que les couvre-sols ont intercepté entre 2 % et 6 % du Cu pulvérisé sous forme d'hydroxyde de Cu, et entre 2 % et 11 % du Cu pulvérisé sous forme de bouillie. Cela correspond à une quantité de Cu intercepté comprise entre 0.08 et 0.44 kg $ha^{-1}$ pour un apport annuel de Cu de 4 kg $ha^{-1}$, soit potentiellement supérieure aux quantités de Cu exportées par phytoextraction[7 8] Bien que ce résultat soit à interpréter avec prudence, les fongicides cupriques n'ayant pas été pulvérisés sur la vigne mais directement sur les couvre-sols, il suggère que la culture de couvre-sols sous les rangs des vigne constitue une option complémentaire pour réduire l'accumulation de Cu dans les sols viticoles. La Figure 2b montre également que la fraction de Cu intercepté peut varier entre couvre-sols. Par exemple, *Herniaria glabra* a intercepté 3 à 6 fois plus de Cu que *Trifolium fragiferum* suivant le fongicide testé, alors même que leur taux de couverture était semblable (Figure 1). Les couvre-sols semblent donc avoir des capacités contrastées à fixer le Cu, en lien probablement avec certaines caractéristiques de leurs feuilles (e.g. épaisseur de la cuticule, composition en cire, densité de trichomes et/ou stomates).

### 2. Localisation et spéciation de Cu dans des feuilles de vigne traitées au $CuSO_4$

Les cartes de distribution élémentaire obtenues par µXRF montrent une accumulation plus importante de Cu dans le parenchyme spongieux et dans le système vasculaire des feuilles exposées au $CuSO_4$ par rapport aux témoins (Figure 3). Ceci suggère qu'une partie du Cu déposé à la



| | *Herniaria glabra* | *Lippia nodiflora* | *Sedum album coral carpet* | *Trifolium fragiferum* | *Sedum kamtschaticum* |
|---|---|---|---|---|---|
| Taux de couverture (%) | 77 ± 10 | 69 ± 9 | 40 ± 9 | 68 ± 16 | 29 ± 11 |

**FIGURE 1.** Photo de chaque espèce testée, et taux moyen de couverture associé (source Canopeo®), le jour de la dernière pulvérisation de fongicide cuprique.

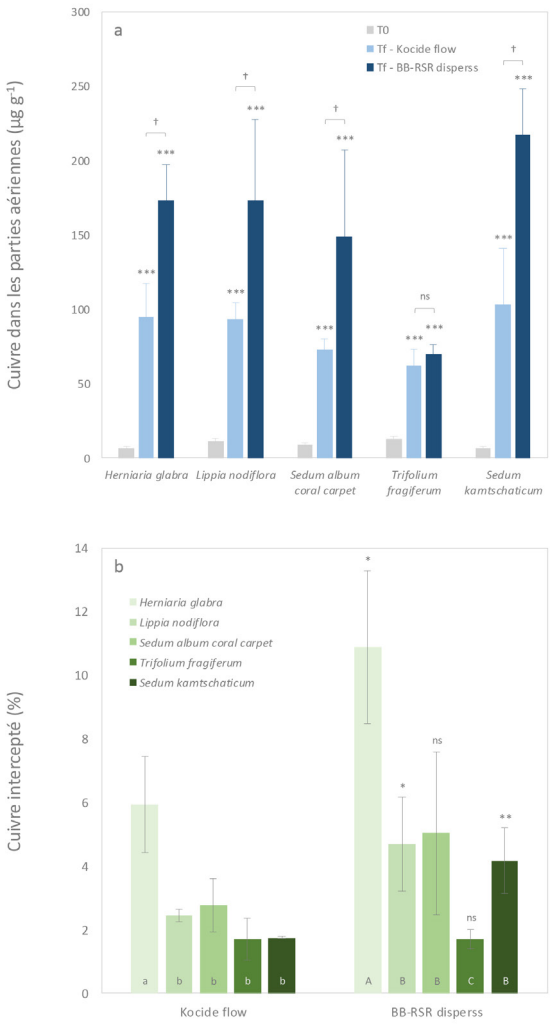



**FIGURE 2.** Concentration en Cu dans les parties aériennes des couvre-sols avant la première pulvérisation (T0) et après la douzième et dernière pulvérisation de fongicide cuprique (Tf) (a), et fraction du cuivre pulvérisé par les fongicides cupriques intercepté par couvre-sols (b).

Six couvre-sols ont été pulvérisées soit par un hydroxyde de Cu (Kocide flow®) soit par une bouillie bordelaise (BB-RSR disperss®) selon le calendrier de traitement présenté dans le Tableau T1 (https://ives-technicalreviews.eu/article/view/10074/53227). Dans (a), pour un couvre-sol donné et un fongicide cuprique donné, *** indique que la concentration en Cu à Tf diffère significativement de celle à T0 à un niveau de probabilité de $p < 0,001$; et pour un couvre-sol donné, † indique que la concentration en Cu à Tf diffère significativement entre les deux fongicides testés à un niveau de probabilité de $p < 0,05$. Dans (b), pour un couvre-sol donné, * et ** indiquent que la fraction de Cu intercepté diffère significativement entre les deux fongicides testés à un niveau de probabilité de respectivement $p < 0,05$ et $p < 0,01$ ; et pour un fongicide cuprique donné, les valeurs moyennes désignées par des lettres différentes (lettres minuscules pour Kocide flow®, lettres majuscules pour BB-RSR disperss®) indiquent des interceptions significativement différentes ($p < 0,05$) entre couvre-sols. Dans (a) et (b), les données sont représentées via les valeurs ± un écartype. ns : non significatif.

surface des feuilles par les gouttelettes de $CuSO_4$ a été internalisée dans la feuille de vigne au bout de 7 jours. Les cartes de distribution µXRF révèlent également des zones de forte accumulation de soufre, similaires à celles du cuivre, dans les feuilles exposées au $CuSO_4$ (Figure 3). Les résultats de spéciation montrent qu'il s'agit probablement d'une chélation du Cu *in planta* par des ligands soufrés. Les analyses µXANES présentées dans l'article original montrent en effet que le spectre moyen recueilli dans les zones de concentration élevée de Cu, notamment du système vasculaire, correspond fortement à celui du complexe Cu-glutathion. Le changement de spéciation de Cu, passant d'ion $Cu^{2+}$ dans les gouttes de $CuSO_4$ à des formes complexées dans les zones d'accumulation de Cu à l'intérieur de la feuille, suggère l'activation de mécanismes de détoxification de la plante en réponse au stress cuprique dans les feuilles traitées au $CuSO_4$ [9] [10].

## Conclusion

Cette étude propose d'enherber le rang avec des couvre-sols comme mesure d'atténuation complémentaire pour limiter l'impact environnemental des fongicides cupriques en viticulture. À cette fin, *Herniaria glabra* semble une espèce candidate d'intérêt car de croissance rapide, peu exigeante en eau et en nutriments afin d'éviter toute concurrence avec la vigne, et capable d'intercepter jusqu'à 11 % du Cu lorsque celui-ci est pulvérisé sous

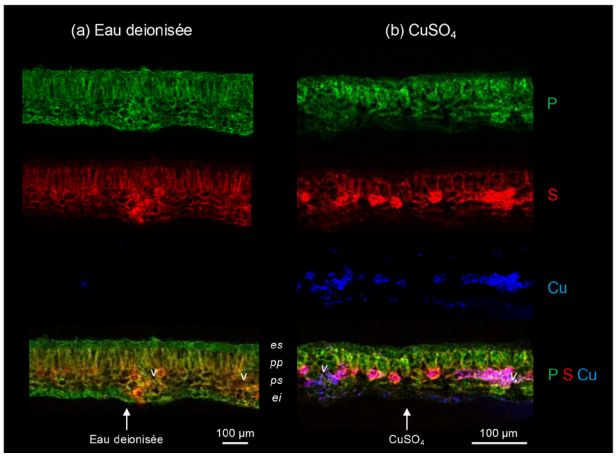



**FIGURE 3.** Cartes tricolores de distribution des éléments P-S-Cu obtenues par µXRF sur une coupe transversale de feuille de vigne (*Vitis vinifera* subsp. sylvestris) exposée à des gouttes d'eau déionisée (a) ou de $CuSO_4$ (b).

Les flèches indiquent le côté de la feuille sur lequel les gouttes ont été déposées. *es* : épiderme supérieur ; *pp* : parenchyme palissadique ; *ps* : parenchyme spongieux ; *ei* : épiderme inférieur ; *v* : vaisseau conducteur.

forme de bouillie. Ce concept de plantes « parapluie » reste à valider pour des scénarios de traitement de la vigne plus réalistes que ceux testés dans l'Exp. 1, notamment lorsque les fongicides cupriques sont appliqués sur la vigne, et que les couvre-sols ne reçoivent que la dérive et le ruissellement. Idéalement, ce rôle de plante « parapluie » joué par les couverts en période de traitement de la vigne viendrait s'ajouter à ceux assurés par les couverts hivernaux vis-à-vis du stockage de carbone, de la fertilisation azotée et de la structuration des sols. ■

*Source : Article prenant sa source de l'article de recherche "Interception of copper fungicides by cover crops as a way to prevent soil contamination in vineyards?" (Journal of Environmental Management, 2026).*

*Des informations complémentaires concernant l'expérience 1 sont disponibles ici : https://ives-technicalreviews.eu/article/view/10074/53227. Ce matériel complémentaire a servi à l'évaluation et à la validation des données de cette expérience, qui n'ont pas fait l'objet d'une publication dans une revue scientifique évaluée par les pairs.*


**1** IFV (2022) Mémo cuivre en viticulture. https://www.vignevin.com/wp-content/uploads/2022/07/DEF_memo_cuivre_display_vinopole.pdf

**2** Davy, A., (2013) Résultats d'essais sur le comportement au lessivage de différentes formulations cupriques. IFV, vos références techniques, fiche 70. https://www.vinopole.com/wp-content/uploads/2022/04/Resultats-dessais-sur-le-comportement-au-lessivage-de-differentes-formulations-cupriques.pdf

**3** Cornu, J-Y., Waterlot, C., & Lebeau, T. (2022) Advantages and limits to copper phytoextraction in vineyards. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 29226-29235. https://doi.org/10.1007/s11356-021-13450-3

**4** Dascalu, A. E., Waterlot, C., Caudle, J., Bulteel, D., Dhainaut, G., Janus, A., Debuigne, T., Cornu, J-Y., & Ghinet, A. (2025) Phytomanagement strategy leads to plant-derived catalysts for the sustainable synthesis of oxidized Hantzsch esters. *Environmental Science Advances*, 4, 1045. https://doi.org/ 10.1039/d5va00028a

**5** Mattiello, A., Novello, N., Cornu, J-Y., Babst-Kostecka, A., & Poscic, F. (2023) Copper accumulation in five weed species commonly found in the understory vegetation of Mediterranean vineyards. *Environmental Pollution*, 329, 121675. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121675

**6** van der Ent, A., Malaisse, F., Erskine, P. D., Mesjasz-Przybylowicz, J., Przybylowicz, W. J., Barnabas, A. D., Sosnicka, M., & Harris, H. H. (2019) Abnormal concentrations of Cu-Co in Haumaniastrum katangense, Haumaniastrum robertii and Aeolanthus biformifolius: contamination or hyperaccumulation? *Metallomics*, 11, 586-596. https://doi.org/10.1039/c8mt00300a

**7** Mackie, K. A., Schmidt, H. P., Müller, T., & Kandeler, E. (2014) Cover crops influence soil microorganisms and phytoextraction of copper from a moderately contaminated vineyard. *Science of the Total Environment*, 500-501, 34-43. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.08.091

**8** Eon, P., Deogratias, J. M., Robert, T., Coriou, C., Bussiere, S., Sappin-Didier, V., Denaix, L., & Cornu, J-Y. (2023) Ability of aerated compost tea to increase the mobility and phytoextraction of copper in vineyard soil. *Journal of Environmental Management*, 325, 116560. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116560

**9** Salt, D. E., Prince, R. C., & Pickering, I. J. (2002) Chemical speciation of accumulated metals in plants: Evidence from X-ray absorption spectroscopy. *Microchemical Journal*, 71, 255-259. https://doi.org/10.1016/S0026-265X(02)00017-6

**10** Dučić, T., & Polle, A. (2005) Transport and detoxification of manganese and copper in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 17, 103-112. https://doi.org/10.1590/S1677-04202005000100009



Ce travail est disponible sous la licence Creative Commons Attribution 4.0 International.