

VITALICUIVRE : De la viticulture à l'alimentation animale : réduction de la teneur en Cuivre des sols viticoles et développement d'une filière de valorisation du cuivre

Marie Bonnisseau - IFV Pôle Val de Loire-Centre - marie.bonnisseau@vignevin.com

Cécile Le Guern - BRGM

Simon Gautier - OSUNA - Nantes Université

Clémentine Lapie - OSUNA - Nantes Université

Thierry Lebeau - LPG - OSUNA - Nantes Université - coordinateur scientifique Vitalicuire

EN QUELQUES MOTS

La cartographie du cuivre (Cu) des territoires viticoles de l'Anjou et du Saumurois a permis d'évaluer la variabilité spatiale du Cu, la relation entre Cu total et phytoaccessible, et de choisir les parcelles expérimentales pour la phytoextraction, moyen d'extraire in situ le Cu des sols tout en préservant leur qualité agronomique, et sans impacter la culture de vigne. Les premiers résultats montrent une variabilité spatiale importante du Cu du sol liée à l'historique des usages du Cu et pratiques culturales, et une corrélation forte entre la teneur en Cu total et celle phytoaccessible. Des essais de phytoextraction ont été réalisés sur des parcelles expérimentales de l'Anjou et du Saumurois. Parmi les plantes phytoextractrices testées, la chicorée ressort pour la maximisation de la quantité de Cu extrait et accumulé dans ses parties récoltables (racines et parties aériennes). Sa valorisation en filière animale (porcins, bovins) est envisageable pour contribuer aux apports de Cu ajoutés aux prémix.



OBJECTIF

L'utilisation du cuivre (Cu) en viticulture est largement répandue. Or son accumulation dans les sols a des conséquences sur le fonctionnement et la durabilité des écosystèmes viticoles, avec des effets à long terme sur la dynamique des populations du sol, dont le rôle est de maintenir la structure du sol et de participer aux cycles biogéochimiques des nutriments. En effet le cuivre est un élément versatile. Indispensable à la vie à faible dose, il devient toxique à partir de seuils qui dépendent des organismes vivants. Par exemple, l'excès de Cu affecte négativement la croissance des plantes semées en inter-rangs et peut même compromettre l'implantation et le développement de jeunes vignes lorsque la disponibilité du Cu est élevée. Par ailleurs, le Cu est utilisé en alimentation porcine, comme complément alimentaire,

pour couvrir les besoins en oligo-éléments des animaux et orienter leur microbiote au profit de bactéries favorisant la croissance des porcs. Des compléments à base de cuivre sont également fournis aux bovins lorsqu'ils pâturent sur des prairies sur sols appauvris en cet élément.

L'objectif global de Vitalicuire vise à développer un cycle vertueux de Cu dans une perspective d'économie circulaire. Il s'agit de développer une filière de production de biomasse végétale de plantes phytoextractrices de Cu préalablement sélectionnées et recyclées pour la biofortification animale. Plusieurs volets sont explorés dans ce projet : l'évaluation de la variabilité spatiale des teneurs et la bioaccessibilité du Cu pour déterminer les stocks de Cu potentiellement phytoextractibles, la sélection des plantes phytoextractrices et son optimisation, la pertinence in situ de la culture de ces plantes entre les rangs de vigne, et enfin le développement de la filière de valorisation de la biomasse produite en alimentation animale.

MÉTHODE

La zone d'étude (vignoble ligérien en Pays de la Loire) a été décrite pour définir différents secteurs s'appuyant sur la connaissance géologique et pédologique, puis une collecte des données existantes a été réalisée. 3 secteurs contrastés présentant une surface importante de parcelles viticoles ont fait l'objet de campagnes de terrain. Un échantillonnage de sols et de plantes a été mené sur 25 à 30 parcelles par secteur. Les résultats d'analyses au laboratoire ont permis la sélection des parcelles expérimentales et leur mise en culture, à l'issue d'une sélection menée parallèlement en laboratoire en conditions contrôlées. Les indicateurs suivis visent à conclure sur l'efficacité de phytoextraction du cuivre et sur l'éventuel effet des plantes cultivées dans l'inter rang sur la vigne.

RÉSULTATS

ÉVALUATION DE LA VARIABILITÉ SPATIALE DES TENEURS ET BIOACCESSIBILITÉ DU CU

Le BRGM avait en charge la cartographie du cuivre phytoaccessible (que les plantes peuvent extraire au cours de leur cycle cultural) dans les sols viticoles et la sélection de parcelles expérimentales. Pour ce faire, l'hypothèse de corrélation entre le cuivre total et le cuivre phytoaccessible a été posée, et de fait la possibilité de cartographier le cuivre phytoaccessible à partir des teneurs totales mesurées in situ par fluorescence X portable.

Pour vérifier cette hypothèse, trois secteurs de prélèvements ont été sélectionnés sur la base de contextes géologiques et géochimiques contrastés et d'une forte représentation du vignoble : Saumurois en contexte sédimentaire (roches calcaires), Anjou en contexte de socle sans anomalie géochimique (schistes), Mauges Est en contexte de socle avec possibles anomalies géochimiques en As, Cu, Pb (micaschistes). Dans chaque secteur, 25 à 30 zones de prélèvements ont été prédéterminées. Les parcelles sélectionnées sur le terrain dans chaque zone présentent des teneurs significatives en Cu à la surface des sols. Celles-ci ont été mesurées in situ à l'aide d'un appareil de fluorescence X portable. Sur chaque parcelle sélectionnée, un échantillon composite a été prélevé dans l'inter-rang à la tarière à main sur les 20 premiers cm de profondeur après élimination de la végétation de surface. Les échantillons prélevés ont été envoyés au laboratoire pour une caractérisation complète (agronomique, chimique). Deux secteurs complémentaires ont été étudiés en 2023. Les parcelles expérimentales, sélectionnées sur la base de teneurs comparables en Cu extractible au DTPA, ont fait l'objet d'une cartographie détaillée du cuivre à la surface des sols.

Une variabilité spatiale importante du Cu liée à l'historique des usages du Cu et des pratiques

Les résultats montrent une variabilité importante des concentrations en Cu dans le sol à différentes échelles : entre secteurs, entre parcelles et même au sein des parcelles :

➤ Entre secteurs : des teneurs en cuivre les plus fortes sont constatées dans le Muscadet (Mauges Ouest) (teneur maximale analysée de 417 mg/kg, 3 échantillons sur 12 supérieures à 200 mg/kg) par rapport à l'Anjou ou le Saumurois (teneur maximale analysée de 268 mg/kg, 2 échantillons sur 63 avec teneurs supérieures à 200 mg/kg). Cette différence s'explique par des facteurs météorologiques. Les pluies plus fréquentes dans l'ouest du domaine viticole des Pays de la Loire, et

notamment du Muscadet, conduisent à des traitements plus fréquents pour lutter contre les maladies (mildiou), et donc à une accumulation plus importante de Cu dans les sols ;

➤ Entre parcelles : Les concentrations en Cu peuvent être inférieures à la limite de détection de l'appareil de fluorescence X dans une parcelle et dépasser les 150 mg/kg dans une parcelle voisine ou proche. Les enquêtes de terrain ont révélé, sans surprise, que les parcelles faiblement enrichies en Cu étaient généralement des parcelles de jeunes vignobles. A l'inverse, les parcelles avec les plus fortes teneurs en Cu étaient généralement des parcelles ayant une longue histoire viticole. Des contrastes de concentrations ont été observés entre parcelles présentant des fortes teneurs en Cu. Cela peut s'expliquer par des différences de pratiques d'un viticulteur à l'autre, avec une fréquence et une dose d'apport spécifique à chacun ;

➤ À l'intérieur d'une parcelle : dans une des parcelles présentant des contrastes marqués, les concentrations en Cu des sous-échantillons du composite variaient de 62 à 298 mg/kg. Dans ce cas, l'hétérogénéité s'explique par le remembrement, qui a fusionné des parcelles avec des historiques d'usages différents, l'une des parcelles étant cultivée en vigne depuis beaucoup plus longtemps. Au sein de parcelles homogènes, des hétérogénéités peuvent malgré tout être constatées. Des teneurs plus fortes en Cu ont ainsi été observées dans le coin d'une des parcelles expérimentales cartographiée finement. L'hypothèse est que la zone plus enrichie correspond à la zone de retournement du tracteur pendant le traitement (tracteur quasiment à l'arrêt sans arrêt complet du pulvérisateur).

Cette variabilité spatiale importante du Cu liée à l'historique des usages du Cu et des pratiques rend difficile l'extrapolation des concentrations de cuivre mesurées pour établir une carte globale du Cu dans le vignoble.

Une corrélation forte entre les teneurs en Cu total et phytoaccessible

L'hypothèse de corrélation entre le Cu total et le Cu phytoaccessible a été vérifiée à l'aide de modèles simples de corrélations établis par secteur sur la base des résultats de caractérisation des échantillons composites prélevés. Ceux-ci font ressortir une corrélation forte entre les concentrations en Cu total mesurées par fluorescence X portable et en Cu phytoaccessible extrait du sol par DTPA au laboratoire. Les modèles de corrélation étant assez similaires d'un secteur à l'autre, un modèle de corrélation global a été établi. Le Cu total mesuré par fluorescence X permet une bonne approximation du Cu phytoaccessible, pour des teneurs en Cu dans les sols > à 50 mg/kg (figure 1). Le modèle d'estimation, qui

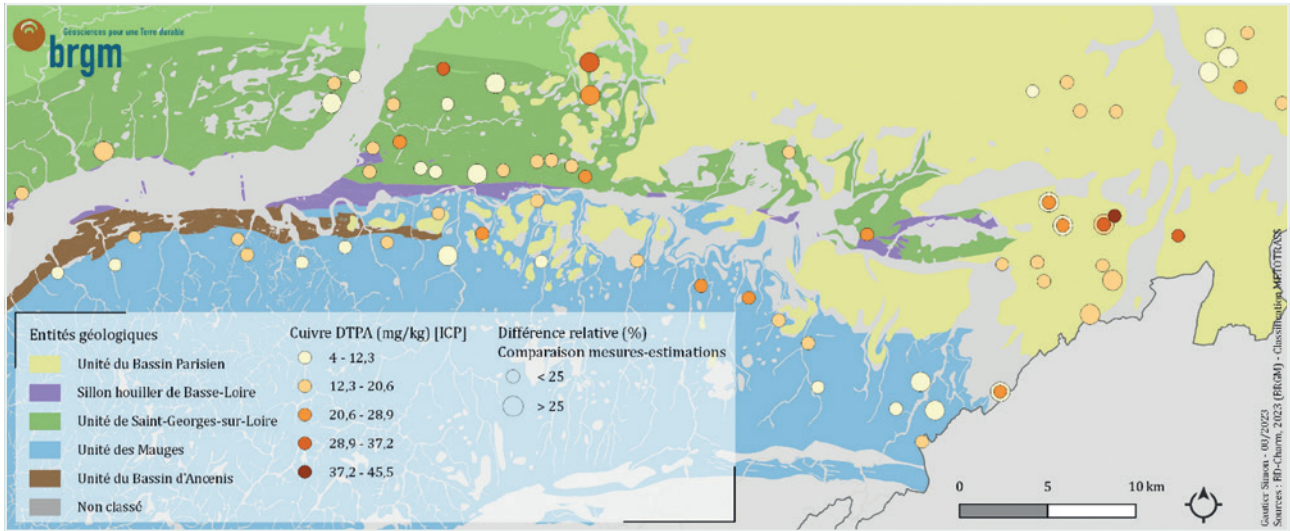


FIGURE 1 : Teneurs en Cu phytoaccessible (extraction DTPA) mesurée au laboratoire et différence relative avec les teneurs calculées à partir du modèle de corrélation s'appuyant sur les teneurs en Cu total et Fe total mesurées par fluorescence X portable.

s'affranchit de l'étude préalable de la géologie, permet de faciliter son utilisation et l'identification du potentiel de mise en place de la phytoextraction.

PARCELLES D'ESSAIS

Trois parcelles expérimentales, répondant aux critères de sélection (quantité de Cu et typologie de sol), ont été mises en place pour accueillir les plantes sélectionnées que sont l'avoine, le ray-grass, la moutarde brune, le sarrasin et la chicorée sur les secteurs du Saumurois et de l'Anjou. Les indicateurs suivis permettent de répondre aux questions suivantes : impact de l'implantation des plantes phytoextractrices sur la vigueur de la vigne, son statut nutritionnel et hydrique ainsi que sur les composantes du rendement. Les résultats, en cours de traitement, ne montrent a priori pas d'effet des plantes sur le statut azoté ou hydrique de la vigne, ni sur les quantités et qualités des rendements ou la vigueur de la vigne.

PHYTOEXTRACTION PAR LA CHICORÉE (ANNÉE 2022)

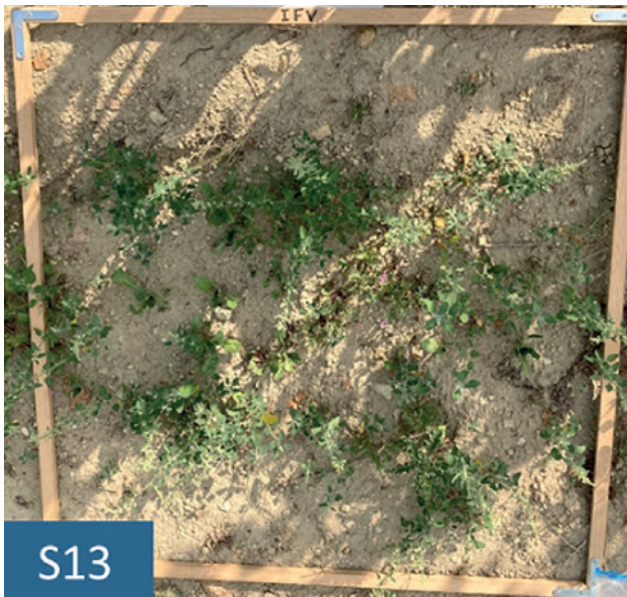
Parmi les sept plantes retenues pour leur aptitude à accumuler significativement le cuivre (avoine, chicorée, moutarde, ray grass et sarrasin pour une culture dans l'inter-rang des vignes ; chanvre et tournesol pour des cultures sur friches viticoles), les résultats de la chicorée sont présentés dans cet article. En effet, le cuivre s'accumulant surtout dans les racines plus que dans les parties aériennes des plantes, la chicorée, seule plante intégralement récoltable, a donné les meilleurs résultats en laboratoire. La chicorée a été cultivée dans l'inter-rang (sur 1 mètre de large à raison de 5 kg/ha : figure 2) des trois parcelles viticoles sélectionnées, une en Anjou et deux dans le Saumurois (tableau 1). Aucune fertilisation n'a été effectuée.



FIGURE 2 : Chicorée cultivée en inter rang.

	S13	A30	S24
Cu DTPA mg/kg	55,4	50,8	92,6
Cu Total mg/kg	199	194	225

TABLEAU 1 : Concentration en cuivre (Cu) extrait au DTPA (cuivre dit phytoaccessible) et Cu total des sols de trois parcelles viticoles. A (Anjou), S (Saumurois).



© Pierre Gaudin

FIGURE 3 : Développement de la chicorée des parcelles S13 et S14 à 25 semaines de culture.

Les cultures ont été réalisées en 2022 et 2023. Seuls les résultats de 2022 sont montrés (2023 en cours d'analyse). L'année 2022 ayant été exceptionnellement sèche (déficit pluviométrique de 25%), les rendements ont été très faibles (figure 3 et tableau 2) alors qu'un itinéraire technique optimisé permettrait d'obtenir 45000 à 50000 kg/ha (soit environ 10000 kg/ha en équivalent matière sèche).

En conséquence, la quantité de cuivre extraite a été faible mais pourrait atteindre de 0,5 à 3 kg de cuivre/ha/an, en se basant sur des rendements optimisés de chicorée, ce qui compenserait, pour partie, le cuivre apporté annuellement. Celui-ci ne doit en effet pas dépasser 4 kg/ha/an en moyenne sur 7 an selon la réglementation.

	S13	A30	S24
Biomasse kg/ha	64	144	784
Cuivre g/ha	2,6	3,2	19,0

TABLEAU 2 : Biomasse de chicorée et quantité de cuivre extraite en 2022.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'hypothèse de corrélation entre le cuivre total et le cuivre phytoaccessible, et de fait la possibilité de cartographier le cuivre phytoaccessible à partir des teneurs totales mesurées in situ par fluorescence X portable est confirmée. Néanmoins, la variabilité spatiale importante du Cu liée à son historique d'usage et des pratiques rend difficile une extrapolation des teneurs en Cu observées à la parcelle. Le diagnostic précis d'une parcelle nécessite ainsi des mesures in situ au sein même de la parcelle. Aucun impact majeur négatif des plantes phytoextractrices n'a été observé sur la vigne, la coordination entre deux cultures restant le point clef agronomique. La sélection permet de proposer des plantes phytoextractrices permettant de compenser pour partie les apports annuels de cuivre. Leur recyclage en alimentation animale (porcine mais surtout bovine) est envisageable.

