

Le cuivre dans la vinification: de la gestion du vignoble au contrôle analytique en cave

Dr Francesca Bruni, chercheuse au Laboratoire de Chimie CDR "Francesco Bonicolini"

P2611

Introduction: Le cuivre comme point de contrôle critique dans le processus de vinification

Dans la vinification moderne, la présence de cuivre (Cu) doit être considérée non seulement comme un résidu historique des traitements de la vigne, mais aussi comme un point de contrôle critique au sein du protocole d'assurance qualité de la cave.

Les produits à base de cuivre restent l'une des solutions les plus efficaces pour **lutter contre le mildiou** (*Plasmopara Vitis viticola*). Parallèlement, leur persistance peut affecter la stabilité chimique et microbiologique du vin. Le cuivre est un **oligo-élément essentiel** au métabolisme de la vigne. Cependant, lorsque des résidus excessifs atteignent le moût et le vin, ce métal devient un paramètre technologiquement critique, capable d'influencer la cinétique de fermentation, la stabilité oxydative et le profil sensoriel final.

Traditionnellement, les traitements des vignobles suivaient ce qu'on appelait la "**règle des trois dizaines**". Dix millimètres de pluie, dix centimètres de croissance des pousses et des températures avoisinant les 10 °C étaient considérés comme des conditions favorables à l'infection. Les connaissances agronomiques actuelles ont révisé cette règle. Les recherches montrent que l'infection peut débuter lorsque les feuilles n'atteignent que 2 à 3 cm de diamètre, car les stomates sont déjà pleinement fonctionnels. Par conséquent, les traitements commencent souvent plus tôt et peuvent être répétés plus fréquemment au cours de la saison. Cela augmente la probabilité que des résidus de cuivre restent sur les raisins et se retrouvent dans le moût.

La réglementation fixe des **limites maximales de cuivre de 50 mg/kg** dans les raisins et de **1 mg/L** dans le vin fini. Toutefois, d'un point de vue technologique, de nombreux domaines viticoles considèrent que **0.5 mg/L** représente le seuil optimal pour garantir la stabilité et éviter les défauts de qualité.

Maintenir la teneur en cuivre en dessous de cette valeur réduit considérablement le risque de réactions d'oxydation et d'instabilité colloïdale.

Toxicité du cuivre et métabolisme des levures

Une fois le cuivre entré dans la cave, son élimination devient difficile. Les procédés classiques de clarification du moût ne permettent généralement

pas de réduire significativement sa concentration.

La majeure partie du métal reste biodisponible et peut interagir directement avec le métabolisme des levures. La réaction des levures au cuivre dépend de la souche utilisée lors de la fermentation.

Les niveaux de résistance typiques sont approximativement les suivants:

- Levures indigènes ou non sélectionnées: tolérance jusqu'à 8 mg/L
- Souches traditionnelles de *Saccharomyces cerevisiae*: tolérance jusqu'à 12 mg/L
- *S. cerevisiae*/bayanus: tolérance jusqu'à 19 mg/L
- Souches non productrices de H₂S: sensibilité plus élevée, environ 6 mg/L

En raison de ces différences, la concentration en cuivre doit être évaluée en fonction de la souche de levure spécifique utilisée pour gérer la fermentation.

Mécanismes du stress oxydatif

La toxicité du cuivre est principalement associée à sa forme ionique Cu²⁺, qui peut participer à des réactions d'oxydoréduction générant des espèces réactives de l'oxygène (ERO). Ces molécules réactives endommagent les structures cellulaires et perturbent les systèmes enzymatiques clés impliqués dans la fermentation.

Les principales conséquences sont les suivantes :

1. **Le stress oxydatif et la cinétique de fermentation plus lente**
Les ROS endommagent les membranes cellulaires et inhibent les enzymes impliquées dans la glycolyse, ralentissant ainsi l'activité des levures.
2. **Augmentation de la production d'acétaldéhyde**
Les cellules de levure soumises à un stress oxydatif ont tendance à accumuler de l'acétaldéhyde comme métabolite intermédiaire.
3. **Impact sur la gestion du dioxyde de soufre:**
L'acétaldéhyde est le principal composé qui se lie au dioxyde de soufre (SO₂). Des concentrations plus élevées d'acétaldéhyde nécessitent donc des ajouts plus importants de SO₂ pour maintenir une fraction adéquate de SO₂ libre, ce qui augmente le risque de dépassement des limites légales de SO₂ total.

Risques organoleptiques: oxydation et instabilité colloïdale

Le cuivre est également un puissant catalyseur d'oxydoréduction dans le vin. Sa présence accélère la consommation d'oxygène, augmentant les réactions d'oxydation d'environ 125 à 190 %. Ces réactions peuvent affecter significativement la stabilité des arômes et l'évolution de la couleur. Les vins blancs sont particulièrement sensibles car ils sont dépourvus du tampon d'oxydoréduction polyphénolique généralement présent dans les vins rouges.

Le paradoxe du cuivre

Dans les vins en bouteille à faible potentiel redox, les ions Cu^+ peuvent réagir avec les protéines et les groupes sulfhydryles, formant des complexes colloïdaux instables qui peuvent éventuellement précipiter sous forme de dépôts brun rougeâtre, un phénomène connu sous le nom de **cassures de cuivre**.

Les vins les plus exposés à cette instabilité sont ceux qui ont accumulé du cuivre lors des traitements à la vigne ou des opérations en cave. **Les vins blancs légers sont particulièrement vulnérables** car ils sont souvent mis en bouteille tôt et n'ont que peu de temps pour se stabiliser lors d'un stockage en grande quantité.

L'oxyde de cuivre se forme généralement après la mise en bouteille, lorsque le milieu du vin devient plus réducteur en raison de la faible teneur en oxygène et de la présence de composés tels que **le dioxyde de soufre et l'acide ascorbique**. Ces conditions favorisent la formation de complexes de cuivre insolubles susceptibles de précipiter lors du stockage en bouteille.

Des facteurs externes peuvent accroître le risque. L'exposition **à la lumière**, notamment aux rayons UV, peut favoriser le phénomène, ce qui explique la plus grande sensibilité des vins blancs mis en bouteille dans du verre transparent (Zoecklein et al., 1995). **Des températures de stockage élevées** peuvent également accélérer l'apparition de dépôts de cuivre en présence d'autres conditions instables. Les protéines peuvent participer à la formation de complexes de cuivre, ce qui rend les vins à forte teneur en protéines plus sensibles à ce phénomène. Dans ce cas, **un collage soigneux à la bentonite** permet de réduire la teneur en protéines et de limiter les risques de trouble ou de dépôt.

Pour cette raison, le **surveillance préventive de la concentration en cuivre**. Cette méthode est plus efficace que les traitements correctifs tels que le ferrocyanure de potassium ou les copolymères PVI-PVP, qui peuvent altérer le profil sensoriel du vin. Le maintien d'une concentration de cuivre inférieure à

0,5 mg/L demeure la stratégie la plus fiable pour préserver la stabilité colloïdale et la qualité visuelle du vin tout au long de sa durée de conservation.

Surveillance du cuivre avec CDR WineLab®

Un contrôle analytique rapide est essentiel pour la gestion de **niveaux de cuivre**. Lors de la vinification, des mesures effectuées en temps opportun permettent aux producteurs d'évaluer l'impact des traitements de la vigne, de suivre les processus de clarification et de vérifier les concentrations de cuivre avant les étapes critiques telles que la fermentation, la stabilisation ou la mise en bouteille. Le **système CDR WineLab®** permet aux domaines viticoles d'effectuer l'analyse du cuivre directement en cave, fournissant des résultats rapides qui facilitent les décisions de contrôle qualité en temps réel, sans avoir recours à des laboratoires externes et sans les délais qui en découlent. La méthode analytique couvre les plages de concentration généralement rencontrées dans le moût et le vin fini, permettant un suivi efficace tout au long du processus de production. Deux plages de mesure sont disponibles: une **plage basse de 0,05 à 0,70 ppm**, avec une résolution de **0,01 ppm**, et une **plage haute de 0,60 à 1,20 ppm**, également avec une résolution de **0,01 ppm**. Cette double plage permet la détection précise des concentrations de cuivre proches du seuil technologique associé à la stabilité du vin. Pour garantir la fiabilité des mesures photométriques, une préparation simple des échantillons est recommandée. Les échantillons de moût doivent être centrifugés avant analyse afin d'éliminer les matières en suspension susceptibles de perturber la mesure. Les vins effervescents et les échantillons en fermentation doivent quant à eux être dégazés, généralement par ultrasons, afin d'éliminer le dioxyde de carbone dissous qui pourrait affecter les mesures optiques. Ces procédures de préparation simples contribuent à garantir **des performances analytiques constantes et des résultats fiables lors du contrôle régulier en cave**.

Analyse comparative: méthode CDR WineLab® vs. méthode OIV officielle

En vinification moderne, il est important de faire la distinction entre le contrôle des processus et l'analyse de certification officielle.

Critère	Méthode CDR WineLab®	Méthode officielle (OIV / Absorption atomique)
Objectif stratégique	Contrôle des processus et assurance qualité	Certification légale et conformité à l'exportation
Temps de réponse	Environ 6 minutes	De quelques heures à plusieurs jours
Complexité opérationnelle	Minimum, utilisable directement dans la cave	Niveau élevé, nécessite du personnel de laboratoire spécialisé
Préparation des échantillons	Centrifugation ou dégazage rapide	Digestion acide complexe
Précision	Excellente linéarité sur les deux plages	Méthode de référence juridique
Coût d'exploitation	Faible teneur en réactifs, prêt à l'emploi, stable pendant 6 mois	Des coûts plus élevés dus aux analyses de laboratoire externes

Conclusion. Le contrôle du cuivre est un élément clé du contrôle de la qualité en vinification.

La gestion **du cuivre** est un élément clé de l'assurance qualité dans les domaines viticoles modernes. Le **suivi de la concentration en cuivre** tout au long du processus de vinification contribue à prévenir les problèmes de fermentation, l'instabilité oxydative et les défauts organoleptiques pouvant apparaître après la mise en bouteille. Les systèmes analytiques comme **CDR WineLab®** permettent aux domaines viticoles de détecter des variations aussi faibles que 0,01 ppm, ce qui permet une intervention rapide après les traitements de la vigne, les opérations de flottation ou les interventions correctives en cave.

Bien que les méthodes officielles de l'OIV restent essentielles pour la certification réglementaire, **les analyses internes rapides** offrent aux vignerons un outil puissant pour protéger **l'intégrité aromatique**, **l'efficacité de la fermentation** et la stabilité à long terme **du vin**.