

– **Le cuivre est plus qu’un simple métal lourd**
L’utilisation du cuivre comme produit phytosanitaire
en viticulture biologique –

Une étude bibliographique
Réalisée par

Karin Lundsgaard
Veronika Prochazka
Nikolai Fuchs

Table des matières

Introduction.....	3
Le cuivre en tant qu'élément et son origine.....	4
Le cuivre dans le sol.....	5
Le cuivre et la plante.....	5
Quel est l'effet du cuivre sur la plante et quels dysfonctionnements peut entraîner une carence en cuivre ?.....	6
Le cuivre et l'animal.....	6
Le cuivre et l'homme, et l'utilisation du cuivre en médecine.....	7
A parte : Rappel des caractéristiques du cuivre.....	7
Caractéristiques de l'«Etre» des plantes.....	8
Plante et maladie.....	8
La vigne.....	9
Le mildiou – <i>Peronospora</i>	9
Réflexions sur le traitement du <i>Peronospora</i> de la vigne avec le cuivre.....	10
Bilan partiel.....	10
Dernières observations, problématique de la recherche et suggestions.....	10
Utilisation efficace du cuivre.....	12
Quels sont les composés de cuivre tolérables ?.....	12
Projets de recherche sur le cuivre.....	13
Expérimentation en cours de produits de substitution et de complément au cuivre.....	13
Homéopathie.....	13
Végétabilisation du cuivre.....	13
Suggestions.....	14
Perspectives.....	14
Conclusion.....	14

Introduction

Depuis quelques années, l'utilisation cuivre comme produit anticryptogamique est contestée en viticulture et en arboriculture biologique, ainsi que pour la culture biologique des pommes de terre. Les produits à base de cuivre peuvent, en grandes quantités et à long terme, conduire à l'accumulation de cuivre sous forme de métal lourd dans le sol et à la détérioration la vie du sol. Ce problème lié au cuivre a déjà été longuement étudié, ce qui s'est traduit dans les directives concernant l'agriculture biologique par la définition de valeurs maximales tolérées. En s'appuyant sur les effets néfastes du cuivre, le scientifique et populiste Udo Pollmer et le professeur Michael Schmitz, expert pour le groupe Höchst exerçant à l'université de Giessen, ont notamment conclu, au moment de la remise en cause du modèle agricole intensif, que l'agriculture biologique devrait être considérée comme une agriculture à risques. Ils ont exprimé des idées telles que « les sols bio devraient être traités comme des déchets spéciaux ». Ces études ont contribué à diffuser dans l'opinion publique l'idée que des métaux lourds avaient été utilisés en agriculture biologique et qu'ils avaient contaminé les sols. C'est probablement la référence prise par les détracteurs de l'utilisation du cuivre pour estimer la pollution des sols qui est expliquée ces affirmations. Celles-ci s'appuient en effet sur l'exemple d'un domaine viticole converti depuis peu à l'agriculture biologique, et confronté aux problèmes des résidus issus de l'ancien mode de culture conventionnel. Les apports habituels de cuivre étaient alors de 20 kg et plus par hectare et par an, quantités encore aujourd'hui en partie autorisées en conventionnel.

Malgré tout, cela a donné une mauvaise image de l'agriculture biologique à l'opinion publique. Mise à mal par ces résultats, l'agriculture biologique tente désormais de sortir renforcée de cette épreuve. D'ailleurs, plusieurs projets de recherche liés au programme fédéral pour l'agriculture biologique mis en place en Allemagne en 2002 visent, parallèlement aux recherches déjà menées jusqu'à présent, à approfondir l'étude des produits de substitution au cuivre. Indépendamment de cela, l'interdiction possible par l'Union Européenne de l'utilisation du cuivre est, depuis quelques années, comme une épée de Damoclès au-dessus de l'agriculture biologique. Le premier délai accordé avant l'interdiction arrivait à terme fin 2002. Mais il a dû être prolongé, faute d'alternatives suffisamment efficaces (Pour obtenir les données exactes concernant les nouveaux délais accordés, ainsi que les doses maximales admises, se reporter à la directive européenne 2092/91). Il est plutôt difficile à croire que des alternatives seront trouvées dans les années à venir, comme nous le verrons ci-après. Malgré tout, la menace d'une interdiction à motivation politique existe. L'interdiction de l'utilisation du cuivre pourrait en effet signifier la fin de l'activité de nombreuses exploitations biologiques en culture spécialisée.

Cependant, il serait un peu rapide de réduire le cuivre à ses propriétés de métal lourd. Le cuivre est un élément présent dans la croûte terrestre, et chez tout être vivant. Il est un élément essentiel à de nombreux processus vitaux. Son effet fongicide n'est qu'en partie à attribuer à la destruction des spores de champignons qu'il provoque. Une autre partie de cet effet est due à son action sur le renforcement du métabolisme des protéines de la plante. Le cuivre est donc aussi un « médicament ». Cela ne nous apprend rien sur le cuivre en tant que métal lourd, mais appelle une étude et un jugement plus nuancés.

L'étude ci-après tente de contribuer concrètement au débat et de prendre en compte tout ce qu'implique l'utilisation du cuivre. Nous étudierons l'exemple de l'utilisation du cuivre en viticulture en traitement contre le mildiou, et nous nous arrêterons rapidement sur le cuivre lui-même. Puis nous nous intéresserons à la vigne et à sa courte histoire en Europe, ainsi qu'aux maladies des plantes en tant que telles. Enfin, les connaissances acquises au cours de cette étude nous permettront de déterminer les recommandations à suivre pour une utilisation différente du cuivre.

Le cuivre en tant qu'élément et son origine

On peut considérer le carbone, l'oxygène, l'hydrogène et l'azote, le soufre et le phosphore comme les six éléments vitaux. D'autres éléments participent également – en quantité beaucoup plus faible – à la structuration des organismes vivants. Il faut ici citer les différents métaux : les métaux communs tout d'abord, qui jouent un grand rôle, et les métaux proprement dit – comme par exemple le cuivre et le fer – qui jouent également un rôle primordial. Enfin, les métaux dits précieux, comme l'or et le platine, n'ont pas un rôle déterminant pour la vie biologique.

Dans les règnes de la nature et chez l'homme, le cuivre apparaît dans des couleurs variées. Ses couleurs sont inhabituelles, et vont des tons roses au rouge marron sur la partie superficielle du métal pur, au bleu-vert des fins feuilletés de la couche intermédiaire, couleur bien différente du rouge orangé du métal réfléchissant la lumière.

Les minerais de cuivre s'expriment dans une panoplie de couleurs : jaune doré brillant pour les pyrites cuivreuses, vert pour la malachite, bleu pour l'azurite, et bleu violet pour la covellite. L'analyse spectrale met en évidence la similitude des lignes du spectre de la lumière solaire et du cuivre, ce qui est également le cas pour la plupart des autres métaux. C'est pourquoi l'on peut parler, par réflexion de la lumière solaire, d'éclat métallique – caractéristique fondamentale du métal - sous forme de lumière. Cela met en évidence les relations cosmiques du cuivre avec le monde de la lumière. Le cuivre possède également la meilleure conductivité thermique après l'argent.

Le rapport particulier du cuivre à la chaleur s'exprime également en éveillant les sens de l'homme qui observe un morceau de cuivre brillant. Le cuivre maintient également directement la chaleur.

Le cuivre, très répandu dans le sol, se trouve principalement sous forme de minerai. Les composés sulfurés sont les minerais de cuivre les plus importants. Parmi ceux-ci, le composé le plus fréquemment rencontré est le sulfure de cuivre et de fer, appelé également pyrite cuivreuse. Dans les roches, le cuivre, après oxydation, se trouve notamment sous forme de malachite. Il peut également remplacer le magnésium et le fer dans les silicates. La teneur moyenne en cuivre de la croûte continentale est de 35 mg/kg. Dans les roches, cette teneur va de 4 à 90 mg/kg. Dans les sols, le cuivre est essentiellement lié à la matière organique, à l'oxyde de manganèse et à l'oxyde de fer. Il existe aussi sous forme de composés siliceux, et, dans une moindre mesure, sous une forme plus échangeable et moins liée.

Le cuivre est un élément essentiel à tout être vivant. Il est souvent présent dans les aliments. Cependant, un excès de cuivre peut avoir des effets toxiques sur les plantes, les champignons et sur certains animaux comme les vers de terre. Chez l'homme, la toxicité chronique du cuivre est en revanche faible.

Le cuivre dans le sol

La teneur en cuivre des sols non pollués est en général de l'ordre de 2 à 40 mg/kg. Cette teneur peut atteindre 1000 mg de cuivre/kg dans les sols pollués. La valeur maximale tolérée par l'Union Européenne pour les terres agricoles est de 150 mg de cuivre/kg de matière sèche.

En plus de la teneur en cuivre du sol, il faut étudier le type de composés formés par le cuivre dans le sol. Des études menées sur les horizons pédologiques A de sols peu humides à teneurs en cuivre variables montrent que le cuivre est présent pour 25 à 75 % sous forme de liaisons organiques, pour 15 à 70 % sous forme de liaisons avec l'oxyde de manganèse et l'oxyde de fer et pour 1 à 10 % sous forme de liaisons siliceuses. La plupart des liaisons avec les oxydes de manganèse et de fer et des liaisons avec les matières organiques se trouvent sous une forme très liée et se désagrégant difficilement. Ces composés contribuent donc peu à la disponibilité du cuivre. La part des liaisons

organiques est la plus importante pour les sols de PH inférieur à 6. Pour les sols à PH neutre, ce sont les liaisons avec les oxydes qui, en partie, prédominent. Les matières organiques insolubles contenant beaucoup de molécules comme la tourbe peuvent fixer le cuivre de manière importante, et ainsi entraîner une carence en cuivre chez les plantes. Dans la solution des sols de PH supérieur à 6, le cuivre se trouve presque exclusivement sous forme de complexes organiques. Pour les sols à PH inférieur à 5, c'est-à-dire les sols trop acides, la part de Cu^{++} augmente dans la quantité de cuivre totale de la solution du sol.

Le cuivre et la plante

Les teneurs en cuivre des plantes sont en général comprises entre 2 et 20 mg/kg de matière sèche. Prenons quelques exemples parmi les produits alimentaires : 1 kilo de pain contient 4 mg de cuivre et 1 kilo de pommes de terre contient 2 mg de cuivre. Le cuivre est assimilé par les plantes sous forme de Cu^{++} et vraisemblablement aussi sous forme de complexes organiques contenant peu de molécules, et en partie à partir de complexes anorganiques. L'assimilation du cuivre n'est donc souvent pas ou peu influencée par le PH du sol dans les terres agricoles non polluées (PH supérieur à 5 et disponibilité du cuivre suffisante). Cela est également souvent vrai pour l'assimilation des éléments en trace. Les sols contenant du CaCO_3 sont donc rarement carencés en cuivre. La solution de ces sols à PH élevés contient en effet du cuivre sous forme de complexes organiques ou de complexes d'hydrogène et de carbone.

Quel est l'effet du cuivre sur la plante et quels dysfonctionnements peut entraîner une carence en cuivre ?

Le cuivre joue un rôle déterminant dans la formation des protéines. Il régule différents processus enzymatiques des tissus végétaux, principalement l'oxydase, qui influence à son tour le métabolisme de l'azote. On peut donc dire que le cuivre a un rôle très important dans le métabolisme de la plante. L'idée souvent exprimée selon laquelle « le cuivre est aussi un micro-élément » n'apprécie pas le rôle essentiel du cuivre à sa juste valeur. Une carence en cuivre de la plante conduit à un excédent d'azote soluble, permettant ainsi le développement de la maladie. Une partie des propriétés fongicides du cuivre s'explique par son rôle de soutien dans la formation des protéines. Par application, même ponctuelle, sur les feuilles, le cuivre contribue ainsi directement à entretenir l'équilibre en nutriments. Or, cet équilibre est nécessaire pour que la plante développe de bonnes capacités de résistance aux champignons. Une autre partie de l'effet fongicide du cuivre repose sur le fait que les ions cuivriques libres stoppent la germination des spores.

Citons quelques exemples de maladies causées par une carence en cuivre : **l'épidémie blanche** des céréales et des légumineuses, les anomalies chlorophylliennes, les nécroses des feuilles et le développement végétatif de la plante au détriment du développement génératif.

Pour combler une carence en cuivre, il est conseillé de procéder à un traitement, tous les 5 à 8 ans, et quel que soit le type de sol, avec 2 à 5 kg de cuivre sous forme de sulfate de cuivre, de scories de cuivre moulues ou d'alliages cuivreux en poudre.

Le cuivre et l'animal

Le cuivre est nécessaire à la fonction et à la synthèse de certaines enzymes. Sa présence est également un élément indispensable à la formation de l'hémoglobine dans le sang des homéothermes. Il participe à la fixation du fer dans les globules rouges, au développement des cellules, à la cicatrisation, à la constitution des défenses immunitaires et à la formation des os. Chez les animaux à sang froid comme les arthropodes et les mollusques, l'hémocyanine, contenant du cuivre, est très présente. Elle permet le transport de l'oxygène et a un rôle équivalent à l'hémoglobine – contenant du fer – des homéothermes.

En élevage, une teneur en cuivre de 5 à 6 mg/kg dans l'alimentation est considérée comme suffisante. Pour les moutons, la tolérance au cuivre, c'est-à-dire la marge entre le besoin en cuivre et l'effet toxique du cuivre, est particulièrement faible. Une carence en cuivre chez la mère peut entraîner des dysfonctionnements du système nerveux central chez les agneaux. Les symptômes sont les suivants : incapacité de téter, articulations tordues et problèmes de coordination.

Le cuivre et l'homme, et l'utilisation du cuivre en médecine

Le corps humain contient environ 100 mg de cuivre, se trouvant en grande partie dans les protéines. Les plus fortes concentrations de cuivre se trouvent dans le foie, et, dans une moindre mesure, dans le cerveau, le cœur et les reins. Le foie est l'organe principal du métabolisme du cuivre. Il y est stocké et utilisé par les enzymes du cuivre du foie. Dans les périodes d'importante activité du métabolisme et de construction de l'homme, les quantités de cuivre mesurées sont beaucoup plus élevées. Chez les femmes enceintes, la teneur en cuivre du sérum est presque deux fois supérieure à la normale. Chez les nouveau-nés, la teneur en cuivre du foie est de 3 à 10 fois supérieure à celle du foie d'un adulte. Les enzymes du cuivre participent, entre autres, à la mobilisation du fer, qui est ainsi disponible pour la synthèse de l'hémoglobine. Un apport quotidien de 2 à 5 mg de cuivre est suffisant pour l'être humain, apport fourni par une alimentation variée. Les symptômes d'une carence en cuivre sont l'anémie, la faiblesse des défenses immunitaires, les maux de tête et la diarrhée.

D'après la conception anthroposophique de la nature et de l'homme, le cuivre agit activement comme stimulant de la chaleur grâce à ses propriétés enveloppantes et stimule ainsi les fonctions de structuration (voir ci-dessus l'exemple des femmes enceintes et des nouveau-nés). L'intensité – croissante, localisée ou faible – des processus liés au cuivre chez l'homme peut être évaluée d'après des symptômes bien déterminés. Des remèdes adaptés, à base de cuivre, seront utilisés en homéopathie et en médecine anthroposophique. Les préparations à base de cuivre agissent sur les fonctions rénales en dirigeant les éliminations. Elles agissent également sur le métabolisme protidique, ainsi que sur les fonctions de la glande thyroïde. Dans les années 20, Rudolf Steiner donna, avec l'aide de médecins, des conseils thérapeutiques concernant les remèdes à base de cuivre, et ce pour différentes maladies (voir à ce sujet les histoires des maladies N° 113-154 dans Walter H., Les sept métaux principaux).

A parte : Rappel des caractéristiques du cuivre

Nous savons que le cuivre est présent dans le sol non seulement sous forme de minerais et de silicate de cuivre, mais aussi sous forme de liaisons avec des complexes organiques. Le cuivre joue un rôle important dans la formation des protéines chez la plante. Il fait également partie, chez l'homme et chez l'animal, des éléments indispensables à la vie. Il est aussi l'élément essentiel de l'hémocyanine chez les animaux à sang froid et «aide» le fer dans ses fonctions chez les homéothermes. Le foie, considéré comme l'organe central du métabolisme, se trouve également être le lieu central du métabolisme du cuivre. De plus, le cuivre contribue au renforcement du système auto-immune. Si l'on voulait définir «l'Être» du cuivre, il faudrait prendre en compte tous ces éléments. Sans oublier la fonction de protection du cuivre (voir ci-après). On pourrait ainsi qualifier

le cuivre d'«auto-immunateur». Une question se pose alors : comment le cuivre – qui n'est pas un «Être» de chaleur – agit sur la plante sans métabolisme sanguin ? Existe-t-il par exemple une sorte d'organisme de chaleur chez la plante ? Et si oui, est-il stimulé par le cuivre ? Le cuivre a-t-il, en application externe, une sorte de «fonction de protection» de la plante ?

Caractéristiques de l'«Être» des plantes

Il est beaucoup plus courant de voir des peuplements de plantes que des plantes isolées. Les plantes font partie, dans notre paysage agricole, d'un tout plus ou moins homogène («prairie», «forêt», «vigne»). La «Comtesse de Pymont» ou la «Reinette d'or» désigne des variétés de roses et de pommes, et non la plante en tant qu'être unique. De même, la maladie touche plus fréquemment un peuplement de plantes plutôt qu'un individu isolé. Cependant, des spécimens de plantes isolés sont capables de développer des résistances différentes à celles des plantes voisines. Ce fait est déterminant dans la mesure où, aujourd'hui, en Europe centrale, les porte-greffes végétatifs multipliés de façon artificielle et les greffons sont très répandus pour la vigne et les arbres fruitiers. Il s'agit donc d'un individu unique multiplié de nombreuses fois servant à élaborer sa propre descendance. Toutes ces plantes ne sont pourtant – pour parler de façon imagée – qu'une seule et même plante multipliée. Une seule plante peut donc être à l'origine de régions ou des contrées entières. Cette méthode présente d'un côté des avantages (uniformité des plantes et reproduction des caractères de la plante d'origine). Mais, d'un autre côté, ces avantages peuvent, en cas de sensibilité de la plante d'origine, se transformer en de graves problèmes et en épidémies pouvant aller jusqu'à la destruction totale du peuplement.

Une seconde caractéristique de l'«Être» des plantes est que ces dernières provoquent, au moment de la floraison, une certaine destruction de protéines dans les feuilles. Cela permet à la plante de s'alimenter en nutriments solubles. Cette phase est propice au développement des champignons, attirés par ces nutriments libérés.

Plante et maladie

La maladie, au sens strict du terme, ne s'applique pas aux plantes. Il n'existe pas de causes «internes» de maladies chez les plantes. En général, lorsque nous parlons de maladie à propos d'une plante, il s'agit en fait d'une infestation provenant de l'extérieur, qu'elle soit due à des champignons, des bactéries, des virus ou des animaux. La plupart du temps, cette infestation s'explique par une sensibilité de la plante causée par une carence en nutriments, en lumière ou en eau. Mais cette sensibilité peut également être le résultat d'un apport excessif en nutriments solubles – acides aminés, sucres, minéraux et nucléotides par exemple - dans le suc cellulaire. Une plante saine, c'est-à-dire dans ce cas recevant un apport équilibré en nutriments est capable, en règle générale, de se défendre contre les prétendues maladies. Cela est également valable pour l'animal, bien que le stress, la solitude et d'autres facteurs «psychiques» entrent aussi en ligne de compte. Chez l'être humain, ces facteurs «psychiques» ont encore une toute autre influence.

La vigne

La culture de la vigne en Europe centrale est issue d'une tradition vieille de plus de 2000 ans. La vigne et le blé sont, comme nul autre plante, les deux cultures emblématiques de la tradition agricole du Proche-Orient, puis de l'Europe. La vigne, dont les fruits ne constituaient pas la nourriture de base, était néanmoins une culture essentielle. Dans toutes les régions où sa culture était possible, la vigne était le pilier de la culture et de la vie rurale. Jusqu'au milieu du 19^e siècle, la vigne se caractérisait par un grand nombre de variétés de cépages cultivés. Mais, en 1863, le Phylloxéra – *Viteus vitifoliae* – importé d'Amérique du nord détruisit près de la moitié des vignes

d'Europe centrale. C'est alors qu'en 1878 furent importés d'Amérique essentiellement deux porte-greffes résistants au Phylloxéra (*Vitis Riparia* et *Vitis Rupestris*). Ces deux porte-greffes constituent aujourd'hui encore une grande partie des cépages d'Europe centrale. La vigne européenne est ainsi devenue résistante au Phylloxéra, mais a hérité de toutes les autres caractéristiques de ces porte-greffes, caractéristiques également transmises aux greffons (voir chapitre sur la compréhension de l'«Etre» des plantes). Ces porte-greffes ont surtout une capacité d'assimilation du fer et du zinc insuffisante, sont sensibles au mildiou – *Peronospora*-, et la formation de protéines dans leurs feuilles est plus lente. Certains porte-greffes sont également connus pour avoir des problèmes d'approvisionnement en cuivre. Depuis l'importation de ces porte-greffes jusqu'à nos jours, des recherches ont été menées pour trouver des solutions à ces problèmes – capacité d'assimilation des micro-éléments insuffisante et sensibilité au *Peronospora*. Ainsi, Millardet démontra, dès 1881, qu'un mélange de sulfate de fer et de gypse s'avérait efficace contre le *Peronospora*. En 1934, Dufrenoy montra que le risque de développement du court noué pouvait être réduit par un traitement au sulfate de zinc.

Le mildiou –*Peronospora*

Ce champignon survit pendant l'hiver dans les feuilles de vigne tombées au sol sous forme de spores permanentes et de spores d'hiver. Les spores germent au printemps quand les conditions suivantes sont réunies : humidité suffisante du sol et température d'au moins 8 degrés pendant la journée. Il se forme un conidiofore au bout duquel se trouve un sporange. D'autres conditions sont ensuite nécessaires à la propagation du champignon : d'une part des précipitations suffisamment fortes et abondantes pour propulser les zoospores sur les feuilles. D'autre part, les zoospores doivent être attirés par un excès de nutriments solubles. Les stomates situés sous les feuilles doivent également être suffisamment ouverts pour que les zoospores puissent s'y développer. L'ouverture des stomates est elle-même dépendante de l'humidité du sol. L'infestation et le déclenchement plus large de la maladie, la sporulation, sont donc liées à des conditions climatiques bien précises responsables, entre autre, d'importantes modifications dans le métabolisme de la plante. Ce phénomène mérite d'être décrit plus en détails : une forte humidité de l'air, condition surtout remplie la nuit, entraîne une destruction plus importante d'amidons et de protéines. Il en résulte une augmentation de la teneur en sucres et en composés azotés et phosphorés libres. Cet état favorise la germination des spores des champignons. La température joue également un rôle : d'une part, les spores germent mieux après avoir subis un refroidissement à 9-10 ° c. D'autre part, un tel refroidissement entraîne une augmentation de la part des sucres par rapport à celle des amidons insolubles, ainsi que de la part d'azote soluble et de phosphore dans la sève de la plante. L'invasion du champignon se produit souvent tôt le matin. C'est en effet à ce moment que la quantité d'amidon soluble et la destruction de protéines sont à leur niveau maximum. Le développement du champignon est également plus ou moins facilité selon la période de l'année : les jours courts favorisent l'invasion, tandis que les jours longs (formation de protéines importante) inhibe le développement du champignon.

Réflexions sur le traitement du *Peronospora* de la vigne avec le cuivre

Le traitement au cuivre peut avoir une triple action sur la vigne issue de porte-greffes d'origine américaine. Il permet à la fois de préserver la substance vitale en formation (synthèse des protéines à partir d'acides aminés libres et de composés azotés) de l'organisme hôte du champignon, c'est-à-dire la plante, tout en détruisant les spores du «nuisible» - le champignon. Enfin, les propriétés thermiques et de réflexion de la lumière du cuivre peuvent en quelque sorte protéger la plante. Compte tenu des conditions actuelles – porte-greffes avec une capacité d'extraction des micro-éléments insuffisante, sensibilité au *Peronospora* et culture de la vigne sous un climat à

tendance humide -, le cuivre pourrait sembler être le produit phytosanitaire idéal. Mais ce serait là oublier le problème d'accumulation du cuivre dans les sols. Les explications données auparavant (voir le paragraphe «Le cuivre dans le sol») mettent en évidence la nécessité d'analyser les conditions du sol au cas par cas. De nombreux sols sont encore tout à fait capables de stocker le cuivre – élément trouvant son origine dans le sol - disponible avant que la vie du sol n'en soit altérée. Cependant, s'il fallait se baser sur les effets à long terme du cuivre – et ce indépendamment de la structure du sol -, ce dernier ne serait plus utilisé ni pour la protection des plantes, ni pour leur rendement, en baisse constante. Il ne reste donc plus que la capacité d'absorption du raisin pour justifier son utilisation. Les apports jugés nécessaires sont de 300 g par hectare et par an.

Bilan partiel

La première conclusion issue des réflexions menées jusqu'à présent est que, dans les conditions décrites, l'utilisation du cuivre est possible et même pertinente pour la protection des plantes, et ce dans la limite du seuil d'assimilation par les plantes. Une interdiction totale de l'utilisation du cuivre ne semble donc pas pertinente.

Dernières observations, problématique de la recherche et suggestions

La viticulture de demain devrait être une culture adaptée à son environnement et utilisant des variétés régionales, y compris pour les porte-greffes. Une bonne pratique de la culture organique ou, mieux encore, de la culture bio-dynamique permet de rétablir, à moyen terme, la fertilité des sols. Ainsi, la plante retrouve sa capacité d'assimilation de tous les nutriments essentiels et des micro-éléments. L'utilisation de produits phytosanitaires pourrait alors s'avérer inutile, ou bien être fortement réduite.

Mais, étant donné les caractéristiques actuelles de la vigne en Europe centrale – préférence à des variétés bien précises et assez mal adaptées à l'environnement, et porte-greffes d'origine américaine -, il faut chercher à optimiser tous les facteurs secondaires pour éviter le développement de champignons :

Toutes les pratiques de culture et de production végétale doivent également être orientées dans le but de limiter le développement des champignons. L'emploi d'un fertilisant équilibré, de produit pour renforcer les plantes et des préparations bio-dynamiques permet notamment l'équilibre du métabolisme de la vigne. Les apports de compost, les pulvérisations de compost et l'utilisation des préparations bio-dynamiques stimulent également l'activité microbiologique du sol. Enfin, ces pratiques permettent d'accroître la densité de population d'antagonistes qui tuent les oospores en germination.

Il faut ensuite veiller à la couverture du sol pour le protéger des effets des gouttes d'eau et pour favoriser un feuillage en contact avec l'air et vite sec. En ce qui concerne les préparations bio-dynamiques, Wistinghausen souligne l'importance de l'utilisation de toutes les préparations : celles pulvérisées en plein champ et celles ajoutées au fertilisant. La stimulation réciproque ou la complémentarité des préparations entre elles en assure l'efficacité. **L'utilisation de produits phytosanitaires comme le cuivre n'est à conseiller qu'en complément.**

La pertinence d'un classement des sols selon leur teneur en cuivre et leur état de pollution – non pollué, de pollution acceptable ou pollué – doit être étudiée. Il faut tenir compte des conditions et des capacités d'accumulation des sols, variables selon les cas, et dont l'évaluation précise est difficile à réaliser. Les rhizobium (bactéries fixatrices d'azote se trouvant sur les racines des plantes) peuvent être pris comme indicateurs, sachant qu'ils supportent des teneurs en cuivre de 40 à 50

ppm. Il semble donc important de veiller à ce que cette teneur ne soit pas dépassée de manière excessive sur une longue période. Selon d'autres auteurs, il ne faut pas dépasser 100 mg de cuivre/kg de matière sèche de sol. La teneur maximale des sols en cuivre tolérée par l'Union Européenne est de 150 mg/kg. Entre 50 et 150 mg/kg, la situation est déjà délicate, mais encore acceptable. Une étude continue réalisée sur plus de 5 ans sur la culture de pommiers au Danemark montre que 750 mg de cuivre par hectare et par an augmente la teneur en cuivre de 2 ppm/an dans les 5 premiers centimètres du sol, et de 1 ppm/an dans les couches plus profondes. Toute quantité dépassant la capacité d'absorption de la plante conduit à une accumulation de cuivre dans le sol. Cette accumulation n'est pas forcément dramatique, mais cela montre qu'il faut se baser sur la capacité d'absorption naturelle de la plante pour déterminer les possibilités de réduction de l'utilisation du cuivre.

Utilisation efficace du cuivre

C'est grâce à la connaissance de la période optimale de traitement avec les préparations au cuivre, les produits de complément et de renforcement des plantes qu'il est possible d'arriver à une baisse significative de la quantité de cuivre utilisée. C'est particulièrement le cas pour le traitement du *Peronospora*. Les conditions météorologiques et les conditions favorables à l'infection du *Peronospora* peuvent être évaluées au moyen d'un thermohygrographe et d'un instrument enregistrant le taux de mouillage des feuilles. Il faut prendre certaines précautions lors du traitement pour réduire les pertes de produits et respecter la réglementation en terme de distance minimale. Des expériences menées en arboriculture et en viticulture donnent de bons résultats en matière de protection des plantes avec des quantités de cuivre utilisées fortement diminuées. Randolph Kauer, professeur en viticulture et en technologie des boissons à l'école supérieure spécialisée de Geisenheim explique que les quantités de cuivre jadis considérées comme inefficaces permettent aujourd'hui d'obtenir de bons résultats. En traitant avec des quantités de cuivre comprises entre 100 et 250 g par hectare, il est possible, même avec plusieurs traitements, d'utiliser au total moins d'1kg de cuivre par hectare et par an.

Christine Bernard, présidente d'Ecovin, estime que 500 g de cuivre par hectare s'avèrent efficace.

La quantité totale de cuivre utilisée semble pouvoir être fortement diminuée en pratiquant des pulvérisations plus fréquentes, à chaque fois avec des doses plus faibles. Toutefois, la mise en œuvre de cette pratique doit être étudiée en tenant compte des contraintes de rentabilité et de temps de travail.

Quels sont les composés de cuivre tolérables ?

D'après la directive européenne 2092/91, le cuivre peut être utilisé en agriculture biologique sous forme d'hydroxyde de cuivre, d'oxychlorure de cuivre, de sulfate de cuivre et d'oxyde de cuivre. Le sulfate de cuivre, d'origine naturelle, est utilisé depuis toujours : la «bouillie bordelaise», ou sulfate de cuivre, est utilisée comme produit phytosanitaire depuis 1885. L'oxychlorure de cuivre n'existe en revanche pas dans la nature. Le chlore, composant de nombreux produits phytosanitaires, agit par antagonisme avec le cuivre : il inhibe la formation des protéines et favorise leur destruction. Cela explique que l'emploi de pesticides provoque l'enrichissement du sol en composés azotés solubles. La plante est ainsi, comme nous l'avons vu auparavant, plus sensible. L'oxychlorure de cuivre n'est donc pas un produit phytosanitaire à conseiller.

Projets de recherche sur le cuivre

Expérimentations en cours de produits de substitution et de complément au cuivre

De nombreuses expériences sont actuellement en cours avec des produits de substitution ou de complément au cuivre. Certaines de ces expériences se font dans le cadre de projets soutenus par le programme fédéral allemand pour l'agriculture biologique (BÖL) (voir à ce sujet le site www.oekolandbau.de/Forschung). Ces recherches s'avèrent en partie fructueuses, et mettent en évidence l'efficacité de certains produits aussi bien en laboratoire qu'en plein champ. Toutefois, le degré d'efficacité est souvent trop faible et des effets secondaires apparaissent également lorsque les produits sont utilisés en forte concentration ou lorsque les produits s'avèrent justement très efficaces.

Si l'on surveille les conditions météorologiques et les conditions propices à l'infection, il est possible de réduire la dose totale de cuivre utilisée en combinant, de manière espacée dans le temps, des préparations au cuivre et des préparations à l'argile (par exemple Myco-Sin). Les préparations à base d'argile ne sont toutefois pas à elles seules une solution, car elles sont assez mal tolérées par les plantes. Les produits permettant de renforcer les plantes, comme par exemple la poudre de roche contenant de l'aluminium, participent également à réduire la quantité de cuivre utilisée.

L'emploi d'hydrogencarbonate de sodium (produit de lutte contre l'oïdium vendu sous la marque Steinhauer) et d'hydrogencarbonate de potassium a donné de bons résultats, mais uniquement en combinaison avec du cuivre.

Homéopathie

Nicolas Joly, viticulteur pratiquant la biodynamie, décrit dans son livre Le vin du ciel à la terre une expérience réalisée avec une solution de sulfate de cuivre à dose homéopathique ayant permis à une plante intoxiquée au cuivre de pouvoir à nouveau éliminer le cuivre accumulé. Il faut également ici citer le travail scientifique mené par Andrea Emde au sujet de l'Homéopathie pour les plantes.

Végétabilisation du cuivre

De 1976 à 1994, l'institut de la section scientifique du Goetheanum a mené des expériences sur la végétabilisation (procédé utilisé par l'entreprise Weleda pour l'élaboration de médicaments) du cuivre avec *Melissa officinalis*. Les résultats de ces expériences restent encore à interpréter.

Suggestions

Ce sont bien les propriétés d'«auto-immunateur» du cuivre qui devraient orienter la recherche de produits alternatifs.

Perspectives

Le débat sur l'interdiction de l'utilisation du cuivre, ainsi que l'étude nuancée du cuivre et de ses propriétés laissent à penser, compte tenu des mesures complémentaires existantes, que la législation

européenne arrivant à terme aboutira à la réduction de la quantité de cuivre utilisée. Parallèlement à cela, l'activité de conseil en viticulture bio-dynamique devrait être intensifiée. L'objectif est d'étendre, selon les besoins, les connaissances actuelles, et ce particulièrement concernant les mesures préventives et les méthodes de lutte les plus efficaces. Il faut également accorder un plus grand intérêt à la recherche approfondie pour pouvoir ouvrir de nouvelles perspectives et permettre un développement cohérent des résultats déjà obtenus.

Conclusion

Souvent résumé à un métal lourd, le cuivre, connu comme produit fongicide, a une mauvaise réputation en agriculture biologique. Cependant, une étude plus approfondie montre que le cuivre est présent partout où la vie existe, et s'avère même essentiel à de nombreux processus vitaux. Son effet fongicide ne s'explique que par son effet destructeur sur les spores des champignons. En dehors de cela, il lutte contre l'infestation de champignons en stimulant le métabolisme des protéines de la plante. Enfin, le troisième effet du cuivre à considérer est sa «fonction de protection». Le cuivre est donc difficilement voire non substituable par d'autres produits. Citons l'exemple du soufre qui constitue, de par son efficacité, un bon complément au cuivre. C'est pourquoi il faut préférer les produits à base de sulfate de cuivre plutôt que ceux à base d'oxychlorure de cuivre. L'utilisation du cuivre ne pose ensuite pas de problème si les doses restent inférieures au seuil d'absorption de la culture, par exemple de 300 mg/ha/an. En règle générale, des teneurs en cuivre de l'ordre de 100 mg/kg de matière sèche du sol sont encore acceptables. Toutefois, des études montrent déjà des effets d'accumulation avec des doses employées deux fois supérieures au seuil d'absorption. Il faut donc rechercher plus sérieusement des moyens de diminuer les quantités de cuivre utilisées pour éviter l'accumulation dans les sols. La caractéristique du cuivre en tant qu'«auto-immunateur», que nous avons essayé de développer dans cette étude, peut être une aide appréciable dans cette recherche.

Nous remercions le fondation Software pour le soutien de ce projet.