

Mildiou de la vigne : alternatives au cuivre

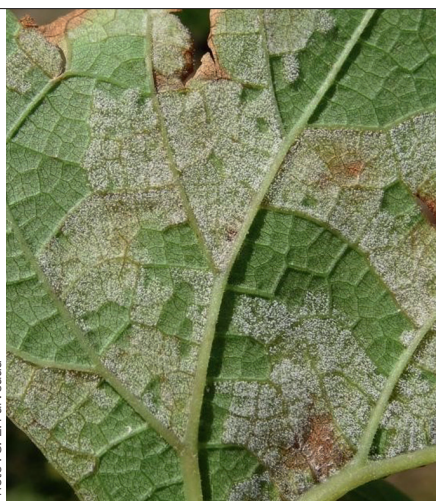
Bilan de quatorze années d'une expérimentation menée dans le Diois (Drôme) sur le contrôle de *Plasmopara viticola* en agriculture biologique.

 CLAUDE-ÉRIC PARVEAUD ET MAXIME JACQUOT, Groupe de recherche en agriculture biologique (Grab)

La protection phytosanitaire des vignobles en production biologique contre le mildiou de la vigne *Plasmopara viticola* (voir encadré page suivante) est fortement dépendante des composés à base de cuivre. En effet, 97 % des vignobles biologiques les utilisent, ainsi que 84 % des vignobles conventionnels (Tableau 1 page suivante). Le cuivre cumule en effet de nombreux avantages : efficacité élevée, application aisée, large diversité de produits commerciaux disponibles⁽¹⁾ et un coût modéré.

Les risques du cuivre en viticulture

Les principaux inconvénients liés à l'application de cuivre en agriculture sont sa phytotoxicité, l'apparition de résistance chez les pathogènes, les effets négatifs sur les organismes du sol et la présence possible de résidus sur la récolte (Lamichhane *et al.*, 2018). Les problématiques liées à la phytotoxicité en vignoble sont peu reportées car les conditions d'utilisation des différentes spécialités commerciales à base de cuivre sont techniquement bien maîtrisées. Bien que les composés à base de cuivre aient une activité multisite avec un faible risque de développement de résistance, des cas de bactéries pathogènes ayant développé des résistances ont été rapportés (par exemple,



Sporulation de *Plasmopara viticola* en mosaïque sur la face inférieure d'une feuille de vigne en fin de saison.

bactériose du noyer, feu bactérien du pommier, chancre bactérien du kiwi et des fruits à noyaux), et leur nombre tend à augmenter depuis 1980 (Martin *et al.*, 2004 ; Lamichhane *et al.*, 2018). À notre connaissance, la sélection de souches virulentes de mildiou liée à l'application de cuivre n'a pas été reportée à ce jour (Lamichhane, com. pers). Les produits à base de cuivre ayant un effet préventif sur le développement du mildiou, son application est donc préconisée avant chaque période à risque de contamination. Sur la période 2015-2019, les départements

dans lesquels les plus grandes quantités de composés à base de cuivre ont été vendues correspondent aux grands bassins viticoles (exemple de 2018, Figure 1A page suivante). La cartographie des teneurs en cuivre EDTA⁽²⁾ des horizons de surface du sol en 2011 suit une répartition similaire (Figure 1B).

Les teneurs en cuivre total des sols viticoles sont très variables en raison de l'historique d'usage du cuivre et de la nature du sol. En France, des valeurs entre 57 et 1 500 mg/kg ont été mesurées (Lamichhane *et al.*, 2018). En 2016, les quantités moyennes de cuivre métal utilisées en viticulture biologique et conventionnelle sont de 2,6 et 1,3 kg/ha/saison, respectivement (Tableau 1). Cinq ans plus tard, les quantités moyennes de cuivre recensées dans l'enquête menée sur le réseau Dephy Expé Viti pour un usage phytosanitaire et de fertilisation foliaire en agriculture biologique et conventionnelle sont de 2,6 et 1,4 kg/ha/saison, respectivement.

La toxicité du cuivre dans le sol est fonction de sa biodisponibilité, qui dépend surtout de la teneur en cuivre total (résultant de l'historique parcellaire), mais également des teneurs en carbone total et en particules fines (Anatole-Monnier, 2014). Plus sensibles aux métaux lourds que les autres organismes du sol, les micro-organismes réagissent en premier à une augmentation des teneurs en cuivre du sol : diminution de la biomasse microbienne et de son activité, modification des communautés microbiennes. Les macro-organismes peuvent également être affectés, notamment par une diminution des populations de vers de terre (Lamichhane *et al.*, 2008). Notons qu'il existe un débat sur l'extrapolation de ces résultats en situation de parcelle viticole, peu d'études étant menées *in situ*. L'analyse

RÉSUMÉ

♦ **CONTEXTE** - La protection phytosanitaire des vignobles contre le mildiou est fortement dépendante des composés à base de cuivre, plus particulièrement en agriculture biologique. Les inconvénients d'un usage répété du cuivre ont conduit à la recherche d'alternatives à son usage.

♦ **ÉTUDES** - Quarante-et-une substances alternatives au cuivre ont été évaluées en vignobles (Drôme) en conditions semi-contrôlées sur

un cépage sensible au mildiou, entre 2007 et 2020, par le Grab. Une méta-analyse des données a facilité leur interprétation globale.

♦ **RÉSULTATS** - Au cours des quatorze années d'observation, les pertes maximales sur grappes ont atteint 85 % sans protection phytosanitaire, elles ont été limitées à 23 % en utilisant entre 0,4 et 3,6 kg de cuivre métal/ha/an selon les années. Parmi les seize produits évalués et retenus dans la méta-analyse, un peu plus de la

moitié des produits testés réduisent significativement les dégâts de mildiou sur feuilles et grappes avant récolte lorsqu'ils sont appliqués seuls. En revanche, très peu ont un effet additionnel lorsqu'ils sont associés à une faible dose de cuivre. Identifier les causes de variabilité de l'efficacité des produits alternatifs permettra d'optimiser à terme leurs usages.

♦ **MOTS-CLÉS** - Cuivre, vigne, mildiou, alternatives, agriculture biologique.

(1) 41 produits disponibles avec AMM disponibles en 2021 - Anses 2022.

(2) Le cuivre extrait à l'EDTA (qui représente une forme plus mobile que le cuivre total) est un très bon marqueur d'une contamination d'origine humaine. Source : GIS sol.

Le mildiou de la vigne, un parasite très diversifié

Le mildiou de la vigne est causé par *Plasmopara viticola*, présent en France depuis 1878. C'est un endoparasite obligatoire qui se développe exclusivement dans le parenchyme des feuilles de vigne (voir photo page précédente). Il est l'une des 700 espèces de mildiou pathogène pour une très large

diversité de mono- et dicotylédones (Thines et Choi, 2016). Le mildiou de la vigne est le mildiou entraînant le plus de dégâts en Europe. Lorsque les conditions pour son développement sont réunies, c'est-à-dire une température optimale de 25 °C et des pluies, les pertes de production peuvent atteindre 75% malgré

une protection phytosanitaire (Gessler *et al.*, 2011). En 1915, 70% de la production de raisin français a été détruite par le mildiou de la vigne, par exemple. Près de 4000 génotypes différents du mildiou de la vigne ont été identifiés en Europe, dont 400 en France. Cette importante diversité génétique per-

met d'expliquer l'adaptation du mildiou de la vigne à la diversité des vignobles européens (Gobbin *et al.*, 2006). À l'échelle du vignoble, voire sur une même feuille, différentes souches peuvent être observées, et ces souches peuvent avoir des virulences différentes (Gomez-Zeledon *et al.*, 2013).

de Karimi et ses coauteurs (2021a, 2021b) met en évidence la difficulté à proposer des valeurs seuil universelles au-delà desquelles les effets négatifs sont observés. En effet, la diversité des seuils, les modalités d'apport du cuivre (effet aigu à court terme ou effet chronique à long terme) et la teneur initiale en cuivre du sol étudié sont autant de facteurs qui modulent la réponse de la vie du sol à un apport de cuivre.

Comment réduire les quantités de cuivre utilisées ?

Les travaux de recherche menés sur la réduction de l'usage du cuivre montrent qu'aucune solution simple de substitution n'a été identifiée, malgré les très nombreuses substances évaluées (La Torre *et al.*, 2018). De nombreux travaux menés en viticulture biologique ont cherché des solutions pour optimiser l'efficacité des moyens de lutte (protéger mieux avec moins de cuivre) et

évaluer des substances de substitution du cuivre. En revanche, il y a très peu d'études concernant la reconception du système de culture assemblant les leviers génétiques, de prophylaxie et de substitution (Andrивon *et al.*, 2019). Une réduction durable de la dépendance au cuivre impliquera pourtant de combiner différentes approches : matériel végétal moins sensible, mode de conduite limitant le développement du mildiou, op-

timisation des pratiques phytosanitaires (incluant la qualité de pulvérisation)... Les substances alternatives au cuivre sont très variées, elles peuvent être d'origines minérales, animales, microbiennes ou à base de plantes. Trois modes d'action peuvent être impliqués : effet fongicide, stimulation des défenses de la plante et hyperparasitisme (Dagostin *et al.*, 2011). Notons que les modes d'action des substances alternatives

Tableau 1 : utilisation du cuivre en viticulture en France en 2016

Source : extrait de « Enquêtes pratiques culturales et pratiques phytosanitaires » – SSP – Inao (Anses 2022).

Type d'agriculture	Surfaces concernées par l'utilisation du cuivre (hectares)	Part surface totale	Dose moyenne cuivre par campagne (kg/ha)	Nombre moyen de traitements par campagne	Quantité totale de cuivre (tonnes)
Biologique	68 322	97 %	2,55	9,36	174
Conventionnelle	603 640	84 %	1,30	2,56	783

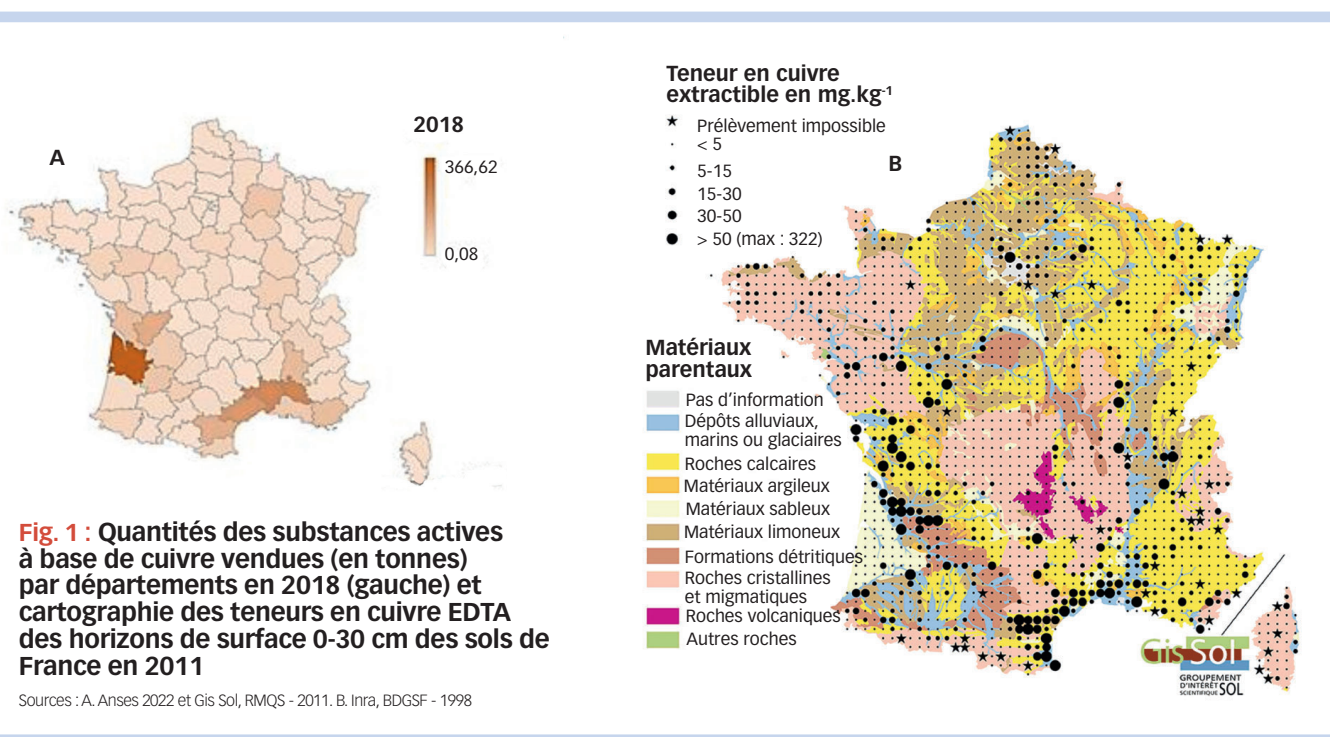


Tableau 2 : nature des produits alternatifs testés et retenus dans les méta-analyses

HE : huile essentielle. (1) Le chélate de cuivre ne peut être considéré comme une alternative, mais son mode d'action (nutrition foliaire) étant différent d'un fongicide de contact, les résultats sont présentés.

Marque et/ou nature du produit testé - Fabricant (dose)	Testé seul (année)	Testé en association avec 100 g de cuivre métal/application (année)
Chélate de cuivre - Confidentiel (0,5 à 1,5 l/ha) ⁽¹⁾	2016	2016
Chélate de manganèse et zinc - Confidentiel (1,0 à 1,5 l/ha)		2016
Chitoplant, chlorhydrate de chitosane - ChiPro GmbH (12,5 g/l)	2007	-
Chitoplant, chlorhydrate de chitosane - ChiPro GmbH (1 g/l)	2019	-
Chitoplant, chlorhydrate de chitosane - ChiPro GmbH (5 g/l)	2019 2020	2020
Saponin, extrait de yucca - Deruned BV (3 l/ha)	2007	-
Fructose - Sigma Aldrich (0,1 g/l)	2013	-
PrevB2, huile essentielle d'orange - Oro Agri (6 ml/l)	2008 2009	-
Timorex, extrait de l'arbre à thé - Saoas (5 ml/l)	2007	-
Timorex, extrait de l'arbre à thé - Saoas (7 ml/l)	2008	-
Timorex, extrait de l'arbre à thé - Saoas (5 ml/l) + Trapper, acides aminés - Omya (0,25 ml/l)	2007	-
Décoction de prêle - Purin d'ortie et Cie (100 ml/l)	-	2019, 2020
HE eucalyptus citronnée - Nateva (2 ml/l) + Héliosol (2 ml/l)	-	2014
HE girofle - Nateva (2 ml/l) + Héliosol - Hélioterpen (2 ml/l)	-	2014
HE girofle - Nateva (2 ml/l) + savon noir - Koppert (2 ml/l)	-	2015
HE origan - Nateva (2 ml/l) + savon noir - Koppert (2 ml/l)	-	2015, 2018
HE thym à thymol - Nateva + savon noir - Koppert (2 ml/l)	2018	2016, 2017, 2018
Hydrolat de thym à thymol - Nateva + savon noir - Koppert (2 ml/l)	-	2017
Savon noir - Koppert (2 ml/l)	-	2018, 2019
Savon noir - Koppert (10 ml/l)	-	2020
Vinaigre - BioFuchs (63 ml/l)	-	2020

sont rarement bien identifiés et caractérisés, ce qui soulève des questions quant à leurs modalités optimales d'utilisation. Les produits appliqués en viticulture biologique possèdent soit une AMM, soit sont des substances de base approuvées ; des biostimulants sont également utilisés.

La pratique de la phytothérapie s'est particulièrement développée en viticulture biologique et biodynamique. L'utilisation d'alternatives au cuivre à base de plantes est très diversifiée étant donné la nature des plantes et leur mode de préparation : purins, décoctions, infusions, huiles essentielles.

Des expérimentations en condition semi-contrôlée

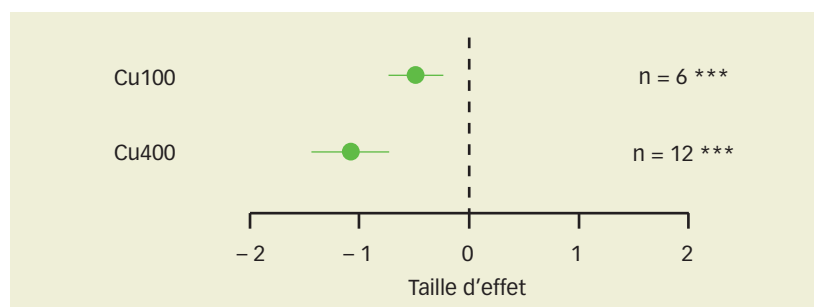
Entre 2007 et 2020, le Grab a évalué 41 substances alternatives au cuivre à différentes concentrations, sur une ou plusieurs années, avec différents adjuvants, correspondant à un total de 64 modalités alternatives différentes. Plusieurs critères ont conduit à retenir ces substances : intérêt du mode d'action, expérimentations ayant donné des résultats encourageants, substances utilisées par des viticulteurs, disponibilité importante dans la zone d'étude.

L'interprétation des résultats d'efficacité des alternatives au cuivre ne semble pas agronomiquement pertinente si la pression annuelle du mildiou est nulle ou très faible. Dans les analyses présentées dans cette étude, nous avons donc retenu uniquement les données sur feuilles et sur grappes où une différence significative est observée entre le témoin non traité et la référence cuivre à 400 g de Cu métal/ha/application, ce qui nous a conduit à retenir seize substances alternatives différentes, testées seules ou à mélange, à une ou plusieurs concentrations (Tableau 2).

Les expérimentations ont été réalisées dans la vallée de Drôme, à Barnave (2007-2009) et à Espenel (2010-2020) sur le cépage Muscat petits grains, connu pour sa forte

Fig. 2 : Taille d'effet moyen des modalités à 100 et 400 g de cuivre métal/application/ha sur la fréquence des dégâts de mildiou sur feuille de vigne par rapport au témoin non traité

Plus la distance du point (moyenne) est grande par rapport au 0, plus l'effet est important. Une valeur négative indique une baisse des dégâts. Les barres horizontales correspondent aux intervalles de confiance à 95%. « n » indique le nombre d'années où la modalité a été testée.



sensibilité au mildiou. Les parcelles étaient constituées de quatre à six blocs, chaque parcelle élémentaire constituée de sept à douze ceps. Les applications de produits alternatifs ont été réalisées à l'aide d'un pulvérisateur à dos à jet porté (Solo 450) à 150 l/ha, sauf exception (en 2007, modalité Chitoplant à 400 l/ha). Les cadences des applications ont été décidées en fonction des caractéristiques connues des produits. Les applications ont le plus souvent été réalisées tous les 7 à 10 jours, en association avec du soufre (anti-oïdium), et renouvelées en fonction de la phénologie, des risques climatiques et des lessivages par les pluies. La brumisation de la parcelle a été assurée chaque année entre 2014 et 2020 (6 à 65 jours/an selon les années ; 28 minutes/nuit). L'inoculation de mildiou a été réalisée en 2014, 2015 et 2020 par l'agrafage de feuilles contaminées dans les zones non traitées, situées entre les parcelles élémentaires.

Un témoin non traité, une modalité référence (400 g Cu métal/ha/application) et une modalité faible dose de cuivre (100 g Cu métal/ha/application) ont été mis en place chaque année. La forme de cuivre utilisée était l'hydroxyde de cuivre (Kocide Opti ou Kocide 2000). Selon les années, deux à six observations de dégâts de mildiou ont été réalisées chaque saison, depuis la sortie des premières taches jusqu'aux vendanges. Les détails des modalités et des résultats annuels sont disponibles sur www.grab.fr.

Estimer l'efficacité par l'analyse du jeu de données

Afin de faciliter une lecture pluriannuelle des résultats expérimentaux, nous avons retenu la méthode de la méta-analyse (Makowski *et al.*, 2018). L'objectif est d'estimer l'effet moyen de traitements alternatifs au cuivre sur les dégâts de mildiou, par rapport à un contrôle. L'indicateur calculé par la méta-analyse s'appelle la taille d'effet. Pour les traitements alternatifs utilisés sans cuivre, le contrôle est le témoin non traité. Pour les traitements alternatifs utilisés avec une faible dose de cuivre (100 g Cu métal par application), le contrôle est la faible dose de cuivre utilisée seule. Les dégâts de mildiou peuvent être exprimés en fréquence (proportion d'organes contaminés) ou en intensité (proportion de la surface contaminée sur un organe), sur feuilles ou sur grappes, pour une date précise ou bien sur la saison complète. Les résultats d'efficacité présentés ici concernent ceux en fin de saison en période de vendange. Ces analyses ont été réalisées avec le logiciel R (R Core Team, 2022).

Pour contrôler la robustesse de notre analyse, nous avons aussi étudié par méta-analyse la taille d'effet moyen des deux modalités, par rapport au témoin non traité (Figure 2). Les valeurs moyennes de la taille

Fig. 3 : Intensité des dégâts de mildiou observés avant vendange sur feuilles et sur grappes sur le témoin non traité (TNT) et la référence cuivre (400 g de Cu métal/ha/application) à Barnave (2007-2009) et Espenel (2010-2020)

Les chiffres entre parenthèses sous les années correspondent aux nombres de traitements réalisés sur les modalités « référence cuivre » et les modalités alternatives au cuivre.

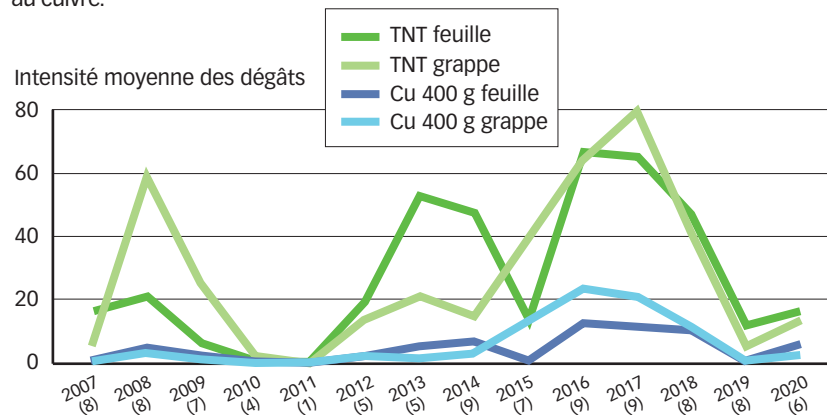
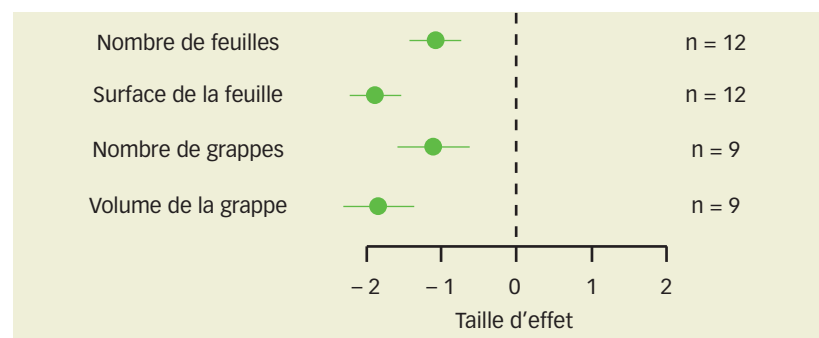


Fig. 4 : Exemple de résultat de la méta-analyse avec l'efficacité de la modalité référence 400 g de Cu métal/traitement par rapport au témoin non traité (TNT) pour les quatre indicateurs de dégâts : les fréquences (en nombre de feuilles ou grappes) et les intensités (en surface sur les feuilles ou volume sur les grappes)



d'effet moyen des modalités cuivre seul par rapport au témoin non traité montrent une efficacité croissante de la dose de cuivre, comme attendu.

Efficacité dans une gamme de pression mildiou variée

Entre 2007 et 2020, l'intensité des dégâts observés sur le témoin non traité varie entre 0 et 66% sur feuilles, et entre 0 et 85% sur grappes (Figure 3). Cette variabilité est expliquée par les conditions météorologiques, ainsi que la brumisation (de 2014 à 2020) et les inoculations artificielles de mildiou (2014, 2015 et 2020). L'application d'une dose de cuivre comprise entre 0,4 kg et 3,6 kg de cuivre métal/ha/an a permis

de contenir les dégâts sur feuilles entre 0 et 13%, et entre 0 et 23% sur grappes au cours de ces quatorze années sur un cépage connu pour sa forte sensibilité au mildiou.

Le cuivre diminue la taille et le nombre des taches

L'analyse de l'efficacité du cuivre met en évidence des niveaux d'efficacité différents en intensité et fréquence (Figure 4). Le cuivre diminue significativement le nombre et la taille des taches de mildiou par rapport au témoin non traité. Sur feuilles, l'hydroxyde de cuivre a tendance à réduire davantage la surface des taches (intensité) que le nombre de taches (fréquence). Sur grappes, cette dernière tendance n'est pas aussi marquée.

Fig. 5 : Taille d'effet moyen des produits alternatifs appliqués seuls sur l'intensité des dégâts de mildiou de vigne sur feuilles (A) et grappes (B) par rapport au témoin non traité

Plus le point est éloigné du 0 de référence (pointillé), plus l'effet est important. Une valeur négative indique une baisse des dégâts. La couleur verte indique des dégâts significativement plus bas que la référence, la couleur bleue indique l'absence de différence significative par rapport à la référence. Significativité d'après le test de Wald (ns = non significatif. * = pval < 0,05. ** = pval < 0,01. *** = pval < 0,001. Cu100 = 100 g de cuivre métal/ha/application. Cu400 = 400 g de cuivre métal/ha/application.

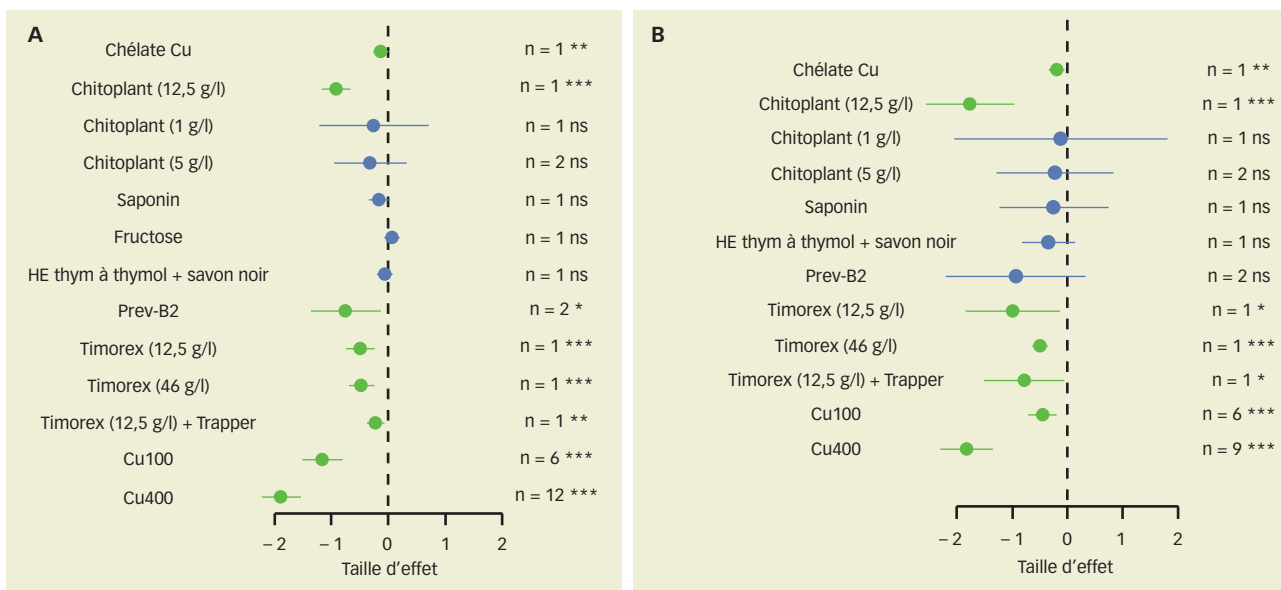
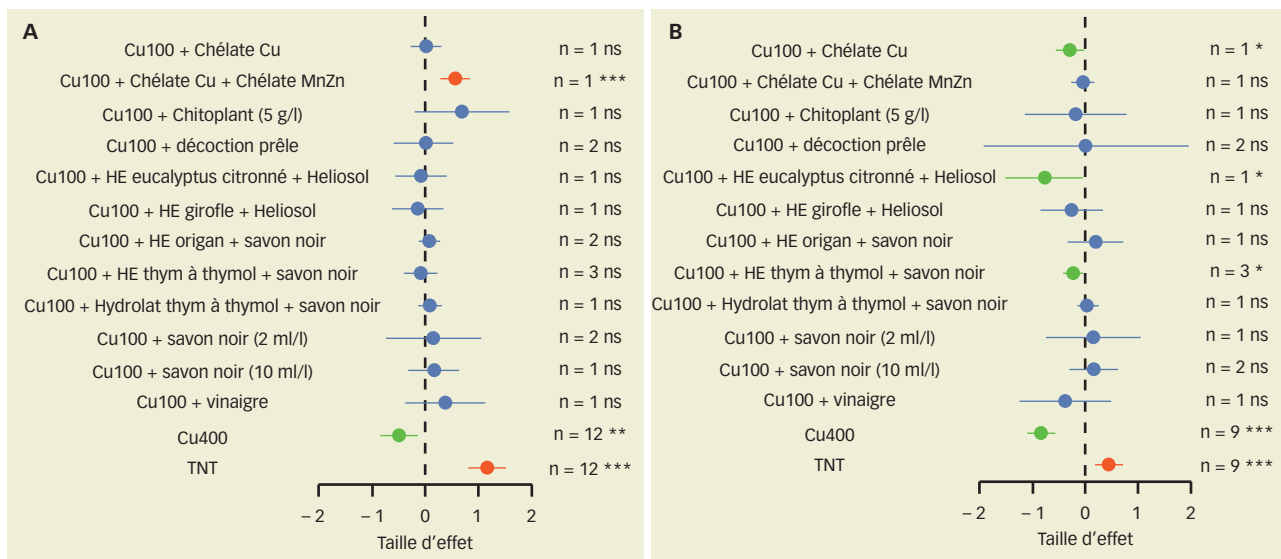


Fig. 6 : Taille d'effet moyen des produits alternatifs appliqués en association avec 100 g de cuivre métal/ha/application sur l'intensité des dégâts de mildiou de vigne sur feuilles (A) et grappes (B) par rapport à la modalité à 100 g de cuivre métal seul



Les alternatives appliquées seules ont-elles un intérêt ?

Nous avons évalué l'efficacité des substances appliquées seules par rapport au témoin non traité. La comparaison se base sur l'in-

tensité des dégâts sur feuilles (Figure 5A) et grappes (Figure 5B) observés avant les vendanges. Cinq substances alternatives au cuivre (Tableau 2) ont une efficacité significative sur feuille en fin de saison : le

Chitoplant à 12,5 g/l, le Saponin, le PrevB2, le Timorex et l'association Timorex et Trapper. Concernant le Timorex, des effets doses ou de synergie avec le Trapper n'ont pas été observés. Les efficacités les plus élevées sont

Directrice de la publication Alice BAUDET

Rédaction

Rédactrice en chef : Valérie VIDRIL (04 67 50 42 63)
v.vidril@gfa.fr **Assistante** : Isabelle BERREROT (01 40 22 79 79)

Édition de l'information

Première secrétaire de rédaction :
Olivia DE LA PORTE (01 40 22 70 67) o.delaporte@gfa.fr

Studio graphique Tél. : 01 40 22 73 04
pole.graphique@gfa.fr

Publicité, Annonces

Directeur de la publicité : Jérôme BUFFARD
Christine BIAS (01 40 22 70 73) c.bias@gfa.fr
Exécution : Paulette RICHARD (01 40 22 70 83)

Abonnements

ALLO ABONNÉ : 01 40 22 79 85
Directeur gestion des abonnés : Jean-Marie LAVIGNE
Tarif France : 148 € pour 1 an (9 numéros dont 1 numéro double)

Comité de rédaction

Membres : C. Alabouvette, Agrene ; A. Baudet, Végéphyll ; A. Benoist, InVivo ; J.-L. Bernard, Académie d'agriculture ; V. Bibard, Arvalis-Institut du végétal ; C. Cerebald-Salagnac, UPJ ; E. Charbonnier, Acta ; B. Chauvel, Inrae Dijon ; M. Dron, Université Paris Saclay ; J.-A. Fougereux, Fnams ; A. Fougereux, Végéphyll ; G. Grenier, université de Bordeaux ; V. Grimault, Geves ; J. Jullien, DGAL ; S. Kreiter, Montpellier SupAgro ; B. de La Rocque, ingénieur en chef d'agronomie ; J. Laville, Anses ; D. Longevialle, IBMA France ; P. Marchand, Itab ; F. Marion-Poll, AgroParisTech ; M. Morel, Axema ; S. Pieron, FNLRN (Fredon Centre) ; C. Regnault-Roger, université de Pau ; A. Rodriguez, Acta ; P. Tallon, MAA ; F. Val, Agrocampus Ouest ; R. Vigouroux, Phyteis ; A.-S. Walker, Inrae

Bureau de Végéphyll

(ass. loi 1901) 42, rue Raymond Jaclard, 94140 Alfortville

Président : H. Quélin

Vice-présidents : V. Grimault, L. Ruck, B. Ambolet, M. Delattre

Secrétaire général : P. Cagnieul

Treasorier : H. Michi

Membres : N. Verjux, M. Dron, C. Jenn, S. Kreiter, P. Marchand

Éditeur délégué :

GRUPE FRANCE AGRICOLE

Président : Gérard JULIEN, pour Groupe ISA

Éditrice du pôle spécialités : Delphine DUCLOS

Groupe France Agricole, 8, cité Paradis
75493 Paris Cedex 10. SAS au capital
de 10 479 460 euros. RCS Paris 479 989 188.
Dépôt légal : à parution.
Numéro CPPAP 0226 G 83191. ISSN 2265-089X.

Imprimeur : **La Rochelaise**, rue du Pont
des Salines - BP197, 17006 La Rochelle Cedex 1.

Index des annonceurs

Bon de commande « Biodiversité fonctionnelle » –
Éditions France Agricole (2^e de couverture), Bulletin
d'abonnement (3^e de couverture), Certis (35,
4^e de couverture)

Phytoma - La santé des végétaux,
la revue professionnelle de la protection des plantes,
publiée par Végéphyll, sous le patronage de :



Association
pour la santé
des végétaux



Ministère
de l'Agriculture,
et de l'Alimentation



Fédération nationale
de lutte contre
les organismes
nuisibles



Origine du papier : France. Taux de fibres recyclées : 0,27 %.
Certification : PEFC. Eutrophisation : Ptot 0,01 kg/tonne.

En application de la loi du 11 mars 1957, il est interdit de reproduire intégralement ou partiellement la présente revue sans autorisation expresse de l'éditeur ou du Centre français d'Exploitation du droit de copie, 3 rue Hautefeuille 75006 Paris. Tél. 01 43 26 95 35 - Fax 01 46 34 67 19. Tous droits de reproduction, traduction et adaptation réservés pour tous les pays. Les articles parus dans Phytoma - La Santé des Végétaux sous une signature individuelle n'engagent que la responsabilité de leurs auteurs.

observées pour le PrevB2 et le Chitoplant à 12,5 g/l, proche de l'efficacité d'une application de 100 g de cuivre métal. Un effet dose est mis en évidence pour le Chitoplant. L'application à une dose de 12,5 g/l s'est en revanche traduite par un épaissement très marqué de l'épiderme des baies, entraînant un faible grossissement des baies, et donc une baisse de rendement très marquée.

Le chélate de cuivre, apportant entre 50 et 150 g de cuivre métal par application, ne peut bien sûr pas être considéré comme une alternative. Son efficacité sur feuille est significative, mais inférieure à celle d'une application de 100 g de cuivre métal/ha/application, suggérant que le mode d'action par contact est plus efficace que par nutrition foliaire. Des résultats observés sur grappes sont très similaires à ceux observés sur feuille : les efficacités observées sur feuilles sont un bon indicateur des efficacités sur grappes.

Alternatives associées à une faible dose de cuivre

Nous avons évalué si l'ajout d'un produit alternatif à une dose de 100 g de cuivre métal/ha/application s'accompagne d'une augmentation de l'efficacité par rapport à la faible dose de cuivre utilisée seule. La comparaison se base sur l'intensité des dégâts sur feuilles (Figure 6A) et sur grappes (Figure 6B) observées avant les vendanges. De manière assez frappante, les onze produits testés n'améliorent pas significativement l'efficacité du contrôle du mildiou sur feuilles lorsqu'ils sont associés à une faible dose de cuivre. Plusieurs hypothèses explicatives peuvent être proposées :

- l'augmentation d'efficacité est trop faible pour être mise en évidence statistiquement ;
- le cuivre, mélangé dans la cuve avec les produits testés, modifie les propriétés du produit testé ;
- le cuivre inhibe l'action des produits testés (par exemple, il bloque la biosynthèse de métabolites impliqués dans les défenses des plantes).

Des expérimentations complémentaires devraient être menées pour identifier les causes. Les chélates de cuivre et de manganèse-zinc associés à une faible dose de cuivre diminuent significativement l'efficacité du mélange. Dans ce cas, le cuivre de l'hydroxyde de cuivre a très certainement été chélaté par les chélates MnZn du fait d'une affinité chimique supérieure, diminuant ainsi la concentration de cuivre libre en solution, et limitant son efficacité.

En revanche, sur grappes, des effets additionnels des produits testés ont été observés : l'huile essentielle de thym à thymol avec du savon noir (trois années), l'huile essentielle d'eucalyptus citronné (une année) et le chélate de cuivre (une année). Notons

donc l'intérêt des huiles essentielles pour améliorer le contrôle du mildiou sur grappes à apport de cuivre équivalent. Les conclusions contrastées observées sur feuilles et grappes pour ces trois produits resteraient à élucider par des essais complémentaires.

Mieux comprendre les modes d'action des alternatives

La méta-analyse permet de visualiser et comparer l'efficacité des produits testés sur plusieurs années. Bien qu'un peu plus de la moitié de produits testés ont une efficacité significative lorsqu'ils sont appliqués seuls, très peu ont un effet additionnel lorsqu'ils sont associés à une faible dose de cuivre. Mieux connaître les causes de variabilité de l'efficacité des alternatives au cuivre sera déterminant pour que la réduction de son usage soit mise en pratique à grande échelle, sans une prise de risque très importante pour les viticulteurs. Les modalités d'action précises sont effectivement souvent mal connues, ce qui rend difficile l'optimisation de leur usage (dose, timing, associations possibles...). Concevoir des stratégies durables pour diminuer les doses de cuivre implique d'évaluer les effets sur le cortège de maladies de la vigne, telles que le black-rot (*Guignardia bidwellii*). Depuis cinq années, le Grab a mis en place des essais participatifs, dont les modalités sont choisies par les viticulteurs, afin d'évaluer des stratégies plus ou moins complexes, et les résultats sont très encourageants.

Dans l'état actuel des connaissances, la combinaison de leviers phytosanitaires, agronomiques et variétaux, intégrant les savoirs viticoles, semble le plus prometteur pour réduire durablement la dépendance au cuivre en viticulture biologique. □

POUR EN SAVOIR PLUS

CONTACTS : claudeeric.parveaud@grab.fr
maxime.jacquot@grab.fr

LIEN UTILE : www.grab.fr

BIBLIOGRAPHIE : la bibliographie de cet article (13 références) est disponible auprès de ses auteurs (contacts ci-dessus).

REMERCIEMENTS Les travaux présentés de cet article ont reçu un appui financier de l'Union européenne dans le cadre des projets Repco et Cofree, des dispositifs Leader et Feader ; du ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire pour les projets CasDar 4P et Huiles essentielles ; de la région Auvergne-Rhône-Alpes par le dispositif Pepit ; des communautés de communes du Val de Drôme et du Crestois-Pays de Saillans. Nous remercions les entreprises ayant fourni gratuitement certains produits. Ces travaux ont été possibles grâce à J. Brenner, C. Gomez et M. Chovelon, du Grab, à l'implication technique de la Cave de Die Jaillance (O. Malet, N. Fermond et J. Ferreyra), aux viticulteurs ayant participé aux réflexions et travaux, et à la participation active des stagiaires : un grand merci à eux !