

Résultats du projet « COPPEREPLACE »

Recherche de stratégies visant
à réduire l'emploi du cuivre
en viticulture bio

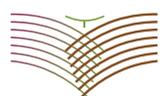
PUBLICATION
2023

*Projet COPPEREPLACE SOE4/P1/E1000
financé par le programme Interreg Sudoe, Union Européenne*



VIGNERONS BIO
NOUVELLE AQUITAINE

Interreg
Sudoe



COPPEREPLACE

European Regional Development Fund



Pierrick LAVAU

Vigneron Bio
à Saint Etienne de Lisse (33330)

Président de la Commission Technique
de Vignerons Bio Nouvelle-Aquitaine

ÉDITO

« Mes chers collègues,

En tant que vigneron, nous avons à cœur de toujours améliorer nos pratiques dans le but de produire le meilleur vin possible tout en préservant le vivant qui nous entoure. Le cuivre en viticulture est aujourd'hui considéré comme indispensable pour la préservation de nos cultures. Cela étant, rien n'est immuable et il est important de continuer à travailler sur la recherche d'alternatives et de possibilités de réduction de son utilisation. Lorsque Vignerons Bio Nouvelle-Aquitaine a été sollicité pour participer au projet européen Coppereplace dans ce but, la Commission technique a jugé pertinent que des viticulteurs bio s'impliquent dans ces essais (et d'autant plus dans notre zone extrêmement soumise au mildiou !).

Cette plaquette présente donc les résultats de ce projet collaboratif entre la France, l'Espagne et le Portugal, dans l'optique de travailler à la réduction de l'utilisation du cuivre dans nos vignobles.

Bonne lecture ! »



VIGNERONS BIO
NOUVELLE-AQUITAINE

Vignerons Bio Nouvelle-Aquitaine est un syndicat professionnel créé en 1995 par des vignerons bio, pour des vignerons bio. En 2022, **Vignerons Bio Nouvelle-Aquitaine représentait les intérêts de plus de 300 structures viticoles Bio (vignerons indépendants et coopérateurs).**

La volonté du Syndicat est de **développer une viticulture biologique certifiée, plurielle et viable économiquement**. Pour ce faire, les missions de Vignerons Bio Nouvelle-Aquitaine s'articulent autour de 4 grands pôles :

- la **défense syndicale**, pour porter la voix des vignerons bio auprès des instances locales, nationales et européennes ;
- l'**expertise œnologique et économique**, pour apporter conseils, outils et accompagnement sur les problématiques rencontrées par les producteurs ;
- la **promotion des vins bio** auprès des professionnels et des particuliers ;
- la **recherche et l'expérimentation**, pour permettre aux vignerons bio d'être au cœur des innovations viticoles et œnologiques de demain.

Tous les vignerons certifiés bio ou en conversion de Nouvelle-Aquitaine peuvent adhérer, contactez-nous !

TABLE DES MATIÈRES

Cuivre et viticulture : « je t'aime, moi non plus »	6
L'intérêt du cuivre en viticulture biologique	6
Pourquoi le cuivre pose-t-il problème ?	6
Le contexte politique du cuivre	6
Le projet Coppereplace	7
Le projet, ses partenaires et sa temporalité	7
Les objectifs	7
Axe 1 : Test de produits alternatifs ou réduisant l'emploi de cuivre	8
La sélection des produits	8
Essais en « micro parcelle »	10
Essais en laboratoire 2022	14
Essais en « grande parcelle »	15
Axe 2 : Catégorisation des sols contaminés au cuivre et recherche de solutions d'assainissement	22
Les sols à pH acides sont les plus vulnérables	23
Axe 3 : Des stratégies pour optimiser la pulvérisation	24
Outil d'Aide à la Décision pour limiter l'emploi d'eau dans les traitements	24
Micro-encapsulation du cuivre : une piste innovante de formulation	25

Axe 4 : Test d'un protocole en grande parcelle cumulant les pistes d'intérêt des autres axes	28
Les résultats pertinents des autres axes	28
Protocole 2022	29
Résultats sur les teneurs de cuivre en présence	30
Résultats sur la protection	31
Axe 5 : Impact économique des solutions de réduction du cuivre	34
Les produits permettant de réduire l'utilisation du Cu, combien ça coûte ?	34
Axe 6 : Développement d'un réseau d'expertise européen sur la réduction du cuivre en viticulture	38
Les objectifs du réseau	38
Les participants au réseau	38
Les activités du réseau	39
Et après Coppereplace ?	39
Conclusion	40
Pour aller plus loin	42

REJOIGNEZ NOTRE POOL DE VIGNERONS EXPERIMENTATEURS !

« Comment fonctionne le pôle Recherche et expérimentations de Vignerons Bio Nouvelle-Aquitaine ? »

Depuis 2011, le syndicat participe à des programmes de recherche sur le vin bio en proposant aux vignerons adhérents d'être les acteurs d'expérimentations. Les collaborations établies avec nos partenaires permettent de répondre à la problématique selon 3 échelles :

- une recherche fondamentale par l'ISVV ;
- une recherche appliquée en parcelles et en chais expérimentaux par l'IFV, Vinopôle Bordeaux Aquitaine ;
- une recherche appliquée en conditions terrain par Vignerons Bio Nouvelle-Aquitaine.

Les sujets des projets de recherche sont déterminés en Commission technique de Vignerons Bio Nouvelle-Aquitaine.

« Qu'est-ce que cela peut apporter à mon exploitation d'intégrer le pool ? »

Travailler sur des problématiques techniques que vous rencontrez et ce, gratuitement !

Exemple : vous souhaitez réaliser des fermentations malolactiques indigènes spontanées, mais certains lots ne démarrent jamais seuls.

Solution : la mise en place d'un protocole résolvant le blocage et l'identification des souches de bactéries récalcitrantes à la fermentation malolactique.

Placer votre exploitation dans une dynamique de constante amélioration de qualité des vins bio

Exemple : Vous êtes intéressé par les vins sans sulfites, mais vous hésitez à vous lancer seul.

Solution : Possibilité de tester différents protocoles de vinification et de faire déguster le vin à des professionnels pour orienter votre choix d'itinéraire produit.

Être au courant des dernières innovations et résultats de recherche

Exemple : Vous aimeriez en savoir plus sur certains intrants comme le chitosane, et le tester chez vous.

Solution : Possibilité de suivre différentes modalités en exploitation et en micro-vinification à l'IFV, de participer aux dégustations et de choisir des solutions adaptées à vos enjeux.

« Qu'est-ce qu'on attend de moi ? Cela va-t-il me prendre du temps ? »

Toute expérimentation, la plus simple soit-elle, demande surtout de la **rigueur, du début à la fin du test** (ne pas s'arrêter en route ni changer le protocole) : sinon, pas de résultats exploitables !

Vignerons Bio Nouvelle-Aquitaine sera à vos côtés avant, pendant et après l'expérimentation.

La totalité du processus sera décrit et discuté au préalable : nous **limitons au maximum les imprévus** (bien qu'en recherche, le 0 imprévu n'existe pas !). **C'est donc bien vous qui serez amené à réaliser les essais dans votre chai, en suivant ce protocole défini ensemble.**

La **totalité du matériel vous sera fourni** en amont des vendanges, vous permettant d'être prêt.

La **communication est la clé de la réussite** et permettra de gagner du temps !

Nos experts seront sur le terrain durant toute la période des tests, **à votre disposition** pour répondre à vos questions et **prélever les échantillons et les résultats d'analyse**. Ils s'adapteront à vos contraintes, mais **pensez à rester joignable !**



VIGNERONS BIO
NOUVELLE-AQUITAINE

Si cela vous intéresse, contactez-nous :

Stéphane BECQUET
conseil@vigneronsbionouvelleaquitaine.fr
06 32 68 88 80

Anne HUBERT
economie@vigneronsbionouvelleaquitaine.fr
07 88 09 00 53

LES PROJETS DE RECHERCHE auxquels participe Vignerons Bio Nouvelle-Aquitaine :

LES DOMAINES DE RECHERCHE :

Résidus pesticide

Microbiologie

Modes de production

Vinification sans SO2

Nouveaux intrants

Réduction du cuivre en viticulture Bio

2011	Securbio 2011/2013 Gestion de la contamination pesticide					
2012						
2013	De La Vigne au Verre 2013/2015 Comparaison d'itinéraire de vinification en fonction du mode de conduite : conventionnel/AB	Brettanomyces et tolérance au SO2 Caractérisation des propriétés de Brettanomyces et tolérance au SO2		CASDAR Levain Bio 2012/2015 Levures et bactéries indigènes : analyse de la diversité, test de fermentations et sélection	Wildwine 2012/2015 Caractérisation et sélection de levures et bactéries pour réalisation de levain mixte avec notamment des levures non Saccharomyces	
2014						
2015						
2016				Bioprotection 2016/2017 Evaluation d'outils microbiologiques pour une vinification sans SO2 ajouté		
2017						
2018			Respect & Vins de Bordeaux sans SO2 2017/2020 Vins sans SO2 : Caractérisation et mise en place d'outils microbiologiques et physiques pour réaliser des vins sans SO2, de la vinification à la mise en bouteille			
2019	Résidus de pesticides 2018/2020 Garantir la qualité des vins bio en maîtrisant les risques de contaminations fortuites par produits phytosanitaires de la vinification en Nouvelle-Aquitaine.			Pied de cuve indigène pour FML 2018/2020 Détermination de protocoles efficaces de pied de cuve pour FML indigène	Collage sans allergène et clarification en vinification Bio 2018/2020 Evaluation des nouveaux produits de collage et clarification dans le contexte de production de Nouvelle-Aquitaine	
2020						
2021	Vins sans SO2 2021/2023 La suite : Gestion des levures, bactéries, gaz dissous, composés phénoliques, composés aromatiques sur vins rouges en élevage et liquoreux sans sulfites ajoutés	PDC indigène pour FML 2021 Essais à grande échelle du protocole PDC lies dans plusieurs régions viticoles	Résidus de pesticides 2021/2023 La suite : Zoom sur le phthalimide et acide phosphonique, quels mécanismes de production et contamination			
2022						
2023				Coppereplace 2020/2023 Projet européen pour réduire et mieux utiliser le cuivre en viticulture Bio	RESAQ 2021/2022 Essais participatifs en Nouvelle-Aquitaine sur la réduction du cuivre et l'évaluation de nouveaux intrants phytosanitaires	Chitosane 2021/2023 La suite : Comprendre les mécanismes et efficacité du chitosane sur la gestion des Brettanomyces et bactéries lactiques dans une vinification sans SO2
						Novana 2021/2023 Vinification de variétés résistantes : outil de maîtrise et d'évaluation

Cuivre et viticulture : « je t'aime, moi non plus »

L'intérêt du cuivre en viticulture biologique

D'après le rapport INRAE « Peut-on se passer du cuivre en protection des cultures biologiques ? »¹, le cuivre est le seul outil suffisamment efficace contre le mildiou (*Plasmopara viticola*) dans les itinéraires techniques biologiques. Actuellement, son utilisation est indispensable pour assurer un rendement satisfaisant, notamment dans les vignobles bio situés en climat océanique, où la pression mildiou est extrêmement importante.

Le cuivre a également son rôle à jouer en viticulture conventionnelle, du fait de la suppression de plusieurs matières actives de synthèse ces dernières années. Il a aussi son importance en tant que produit de contact pour être associé à des produits systémiques à des fins d'activation.

Pourquoi le cuivre pose-t-il problème ?

Pour autant, le recours au cuivre soulève de nombreux débats². C'est un métal lourd qui ne se dégrade pas dans le sol : son emploi n'est pas sans conséquences pour l'environnement. Bien que les doses employées aient considérablement baissé (divisées par 10 depuis les années 60 !), le cuivre s'est accumulé et continue de s'accumuler dans les premières couches du sol (sur environ 10 cm). Certaines de nos terres viticoles présentent ainsi une forte concentration de cuivre, bien supérieure à la teneur naturelle des sols. La présence de ce métal en trop grande quantité dans les sols peut entraîner des problèmes de phytotoxicité.

Attention, il s'agit bien du cuivre bio-disponible dont la présence dans le sol est toxique pour les plantes. Le cuivre qui est quant à lui fixé sur la matière organique n'est pas disponible et ne présente pas de danger pour les racines. Pour cette raison, le lien est fait en agriculture biologique entre l'utilisation du cuivre et la nécessité d'une bonne gestion des sols et du niveau de matière organique. Cela étant, les sols acides, par exemple, rendent le cuivre plus soluble et donc plus toxique pour les racines.

Il existe également un risque de toxicité pour les milieux aquatiques, mais le transfert du cuivre du sol vers les milieux humides est extrêmement limité. 99% du cuivre se fixe sur la matière organique du premier horizon, puis sur les oxydes de fer et de manganèse. Cet élément est par conséquent très peu soumis au phénomène de lessivage.

Le contexte politique du cuivre

Face à ce constat, le cuivre est fortement remis en cause dans différentes instances nationales et européennes avec la volonté de pousser à sa réduction, voire son interdiction. Depuis 2015, le cuivre est ainsi inscrit sur la liste des molécules candidates à la substitution au niveau européen, essentiellement à cause de sa non-dégradabilité et de son effet cumulatif dans le sol. Il devra subir une étude de réapprobation tous les 7 ans, contre 15 ans auparavant, dont la prochaine se tiendra en 2025.

Les restrictions croissantes des doses de cuivre autorisées (passage de 6 à 4 kg/ha/an, lissées sur 7 ans lors de la dernière réapprobation de 2018), ainsi que la menace d'une interdiction totale à l'échelle européenne posent des difficultés aux producteurs. C'est d'autant plus le cas pour les vigneron·ne·s bio qui ne peuvent pas recourir à des pesticides de synthèse.

Par conséquent, la recherche est extrêmement sollicitée pour faire émerger des alternatives solides. C'est dans ce contexte qu'a été mis en place le projet Coppereplace.

¹ INRAE, Synthèse du rapport d'expertise scientifique collective « Peut-on se passer du cuivre en protection des cultures biologiques ? », Janvier 2018
<https://www.inrae.fr/sites/default/files/pdf/expertise-cuivre-en-ab-synthese-francais-1.pdf>

² Vinopôle Bordeaux Aquitaine « Mémo Cuivre en Viticulture », Mai 2022

Le projet Coppereplace

Le projet, ses partenaires et sa temporalité

Coppereplace est un projet européen, financé par le programme Interreg Sudoe qui promeut la coopération transnationale pour traiter des problématiques communes aux régions du sud-ouest de l'Europe en France, en Espagne et au Portugal. Conduit de novembre 2020 à février 2023, le projet rassemble parmi ces 3 pays 13 partenaires, publics et privés, issus du secteur vitivinicole.

ENTITÉ	PAYS	TYPLOGIE
PTV - Plataforma Tecnológica del Vino (Leader du projet)	ESPAGNE	Association axée sur la R&D et l'innovation en vitiviniculture pour mettre en lien entreprises et recherche
ADVID - Associação para o Desenvolvimento da Viticultura Duriense	PORTUGAL	Association pour le développement de la viticulture dans la région du Douro
IFV - Institut Français de la Vigne et du Vin	FRANCE	Centre technique de recherche appliquée
Sogrape Vinhos, SA	PORTUGAL	Domaines viticoles
CVAN, Centro de Valorización Ambiental del Norte	ESPAGNE	Entreprise spécialisée dans la décontamination des sols
UPC - UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA	ESPAGNE	Centre de recherche
Vignerons Bio Nouvelle-Aquitaine	FRANCE	Syndicat régional de viticulteurs bio
EURECAT	ESPAGNE	Centre technique de recherche appliquée
Familia TORRES	ESPAGNE	Domaine viticole
JEAN LEON	ESPAGNE	Domaine viticole
UNIVERSIDADE DE VIGO - Área de Edafología e Química Agrícola Departamento de Biología Vegetal e Ciencia do Solo	ESPAGNE	Centre de recherche
GREENUPORTO - Departamento de Biología FACULDADE DE CIÊNCIAS DA UNIVERSIDADE DO PORTO	PORTUGAL	Centre de recherche
Château l'Hospitalet	FRANCE	Domaine viticole

Tableau 1 : Liste des partenaires de Coppereplace

L'avantage de la répartition des partenaires sur ces 3 pays est de favoriser l'échange de connaissances à l'international, mais aussi de réaliser des expérimentations identiques dans des contextes de pression mildiou différentes afin de consolider les résultats.

Les objectifs

Coppereplace est chargé de valider une série de solutions intégrées, innovantes et viables pour réduire l'utilisation du cuivre dans la viticulture ainsi que son impact environnemental.

Le projet est articulé autour des axes de travail suivants :

- **Axe 1 : Test de produits alternatifs ou réduisant l'emploi de cuivre ;**
- **Axe 2 : Catégorisation des sols contaminés au cuivre et recherche de solutions d'assainissement ;**
- **Axe 3 : Développement de nouvelles stratégies pour optimiser la pulvérisation ;**
- **Axe 4 : Test d'un protocole en grande parcelle cumulant les pistes d'intérêt des autres axes ;**
- **Axe 5 : Impact économique, social et environnemental des solutions de réduction du cuivre ;**
- **Axe 6 : Développement d'un réseau d'expertise européen sur la réduction du cuivre en viticulture.**

Une sélection de travaux et de résultats du projet sont présentés au sein de cette plaquette. Pour plus d'informations, n'hésitez pas à vous rapprocher du pôle technique de Vignerons Bio Nouvelle-Aquitaine.



Axe 1 : Test de produits alternatifs ou réduisant l'emploi de cuivre

L'objectif est de mettre en œuvre des tests de produits naturels alternatifs, émergents et efficaces minimisant l'utilisation du cuivre au vignoble et réduisant l'impact environnemental et écologique. Des produits alternatifs ont été testés selon des protocoles adaptés afin d'établir des recommandations de meilleures pratiques en fonction des caractéristiques spécifiques des vignobles. Les résultats expérimentaux obtenus ont été discutés et analysés par l'IFV (leader de cet axe) et les autres partenaires, dont des représentants de viticulteurs, afin de construire un itinéraire testé sur le terrain permettant de réduire l'utilisation de cuivre à efficacité constante.

Les essais ont été menés sur deux ans, au sein des trois pays partenaires et sur deux échelles :

- **Échelle « micro parcelle »** : l'objectif est de pouvoir tester un grand nombre de produits, avec des répétitions. Cette échelle a été mise en place par l'IFV de Nîmes et Bordeaux ainsi qu'au Portugal par Sogrape. Les produits ont été testés sur des placettes de 10 pieds de vigne, répétés 4 à 5 fois.
- **Échelle « grande parcelle »** : l'objectif est de pouvoir tester une partie des produits également évalués en « micro parcelle » dans des conditions « grandeur nature ». Cette échelle a été mise en place par :
 - Vignerons Bio Nouvelle-Aquitaine au sein de deux exploitations bio bordelaises ;
 - le Château l'Hospitalet à Narbonne ;
 - Sogrape au Portugal.

Ces deux partenaires n'ont pas subi de pression mildiou sur les deux années d'essai, circonstances qui ne nous permettent pas d'émettre de conclusions sur une différence d'efficacité des différents produits testés. Nous ne présenterons pas les résultats au sein de cette plaquette.

Le domaine Familia Torres en Espagne a également réalisé des tests à une échelle intermédiaire, mais n'a pas observé de mildiou sur les deux années d'essai : nous ne présenterons donc pas leurs résultats.

Pour compléter les résultats, une troisième échelle d'essais, réalisée en laboratoire, a été ajoutée en 2022. Ces données figurent au sein de cette plaquette.

La sélection des produits

Une sélection de produits alternatifs ou permettant de réduire l'emploi de cuivre a été réalisée. Les produits sélectionnés permettent d'évaluer d'une part les produits disponibles sur le marché, mais non définis comme produits phytopharmaceutiques, et d'autre part les futurs produits qui pourraient être sur le marché à plus ou moins court terme.

Cette sélection a été réalisée selon l'applicabilité et la maturité d'innovation desdits produits.

Chaque produit a ainsi été noté selon les critères suivants :

- le Technology Readiness Level (TRL) : il mesure la maturité d'une technologie donnée, en utilisant 9 niveaux d'appréciation allant de la recherche fondamentale jusqu'à la certification de marché et l'autorisation de vente ;
- le niveau de préparation de la propriété intellectuelle (IPRL) : il mesure la « liberté d'exploitation » d'un produit ou d'un service donné ;
- le niveau de préparation à la fabrication (MRL), une mesure permettant d'évaluer la maturité du produit vis-à-vis des possibilités de sa fabrication, dans un objectif de développement ;
- le niveau de préparation du consommateur (CRL), qui identifie le niveau de connaissance du consommateur et dans quelle mesure il affecte le produit ou le service ;
- le niveau de préparation de la société (SRL) : qui mesure le niveau d'adaptation sociétale d'un projet social particulier, d'une technologie, d'un produit, d'un processus, d'une intervention ou d'une innovation à intégrer dans la société.

N° DE PRODUIT TESTÉ	NOM DU PRODUIT	SOCIÉTÉ	SUBSTANCE ACTIVE	CATÉGORIE	DOSE RECOM-MANDÉE	TESTÉ EN MICRO PARCELLE	TESTÉ EN GRANDE PARCELLE
1	GLUCOSEI	SEIPASA (Espagne)	Copper heptagluconate 8%p/p	Substance de base	3L/ha	IFV (Bordeaux, Nîmes) Sogrape	VBNA Château l'Hospitalet Sogrape
2	SALIX	BIOVITIS (France)	Salix cortex 74g/l	Substance de base	5 L/ha	IFV (Bordeaux, Nîmes) Sogrape	VBNA Château l'Hospitalet Sogrape
3	EQUISET	ASCENZA	Equisetum 2g/l	Substance de base	2 L/ha	IFV (Bordeaux, Nîmes) Sogrape	VBNA Château l'Hospitalet Sogrape
4	ALFOSITOL	FUTURECO (Espagne)	copper 2,6%p/p, P205 23%p/p, K20 20%p/p	Fertilisant	1,5 to 2,25 L/ha	Sogrape	-
5	FOSFIMAX	FUTURECO (Espagne)	P205 20%p/p, Zn 5%p/p	Fertilisant	150 cc/hl	Sogrape	-
6	Non diffusable		extrait concentré de plantes symbiotiques	-	14 L/ha	IFV (Bordeaux, Nîmes) Sogrape	-
7	Non diffusable		Micro algue 5g/L	-	500 g/ha	IFV (Bordeaux, Nîmes) Sogrape	-
8	Non diffusable		Macérat de plante	-	4000 g/ha	IFV (Bordeaux, Nîmes) Sogrape	-
9	Non diffusable		Extrait végétal	-	0,2 L/ha	IFV (Bordeaux, Nîmes)	-
10	LIMOCIDE	VIVAGRO	Huile essentielle d'orange	Produit phytosanitaire	0,8% (1,6L/ha max)	IFV Bordeaux	-

Tableau 2 : Sélection des produits testés

Le premier produit, **GLUCOSEI**, de la société SEIPASA, est un produit formulé déjà commercialisé, promu correcteur de carences. Sa composition (heptagluconate de cuivre) lui permet de revendiquer un effet phytosanitaire avec une faible part de cuivre.

Les deux produits suivants, **SALIX** et **EQUISET**, sont classés comme des substances de base et ont été sélectionnés en raison de leur niveau de maturité. Ces produits sont formulés et se trouvent déjà sur le marché. Ils revendiquent tous deux la protection phytosanitaire, mais leur récente commercialisation fait qu'ils n'ont pas encore été évalués dans un réseau expérimental.

Les deux produits suivants, **ALFOSITOL** et **FOSFIMAX**, sont classés comme engrais. Ils ont été sélectionnés en raison de leur disponibilité sur le marché et de leurs revendications sur une protection phytosanitaire. Ils sont commercialisés comme activateur de défense des plantes contre les champignons et les bactéries. Enfin, ils n'ont pas encore été évalués de cette façon dans un réseau expérimental.

Les quatre produits suivants sont des innovations françaises et ont été identifiés lors de la phase de construction du projet. Le groupe a sélectionné ces produits afin d'évaluer ces nouvelles alternatives qui ne sont pas encore sur le marché. Nous sommes donc dans l'obligation à ce stade de ne pas citer leurs noms.

Le produit n°6 est encore à un niveau de recherche et d'expérimentation et sa formulation n'est pas encore définie. Il s'agit d'un extrait concentré de plantes symbiotiques. Il a une action sur le microbiote foliaire et devrait aider à une meilleure fixation du cuivre.

Le produit n°7 est fabriqué avec de la micro algue et a une action directe sur les spores fongiques. Il active les défenses de la plante.

Le produit n°8 est un macérat de plante et présente l'intérêt d'être un produit intégré. Cet extrait est fabriqué avec la plante utilisée sur le terrain pour extraire le cuivre et contient une faible dose de cuivre. L'objectif est de proposer un concept global de l'extraction du cuivre à la protection des végétaux.

Le produit n°9 est un extrait végétal qui affaiblit le champignon lui conférant une plus grande sensibilité au cuivre qui pourrait être associé (faibles doses).

Le produit 10 est le limocide, constitué d'huile essentielle d'orange. Riche en terpènes, l'huile essentielle d'orange douce a une double action : un effet direct fongicide et anti-germinatif sur le mildiou. Ce produit a obtenu des résultats prometteurs en association à de petites doses de cuivre³. Les essais doivent

³ Projet « Alt'fongi Biocontrôle » (2018-2020)

cependant se poursuivre pour mettre au point des stratégies adéquates pour une baisse significative du recours au cuivre tout en maximisant la protection des vignes. L'huile essentielle d'orange douce est soumise à la réglementation européenne pour une utilisation phytosanitaire. Ainsi, elle est autorisée en tant que substance active au niveau européen.

Essais en « micro parcelle »

Protocole 2021

Les trois sites ont chacun testé 7 produits parmi les 9 sélectionnés, sur le cépage :

- Tempranillo, pour Sogrape ;
- Merlot, pour l'IFV de Bordeaux ;
- Caladoc, pour l'IFV de Nîmes.

Les différentes modalités dressent la comparaison des effets d'une dose réduite de cuivre associée à chacun des produits par rapport à l'utilisation du cuivre seul (dose pleine ou réduite) :

- modalité 1 : témoin non traité
- modalité 2 : dose normale de cuivre (calculée en fonction de la pression mildiou dans la zone géographique et en fonction de la surface foliaire)
- modalité 3 : 1/3 dose de modalité 2
- modalité 4 : 1/3 dose de modalité 2 + produit X
- modalité 5 : 1/3 dose de modalité 2 + produit Y

Et ainsi de suite pour chaque produit testé. Les modalités sont mises en place selon le plan expérimental ci-après.

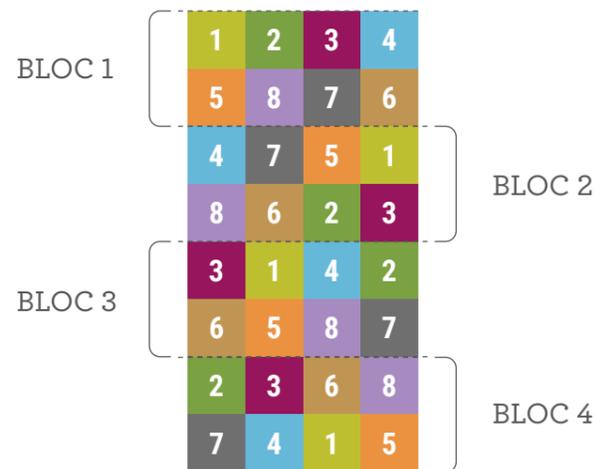


Figure 2 : Plan d'expérimentation « Micro parcelle », exemple de l'IFV Bordeaux

Chaque chiffre correspond à une modalité, testée sur 10 pieds de vigne, répétée à minima 4 fois, dans des ordres aléatoires.

Afin d'avoir des protocoles communs à tous les sites, des règles de décisions communes ont été mises en place pour la réalisation des traitements :

- l'expérimentation commence en début de saison ;
- pour le renouvellement, les règles suivantes sont appliquées :
 - renouvellement du cuivre au bout de 8-10 jours
 - renouvellement à 6 jours pendant la période de forte croissance
 - renouvellement si plus de 15 mm sur 3 jours
 - renouvellement si plus de 20 mm
- toutes les modalités doivent être renouvelées en même temps.

Les critères d'évaluation de chaque modalité sont l'intensité⁴ et la fréquence⁵ de mildiou observées sur 100 feuilles et 100 grappes à mi-floraison, au début de la fermeture de la grappe et au début de la véraison.

⁴ L'intensité est le % moyen de dégâts causés par le mildiou

⁵ La fréquence est le % moyen d'organes touchés par le mildiou (feuilles ou grappes).

Résultats 2021

Nîmes :

La pression mildiou a été relativement faible malgré trois contaminations artificielles. Bien qu'il n'y ait pas de différences significatives avérées, quelques produits semblent avoir un intérêt, comme le produit n°6 et le glucosei (qui est une formulation différente du cuivre). D'autres produits semblent présenter des synergies négatives, comme le produit n°7 ainsi que le saule et la prêle, peut-être en raison d'une incompatibilité de mélange avec le cuivre.

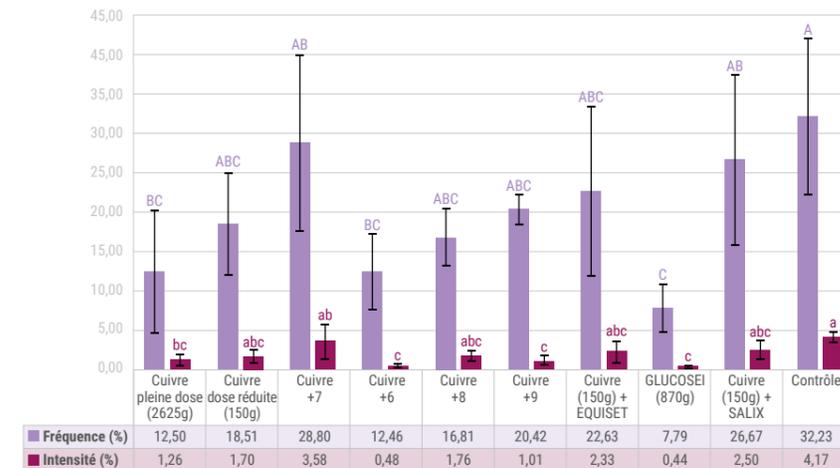


Figure 3 : Fréquence et intensité de mildiou sur grappes - Micro parcelle - IFV Nîmes - 03/08/2021

Bordeaux :

La zone a subi une très forte pression mildiou sur la campagne 2021 : le cuivre a été lessivé le 15 juin sans retraitement et de nombreuses contaminations ont été observées. Aucune différence statistique entre les modalités n'apparaît, si ce n'est la dose pleine de cuivre qui présente une efficacité supérieure. Elle a permis de limiter les dégâts subis par le vignoble, même s'ils demeurent importants, avec 25% des grappes touchées. Cette très forte pression a été favorisée par un gel de printemps historique ayant engendré des hétérogénéités et des retards de croissance, mais aussi par une pluviométrie importante pendant la campagne phytosanitaire.

Bien que cela ne soit pas prouvé statistiquement, des tendances positives sont observées avec le produit 6 (comme à Nîmes), le produit 8, et, dans une moindre mesure, le Glucosei.

À l'instar de Nîmes, le produit n°7 n'obtient pas de bons résultats, et il en va de même pour le n°9.

L'huile essentielle d'orange douce n'a quant à elle pas fonctionné, contrairement à ce qui a pu être observé dans d'autres études. Cela peut s'expliquer par le contexte très pluvieux qui n'a pas permis à l'effet dessiccant du produit de se mettre en place, ce à quoi l'on peut ajouter l'explosion de la maladie.

Enfin, les engrais foliaires à base de cuivre autre que le glucosei (qui est une reformulation de la molécule cuivre) n'ont pas obtenu de bons résultats non plus.

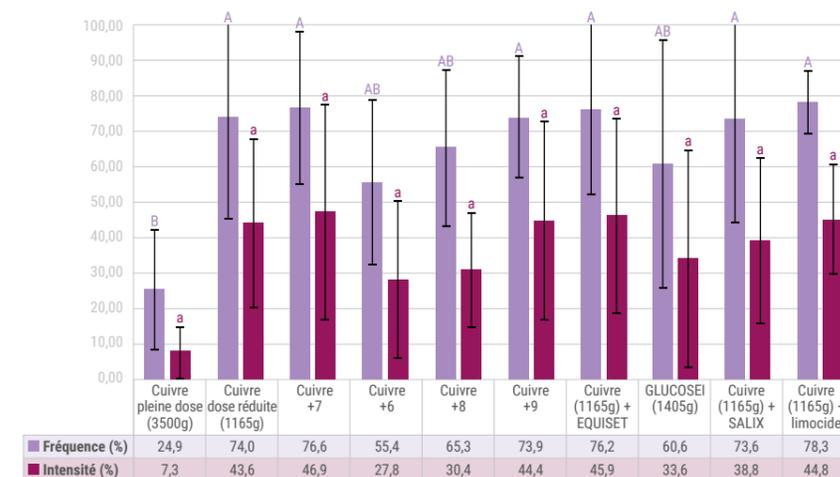


Figure 4 : Fréquence et intensité de mildiou sur grappes - Micro parcelle - IFV Bordeaux - 03/08/2021

Viseu (Portugal) :

Une très faible pression mildiou n'a pas permis de révéler des différences de protection statistiquement significatives entre les substances testées. Certaines tendances ont cependant été observées :

- un effet synergique possible de certaines substances : le produit 9, l'Equiset, le Salix et le Glucosei ;
- la dose réduite de cuivre à 1/3 a permis une protection similaire à celle qu'offre la dose pleine de cuivre.

Cet essai illustre la disparité entre les régions à faible/moyenne pression mildiou par rapport à celles connaissant une forte pression. Dans le premier cas, comme à Viseu ou Nîmes, une bonne gestion des traitements et des solutions alternatives peut avoir un réel intérêt. Dans le second cas, comme à Bordeaux, une protection avec des doses de cuivre plus importantes reste nécessaire.

Protocole 2022

Le dispositif d'essai n'a pas été modifié pour les deux sites IFV. En revanche, Sogrape n'a pas reconduit les essais en 2022, car impliqué au sein de l'axe 4.

Les modalités ont quant à elles été adaptées au regard des résultats obtenus en 2021 :

- le saule et la prêle ont été rassemblés en une seule modalité, appliquée en alternance, pour s'aligner sur les préconisations des fournisseurs ;
- les engrais foliaires, en dehors du glucosei, ont été retirés de l'essai, car ils présentent peu d'efficacité et d'intérêt ;
- un nouveau produit a été testé : le BELVINE, un stimulateur de défenses des plantes à base de 325,6 g/L de ABE-IT 56 (composants de lysat de *Saccharomyces cerevisiae*). Il est en cours d'homologation en France et en Espagne et a présenté une bonne efficacité dans d'autres essais ;
- une nouvelle formulation du produit n° 9 a également été testée à la place de l'ancienne ;
- le limocide n'a pas été reconduit, sauf dans les essais de l'axe 4 ;
- le cuivre et les produits testés doivent être appliqués séparément (deux mélanges) pour éviter un effet négatif potentiel du cuivre sur le produit.

Les règles de décisions ont été améliorées :

Commencer à apporter le produit testé au stade 3/4 feuilles étalées. Commencer à ajouter le cuivre lorsque la saison épidémique est annoncée ou au moins avant la floraison.

La dose pleine de cuivre de la modalité 1 est décidée en fonction du stade phénologique et de la surface foliaire.

Pour les modalités dose cuivre réduite seule et dose cuivre réduite + produits testés :

- **en cas de basse pression :**
modèle de risque 1 et aucune contamination annoncée = pas d'apport de cuivre
- **en cas de pression normale / basse pression, risque >2 :**
petite contamination annoncée = 1/3 dose pleine
aucune contamination annoncée = pas d'apport de cuivre
- **en cas de pression normale / moyenne, risque > 3 :**
petite contamination annoncée = 1/2 dose pleine
aucune contamination annoncée = 1/3 dose pleine
- **en cas de haute pression, risque > 4** avec 3 jours de pluie, une pluviométrie de plus de 20mm, une contamination annoncée à plus de 5% = 100 % de la dose pleine

Les prévisions de contamination ont été réalisées grâce à l'outil d'aide à la décision DECITRAIT. Développé par l'IFV, il intègre les principaux paramètres à prendre en compte pour optimiser la protection de la vigne contre les maladies et notamment contre le mildiou, dans le cas qui nous intéresse. L'outil intègre des données météo ainsi que des modèles de prévision des risques épidémiques et permet d'obtenir une proposition de date du prochain traitement, avec la dose adaptée. Décitrait donne également des informations sur la rémanence de la protection. Il permet ainsi de savoir si la vigne est toujours protégée à un instant précis en fonction du type de produit utilisé, des conditions météorologiques, de l'état sanitaire, etc. Accessible sur internet cet outil permet de réduire l'utilisation des fongicides (nombre de traitements et doses appliquées) tout en minimisant les risques de maladie.

Résultats 2022**Nîmes :**

La zone du sud-est n'a pas subi de pression en 2022. Cependant une contamination artificielle début mai a permis d'obtenir une pression forte. Le témoin non traité a été touché par le mildiou avec une fréquence de 100% et une intensité de 75%.

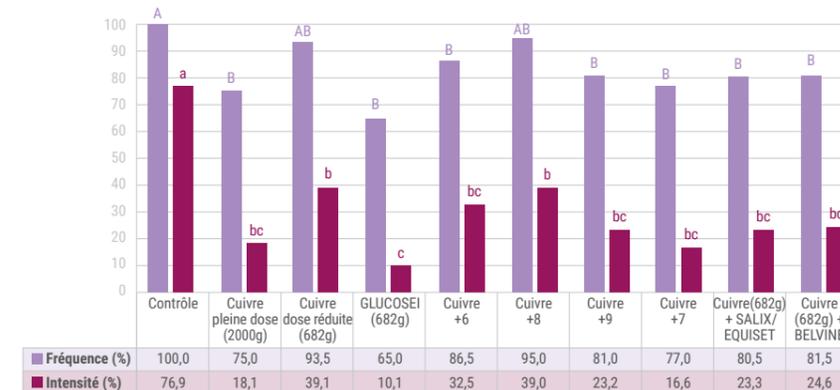


Figure 5 : Fréquence et intensité de mildiou sur grappes - Micro parcelle - IFV Nîmes - 23/06/2022

Le glucosei montre la meilleure efficacité et remet ainsi en avant l'importance de la formulation des produits. L'utilisation d'un OAD (Outil d'Aide à la Décision) tel que DECITRAIT pour mieux positionner les traitements et les doses semble montrer toute sa pertinence. Le produit n° 7 présente de meilleurs résultats par rapport à la campagne précédente, ce qui confirme l'hypothèse selon laquelle il a pu avoir une mauvaise synergie avec le cuivre en 2021. En 2022, il a en effet été appliqué séparément, dans une bouillie différente de celle du cuivre.

Bordeaux :

La parcelle d'essai a subi un épisode de grêle courant juin ne permettant pas d'obtenir de résultats sur ce site. Cela étant, la pression mildiou à Bordeaux en 2022 a été modérée, comme nous le montrent les essais sur les grandes parcelles.



Figure 6 : Grêle survenue le 18/06/2022 sur la parcelle d'essai IFV Bordeaux - Micro parcelle

Essais en laboratoire 2022

En complément, des essais en laboratoire ont été réalisés en 2022 sur ces deux sites. Le but est d'obtenir plus d'informations sur l'efficacité des produits seuls, sans dépendre des conditions météorologiques sur le terrain. Il est donc possible d'évaluer les produits « alternatifs » seuls, en inoculant le mildiou sur feuilles après un traitement. Des feuilles sont prélevées sur de jeunes plants cultivés en serre ou sur vigne non traitée au champ.

Le protocole, qui a été réalisé sur du Grenache à Nîmes et du Merlot à Bordeaux, suit les étapes suivantes :

- les feuilles sont coupées en disques foliaires avant d'être traitées ;
- on effectue quatre répétitions minimum par modalité ;
- chaque modalité est traitée ;
- après le traitement, les disques des feuilles sont déposés dans des boîtes de pétri sur un milieu de croissance ;
- l'inoculation du mildiou se fait directement sur boîtes de Pétri (2h après le traitement pour Nîmes et 24h après pour Bordeaux) ;
- les évaluations (fréquence et intensité) sont réalisées 7 jours après.

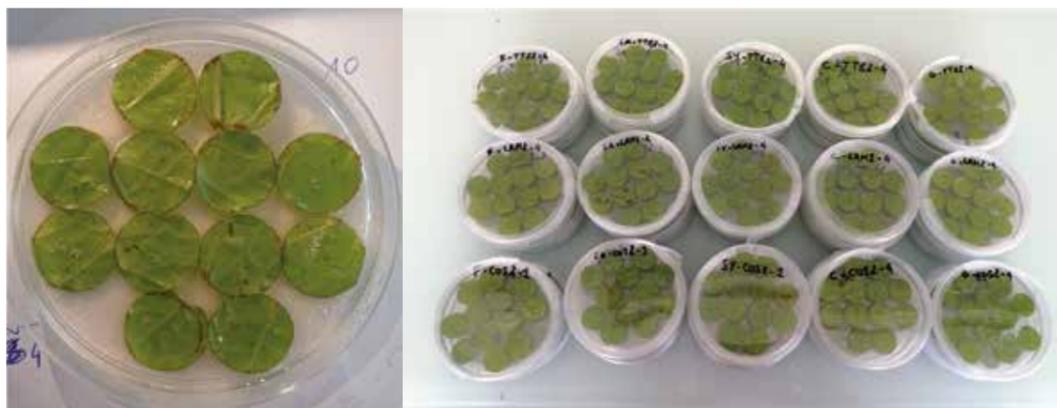


Figure 7 : Illustration des disques foliaires traités, IFV Nîmes 2022

Résultats IFV Nîmes

Sur les deux essais réalisés, trois produits semblent avoir une efficacité intéressante sur le mildiou : le glucosei, le produit n°7 et le n°9. Le glucosei est le seul à montrer, dans les deux tests, une efficacité supérieure à celle du cuivre.

Ce n'est pas le cas pour le produit n°8 qui dans les deux cas a montré une mauvaise protection, obtenant les mêmes résultats que le témoin non traité.

Pour tous les autres produits, les deux essais montrent des résultats différents, ce qui ne permet pas de mener à des conclusions probantes.

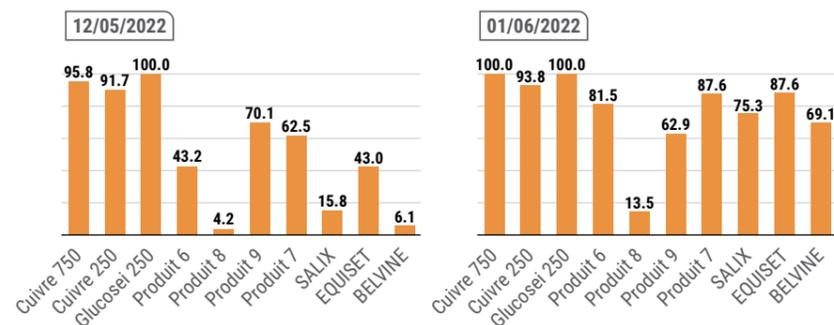


Figure 8 : Efficacité des produits testés par rapport au témoin non traité (basé sur la fréquence de mildiou observée) - Essais laboratoire IFV Nîmes - 12/05 et 01/06/2022

Résultats IFV Bordeaux

Les trois tests réalisés à Bordeaux ne mènent pas aux mêmes conclusions. Seule la modalité cuivre montre des résultats positifs. Cela peut s'expliquer par l'inoculation plus tardive du champignon après traitement, limitant l'efficacité.

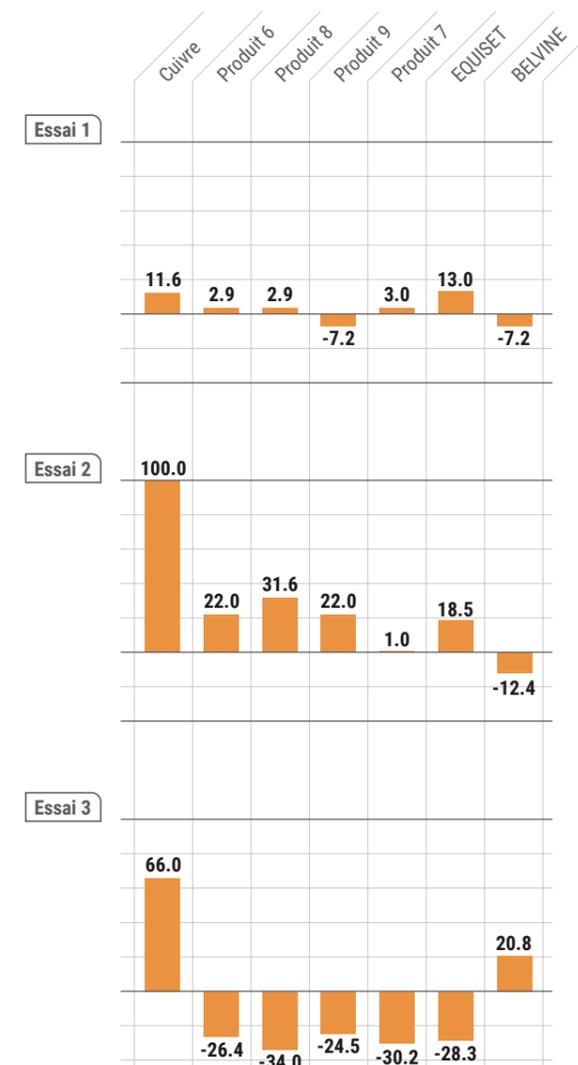


Figure 9 : Efficacité des produits testés par rapport au témoin non traité (basé sur la fréquence de mildiou observée) - 3 essais laboratoire IFV Bordeaux - 2022

Essais en « grande parcelle »

Protocole 2021

Parmi les neuf produits sélectionnés, les quatre sites en ont chacun testé deux sur une parcelle mesurant entre 0,5 et 1 hectare. Les tests ont concerné un cépage :

- Tempranillo pour Sogrape au Portugal.
- Merlot pour les deux domaines bordelais suivis par Vignerons Bio Nouvelle-Aquitaine.
- Marselan pour le Château l'Hospitalet à Narbonne.

Pourquoi n'avoir utilisé que deux produits sur neuf ? L'avantage des grandes parcelles est de pouvoir réaliser des tests en conditions réelles. Cela étant, il faut garder en tête que le protocole doit être réalisable en termes de temps, de mobilisation de personnel et de matériel pour des viticulteurs en pleine période de traitement qui ont le reste de leur exploitation à gérer. De plus, il est indispensable que les produits testés aient une AMM (Autorisation de Mise en Marché) et soient autorisés en agriculture bio, sans quoi la récolte issue de l'essai devrait être détruite. Nous n'avons donc pas pu tester les nouvelles solutions de l'axe 1, encore en cours de développement et sans homologation.

Ce constat soulève la question des moyens mis à la disposition de la recherche et des vigneron pour accélérer le développement de solutions alternatives.

Les modalités comparent les effets d'une dose réduite de cuivre associée à chaque produit et l'utilisation du cuivre seul (dose pleine ou réduite) :

- modalité 1 : dose de cuivre du viticulteur
- modalité 2 : ½ dose de la modalité 1
- modalité 3 : ½ dose de la modalité 1 + salix
- modalité 4 : ½ dose de la modalité 1 + equiset

Deux rangs de témoins non traités ont été ajoutés au protocole.

Le Château 1, suivi par Vignerons Bio Nouvelle-Aquitaine, n'a pas testé le produit equiset. Il a mis en place un module espagnol d'économie d'eau lors des traitements dans le cadre de l'axe 3 « optimisation de la pulvérisation ».

Les modalités sont mises en place selon le plan expérimental ci-après.

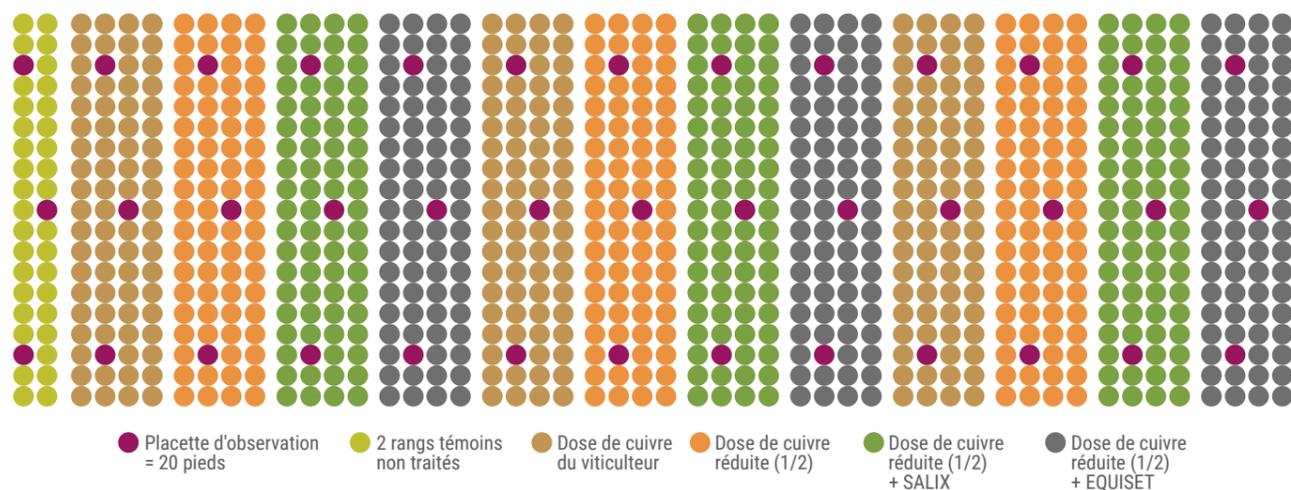


Figure 10 : Plan d'expérimentation «Grande parcelle»

Chaque modalité comprend au minimum quatre rangs et est répétée trois fois. Les règles de décision sont les mêmes que sur les essais en micro parcelles. L'évaluation de chaque modalité est faite sur des critères d'intensité et de fréquence de mildiou observées sur 100 feuilles et 100 grappes à mi-floraison, en début de fermeture de la grappe et en début de véraison. Ces observations se font sur trois placettes de 20 pieds chacune, réparties sur les deux rangs intérieurs de chaque modalité.

Comme évoqué précédemment, le site de Sogrape au Portugal et le Château l'Hospitalet à Narbonne ont connu une très faible pression mildiou sur les deux années de test, ne permettant pas de formuler de conclusion sur les produits testés. Les résultats figurant au sein de cette plaquette sont donc concentrés sur les deux domaines bordelais.

Résultats 2021

La région Nouvelle-Aquitaine a connu, lors de la campagne 2021, des épisodes de gel importants sur l'ensemble de son vignoble : avec un épisode marquant les 8 et 9 avril et des gelées matinales jusqu'en mai. Les dégâts ont varié en fonction des zones, mais ont pu aller jusqu'à 100% de la surface de certains vignobles. L'impact de cette période de froid a été important, et pas uniquement sur les parcelles ayant connu le plus de gel. Certaines parcelles ont pris des « coups de froid » qui n'ont pas forcément été

visibles au départ, mais qui ont entraîné des conséquences sur le développement végétatif ainsi qu'une grande hétérogénéité. Ils ont également pu engendrer des sensibilités importantes au mildiou (période de floraison plus longue) ainsi que du millerandage.

Le début de la campagne phytosanitaire s'est bien passé dans l'ensemble du vignoble, puis les pluies ont ensuite été très importantes. À partir de la mi-juin, de forts épisodes pluvieux se sont enchaînés sur plusieurs jours comme le montre le graphe ci-après. Suite à ces fortes pluies, la pression mildiou a été très importante, faisant parfois apparaître des symptômes directement sur grappes. Les deux domaines suivis étant situés sur des communes proches (Portets et Langoiran), ils ont subi les mêmes conditions météo : la parcelle du Château 1 a été épargnée par le gel, mais a subi le froid. La parcelle du Château 2 a subi de lourdes pertes à cause du gel.

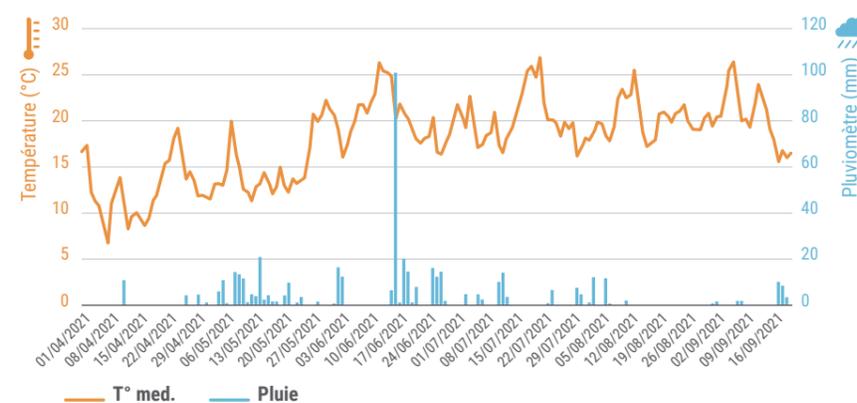


Figure 11 : Suivi météorologique sur la zone des deux domaines suivis - Grandes parcelles - avril à septembre 2021 - Langoiran (33)

Château 1 suivi par Vignerons Bio Nouvelle-Aquitaine

Le Château 1 a réalisé 19 traitements, avec un cumul de :

- 5,6 kg de cuivre métal/ha pour la modalité « dose du viticulteur » ;
- 2,7 kg de cuivre métal/ha pour la modalité « dose réduite ».

Ce dépassement des 4 kg/ha pour la modalité viticulteur montre la nécessité du recours au lissage du cuivre prévu par la réglementation européenne.

Les 3 observations (09/06, 02/07, 20/07) ont montré d'abord des traces sur feuilles, puis à partir de mi-juin (fortes précipitations) un développement du mildiou sur grappe.

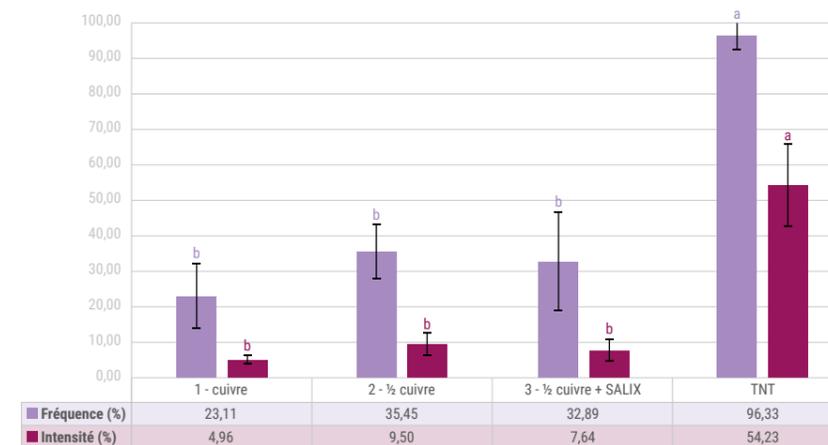


Figure 12 : Fréquence et intensité de mildiou sur grappes - Grande parcelle - Château 1 Bordeaux - 20/07/2021

La pression mildiou a été très forte en 2021 avec presque 100% des grappes touchées sur le témoin non traité. On n'observe pas de différence entre la modalité dose réduite et la modalité dose réduite avec salix. Il est intéressant de noter l'écart entre la modalité dose pleine et dose réduite, finalement pas si prononcé par rapport à ce que l'on aurait pu attendre avec une telle pression.

Château 2 suivi par Vignerons Bio Nouvelle-Aquitaine

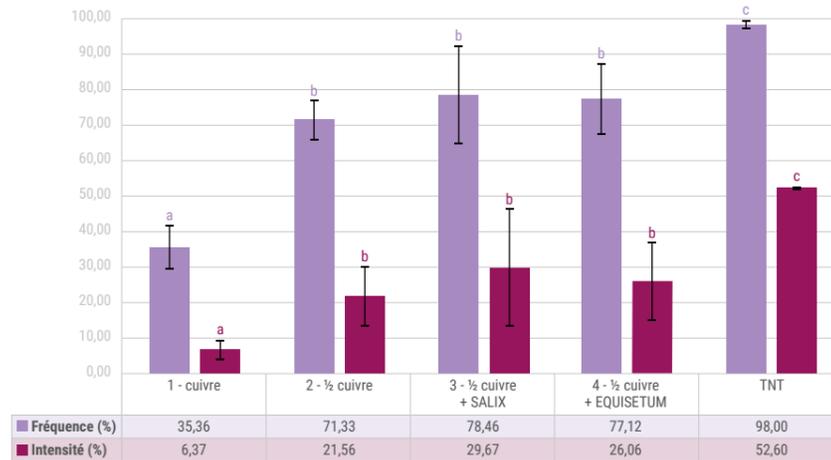
Le Château 2 a réalisé 13 traitements, avec un cumul de :

- 3,8 kg de cuivre métal/ha pour la modalité « dose du viticulteur » ;
- 1,5 kg de cuivre métal/ha pour la modalité « dose réduite ».

Un cumul de 3,8 kg pour la dose viticulteur correspond à une dose très correcte pour une année à très forte pression comme 2021 en Bordelais. Le cumul de 1,5 kg pour la dose réduite explique la différence plus importante entre les résultats de ces deux modalités par rapport au Château 1.

Les trois observations (09/06, 02/07, 20/07) ont montré d'abord des traces sur feuilles, puis à partir de mi-juin un développement du mildiou sur grappe en raison de fortes précipitations.

Figure 13 :
Fréquence et intensité de mildiou sur grappes - Grande parcelle - Château 2 Bordeaux - 20/07/2021



On observe que le témoin non traité est complètement détruit. Les tests statistiques montrent une réelle différence entre la modalité dose pleine (groupe statistique a), qui a apporté une meilleure protection, et la dose réduite ainsi que la dose réduite à laquelle on a ajouté les produits test (groupe statistique b). **Les produits alternatifs testés (salix et equisetum) ne présentent pas d'efficacité accrue par rapport à la dose réduite de cuivre seul. Une efficacité réduite a même pu être constatée.**



Protocole 2022

Lors de ce protocole, le dispositif parcellaire n'a pas été modifié. Comme pour les essais en micro parcelle :

- les modalités saule et prêle ont été fusionnées ;
- une nouvelle modalité a été ajoutée : l'ajout de glucosei seul, non associé à dose réduite de cuivre.

Le glucosei a été ajouté car :

- il a présenté des résultats encourageants lors des essais 2021 ;
- il s'agit d'un produit utilisable par les vignerons ;
- il apporte des résultats complémentaires aux essais de l'axe 4 pour lequel il est également utilisé.

Les règles de décision ont été adaptées :

- Commencer le produit alternatif à 3/4 feuilles (modalité 3) ;
- Commencer à ajouter du cuivre (modalités 1 à 4) lorsque la saison épidémique est prévue ou au moins avant la floraison.

- Modalité 1 : Dose définie par le stade phénologique et la surface foliaire (max 600g/ha).

- Modalités 2, 3, 4 :

Dose (g de cuivre) définie par : (% de la dose définie dans la modalité 1) :

- pas de pression : 0%
- basse pression : 33%
- moyenne pression : 50%
- haute pression : 75%

- très haute pression et contaminations annoncées : 100%

- modalité glucosei : le produit est toujours utilisé seul. Il est formulé à partir d'acide gluconique et de cuivre (8% de teneur en cuivre métal, soit 80 g/L). Sa dose est à définir en fonction de sa teneur en cuivre pour obtenir l'apport en cuivre identique à celui de la modalité 2 « dose réduite ».

Résultats 2022

La campagne phytosanitaire 2022 dans les vignobles bordelais a été plus facilement gérable qu'en 2021. La pluviométrie a été faible et plus étalée dans le temps, ce qui a permis un bon positionnement des traitements, comme le montre l'exemple du Château 1 ci-après (même suivi pour le Château 2).

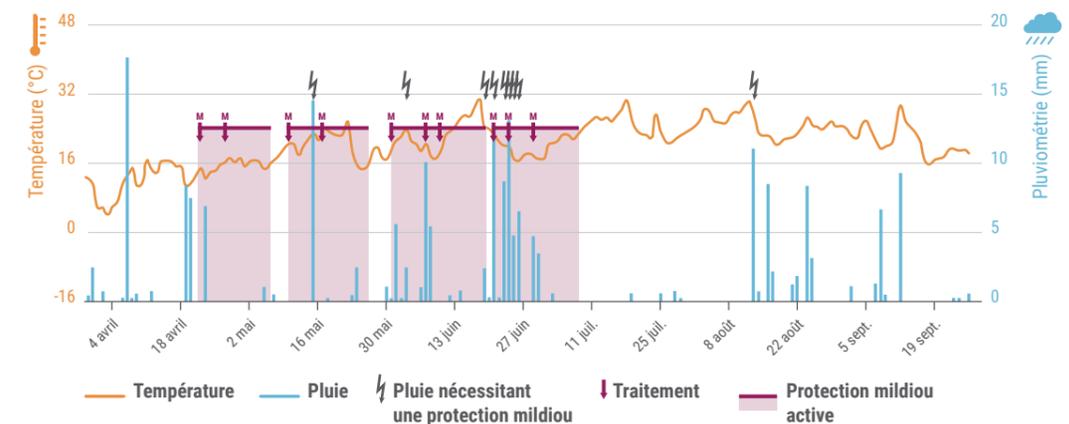


Figure 14 : Suivi météorologique Château 1 Bordeaux - Grandes parcelles - avril / septembre 2022

Château 1 suivi par Vignerons Bio Nouvelle-Aquitaine

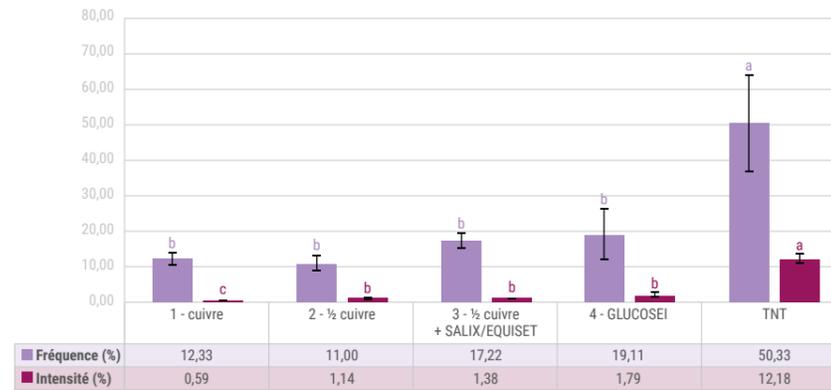
Le Château 1 a réalisé 10 traitements, avec un cumul de :

- 2,9 kg de cuivre métal/ha pour la modalité « dose du viticulteur » ;
- 1,5 kg de cuivre métal/ha pour la modalité « dose réduite ».

Ces cumuls sont faibles vis-à-vis du contexte bordelais et montrent que la pression a été moins importante en 2022.

Les trois observations (01/06, 28/06, 19/07) ont montré très peu de dégâts sur le début de campagne, que ce soit sur feuille ou sur grappes, puis une pression un peu plus soutenue montrant des dégâts sur grappes en fin de période.

Figure 15 : Fréquence et intensité de mildiou sur grappes - Grande parcelle - Château 1 Bordeaux - 19/07/2022



En fin de campagne, le témoin non traité montre 50% de fréquence sur grappe, avec une intensité supérieure à 10%. La protection cuivre à demi-dose montre une efficacité similaire à la dose pleine, ce qui témoigne de l'intérêt du bon positionnement des traitements.

Les produits testés « salix + equiset » ou glucosei ne présentent pas de gain d'efficacité par rapport à la dose de cuivre réduite seule, voire une tendance négative pour le glucosei (plus de dégâts, mais non significatif statistiquement).

Château 2 suivi par Vignerons Bio Nouvelle-Aquitaine

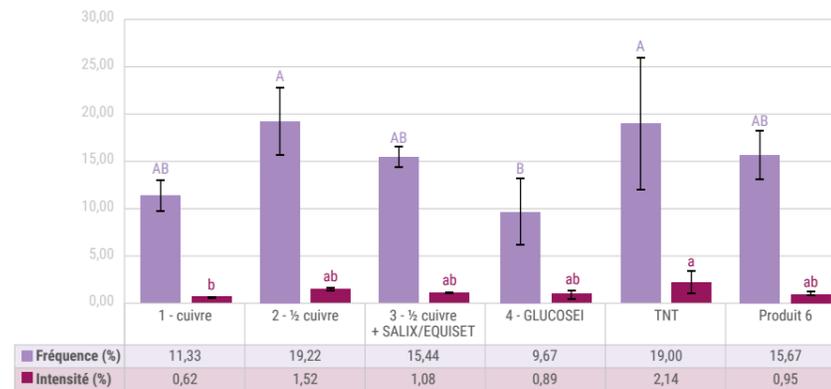
Le Château 2 a réalisé 7 traitements, avec un cumul de :

- 2,5 kg de cuivre métal/ha pour la modalité « dose du viticulteur » ;
- 1,2 kg de cuivre métal/ha pour la modalité « dose réduite ».

Ce domaine est certifié Bio depuis longtemps et présente une certaine expérience sur la gestion de la quantité de cuivre, ce qui explique sa dose pleine, déjà faible.

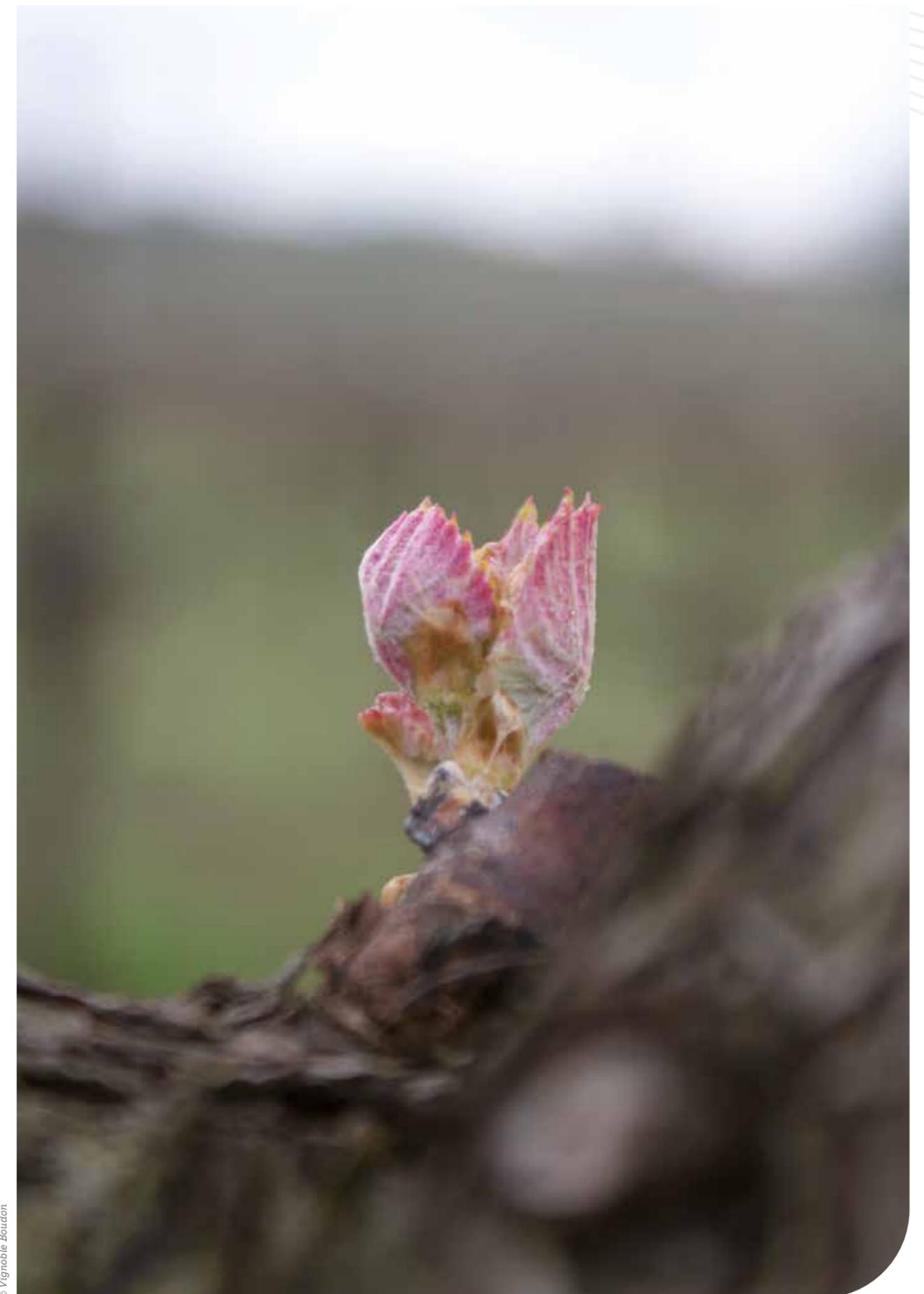
Les trois observations (01/06, 28/06, 19/07) ont montré très peu de dégâts sur le début de campagne, que ce soit sur feuille ou grappes, puis une pression un peu plus soutenue montrant des dégâts sur grappes en fin de période.

Figure 16 : Fréquence et intensité de mildiou sur grappes - Grande parcelle - Château 2 Bordeaux - 19/07/2022



Les dégâts liés au mildiou en 2022 restent faibles, même sur le témoin non traité (moins de 20% en fréquence). La modalité demi-dose semble « décrocher » légèrement. La modalité glucosei tend à donner une bonne efficacité, ce qui montre l'intérêt d'une meilleure formulation du cuivre. Les produits salix/equiset sont à nouveau peu performants.

Ce domaine avait testé une modalité de plus, avec le produit n°6, qui ne montre pas une efficacité « augmentée ». Elle présente les mêmes résultats que la modalité dose réduite + salix/equiset.



© Vignoble Boudon

Axe 2 : Catégorisation des sols contaminés au cuivre et recherche de solutions d'assainissement

L'impact potentiel du cuivre sur les organismes du sol et sur l'environnement peut être très différent selon les caractéristiques du sol. En d'autres termes, les accumulations tolérables de cuivre dans le sol dépendent de la composition, des propriétés physiques et chimiques et des processus biologiques en œuvre dans le sol. Cette réalité permet d'établir, pour chaque condition de sol, une charge critique de cuivre, garantissant le contrôle du cuivre de manière durable. Par conséquent, les restrictions d'utilisation du cuivre doivent être adaptées aux situations réelles sur le terrain et les stratégies de remédiation doivent se concentrer sur les sols les plus affectés afin d'éviter les pratiques de remédiation non nécessaires. En outre, dans les sols où le cuivre peut déjà avoir des effets négatifs sur les organismes du sol et sur l'environnement, il est nécessaire de mettre au point des pratiques de remédiation nouvelles et innovantes.

Afin d'apporter des solutions possibles à ces défis de la viticulture européenne, il convient :

- de maintenir les concentrations de cuivre dans les sols des vignobles en dessous des valeurs seuil de sécurité ;
- de prévoir les effets négatifs du cuivre dans les agroécosystèmes en utilisant les propriétés générales des sols (identification des sols vulnérables) ;
- de fournir des solutions innovantes pour la remédiation des sols vulnérables à forte teneur en cuivre.



Les sols à pH acides sont les plus vulnérables

Une identification des sols les plus vulnérables par des expériences sur la lixiviation du cuivre (pour éviter la pollution des aquifères) a été réalisée. Le cuivre soluble dans l'eau des sols viticoles n'est pas clairement lié au cuivre total, à la matière organique ou au pH du sol. Cela étant, lorsque ces sols étaient enrichis en cuivre, le cuivre soluble augmentait avec la dose de métal présent, phénomène d'autant plus marqué dans les sols ayant un pH inférieur à 5,5.

Le cuivre biodisponible, extrait avec du DTPA, est lié au taux de cuivre total, avec des caractéristiques du sol à faible effet. Aucun sol de vignoble enrichi ne présente de faible risque de lessivage du cuivre (concentration stabilisée inférieure à 0,5 mg/L), malgré la présence de certains sols jusqu'à 500 mg/kg. Lorsque les sols viticoles ont été enrichis en cuivre, le risque de lessivage a augmenté et on constate que ce risque est clairement dépendant du pH du sol. **Ainsi, les sols acides présentent un risque beaucoup plus élevé que les sols avec valeurs de pH neutres ou basiques.**



Un premier travail a été réalisé sur les effets du cuivre sur le sol, sur les microorganismes, sur le biote du sol et sur les ressources aquatiques avoisinantes.

Les résultats produits pour les macro-organismes terrestres semblent montrer que **le pH du sol et la MO (Matière Organique) n'influencent pas de manière significative la biodisponibilité du cuivre pour les organismes les plus vulnérables comme les vers de terre.**

Pour les plantes terrestres, le principal paramètre qui semble affecter la biodisponibilité du cuivre est le pH des sols. **Avec un pH plus faible, de plus faibles concentrations de cuivre sont nécessaires pour obtenir une réduction significative de la production de biomasse.** L'influence de la MO semble se limiter à sa promotion de la croissance des plantes, mais un gradient de MO n'est apparemment pas corrélé avec la biodisponibilité et la toxicité du cuivre.

La tolérance de la communauté bactérienne aux tests de cuivre a montré que **le pH du sol et la teneur en matière organique ont une grande influence sur la biodisponibilité et sur la toxicité du cuivre par rapport aux microorganismes du sol.**

La toxicité du cuivre augmente à mesure que le pH du sol ou que la MO diminue. Cependant, les effets du cuivre sont plus importants dans le cas des changements de pH que dans celui de la variabilité de la MO. **Les sols présentant des risques particuliers d'effets négatifs du cuivre sur les microbes du sol sont ceux dont le pH et la teneur en matière organique sont faibles.**

En ce qui concerne la mobilité du cuivre dans les sols, **le pH semble être le principal facteur** influençant son interchangeabilité avec la phase aqueuse. De même, des niveaux de pH plus élevés ont amené la biodisponibilité et la toxicité du cuivre à des niveaux comparables à ceux des sols non enrichis.

La MO ne semble pas avoir influencé la toxicité du cuivre pour les organismes aquatiques les plus vulnérables (essai sur *A. fischeri*, bactérie marine très vulnérable à la contamination par les métaux). La toxicité a été vérifiée pour toutes les modalités de sols testés sur tout le gradient de MO. Pour d'autres organismes aquatiques, une augmentation de la teneur en MO des sols semble avoir maintenu un certain niveau de protection contre la toxicité du cuivre, du moins dans une certaine mesure.

Des essais sur l'intérêt des couverts végétaux sont en cours de finalisation mais les résultats n'étaient pas disponibles au moment de la parution de cette plaquette.

Axe 3 : Des stratégies pour optimiser la pulvérisation

L'objectif principal de cet axe est de développer et de mettre en œuvre des techniques innovantes de viticulture de précision pour un meilleur ajustement de la dose d'application de cuivre, dans le but de réduire son impact sur l'environnement.

Outil d'Aide à la Décision pour limiter l'emploi d'eau dans les traitements

Pour déterminer le volume optimal à appliquer, le système espagnol Dosaviña® (<https://dosavina.upc.edu/>) a été utilisé. C'est un outil d'aide à la décision (OAD) pour les vignobles palissés basé sur une adaptation de la méthode Leaf Wall Area (LWA). Pour émettre sa recommandation, l'outil prend en compte :

- la caractérisation de la végétation ;
- les recommandations relatives aux pesticides inscrites sur l'étiquette, à savoir le pourcentage de concentration et dose recommandée (l/ha) ;
- la capacité du réservoir (L).

L'application donne alors un volume de pulvérisation recommandé (L/ha), une dose de pesticide (L/ha) ainsi qu'une quantité de pesticide à ajouter au réservoir (L ou kg).

Dosaviña® aide également à déterminer l'étalonnage des buses en fonction de la vitesse (km/h), du volume d'application de pulvérisation recommandé (L/ha) précédemment déterminé, ainsi que du nombre de rangées et de la distance qui les sépare. Dosaviña® permet de choisir entre différents types de buses, d'ajuster le débit et la pression de service, et donc de maîtriser la taille de la goutte.

Cet outil a été testé au sein du Château 1 suivi par Vignerons Bio Nouvelle-Aquitaine lors de la campagne 2021. **Développée pour des vignobles espagnols très consommateurs en eau, cette application ne s'est pas montrée adaptée au contexte bordelais.** L'utilisation de Dosaviña® n'a finalement pas réduit la quantité

de cuivre ni le volume d'eau appliqué par le viticulteur par rapport à la normale. Dans le cas du Château 1, les volumes utilisés étaient déjà optimisés, de sorte qu'aucune réduction n'a été observée entre le volume d'application du vigneron et celui suggéré par Dosaviña®. Les préconisations d'emploi d'eau faites par l'application étaient parfois même supérieures. L'essai n'a donc pas été reconduit en 2022. L'outil doit encore être amélioré pour répondre aux caractéristiques d'utilisation des vignobles français. **Une fois adapté, ce genre d'OAD peut avoir un réel intérêt pour les producteurs qui souhaitent optimiser leur pulvérisation, que ce soit au niveau des quantités de cuivre ou du volume d'eau utilisés.**

Micro-encapsulation du cuivre : une piste innovante de formulation

L'encapsulation dans des matrices de biopolymères a été reconnue comme une méthode efficace de libération contrôlée d'un agent bioactif utilisé pour la protection des végétaux. Les cations de cuivre ont traditionnellement été utilisés en agriculture comme contrôle des agents pathogènes des plantes et ils sont également largement libérés dans l'environnement par d'autres activités humaines qui causent souvent une pollution de l'environnement. Par conséquent, il est important de contrôler le niveau de cations de cuivre ajoutés aux plantes.

La libération de cations de cuivre à partir de microcapsules et leur présence prolongée sur les feuilles peuvent entraîner une réduction des niveaux nécessaires à une protection efficace des cultures. La micro-encapsulation peut donc constituer une alternative à l'application traditionnelle de formulations de cuivre dans la protection des plantes. Afin d'améliorer cette protection, **les microcapsules peuvent également être chargées de composés biologiquement actifs, tels que les polyphénols, en raison de leurs propriétés antibactériennes et antifongiques.**

Différentes préparations de micro-encapsulations ont été réalisées pendant le projet et ont été testées au vignoble⁷.

Le produit micro-capsulé a été développé par la société EURECAT, qui est partenaire du projet. En février 2021, une expérience réalisée à l'UPC a permis de confronter quatre formulations différentes de microcapsules. L'objectif était de comparer le dépôt de cuivre dans un papier filtre par rapport à une application classique de cuivre (produit sans microcapsules). **Les résultats montrent que le dépôt de cuivre était de 30 à 40% plus élevé dans les quatre formulations de micro-encapsulation que dans l'application traditionnelle.** Une fois que la formulation appropriée des microcapsules a été déterminée, EURECAT a travaillé à la fabrication des microcapsules à plus grande échelle.

Dans les essais réalisés d'avril à septembre 2021, le dépôt de microcapsules (modalité 11) à une concentration en cuivre de 1g/L d'ions Cu+2 a été comparé à un produit classique (modalité 2). Les essais ont été menés par l'IFV Blanquefort sur une parcelle de 0,0125 ha et les applications ont été faites par pulvérisation à dos (200 L/ha de volume).

Au début du mois de mai, il n'y a pas eu de contamination mildiou. Cependant, à partir de juin, des pluies continues et fortes pendant 7 jours ont permis une bonne installation de la maladie. Le cuivre appliqué a été lessivé puis les petites pluies qui ont suivi ont favorisé l'avancée de la contamination.

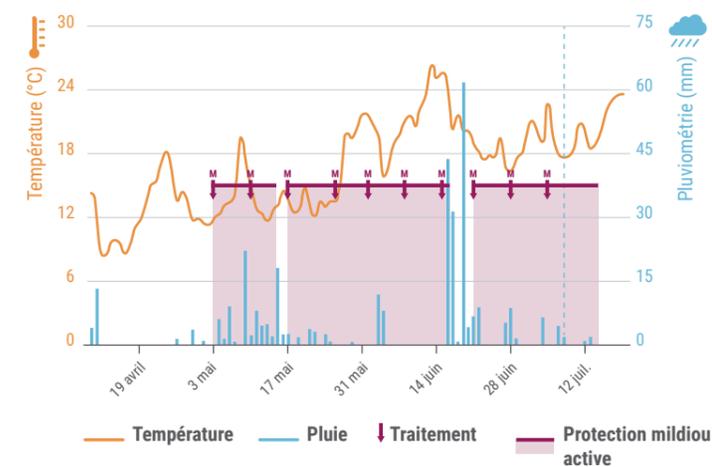


Figure 17 : Température, précipitations et traitements au cuivre enregistrés sur la parcelle d'essai IFV Blanquefort - 2021

⁷ Nous ne pouvons donner plus de détails sur le processus ou la description précise des micro-capsules en raison de la protection intellectuelle de l'outil avant son développement commercial par le partenaire.

Les mesures des dépôts ont été effectuées le 5 juillet 2021 (étape 1) et le 20 juillet 2021 (étape 2). La moyenne des dépôts de cuivre ne présentait pas de différences significatives entre la modalité utilisant les microcapsules (11) et la modalité classique en cuivre (2). On a retrouvé autant de cuivre sur les feuilles des deux modalités.

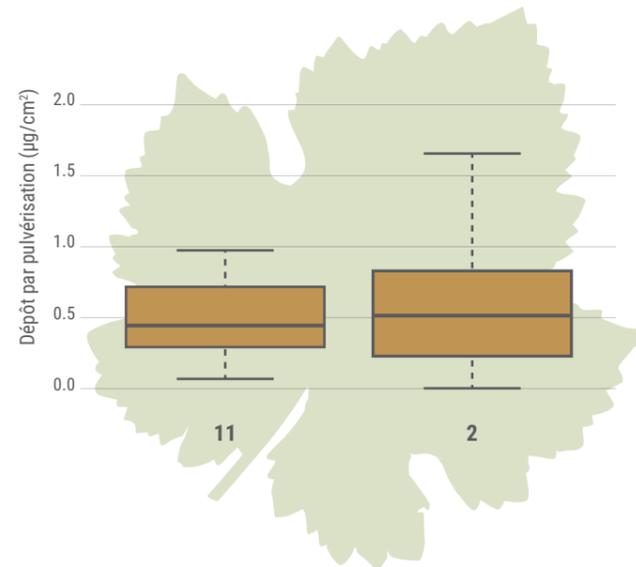


Figure 18 : Dépôt de cuivre dans les feuilles en microcapsules (modalité 11) et en cuivre classique (modalité 2) au cours des essais de 2021 (stade 1 et stade 2 inclus).

En ce qui concerne l'efficacité biologique, deux observations de fréquence et d'intensité de mildiou sur feuilles et grappes ont été réalisées. La première, menée le 23 juin 2021, n'a montré que très peu de taches sur feuilles et aucune sur raisins. L'attaque de mildiou était en effet encore très faible et localisée à ce stade.



La deuxième observation, faite le 6 juillet 2021, a permis de mettre en évidence plus de résultats en comparant :

- le traitement par une application classique de cuivre, à dose pleine
- le traitement par une application classique de cuivre à dose réduite (30% de la dose pleine)
- le traitement par microcapsule (30% de la dose pleine).

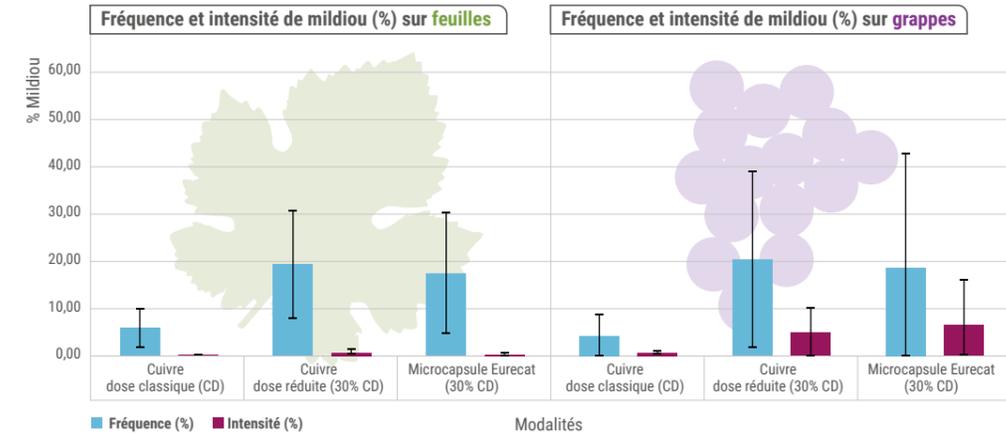


Figure 19 : Fréquence et intensité de mildiou (%) sur feuilles (gauche) et sur grappes (droite) selon différents traitements : dose classique de cuivre (CD), faible dose de cuivre (30% CD, modalité 2) et microcapsules Eurecat (30% CD, modalité 11) - IFV Blanquefort - 06/07/2021

L'efficacité biologique de la faible dose de cuivre et des microcapsules semble identique, et inférieure à celle de la dose de cuivre pleine. Cependant, les écarts-types sont très élevés en raison d'une attaque mildiou très différente selon les placettes d'observation sur la parcelle. **Nous ne pouvons conclure si cette absence de différence est due à une absence d'effet de la microencapsulation ou à un lessivage du produit dû aux fortes pluies de juin 2021.**

De plus, le cuivre a été mélangé avec du soufre pour contrôler l'oïdium, manipulation qui a pu affecter les conditions des microcapsules. Eurecat travaille actuellement sur l'effet du soufre dans la stabilité des microcapsules.

Les essais 2022 n'apportent pas d'information supplémentaire car la parcelle d'essai a été grêlée.

Même si les essais 2021 et 2022 ne sont pas concluants, le travail sur la micro-encapsulation semble constituer une voie intéressante. Les tests de taux d'application semblent s'orienter vers une possible réduction des doses de cuivre utilisées.

Cette méthode permet d'ouvrir une porte sur le développement de nouveaux procédés de formulation des substances actives. C'est en effet l'étape critique dans le développement de nouveaux produits de lutte phytosanitaire, notamment pour les substances naturelles qui sont souvent efficaces en laboratoire, mais pas au champ.

Axe 4 : Test d'un protocole en grande parcelle cumulant les pistes d'intérêt des autres axes

À l'issue de la première année d'essai, les partenaires ont examiné les résultats obtenus dans les axes 1, 2 et 3. Les produits et les solutions les plus viables ont été sélectionnés en vue d'essais sur le terrain en 2022 au sein de l'axe 4. Les aspects réglementaires et juridiques dans les différentes régions ont également été pris en compte, ainsi que les modes de production des vignobles : conventionnel ou biologique.



© F. Guy

Les résultats pertinents des autres axes

Axe 1, les produits retenus

- le produit 1 : heptagluconate de cuivre 8% (nom commercial : Glucosei, produit par SEIPASA, Espagne) ;
- le produit 11 : huile essentielle d'orange (nom commercial : Limocide).

Le limocide n'a été testé que par l'IFV Bordeaux au sein de l'axe 1. Bien qu'il n'ait pas obtenu de résultats très positifs, la piste demeure digne d'intérêt, en raison des tendances prometteuses que l'huile essentielle d'orange avait montrées lors de projets précédents en Nouvelle-Aquitaine⁸. L'admission de ce produit aux essais de l'axe 4 a également été validée par le réseau de connaissances sur le cuivre développé au sein de l'axe 6.

Étant donné qu'il n'était pas envisageable d'inclure des produits ne possédant pas encore d'autorisation d'utilisation, seuls ces deux produits ont été retenus.

Axe 2, les pistes de recherche retenues

Les partenaires de l'axe 2 ont utilisé les essais de l'axe 4 afin d'accumuler davantage de données pour progresser sur l'identification de la vulnérabilité des sols au lessivage du cuivre liée aux faibles niveaux de pH. Pour ce faire, ont été réalisées :

- des analyses initiales de sol sur les sites d'essai, afin d'établir des valeurs de référence avant expérimentation :
 - le pH du sol ;
 - le pourcentage de matière organique du sol et sa teneur en carbone organique
 - la conductivité électrique ;
 - la teneur en sable, en limon et en argile ;
 - la teneur totale en cuivre.
- des analyses de teneur en cuivre sur les feuilles, sur les grappes et sur le sol au début et en fin de campagne phytosanitaire.

Axe 3, pas d'apport

La production de micro-capsule n'a malheureusement pas pu être testée au sein de l'axe 4 en raison de manque de temps dans le processus de production pour fournir les 3 sites.

⁸ Le projet Alt'Fongi Biocontrôle (2018-2020) a montré que l'utilisation de limocide en association avec du cuivre pouvait apporter une protection identique voire supérieure à l'utilisation de cuivre seul, en cas de pression faible à modérée.

Protocole 2022

Trois sites ont réalisé l'essai de l'axe 4 :

- Vignerons Bio Nouvelle-Aquitaine au sein de d'une exploitation Bio bordelaise (Château 3).
- Château l'Hospitalet à Narbonne.
- Quinta do Sairrão dans le Douro (Portugal) suivie par Sogrape

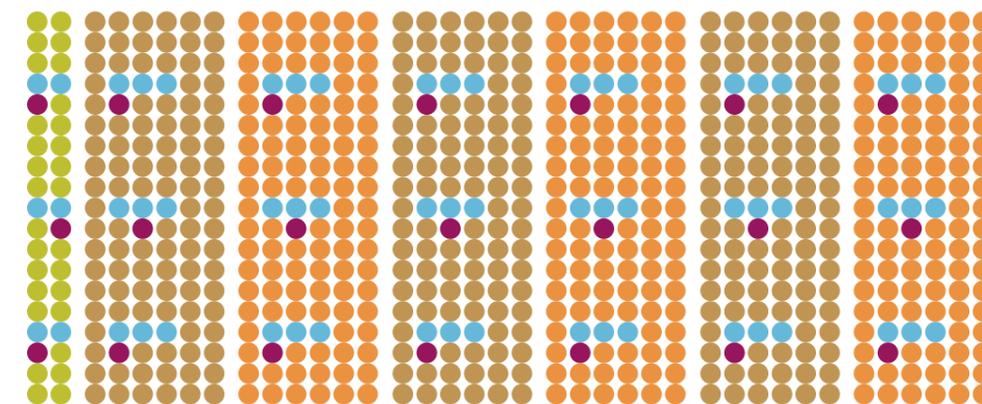
SITE D'ESSAI	ZONE GÉOGRAPHIQUE	CÉPAGE	SURFACE
Château 3 (suivi par VBNA)	Bordeaux	Merlot	2,8 ha
Château l'Hospitalet	Narbonne	Grenache noir	1,5 ha
Quinta do Sairrão (suivi par Sogrape)	Douro (Portugal)	Tinta roriz	3,3 ha

Sur chaque site, trois modalités ont été mises en place :

- **témoin non traité** : deux rangs sans aucun traitement contre le mildiou ;
- **traitement classique de l'exploitation** (« dose cuivre exploitation ») : dans cette zone, la stratégie habituelle de protection contre le mildiou de chaque site a été appliquée ;
- **nouveau protocole de traitement** : il s'agit d'une dose de cuivre réduite (50% dose cuivre exploitation) apportée à 25% par le même produit cuprique que la modalité « exploitation » et à 25% par le glucosei. L'huile essentielle d'orange douce est également ajoutée.

Tous les traitements contre les autres ravageurs et maladies ont été exécutés selon la stratégie de protection habituelle du domaine, et ce sur les trois modalités.

Les modalités sont mises en place selon le plan expérimental ci-après.



- Placette d'observation = 20 pieds chacune
- 2 rangs témoins non traités
- Dose de cuivre exploitation
- Dose de cuivre réduite (cuivre + glucosei) + huile orange
- Points de prélèvement

Figure 20 : Plan expérimental Axe 4

Chaque modalité comprend au minimum quatre rangs et chacune d'entre elles est répétée à trois reprises. Les critères d'évaluation de chaque modalité sont l'intensité et la fréquence de mildiou observées sur 100 feuilles et 100 grappes à mi-floraison, au début de fermeture de la grappe et au début de la véraison. Ces observations se font sur trois placettes de 20 pieds chacune, réparties sur les deux rangs intérieurs de chaque modalité. Les points de prélèvement servent aux échantillonnages de feuilles, de grappes et de sol pour l'axe 2. Enfin, le point central est situé au milieu du rang et les deux autres points sont répartis de part et d'autre à 25 m.

Les règles de décision de traitement ont été basées en France par l'utilisation de l'OAD DECITRAIT, que nous avons présenté précédemment.

Pour ce qui est de l'huile essentielle d'orange douce, elle a été appliquée avec chaque traitement au cuivre (0,6 % du volume de bouillie), sauf pendant la floraison, car interdite dans ce cas. Un maximum de six applications pendant le cycle de croissance a été respecté, en laissant un intervalle de 7 jours entre les applications.

Résultats sur les teneurs de cuivre en présence

Des prélèvements de sol et de feuilles ont été réalisés sur les trois sites avant et après le traitement. Un prélèvement de grappes a également été réalisé avant les vendanges. L'ensemble de ces tests a été analysé par le partenaire Greenuporto.

Au moment de la rédaction de cette plaquette, les résultats sur sol et sur grappe n'étaient pas encore disponibles. On trouvera donc ici les résultats des prélèvements sur feuilles.

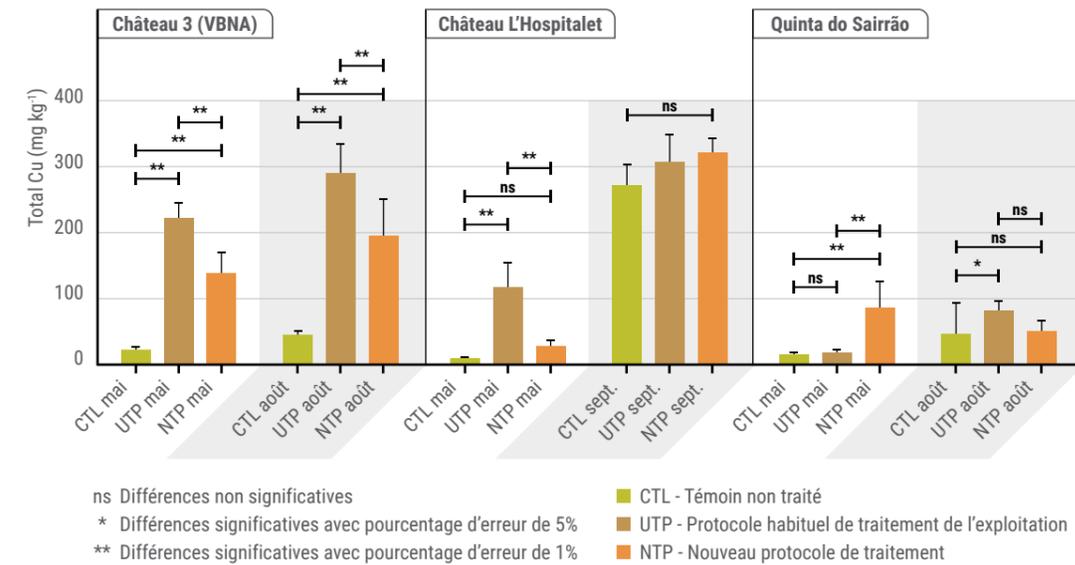


Figure 21 : Teneur en Cu total (mg/kg) sur feuilles, par site, sur les deux périodes d'échantillonnage (mai et août/septembre 2022)

Le Château 3, suivi par Vignerons Bio Nouvelle-Aquitaine (Bordeaux)

Pour les deux périodes d'échantillonnage, les quantités totales de cuivre trouvées dans les feuilles sont significativement plus élevées dans le protocole de traitement habituel, par rapport au nouveau protocole de traitement. On observe également une croissance de ces quantités entre mai et août.

Le Château l'Hospitalet (Narbonne)

La même tendance a été vérifiée pour la première période d'échantillonnage au Château l'Hospitalet. Cependant, les niveaux de cuivre observés dans les feuilles collectées à la fin de la campagne étaient également élevés dans tous les traitements, et même pour la zone témoin, sans différences significatives entre ceux-ci. Cela peut résulter d'une contamination croisée entre les modalités.

Le domaine Quinta do Sairrão, suivi par Sogrape (Douro, Portugal)

À la fin de la première application, les niveaux de cuivre sur les feuilles de la modalité test étaient significativement plus élevés que ceux de la modalité exploitation. Cela s'explique par le fait que cette exploitation n'est pas en bio et n'a pas appliqué de traitement cuprique sur la modalité exploitation.

Cependant, les teneurs en cuivre inférieures sur la modalité testée en août ne sont pas cohérentes. Une anomalie peut également provenir d'une contamination croisée entre les modalités. Les valeurs anormalement élevées enregistrées dans l'un des blocs de témoin non traité sont également considérées comme aberrantes. Elles peuvent résulter d'une erreur d'échantillonnage, d'une erreur d'analyse ou d'une contamination croisée provenant d'un bloc adjacent sans essai où du cuivre a été utilisé.

Résultats sur la protection

Les parcelles du domaine de l'Hospitalet (Narbonne) et de Sogrape (Portugal) n'ont présenté que très peu de symptômes de mildiou, ce qui ne permet pas de tirer de conclusion sur les différentes modalités testées. Nous nous concentrerons donc sur les résultats bordelais.

Le Château 3, suivi par Vignerons Bio Nouvelle-Aquitaine

La campagne 2022 en Bordelais n'a pas été favorable à l'installation du mildiou, en raison de la faiblesse des précipitations. Néanmoins un épisode de grêle sévère a touché fin juin une partie du vignoble et notamment le site d'essai, très fortement touché.

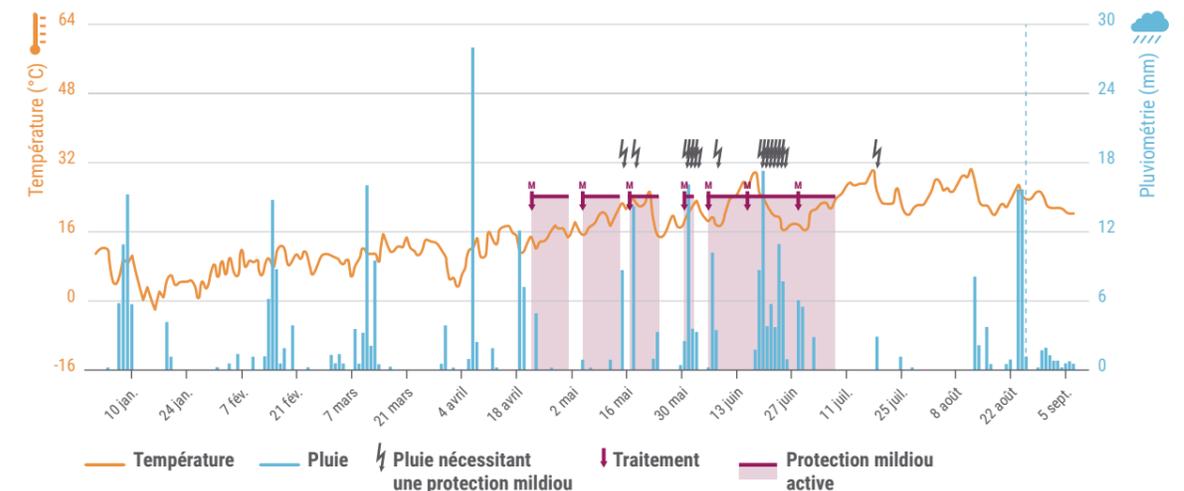


Figure 22 : Suivi météorologique Château 3 Bordeaux 2022

Le Château 3 a réalisé :

- sur la modalité exploitation : 10 traitements, avec un cumul de 3,5 kg de cuivre métal/ha ;
- sur la modalité test : 9 traitements, avec un cumul de 1,9 kg de cuivre métal/ha.

Le cumul de cuivre notamment pour la modalité viticulteur est important pour une année à pression moyenne. Cela est en grande partie dû aux traitements qui ont été réalisés après l'épisode de grêle qui ont fragilisé la parcelle.

Les trois observations (02/06, 27/06, 18/07) sur feuilles et sur grappes montrent ci-après l'évaluation de la protection pour chaque modalité.

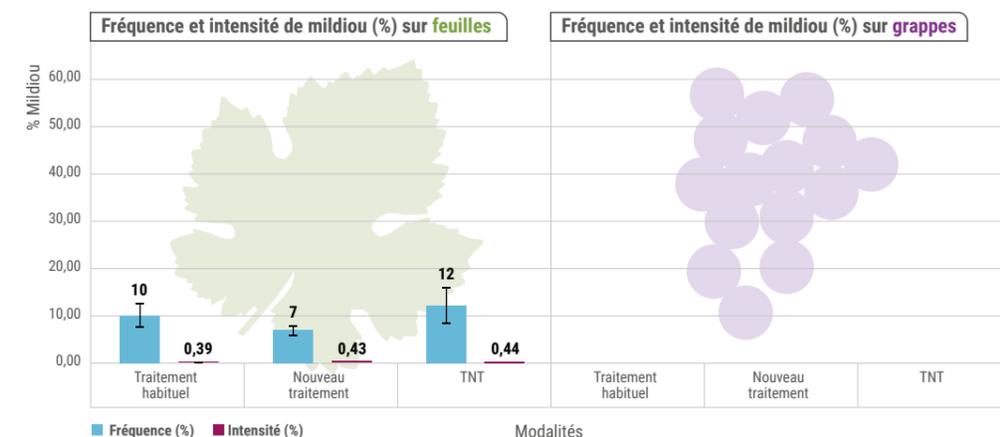


Figure 23 : Fréquence et intensité de mildiou sur feuille et sur grappe - Château 3 - Bordeaux - 02/06/2022

Début juin, presque aucun dégât n'a été relevé, même sur le témoin non traité, en raison de la très faible pression mildiou.

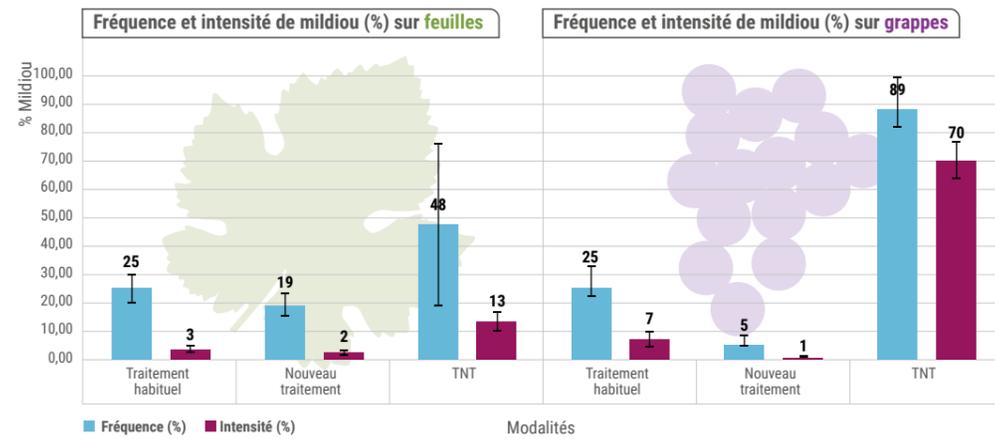


Figure 24 : Fréquence et intensité de mildiou sur feuille et sur grappe – Château 3 - Bordeaux – 27/06/2022

Fin juin, on observe une protection significativement plus efficace sur grappe de la modalité test par rapport à la modalité exploitation (et au témoin non traité). Cela a été montré en termes de fréquence et d'intensité de mildiou. Bien que cela ne soit pas significativement différent sur feuille, cette tendance est également observée.

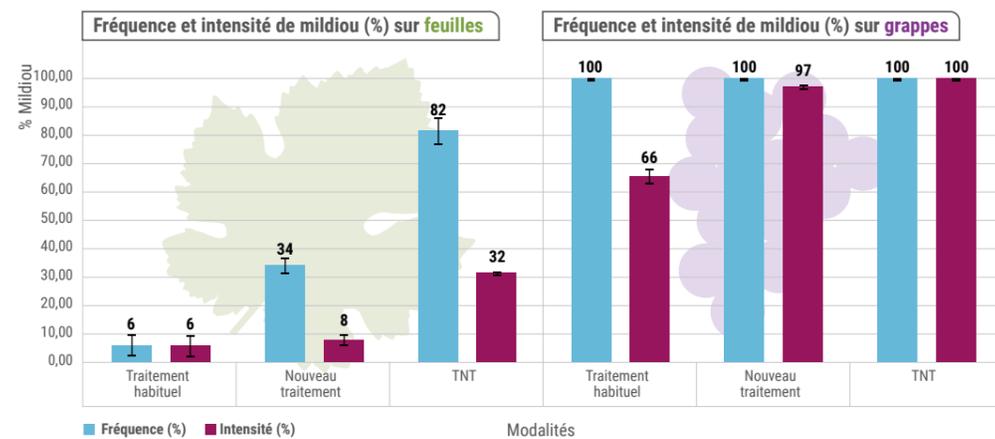


Figure 25 : Fréquence et intensité de mildiou sur feuille et sur grappe – Château 3 - Bordeaux – 18/07/2022

En revanche, la dernière observation montre le décrochage total de la protection due à l'épisode dévastateur de grêle qu'a connu la parcelle.

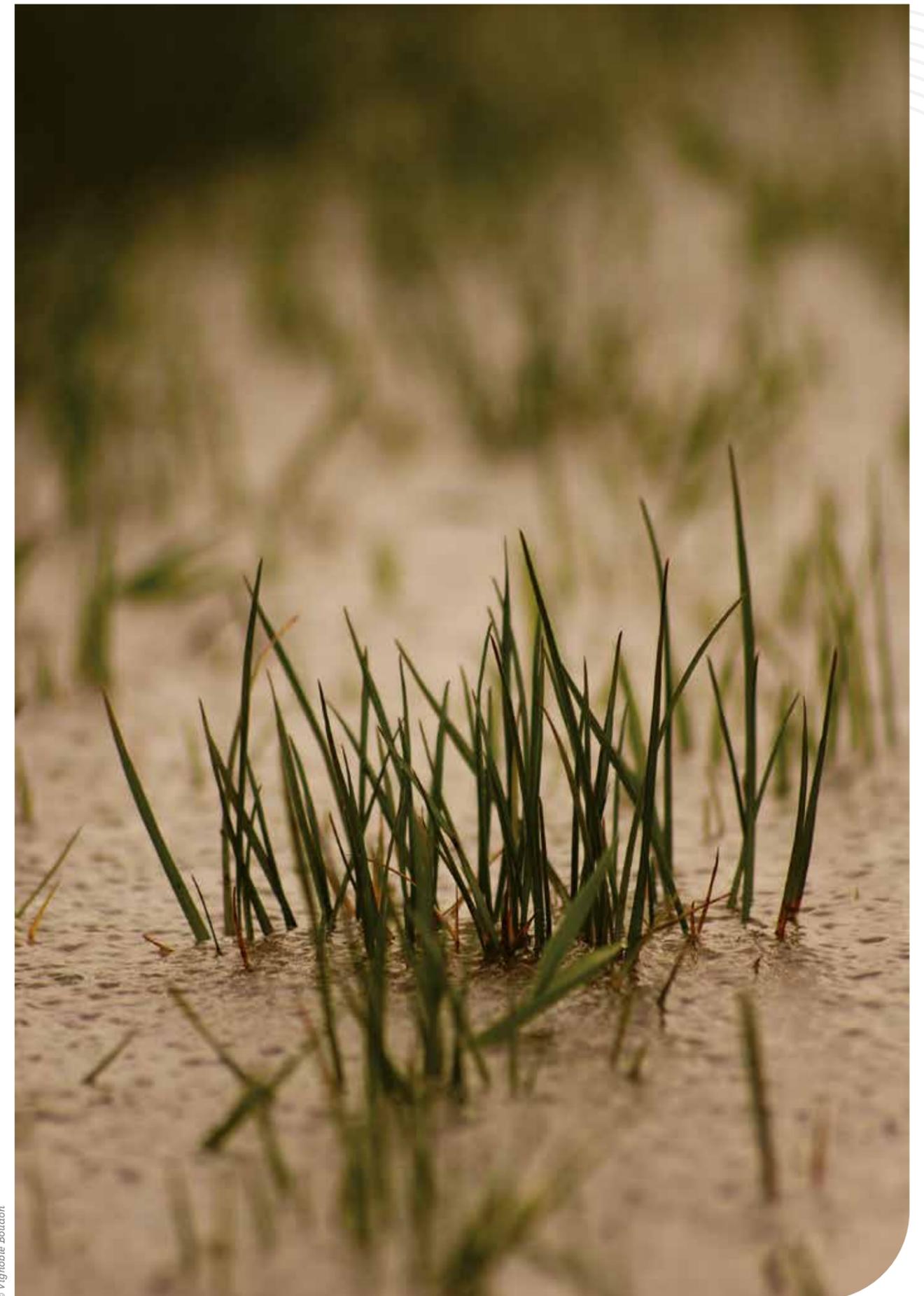
Ces essais confirment l'intérêt de l'utilisation d'une forme de cuivre avec une formulation différente. Celle-ci permet d'améliorer son efficacité à plus faible dose et de diminuer sa teneur dans les feuilles.

La problématique présentée par le glucosei est qu'il est formulé à base de cuivre et donc ne remplit pas le critère du remplacement du cuivre. Il semble néanmoins permettre une diminution de la dose nécessaire pour obtenir une bonne protection.

Son autre limite est qu'il s'agit d'un engrais foliaire, donc non utilisable dans un objectif phytosanitaire, et par conséquent limité. C'est notamment le cas en agriculture biologique, pour laquelle il est nécessaire de justifier les apports d'engrais foliaires.

La dernière difficulté est liée à l'approvisionnement en France, sans doute lié aux éléments précédemment cités. De telles circonstances limitent d'autant plus les possibilités d'utiliser le glucosei en viticulture biologique. Un rapprochement avec les fabricants pourrait être envisagé afin de réfléchir à une possible homologation du produit dans la catégorie phytosanitaire.

A noter que dans cet essai le glucosei a été combiné avec du cuivre et du limocide. Ce dernier a donc pu également participer à l'efficacité obtenue.



© Vignoble Boudon

Axe 5 : Impact économique des solutions de réduction du cuivre

L'axe 5 dans son entièreté s'est intéressé à l'impact économique, social et environnemental des solutions de réduction du cuivre.

Au sein de cet axe, Vignerons Bio Nouvelle-Aquitaine s'est rapproché de Bordeaux Sciences Agro pour la réalisation d'une étude d'impact économique des solutions testées dans le cadre du projet. Une synthèse des résultats 2021 est ici présentée.

Pour valider les solutions intégrées et innovantes proposées dans le projet, une partie du travail s'est attachée à vérifier la viabilité des différentes alternatives ou solutions permettant de réduire l'utilisation du cuivre. En viticulture, les coûts de production sont essentiels pour la gestion de l'exploitation car les possibilités d'action sur les produits d'activité peuvent être réduites par le cadre réglementaire qui limite notamment les rendements dans les zones d'AOC. Le prix de vente étant d'abord un prix de marché, la maîtrise des coûts est essentielle. Il est donc important d'évaluer l'impact économique des solutions proposées en substitution du cuivre ou pour diminuer son utilisation, et de vérifier si ces innovations génèrent des surcoûts ou des économies pour les exploitations qui les appliquent en conditions réelles de production.

Les produits permettant de réduire l'utilisation du Cu, combien ça coûte ?

Choix de la méthode d'évaluation de l'impact économique

Afin d'étudier l'impact économique des solutions testées, nous avons choisi de calculer les coûts des pratiques grâce à la méthode OBC (*Operation Based Costing*)⁹. Nous avons choisi cette méthode adaptée à l'analyse de l'impact sur les coûts d'un changement de pratiques, ici l'utilisation de produits alternatifs ou permettant de réduire l'utilisation du cuivre. La méthode de calcul de coûts des pratiques revient à calculer le coût des trois facteurs de production consommés pour réaliser un traitement, i.e. les intrants, la main d'œuvre, ainsi que le matériel et les équipements.

Coût des traitements = Σ (Coût intrants, Coût main d'œuvre, Coût d'utilisation du matériel)

Avec :

Coût intrants = Quantité consommée x coût standard intrant

Coût main d'œuvre = Temps passé par type de main d'œuvre x coût standard main d'œuvre

Coût d'utilisation du matériel = Temps d'utilisation du matériel x coût standard 1 matériel

Les coûts calculés sont des coûts standards, calculés à partir de références sur le coût d'utilisation des facteurs de production. Cela permet de considérer que les différences mises en évidence pour les différentes parcelles sont liées aux modalités techniques testées par les exploitants et non à leur capacité de négociation des prix lors de l'achat des intrants ou à leurs décisions stratégiques (sur le renouvellement et l'amortissement du matériel par exemple). Cela permet enfin de ne pas mobiliser les comptabilités des exploitants, en se concentrant sur la nature et la quantité des facteurs de production consommés. Les données standards proviennent des *Coûts de fournitures en viticulture et œnologie* pour les intrants, de la *Convention collective de la Préfecture de Gironde* pour la main d'œuvre et du *Bureau de Coordination du Machinisme Agricole* pour le matériel, couplées aux informations détaillées récoltées pour les différentes opérations de protection du vignoble contre le mildiou : les intrants (types et quantités : produits utilisés), la traction et les matériels utilisés (types et temps d'utilisation) et la main d'œuvre (type et temps passé).

S'agissant d'une substitution de produit de traitement, nous avons également calculé des marges grâce à la formule suivante :

$$\text{MARGE} = (\text{Prix du Vin} * \text{Rendement}) - \text{Coûts des traitements}$$

⁹ Ugaglia A., 2009. *Pratiques de comptabilité analytique en viticulture : des coûts de production au coût des pratiques environnementales*, La Revue du Financier, n°176, mars-avril 2009.

Tous les calculs ont été extrapolés en conditions réelles d'exploitation (et non pas en conditions d'expérimentation pour un nombre limité de rangs). Nous avons également effectué des simulations de rendement, en prenant en compte le rendement moyen et le rendement objectif de l'exploitation auquel nous avons appliqué différentes variations (-5%, -10%) pour simuler différentes situations annuelles, et en particulier un cas extrême de très forte pression parasitaire et/ou d'échec de protection (-50%).

Dispositif 2021

L'axe 5 s'inscrit en continuité du dispositif de l'axe 1. L'évaluation économique des solutions proposées a été réalisée sur les Châteaux 1 et 2 suivis par les Vignerons Bio Nouvelle-Aquitaine dans le Bordelais en 2021. Nous présentons ici les résultats de la campagne 2021. Les solutions testées sont :

Modalité 1 : dose de cuivre pleine (100%)

Modalité 2 : dose de cuivre réduite (50%)

Modalité 3 : dose de cuivre réduite (50%) + SALIX

Modalité 4 (Château 1) : dose de cuivre réduite (50%) + DOSAVINA (qui consiste en une réduction de l'utilisation de l'eau).

Modalité 4 (Château 2) : dose de cuivre réduite (50%) + EQUISET

Dans les parcelles sont aussi prévus des témoins sans aucun traitement.

Résultats 2021

En ce qui concerne les résultats sur les coûts, même si les coûts du Château 1 sont globalement supérieurs aux coûts du Château 2, la tendance entre les modalités est la même dans les deux cas. Les différences de variations de coût dues aux différentes solutions testées sont peu marquées. La modalité 2 (et la 4 pour le Château 2) a un coût inférieur de 12 à 15% par rapport à la modalité 1. La prêle (EQUISET) est un adjuvant peu coûteux (2,5€/L) qui est utilisé ici en faible quantité (2L/ha). A l'inverse, la saule (SALIX) est un produit plus onéreux que les autres produits alternatifs testés (6€/L) et nécessite une dose d'application plus importante (5L/ha).

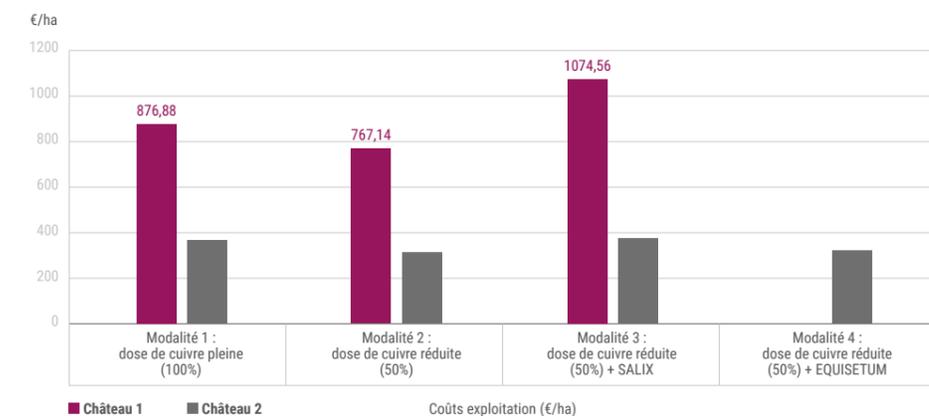


Figure 26 : Coût de la protection phytosanitaire (€/ha) - Châteaux 1 et 2 - Bordeaux - 2021

Au-delà des différences de coût, les différences observées en termes de marge viennent en premier lieu des rendements. Il n'y a pas de variation de rendement par rapport au rendement de l'exploitation sur la modalité 1. Les très faibles résultats du Château 2 (marge négative) s'expliquent car rien n'a été récolté compte-tenu du peu de grappes présentes sur la parcelle en fin de campagne sur les modalités 2, 3 et 4, sur une parcelle vieillissante, gelée et avec un fort taux de dépérissement. Pour ce qui est du Château 1, l'exploitant a observé une perte de 35% de rendement sur la modalité 2 et une perte de 45% de rendement sur la modalité 3. Il est également à noter que cette expérimentation a eu lieu au cours d'une année à forte pression mildiou et au cours desquelles les conditions météorologiques ont été difficiles (gel et courtes périodes de fortes pluies).

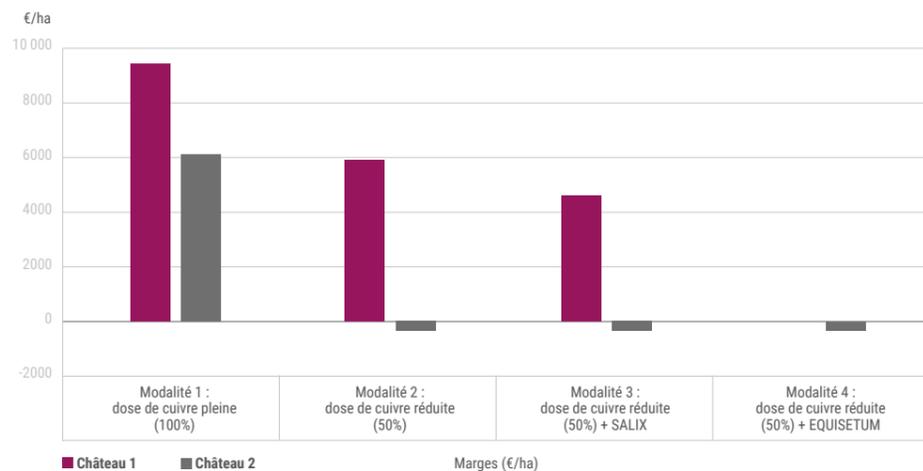


Figure 27 : Marge (€/ha) = (Prix moyen*rendement exploitation) - coût de la protection phytosanitaire
Châteaux 1 et 2 - Bordeaux

Les simulations sur les différents niveaux de rendement (rendement du Château, rendement objectif, rendement objectif - 5%, -10%, -50%) pour les Châteaux 1 et 2 montrent que les rendements atteints en 2021, inférieurs aux rendements objectifs des exploitants, sont défavorables quant à l'impact économique de la mise en œuvre des produits de réduction du cuivre.

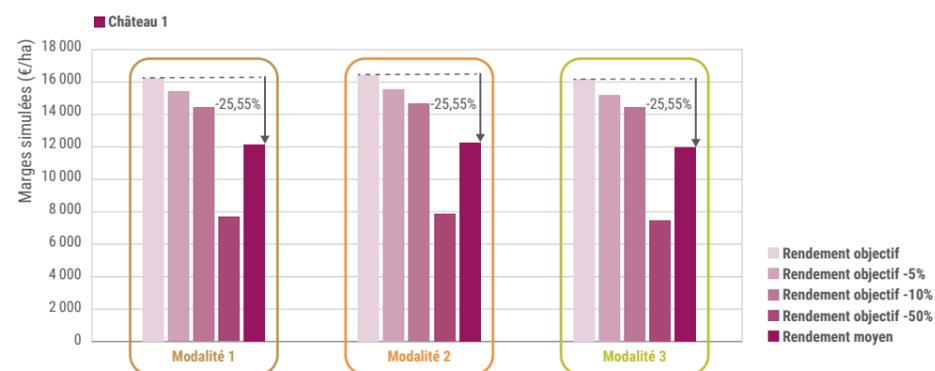


Figure 28 : Comparaison de marges simulées en fonction des niveaux de rendement (Château 1)

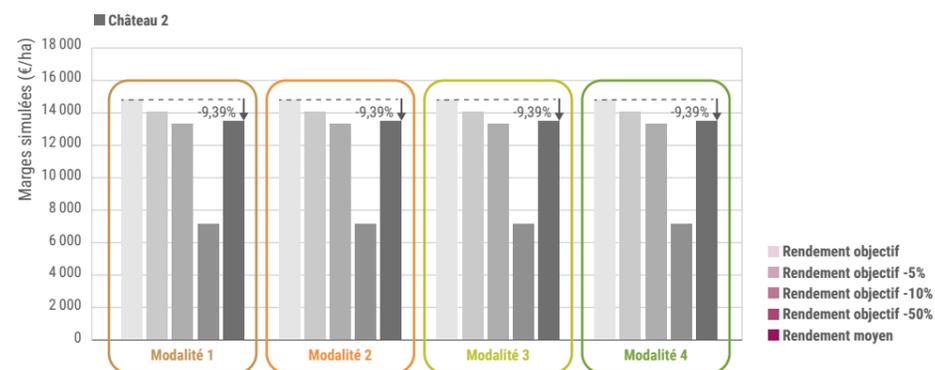
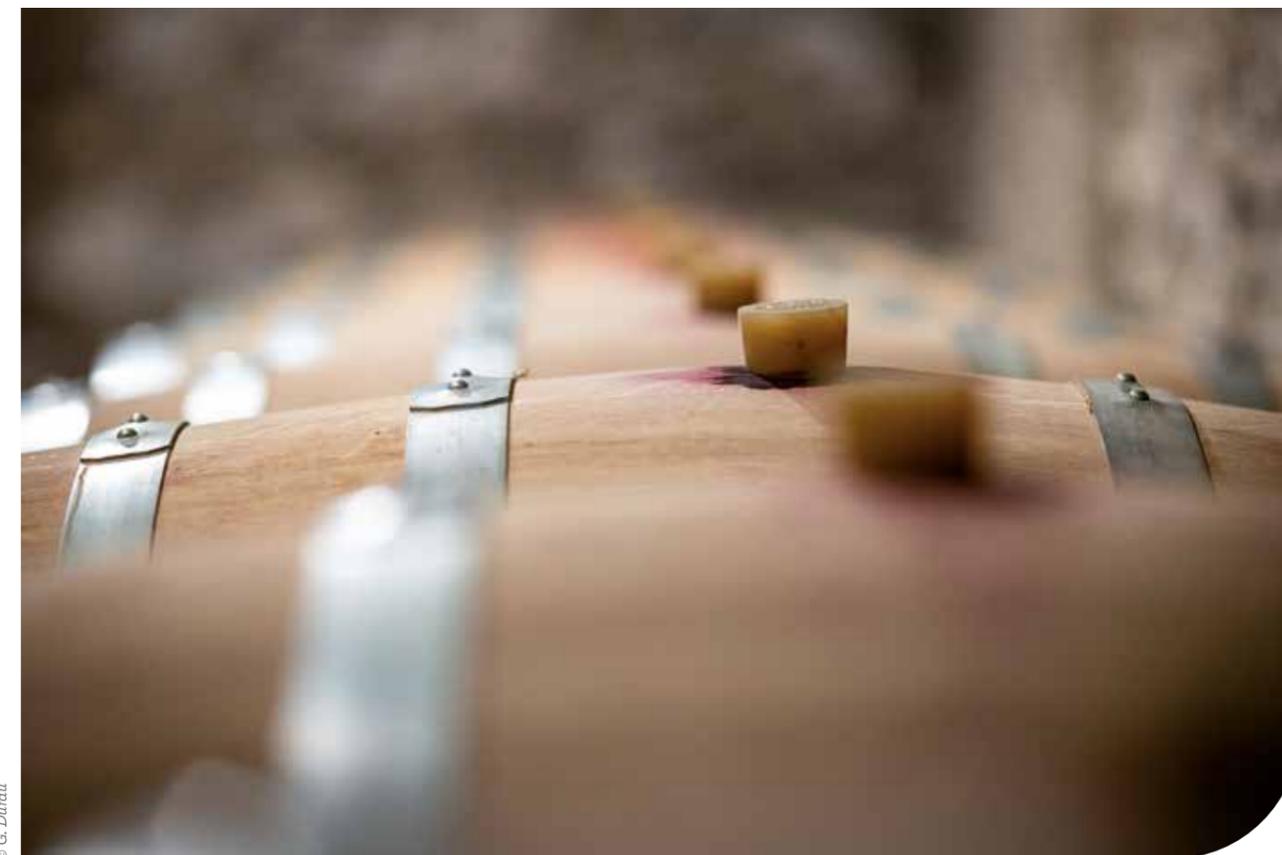


Figure 29 : Comparaison de marges simulées en fonction des niveaux de rendement (Château 2)

En synthèse, la modalité 3 est donc la seule qui occasionne un surcoût. Toutefois, ce sont les rendements obtenus pour chaque modalité qui impactent le plus le niveau de marge potentiel des exploitations. **Les pertes de rendement ayant été importantes en 2021, les alternatives ne permettent ni de maintenir un niveau de marge identique à la modalité exploitation sur cette expérimentation ni d'obtenir un niveau de marge équivalent au rendement objectif**, mais les résultats ne peuvent pas être généralisables à partir de deux cas et une seule année.

Les résultats 2022 viendront compléter les informations apportées par cette première année d'expérimentation (avec également un troisième Château inclus dans les expérimentations).



© G. Dufau

Axe 6 : Développement d'un réseau d'expertise européen sur la réduction du cuivre en viticulture

Les objectifs du réseau

L'objectif de ce réseau est d'intégrer des scientifiques et des techniciens européens spécialisés sur les différents sujets abordés dans Coppereplace pour avoir une réflexion élargie sur les expérimentations et les solutions qui émergent du projet. **Des conseillers politiques sont également invités, pour qu'ils puissent connaître le travail accompli sur la question du cuivre et être tenus informés des enjeux et des problématiques rencontrés.** Au-delà du projet Coppereplace, **ce réseau constituera un lieu de partage, d'échange et de coopération autour du sujet du cuivre en Europe.**

Au niveau scientifique, il permettra de faire le lien entre les différents acteurs européens sur la question et permettra d'initier de futurs projets de recherche.

Au niveau politique, il permettra d'apporter aux institutionnels et aux responsables politiques les connaissances dont ils ont besoin pour faire évoluer la réglementation.

Des actions coopératives sur la question du cuivre existent déjà en Europe (par exemple la conférence annuelle sur le cuivre en Allemagne organisée par le BÖLN et IFOAM Europe). L'objectif du réseau est d'ouvrir encore plus les possibilités en réunissant tous les acteurs du sujet afin d'avoir une vision plus large sur le cuivre.

Les participants au réseau

La conception et la constitution du réseau représentent un pilier fondamental du projet Coppereplace. Ce réseau intègre différentes entités :

- les bénéficiaires et partenaires du projet ;
- les entités intéressées ;
- les entités ayant des connaissances pertinentes ;
- les acteurs clés, dont les données doivent être consultées et prises en compte lors de la création des groupes de travail.

Cette conception initiale du réseau prend en compte l'équilibre entre les pays, les domaines de connaissances et les types d'entités, afin d'assurer le bon fonctionnement des groupes de travail cibles.

En outre, les participants au réseau sont classés en fonction de leur activité principale, soit en tant que conseillers techniques soit en tant que conseillers politiques, dans l'intérêt du bon déroulement des réunions du réseau et pour atteindre des objectifs de travail spécifiques.

Les objectifs spécifiques du conseiller technique :

- établir un diagnostic identifiant les besoins, les obstacles et les opportunités
- fournir des conseils spécifiques sur les aspects techniques (axes 1, 2 et 3 de Coppereplace)
- soutenir les activités d'intégration technique et économique (axes 4 et 5)
- participer et assister aux actions de communication.

Les objectifs spécifiques du conseiller politique :

- contribuer à la révision de la législation sur l'agriculture biologique prévue en 2025 vers un mode de production plus durable et transparent au profit des viticulteurs, des consommateurs et de la société dans son ensemble ;
- participer à des événements de communication.

Les participants fournissent leurs coordonnées au secrétariat du projet et ont un accès privé à l'espace Web, sur lequel les documents et les informations sont partagés. En outre, un calendrier communautaire a été conçu pour répondre aux différentes activités participatives.

Les activités du réseau

Le réseau participe activement en contribuant aux objectifs de Coppereplace et en matérialisant des apports critiques à différents niveaux : technique, juridique, social, culturel, économique et environnemental par le biais de groupes de travail.

Chaque groupe utilise les connaissances développées au sein du réseau afin de les transférer et de promouvoir les résultats du projet Coppereplace auprès de différents publics ou de consommateurs en général.

Le réseau s'est réuni trois fois au cours du projet pour échanger sur différentes thématiques. Ces workshops ont permis de faire le point sur les avancées et les problématiques rencontrées dans le projet et d'étendre la réflexion sur le sujet du cuivre et des alternatives à disposition.

Le workshop de février 2021 a notamment permis de travailler sur les facteurs déterminants à l'adoption d'innovation, dont voici quelques résultats.

Le premier critère est la motivation économique. Les motivations sociales et réglementaires arrivent ensuite.

Le facteur économique le plus déterminant est le fait de pouvoir répercuter le coût de l'innovation sur le prix de vente. Ensuite, et de très près, le facteur le plus important est de pouvoir réduire les coûts d'exploitation. Le coût de l'investissement initial a lui aussi son importance.

En ce qui concerne les facteurs sociaux, **la pression des consommateurs pour des solutions plus durables arrive en première position**, suivie par le sentiment d'accompagnement. Cet accompagnement pourrait être encouragé par des essais, des tests et par un contact permanent avec des associations de viticulteurs, qu'il s'agisse de coopératives, d'associations, de plateformes ou autres. Enfin, le fait que d'autres viticulteurs mettent en œuvre et adoptent des solutions innovantes a une importance non négligeable.

Parmi les facteurs de gouvernance analysés, **la conformité à la législation** se démarque des autres. Un tel facteur souligne l'importance des avancées législatives pour parvenir à des améliorations visant à accroître la durabilité des productions, en particulier la durabilité environnementale. Suivent, l'existence d'études indépendantes qui soutiennent l'efficacité des innovations, ainsi que la promotion et le conseil de celles-ci par des organismes officiels. **L'importance des institutions publiques comme source de confiance pour le secteur est ainsi soulignée.**

Quant aux caractéristiques des vignerons, axe le moins valorisé, **l'ouverture d'esprit du vigneron s'impose comme essentielle.** Le profil du vigneron enclin à l'innovation, ouvert d'esprit, sera un facteur indispensable lors de l'introduction d'innovations dans son exploitation. On sait que cette variable peut être corrélée avec d'autres, comme l'âge.

Et après Coppereplace ?

Le but à terme est de créer un **réseau européen dédié à la question du cuivre, au-delà du projet Coppereplace.** Y seront étudiés l'utilisation du cuivre, la recherche autour de cette molécule et des alternatives existantes ainsi que son évolution réglementaire. Le réseau devra fédérer au niveau européen les réseaux nationaux déjà existants. **Il aura une vocation à la fois scientifique et technique, ainsi qu'une visée politique.**

Le réseau devra être force de proposition sur la partie scientifique pour accumuler, discuter et diffuser les connaissances. Il sera le lieu d'échanges des spécialistes du cuivre, de la recherche d'alternatives, d'étude d'impact du cuivre, etc., et permettra de **proposer de nouveaux projets de recherche européens.**

Enfin, ce réseau européen sera aussi un **lieu d'échange privilégié pour les acteurs politiques** du dossier afin qu'ils se tiennent au courant des dernières avancées scientifiques et sociales, pour être en mesure de **proposer des évolutions réglementaires pertinentes.**



© F. Guy

Conclusion

Avant toute chose, le projet COPPEREPLACE a confirmé la grande disparité qu'il peut y avoir entre les régions viticoles, et plus précisément la zone sud-ouest de l'Europe dans notre cas.

Ces écarts se sont manifestés au niveau de :

- **l'impact du cuivre selon les types de sols** : l'impact est plus fort sur les sols acides, pauvres en matière organique ;
- **la pression mildiou**. Seule la région de Bordeaux a subi une pression forte durant les deux années d'essais. Le Portugal, l'Espagne et le sud-est de la France n'ont en effet pas été touchés par le champignon.

Les objectifs diffèrent avec, d'une part, des régions qui doivent protéger un ou deux moments clés de la campagne phytosanitaire et, d'autre part, des régions au sein desquelles la pression reste forte et constante sur toute la saison (avec notamment certains épisodes de lessivage intense).

Les épisodes climatiques comme le gel ou la grêle ont montré également leur importance. Outre leur conséquence dramatique sur le rendement, ces événements fragilisent énormément la vigne, dont ils rallongent les cycles, notamment l'étape de la floraison, en favorisant une sensibilité du végétal et le développement du mildiou.

La gestion du lessivage sur des périodes clés comme la fleur est sans doute l'une des données les plus importantes, qui doit orienter le développement des produits alternatifs au cuivre.

Sans surprise, **la qualité de pulvérisation et le positionnement des produits** au bon moment restent des points décisifs pour parvenir à réduire l'utilisation du cuivre. Cela a notamment été observé au niveau des résultats finalement pas si catastrophiques de la modalité demi-dose.

Il n'est pas surprenant que ce projet n'ait pas permis de trouver de solution miracle au remplacement du cuivre. Malgré tout, il a permis plusieurs avancées.



© G. Dufau

Un nombre important de produits ont pu être testés, confirmant le faible intérêt de certains d'entre eux et le besoin d'amélioration pour d'autres. Une des conclusions clés du projet, confirmée par les axes 1, 3 et 4, est l'importance de la **formulation des produits** permettant une réduction de la dose de cuivre utilisé à efficacité constante.

Un enjeu important dans l'avancée vers la réduction du cuivre a également été mis en exergue : **l'impossibilité de tester à grande échelle de nouveaux produits d'intérêt n'ayant pas encore obtenu d'homologation.** Aucun des produits novateurs de l'axe 1 n'a pu être testé en grande parcelle en raison des difficultés d'obtention de dérogation en France et en Europe (à moins de détruire l'ensemble de la récolte). À cela s'ajoute en bio le déclassement automatique de la récolte dans le cas d'une utilisation d'un intrant non référencé.

La technique de la micro-encapsulation est prometteuse, mais va nécessiter de poursuivre son développement pour améliorer son efficacité. Il faudra sans doute se rapprocher d'autres pays, comme l'Allemagne, qui travaille sur ces techniques depuis plusieurs années et **étendre son utilisation au-delà du cuivre.** Il pourra par exemple s'agir de l'utiliser pour formuler d'autres substances actives qui montrent une efficacité en laboratoire, mais actuellement inefficaces en plein champ.

Coppereplace a donc réaffirmé **l'importance de la formulation** des produits. Les essais de l'axe 4 ont montré comment un produit cuprique mieux formulé permet d'obtenir une protection intéressante en réduction de dose.

En conclusion, **nous ne pouvons pas nous passer du cuivre pour le moment.** Pour autant, cela n'empêche pas de travailler sur les pistes intéressantes pour réduire son utilisation au travers **d'échanges entre acteurs de la recherche et professionnels.** Le meilleur outil pour cela sera la poursuite et la montée en puissance du **réseau européen** mis en place grâce à Coppereplace (axe 6). Il devra également être le lieu de discussions avec **les pouvoirs publics et les responsables politiques,** pour que ces derniers aient une vision claire des avancées sur le sujet et **pour adapter au mieux les évolutions réglementaires.**

Enfin, une fois que les solutions permettant de réduire l'utilisation du cuivre seront consolidées techniquement, il faudra promouvoir leur utilisation et travailler sur leur coût et sur la valorisation qu'elles pourront apporter aux vignerons.



© G. Dufau

Pour aller plus loin



INRAe, Synthèse du rapport d'expertise scientifique collective « Peut-on se passer du cuivre en protection des cultures biologiques ? », janvier 2018

<https://www.inrae.fr/sites/default/files/pdf/expertise-cuivre-en-ab-synthese-francais-1.pdf>

Vinopôle Bordeaux Aquitaine « Mémo Cuivre en Viticulture », mai 2022.

Projet « Alt'fongi Biocontrôle » (2018-2020) Dupin S., Guégnard S., Aveline N., Chenard M. et Martin C. Intégration de produits de biocontrôle dans des stratégies de traitement pour lutter contre les maladies cryptogamiques de la vigne : Bilan du projet Alt'Fongi Biocontrôle, UGVB 1184, 7 pages.

Ugaglia A., 2009. Pratiques de comptabilité analytique en viticulture : des coûts de production au coût des pratiques environnementales, La Revue du Financier, n°176, mars-avril 2009.

Interreg
Sudoe



 COPPEREPLACE

European Regional Development Fund



VIGNERONS BIO
NOUVELLE AQUITAINE

*Vignerons Bio Nouvelle-Aquitaine
adresse tous ses remerciements
aux domaines, aux vignerons,
aux chercheurs, aux étudiants,
aux partenaires et aux professionnels de la filière
ayant participé à ce travail
en mettant à disposition leur matériel,
leurs parcelles, leurs équipes, leurs vins,
leurs données, leurs compétences
et leur temps !*



VIGNERONS BIO
NOUVELLE AQUITAINE

Vignerons Bio Nouvelle-Aquitaine

38 Route de Goujon, 33570 Montagne

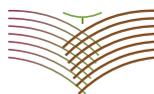
05 57 51 39 60

contact@vigneronsbionouvelleaquitaine.fr

www.vigneronsbionouvelleaquitaine.fr

Avec le soutien financier de :

Interreg
Sudoe



COPPEREPLACE

European Regional Development Fund

Projet COPPEREPLACE SOE4/P1/E1000
financé par le programme Interreg Sudoe, Union Européenne