



Rapport technique d'expérimentation - Viticulture - 2022

Efficacité de substances alternatives au cuivre pour le contrôle du mildiou de la vigne en agriculture biologique

Expérimentation en conditions semi-contrôlées en parcelle commerciale

Code Grab	V22 AURA 0332
Date	Février 2023
Auteurs	Parveaud, Claude-Éric (GRAB) ; Le Pans, Mathilde (stagiaire GRAB)
Contributeurs	Juan Ferreyra et Nicolas Fermont (Cave de Die Jaillance)
Financiers	FranceAgriMer - Territoire d'Innovation France 2030
Crédits Photo	Parveaud Claude-Éric
Droit d'usage	Licence Creative Commons CC BY SA
Contact	Claude-Éric Parveaud

Pour citer ce document :

Parveaud C.-E., Le Pans M., 2023. Efficacité de substances alternatives au cuivre pour le contrôle du mildiou de la vigne en agriculture biologique. Rapport technique d'expérimentation 2022 Grab. Février 2023. 11 p.



Résumé

Plusieurs stratégies alternatives au cuivre ont été évaluées dans un vignoble commercial biologique de cépage Muscat petit grains, en collaboration la Cave de Die Jaillance. Les stratégies testées sont basées sur une application précoce (stade 2/3 feuilles allongées) de produits de biocontrôle ou d'extraits de plantes. Le dispositif est constitué de 8 modalités et 6 répétitions. Les conditions climatiques très sèches en 2022 ont limité le développement du mildiou. La brumisation artificielle a permis le développement du mildiou dans le dispositif. L'intensité des dégâts sur feuilles avant vendange est de 10% sans traitement, 1% en utilisant une protection cuprique dès le début de saison (2,3kg Cu métal / saison). Sur grappes, l'intensité des dégâts est de 6% sans traitement, 0,5% avec une protection cuprique dès le début de saison. Dans ces conditions, l'application de Romeo® et/ou de Limocide® n'améliore pas significativement le contrôle du mildiou par rapport au témoin non traité. Il en est de même pour l'application alternée de Salix® et Arvense®. Le Limocide® ayant un effet asséchant, les conditions de son évaluation ne sont pas optimales (année sèche, très peu de contaminations naturelles). L'interprétation agronomique des résultats est délicate en raison d'un niveau de pression faible et hétérogène.

Mots clés :

Mildiou – vigne – *Plasmopara viticola* – cuivre – Romeo® - Limocide® - Prêle – *Equisetum* – Saule - *Salix* – Arvense® - *Salix*®

1 – ENJEUX ET CONTEXTE

Les inconvénients du cuivre en viticulture

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

Teneurs et toxicité du cuivre dans les sols viticoles

Les teneurs en cuivre total des sols viticoles sont très variables en raison de l'historique d'usage du cuivre et de la nature du sol. En France, des valeurs entre 57 et 1 500 mg/kg ont été mesurées (Lamichhane *et al.*, 2018). En 2016, les quantités moyennes de cuivre métal utilisées en viticulture biologique et conventionnelle sont de 2,6 et 1,3 kg/ha/ saison, respectivement (ANSES 2022).

La toxicité du cuivre dans le sol est fonction de sa biodisponibilité, qui dépend surtout de la teneur en cuivre total (résultant de l'historique parcellaire), mais également des teneurs en carbone total et en particules fines (Anatole-Monnier, 2014). Plus sensibles aux métaux lourds que les autres organismes du sol, les micro-organismes réagissent en premier à une augmentation des teneurs en cuivre du sol : diminution de la biomasse microbienne et de son activité, modification des communautés microbiennes. Les macro-organismes peuvent également être affectés, notamment par une diminution des populations de vers de terre (Lamichhane *et al.*, 2008).

Recherche d'alternatives au cuivre..

Le GRAB contribue à la recherche d'alternative à l'utilisation du cuivre en viticulture biologique, en collaboration avec des acteurs de l'expérimentation et les professionnels de la filière viticole. Entre 2007 et 2020, le Grab a évalué 41 substances alternatives au cuivre à différentes concentrations, sur une ou plusieurs années, avec différents adjuvants, correspondant à un total de 64 modalités alternatives

différentes. Plusieurs critères ont conduit à retenir ces substances : intérêt du mode d'action, expérimentations ayant donné des résultats encourageants, substances utilisées par des viticulteurs, disponibilité importante dans la zone d'étude.

... en condition méditerranéenne

Un débourrement de plus en plus précoce de la vigne a été observé en contexte méditerranéen, propice à des contaminations de pathogènes de plus en plus tôt en saison. L'avance de la végétation est de l'ordre de 15 à 21 jours par rapport aux stratégies conseillées dans les années 2000. Lorsque les conditions interviennent précocement, les températures sont généralement plus élevées qu'habituellement, souvent accompagnées d'épisodes pluvieux à caractère orageux, permettant un développement rapide et précoce du mildiou.

2 – OBJECTIF

L'objectif de l'expérimentation mise en place en plein champ 2022 consiste à évaluer l'intérêt d'application précoce d'alternatives au cuivre afin de limiter son usage en cours de saison. Les substances alternatives au cuivre testées sont le Roméo®, le Limocide®, des extraits de Prêle et de Saule.

3 – METHODOLOGIE

Localisation et environnement

- Parcelle commerciale conduite en agriculture biologique
- Localisation à Espenel dans le Diois (Drôme).
- Cépage : Muscat petit grain
- Année de plantation : 2002
- Distance de plantation : 2,3 x 0,9 m
- Parcelle en pente orientée Est ; localisée près d'une rivière
- Parcelle ayant une sensibilité connue au mildiou

Dispositif expérimental

- Dispositif constitué de 8 modalités et 6 blocs (figure 1). La parcelle expérimentale est la partie sud d'une parcelle de plus grande taille. Les blocs sont disposés perpendiculairement à la pente (bloc 1 en bas de pente). Chaque bloc comprend 8 modalités.
- Chaque parcelle élémentaire est composée de 8 à 9 ceps. Il y a 6 parcelles élémentaires par modalité. Chaque parcelle élémentaire est encadrée à ses deux extrémités par 2 à 3 ceps non traités afin de favoriser un développement homogène du mildiou sur la parcelle.

	A	B	C	D	E	F	G	H	
	4	7	3	8	5	6	2	1	Bloc 6
	2	5	1	6	4	8	3	7	Bloc 5
	1	4	5	3	6	7	8	2	Bloc 4
	7	8	6	2	1	5	4	3	Bloc 3
	6	2	4	5	3	1	7	8	Bloc 2
	8	3	7	1	2	4	6	5	Bloc 1
	A	B	C	D	E	F	G	H	
Modalités			1	2	3	4	5	6	7
			1	2	3	4	5	6	7
			2	3	4	5	6	7	8
			3	4	5	6	7	8	
			4	5	6	7	8		
			5	6	7	8			
			6	7	8				
			7	8					
			8						

Figure 1 : Plan de la parcelle expérimentale en 2020. Les parcelles élémentaires sont séparées par 2 à 3 ceps non traités. TNT : témoin non traité.

Modalités testées

Les 8 modalités évaluées en 2022 sont détaillées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Doses de cuivre et de produits alternatifs employées lors de chaque application. La modalité n°7, non mentionnée dans le tableau, est le témoin non traité.

Modalités	1	2	3	4	5	6	8	
	Cu sem 12	Cu sem 11	Cu sem 1	Romeo	Limocide	Romeo+ Limocide	Prêle	Saule
Produits	Kocide 2000 (35%Cu)	Kocide 2000 (35%Cu)	Kocide 2000 (35%Cu)	Romeo®	Limocide®	Limocide® + Romeo®	Equisetum	SALIX
Substance active	hydroxyde de cuivre	hydroxyde de cuivre	hydroxyde de cuivre	cerevisane	huile essentielle d'orange douce	huile essentielle d'orange douce + cerevisane	prêle	saule
Doses/ha/date	06/05		120 gCu/ha	37,5g/ha	1,2L/ha	0,8% + 250g/1000L	5L/ha	
	13/05		120 gCu/ha	37,5g/ha	1,2L/ha	0,8% + 250g/1000L		5L/ha
	19/05		160 gCu/ha	37,5g/ha	1,2L/ha	0,8% + 250g/1000L	5L/ha	
	25/05		280 gCu/ha	37,5g/ha	1,2L/ha	0,8% + 250g/1000L		5L/ha
	02/06		320 gCu/ha	250g/ha	1,2L/ha	0,8% + 250g/ha	5L/ha	
	13/06		280 gCu/ha	250g/ha	1,2L/ha	0,8% + 250g/ha		
	17/06		280 gCu/ha	250g/ha	1,2L/ha	0,8% + 250g/ha		5L/ha
	23/06		240 gCu/ha	250g/ha	1,2L/ha	0,8% + 250g/ha	5L/ha	
	07/07		240 gCu/ha	240 gCu/ha	250g/ha	1,2L/ha	0,8% + 250g/ha	
15/07	240 gCu/ha	240 gCu/ha	240 gCu/ha	250g/ha	1,2L/ha	1,2L + 250g/ha	5L/ha	
Somme des doses	0,24kgCu/ha	0,48kgCu/ha	2,28kgCu/ha	1,65kg/ha	12L/ha	12L/ha + 1,65kg/ha	25L/ha + 20L/ha	

Le volume de bouillie pulvérisé est de 150 L/ha pour toutes les modalités. Les pulvérisations sont réalisées avec un atomiseur à dos (modèle Solo 450). Le débit du pulvérisateur a été vérifié en début de saison.

La préparation de la bouillie a été réalisée sur le terrain avant la réalisation des traitements. Le pH de l'eau n'a pas été ajusté.

Le nom et la composition des produits utilisés sont décrits dans le tableau 2.

Tableau 2 : Formulation, composition et effets attendus des produits commerciaux testés.

	Kocide 2000®	Romeo®	Limocide®	Arvense®	Salix®
Fournisseur	Certis	Basf	Vivagro SARL	Biovitis	Biovitis
Formulation	Poudre	Poudre	Micro-émulsion	Liquide	Liquide
Composition	35% hydroxyde de Cu	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	60 g/L huile essentielle d'orange douce	Extrait de Prêle pH=4,5*	Extrait de Saule pH=4,5*
Effet attendu	Fongicide/fongistatique	Fongicide* SDP	Fongicide par effet desséchant	Fongicide par effet desséchant	Fongicide SDP

* donnée issue de la fiche des données de sécurité du produit correspondant

Les produits ont été choisis par les partenaires du projet Biovimed et intégrés dans des stratégies communes afin de permettre des comparaisons entre les différents sites.

Stratégies testées

La stratégie de l'expérimentation est d'évaluer l'intérêt d'une application précoce de produits de biocontrôle afin de limiter l'usage du cuivre. Les premières applications ont été réalisées au stade 2/3 feuilles étalées.

Les doses de cuivre utilisées ont été raisonnées à partir des préconisations Decitrait :

- -20% de la dose préconisée par Decitrait entre la première application jusqu'à une semaine après la sortie des premières taches de mildiou
- 100% de la dose Decitrait ensuite.

La cadence de renouvellement des applications est la suivante :

- Pendant la phase d'application des produits de biocontrôle (jusqu'à une semaine après la sortie des premières taches de mildiou), le renouvellement est réalisé tous les 7 jours, ou après un lessivage par une pluie supérieure à 15mm
- Après la généralisation de l'utilisation du cuivre sur toutes les modalités (une semaine après la sortie des premières taches de mildiou et au-delà), le renouvellement est réalisé tous les 10 jours, ou après un lessivage par une pluie supérieure à 20mm.

Étant donné le très faible développement du mildiou en raison des conditions climatiques très sèches, les produits de biocontrôle ont été maintenus jusqu'à la fin de la saison (10 applications). L'application de cuivre généralisé sur toute la parcelle n'a pas été réalisé.

Conduite de la parcelle

La conduite de la parcelle (entretien du sol, protection phytosanitaire, fertilisation, taille, etc.) respecte le cahier des charges de l'Agriculture Biologique. Hormis le programme de protection contre le mildiou, les opérations culturales sont identiques sur l'ensemble de la parcelle expérimentale. Les traitements au soufre mouillable pour contrôler l'oïdium sont identiques entre les modalités et sont précisés dans le tableau 3.

Tableau 3 : Nature et dosage des traitements anti-oïdium réalisés sur la parcelle expérimentale en 2022. Aucun poudrage n'a été réalisé en 2022. Le soufre mouillable a été appliqué à un volume de 150 L/ha.

Date	Nature du produit	Dose
02/06/22	Microthiol	10 Kg / ha

13/06/22	Microthiol	10 Kg / ha
17/06/22	Microthiol	10 Kg / ha
23/06/22	Microthiol	10 Kg / ha
07/07/22	Microthiol	10 Kg / ha
15/07/22	Microthiol	10 Kg / ha

Brumisation et inoculation

La station de brumisation de la parcelle a été mise en fonctionnement du 24/06 au 21/07 (27 jours consécutifs). La brumisation a été réalisée durant la nuit de 4h00 à 7h00. La séquence de brumisation est la suivante : brumisation sur deux rangs pendant 7mn, arrêt de 8mn (remplissage cuve), brumisation de 7 min des 2 rangs suivants, etc., soit 1h pour un cycle complet comprenant les 4 vannes et 8 rangs, répété 4 fois jusqu'à 7h00. Le temps de brumisation théorique est de 7 min, mais la mise en pression du réseau dure approximativement 1min 30s : le temps de brumisation réel est donc de 5min 30s x 4 cycles = 22 min / nuit. Le volume d'eau théorique apporté par nuit est de 6,2mm (calcul basé sur le débit des brumisateurs).

Aucune inoculation artificielle de mildiou n'a été réalisé en 2022.

Variables agronomiques mesurées

Des contrôles visuels sur le terrain ont été réalisés :

- Notation sur feuilles : fréquence (% de feuilles touchées) et intensité d'attaque (% de la surface touchée). Comptage sur 49 feuilles par parcelle élémentaire (7 feuilles x 7 ceps), soit 294 feuilles / modalité.
- Notation sur grappes : fréquence (% de grappes touchées) et intensité d'attaque (% de la surface touchée). Comptage sur 35 grappes par parcelle élémentaire (5 grappes x 7 ceps), soit 210 grappes / modalité.

Analyse des données

L'intensité et la fréquence des symptômes de mildiou observés sur feuille et sur grappe ont été analysées par analyse de variance en utilisant le logiciel R (4.0.3) par ANOVA si les conditions d'utilisation le permettait, ou par le test non-paramétrique de Kruskal-Wallis sinon, en retenant une valeur seuil de 5%.

L'analyse AUDPC permet de quantifier les dégâts sur l'ensemble de la saison, depuis l'apparition des premières taches jusqu'à la dernière date d'observation.

4 – RESULTATS

Conditions climatiques, risque d'infection et réalisation des traitements

Durant la saison 2022, 10 applications ont été réalisées pour le contrôle du mildiou. Le nombre de traitement, les quantités annuelles de cuivre sont précisés dans le tableau 1. Les vendanges de la parcelle ont eu lieu le 17/08/22.

Dans la parcelle expérimentale, la première tache de mildiou sur feuille a été observée le 13/06/22 (tache isolée non sporulant). Les taches suivantes ont été observées le 23/06, localisée dans le haut de la parcelle (blocs 5 et 6).

La brumisation a été maintenue 27 jours après la sortie des premières taches (figure 2). Elle a permis le développement du mildiou, d'abord dans la partie haute de la parcelle, puis jusqu'en bas de la parcelle, mais de manière hétérogène. Le dispositif en bloc a fortement limité l'effet de cette hétérogénéité dans l'analyse des résultats.

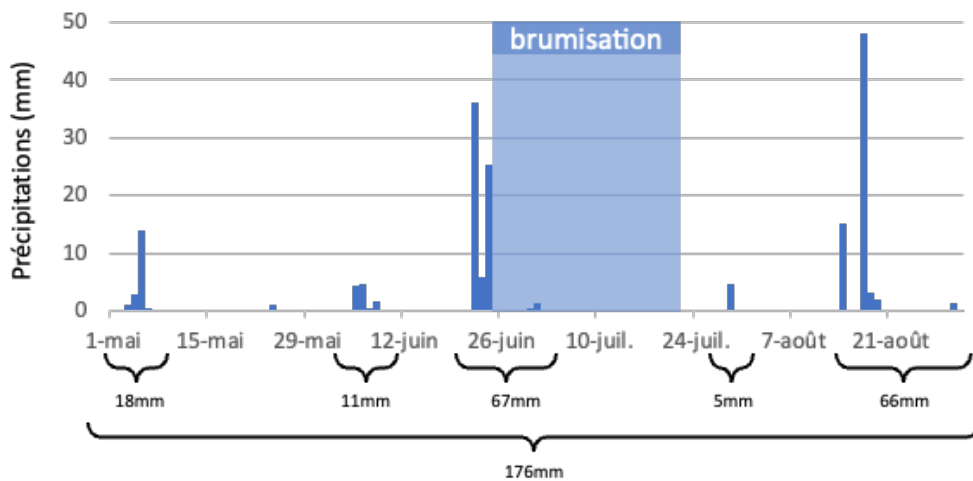


Figure 2 : Précipitations enregistrées entre le 01/05/22 et le 31/08/22 sur la parcelle expérimentale et durée de la période de brumisation de la parcelle. Station iMetos IMT200 (PESSL®) localisée à 25m de la parcelle expérimentale.

Les risques de contamination de mildiou (sans prendre en compte la brumisation) ont été évalués grâce au modèle Decitrait (figure 3). L'essentiel des risques de contamination d'origine naturel estimé par le modèle se concentre début mai, vers le 22 juin et vers le 20 août (vendange). Les risques sont d'intensité limités.

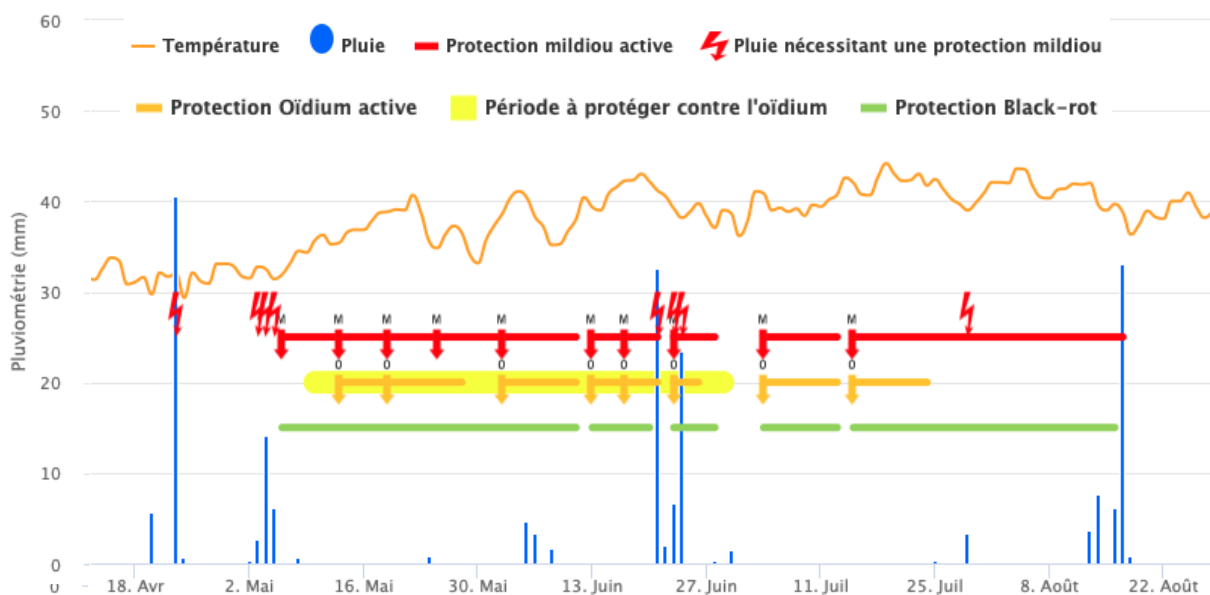


Figure 3 : Risques de contamination mildiou estimés sur la parcelle expérimentale par le modèle Decitrait (IFV). Le modèle utilise les données météorologiques fournies par le modèle. NB : Ces données ne prennent pas en considération les risques de contamination liées à la brumisation.

Intensité des dégâts sur feuilles

Le 08/08, 9 jours avant les vendanges, l'intensité des dégâts sur feuilles varie entre 1% (Cu 1 sem) et 13% (Prêle/Saule) (figure 4). L'intensité des dégâts de mildiou sur feuilles observée dans les modalités basées sur l'utilisation de produits alternatifs au cuivre, et des modalités Cu sem 11 et Cu sem 12 (utilisation de cuivre en fin de saison) n'est pas significativement différente de celle du traitement.

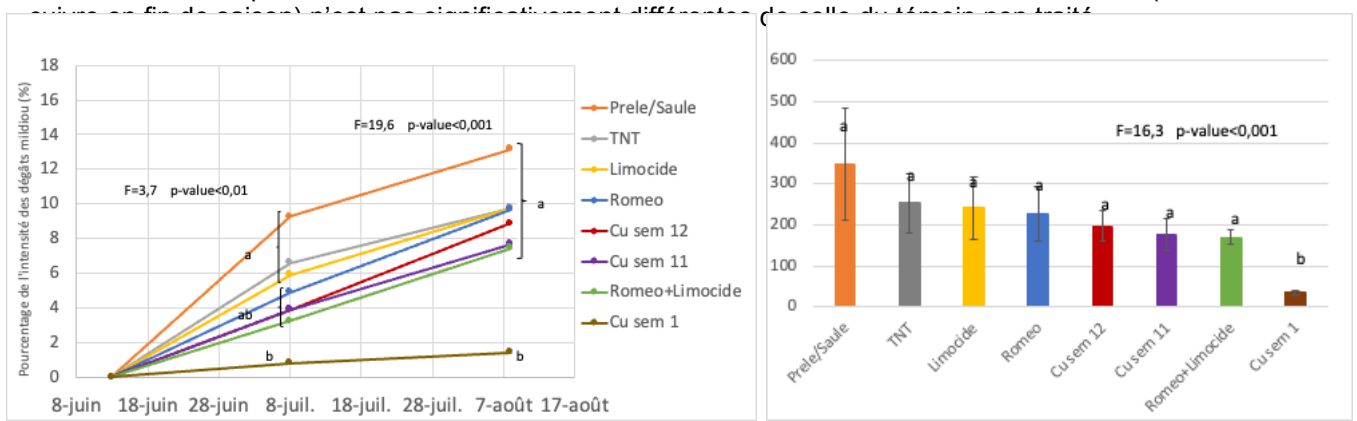


Figure 4 : Évolution de l'intensité moyenne des dégâts de mildiou sur feuilles en pourcentage (gauche) et AUDPC moyenne de l'intensité des dégâts sur feuilles entre le 13/06/2022 et le 08/08/2022 (droite).

Fréquence des dégâts sur feuilles

La fréquence moyenne des dégâts observés sur feuilles le 08/08 varie entre 13% (Cu sem 1) et 69% (TNT) (figure 5). La fréquence des dégâts de mildiou sur feuilles des modalités basées sur l'utilisation de produits alternatifs au cuivre, et des modalités Cu sem 11 et Cu sem 12 (utilisation de cuivre en fin de saison) n'est pas significativement différentes de celle du témoin non traité.

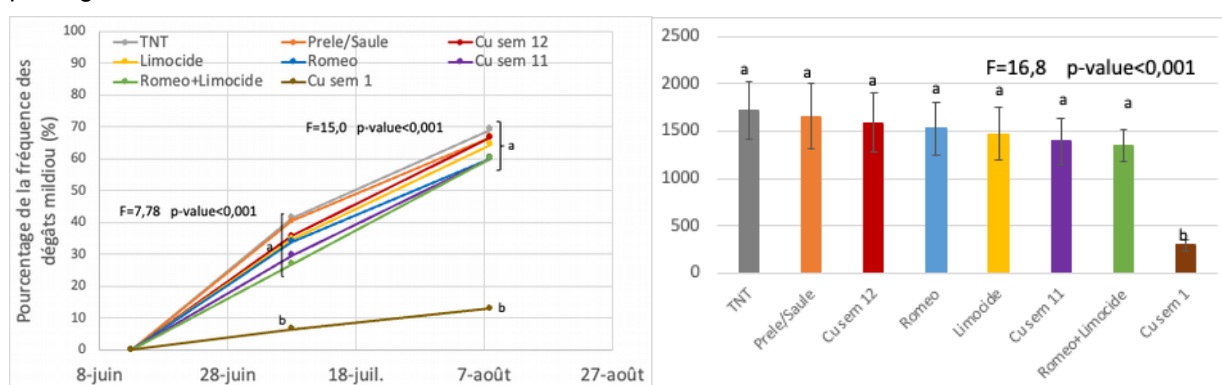


Figure 5 : Évolution de la fréquence moyenne des dégâts de mildiou sur feuilles en pourcentage (gauche) et AUDPC moyenne de la fréquence des dégâts sur feuilles entre le 13/06/2022 et le 08/08/2022 (droite).

Intensité des dégâts sur grappes

Le 08/08, l'intensité des dégâts sur grappes varie entre 0,5% (Cu 1 sem) et 15% (Prêle/Saule) (figure 6). L'intensité des dégâts de mildiou sur grappes observé sur les modalités basées sur l'utilisation de produits alternatifs au cuivre, et des modalités Cu sem 11 et Cu sem 12 (utilisation de cuivre en fin de saison) n'est pas significativement différentes de celle du témoin non traité. A cette date, la modalité Romeo+Limocide n'est pas significativement différente des trois modalités à base de cuivre (Cu sem 1, Cu sem 11, Cu sem 12).

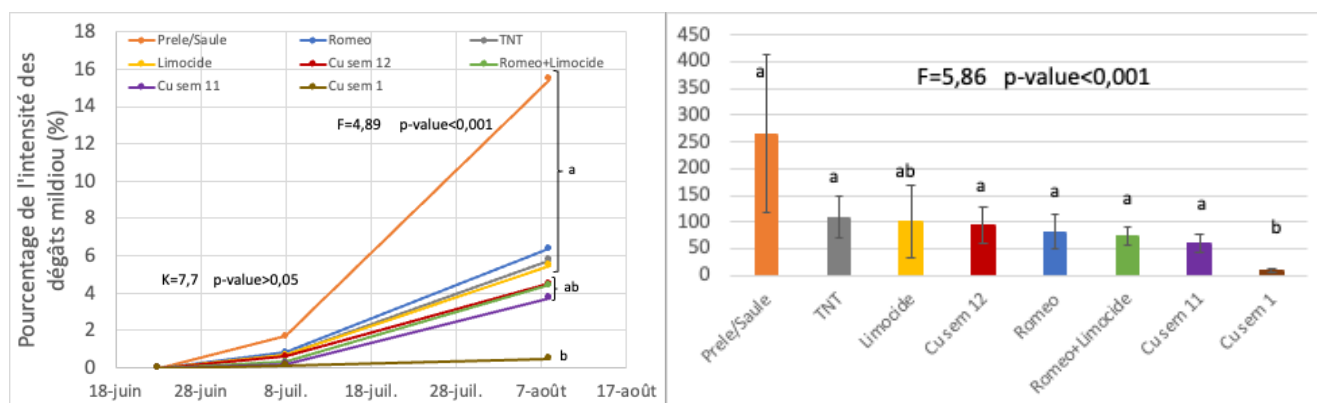


Figure 6 : Évolution de l'intensité moyenne des dégâts de mildiou sur grappes en pourcentage (gauche) et AUDPC moyenne de l'intensité des dégâts sur grappes entre le 13/06/2022 et le 08/08/2022 (droite).

Fréquence des dégâts sur grappes

La fréquence moyenne des dégâts observés sur grappes le 08/08 varie entre 7% (Cu sem 1) et 40% (Prêle/Saule) (figure 5), elle est inférieure à celle observée sur les feuilles. La fréquence des dégâts de mildiou sur grappes des modalités basées sur l'utilisation de produits alternatifs au cuivre, et des modalités Cu sem 11 et Cu sem 12 (utilisation de cuivre en fin de saison) n'est pas significativement différentes de celle du témoin non traité.

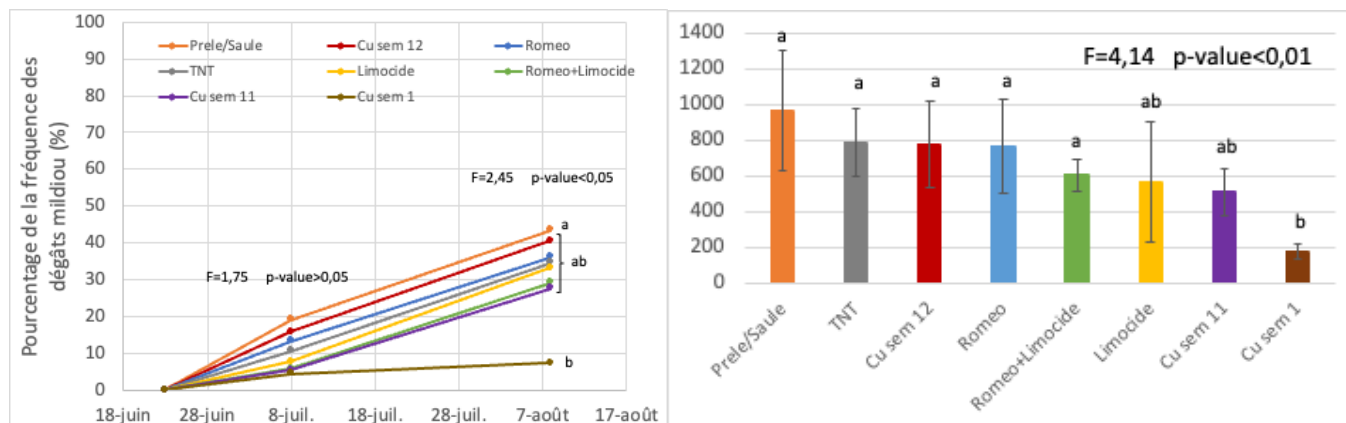


Figure 7 : Évolution de la fréquence moyenne des dégâts de mildiou sur grappes en pourcentage (gauche) et AUDPC moyenne de la fréquence des dégâts sur grappes entre le 13/06/2022 et le 08/08/2022 (droite).

5 - CONCLUSION

Entre le 1er mai et le 31 août, le cumul des précipitations enregistrées sur la parcelle expérimentale est de 176mm, dont 48 mm le soir des vendanges. Le cumul des précipitations atteint mi-juillet à Die était d'environ 240mm en 2022, il était de 450mm sur la moyenne 2003-2021.

La brumisation a été maintenue 27 jours après la sortie des premières taches. Elle a permis le développement du mildiou, d'abord dans la partie haute de la parcelle, puis jusqu'en bas de la parcelle, mais de manière hétérogène. Le dispositif en bloc a fortement limité l'effet de cette hétérogénéité dans l'analyse statistiques des résultats.

Le protocole initial a été initialement conçu pour évaluer l'efficacité de produits de biocontrôle en début de saison. Étant donné la très faible pression mildiou observée en 2022, celui-ci a dû être modifié en cours de saison : les produits de biocontrôle ont été appliqués jusqu'en fin de saison.

Nous pouvons retenir qu'au 8 août :

- Sur feuilles, l'intensité des dégâts est de 10% sans traitement, 1% en utilisant une protection cuprique dès le début de saison (2,3kg Cu métal / saison). Sur grappes, l'intensité des dégâts est de 6% sans traitement, 0,5% avec une protection cuprique dès le début de saison. Le niveau de pression est donc très faible.
- Dans ces conditions, l'application de Romeo® et/ou de Limocide® n'améliore pas significativement le contrôle du mildiou par rapport au témoin non traité. Le Limocide® ayant un effet asséchant, les conditions de son évaluation dans ces conditions ne sont pas optimales.
- De même, l'application alternée de d'extrait de Prêle et de Saule n'améliore pas significativement le contrôle du mildiou par rapport au témoin non traité.
- L'interprétation des résultats reste délicate en raison d'un niveau de pression faible et hétérogène.

REMERCIEMENTS

Le GRAB remercie le GAEC Les Trois Vrilles (Simon Serre, Marion Vanel, Clément Delage) pour la mise à disposition de la parcelle de vigne ainsi que la Cave de Die Jaillance pour la gestion de la station de brumisation et son appui technique en cours de saison.

Cette action a reçu le soutien financier de :

- Territoire d'Innovation Biovallée (TIB), dans le cadre du projet « Développer le réseau « d'agri chercheurs » en pratiques innovantes »
- FranceAgriMer, dans le cadre du projet BIOVIMED (2022-2024) « Le BIOcontrôle en Vignoble MEDiterranéen : stratégies innovantes d'intégration en lien avec les particularités du climat méditerranéen ».

Territoires d'Innovation – Biovallée, un programme co-piloté par :

