

Marc CHOVELON, Ingénieur d'expérimentation en viticulture bio au GRAB, assisté par Elsie MOORE stagiaire.

Alternatives au cuivre contre le mildiou de la vigne: Utilisation d'extraits de bourdaine et de rhubarbe



Figure 1: « Taches d'huile » d'une sur la face supérieure d'une feuille de vigne

Figure 2: Duvet blanchâtre sur la face inférieure d'une feuille de vigne



Bourdaine



Rhubarbe



La recherche d'alternatives au cuivre est un défi actuel majeur pour la viticulture. Il est nécessaire de trouver des solutions pour éviter l'utilisation du cuivre sans exposer le vignoble à des risques trop importants. L'objectif de cet essai est donc de diminuer les quantités de cuivre employées concernant le mildiou, en testant l'efficacité de l'écorce de bourdaine et de racines de rhubarbe séchées, capables de stimuler les défenses naturelles de la plante qui peut alors se défendre contre le bio agresseur.

Cet essai se déroule sous ombrière en conditions semi-contrôlées sur deux cépages sensibles au mildiou : le muscat de Hambourg et le Grenache blanc avec pour but d'optimiser l'efficacité de la rhubarbe et de la bourdaine à différentes doses en variant les durées de macération de 30 minutes et 24 heures, en association ou non avec du cuivre.

Partie 1 : Matériel et méthodes

1.1 Mise en place de l'essai

1.1.1 Matériel végétal

L'essai est réalisé sur deux cépages : le Muscat de Hambourg, et le Grenache blanc connus pour leur sensibilité au mildiou. Certains plants sont déjà présents sous l'ombrière. Pour avoir le nombre de plants suffisant, d'autres ont été plantés avant l'essai. Tous les plants n'ont donc pas le même âge. Ils sont plantés en pots individuels de 4 litres, contenant du terreau enrichi avec de l'engrais azoté puis tuteurés. Au départ, l'expérimentation devait disposer de 204 plants de Muscat de Hambourg, et de 204 plants de Grenache blanc, répartis en 3 blocs chacun. Cependant, certains pieds de vigne plantés n'ont pas débouffés, beaucoup d'autres se sont desséchés pour des raisons inconnues. Nous aurons donc dans cet essai moins de Grenache blanc que de Muscat de Hambourg, ce qui nous a conduits à réadapter le plan d'essai prévu.

1.1.2 Dispositif expérimental

L'essai a été mis en place selon un dispositif en blocs de 7 répétitions, soit 4 répétitions pour le Muscat de Hambourg et 3 répétitions pour le Grenache blanc. Dans chaque bloc, toutes les modalités sont randomisées et représentées une fois. Chaque unité expérimentale représente une modalité constituée de deux ceps. Pour cet essai, les modalités utilisées sont presque uniquement d'origine végétale :

- **Témoin Non Traité** : Il permet d'évaluer l'efficacité des produits testés par rapport à une absence de traitement, ainsi que d'apprécier la pression de mildiou dans l'essai expérimental.
- **Cuivre** : Les modalités Cuivre servent de référence à l'expérimentation. C'est la stratégie généralement suivie par les agriculteurs, et préconisée par les services techniques. De plus, c'est le seul produit permettant la maîtrise de *Plasmopara viticola* tout au long de la période végétative, il devrait donc figurer parmi les modalités les plus efficaces. Pour cet essai, deux références cuivre ont été choisies : 100 g/ha et 600 g/ha. La dose de 100 g/ha permet d'évaluer les produits alternatifs mélangés à une faible dose de cuivre, et la dose 600 g/ha est utilisée pour comparer l'efficacité des produits alternatifs seuls.

- **Bourdaïne:** Elle stimulerait la vigne uniquement en cas d'attaque du pathogène. En effet, l'extrait de bourdaïne aurait un effet déclencheur sur les mécanismes de défense naturelle de la vigne, ce qui signifie que l'activation de ces mécanismes ne se produit qu'en cas d'infection par le mildiou (Gindro *et al*, 2007).
- **Rhubarbe:** Elle stimulerait la plante dès son application sans déclencher les mécanismes de défense naturelle de la plante. L'application de ces extraits sur le feuillage de vignes sensibles à *Plasmopara viticola*, devrait inhiber le développement du pathogène (Gindro *et al*, 2007).

Dans cet essai, on veut tester l'écorce de bourdaïne, et les racines de rhubarbe séchées à différentes concentrations et différents temps de macération.

Pour le Muscat de Hambourg, il y a 23 modalités, soit 46 plants par bloc, ce qui fait 184 plants de vigne pour ce cépage. Pour le Grenache blanc, il y a 10 modalités, soit 20 plants par blocs, donc 60 plants. Le dispositif de cette expérimentation a été engendré par le logiciel Statbox® qui permet par la suite d'effectuer les tests statistiques. Les modalités sont établies selon le tableau 1, avec leurs dénominations simplifiées

Les modalités de référence sont : le TNT, le Cu100, et le Cu600.

	Muscat de Hambourg				Grenache	
	Bourdaïne		Rhubarbe		Bourdaïne	
	½ heure	24 heures	½ heure	24 heures	½ heure	24 heures
10g/l	B10		R10			
10g/l + Cu	B9		R9			
1g/l	B7	B8	R7	R8	B7	B8
1g/l + Cu	B5	B6	R5	R6	B5	B6
0.1g/l	B3	B4	R3	R4	B3	B4
0.1g/l + Cu	B1	B2	R1	R2	B1	B2
Témoin non traité	TNT				TNT	
Equivalent à 100g Cu/ha	Cu100				Cu100	
Equivalent à 600 g Cu/ha	Cu600				Cu600	

[Tableau 1: Modalités de l'essai et dénomination](#)

1.2 **Déroulement de l'essai**

La réalisation des traitements et de l'inoculum est effectuée avec de l'eau de forage car, contrairement à l'eau du robinet, elle ne contient pas de chlore qui pourrait influencer les résultats de l'essai par ses pouvoirs désinfectants.

1.2.1 Préparation de l'inoculum

Afin de s'assurer de la présence du champignon dans nos plants et donc de l'efficacité des produits testés, *Plasmopara viticola* doit être inoculé à nos plants. Les spores de ce champignon ont été prélevées sur des feuilles présentant les symptômes du mildiou, et recueillies dans de l'eau de forage. Ceci doit se faire maximum une heure avant l'inoculation pour éviter que les zoospores éclatent.

1.2.2 Préparations des solutions

Pour préparer les solutions, de l'écorce de bourdaine et des racines de rhubarbe séchées ont été broyées à l'aide d'un moulin à café, puis mélangées à de l'eau de forage à différentes concentrations selon les doses prévues dans le protocole. Les solutions des modalités ayant une macération de 24 heures ont dû être préparées la veille afin de réaliser les traitements au même moment. Dans les modalités concernées, 0.27g de cuivre ont été ajoutés (équivalent à 100g/ha Cu).

1.2.3 Traitements

Les traitements ont été effectués le 3 juillet. Lorsque les préparations ont atteint la durée de macération requise, les solutions sont filtrées puis transvasées dans les pulvérisateurs à main. Chaque plant a ensuite été traité par la solution qui lui est, principalement sur la face inférieure des feuilles pour une meilleure pénétration du produit.

1.2.4 Inoculation du mildiou

L'inoculation a été faite le 7 juillet, soit 4 jours après les traitements. Avant d'inoculer *Plasmopara viticola* aux plants, ceux-ci ont été brumisés quelques heures avant pour éviter que le champignon ne se dessèche à la surface de la feuille si celle-ci est trop sèche.

Chaque plant a été traité avec 5 ml d'inoculum, sur la face inférieure des feuilles pour que le champignon pénètre dans la plante par les stomates. Le système d'aspersion prendra le relais sur le système de goutte-à-goutte pour permettre au mildiou de rencontrer les conditions favorables à son développement. Il s'enclenche pendant 10 minutes toutes les heures

1.2.5 Observations et notations

Les observations commencent 3 jours après l'inoculation, puis sont effectués tous les 2 ou 3 jours sur l'ensemble des modalités. Pour chaque cep, 5 feuilles sont observées de façon aléatoire soit 10 feuilles par unité expérimentale. La proportion de taches d'huile est alors notée pour chacune de ces feuilles en termes de pourcentage d'occupation. Il y a eu 10 comptages.

1.2.6 Mesures et traitement des données

- Fréquence d'attaque : correspond au rapport entre le nombre de feuilles contaminées et le nombre total de feuilles observées.
- Intensité d'attaque : représente le pourcentage de surface moyenne contaminée. On estime la surface de feuille attaquée par rapport à la surface totale pour chaque feuille attaquée.
- AUDPC (Area Under Disease Progression Curve) : Il s'agit de l'aire située sous la courbe d'attaque du mildiou. Plus cette aire est grande, plus l'attaque est importante et moins le produit est efficace.

- **Analyses statistiques** : Afin de voir si les résultats obtenus sont significatifs, des analyses statistiques sont réalisées sous le logiciel StatBox® :
 - **ANOVA** (ou Analyse de Variance) : teste et compare les différences significatives entre les moyennes des modalités. Seuls les échantillons suivant une loi normale et possédant plus de 2 échantillons, peuvent faire l'objet d'une analyse de variance paramétrique.
 - **Test de Newman-Keuls** (à un seuil de 5%) : effectué après l'ANOVA, il permet de réaliser des groupes de moyennes, uniquement s'ils sont considérés comme significativement différents.

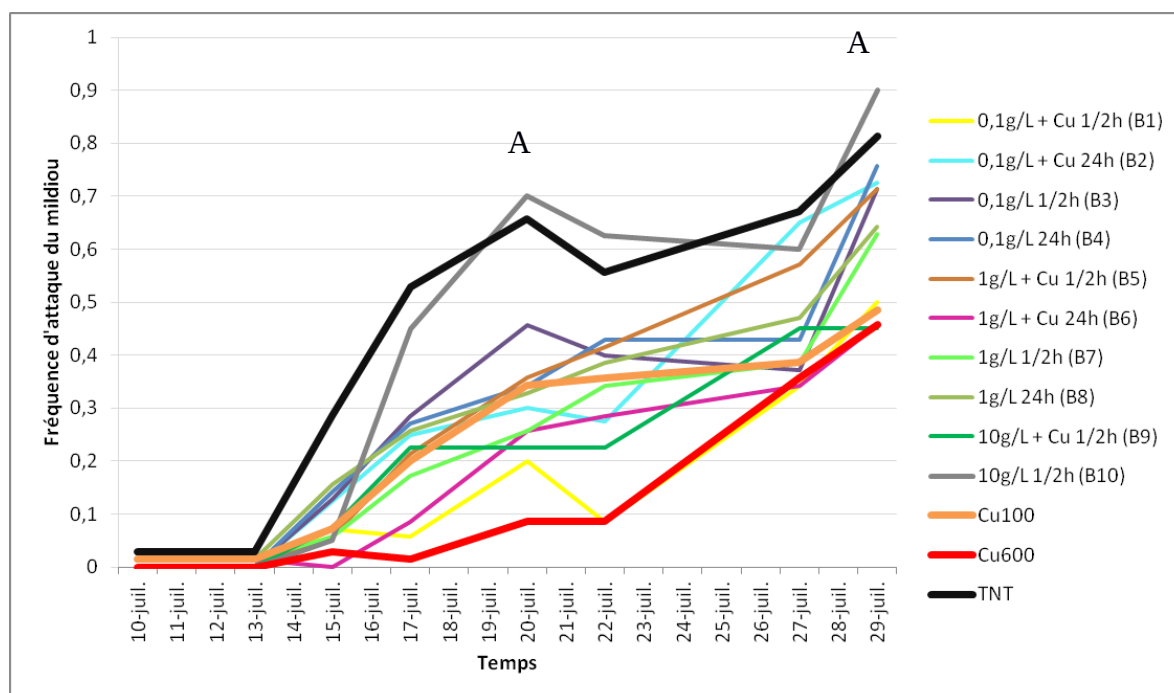


Figure 3 : Evolution de la fréquence d'attaque du mildiou en fonction du temps, après traitement à la bourdaine, associée à du cuivre ou non, à différentes concentrations, et à différents temps de macération. Test Newman-Keuls $p=0,05$.

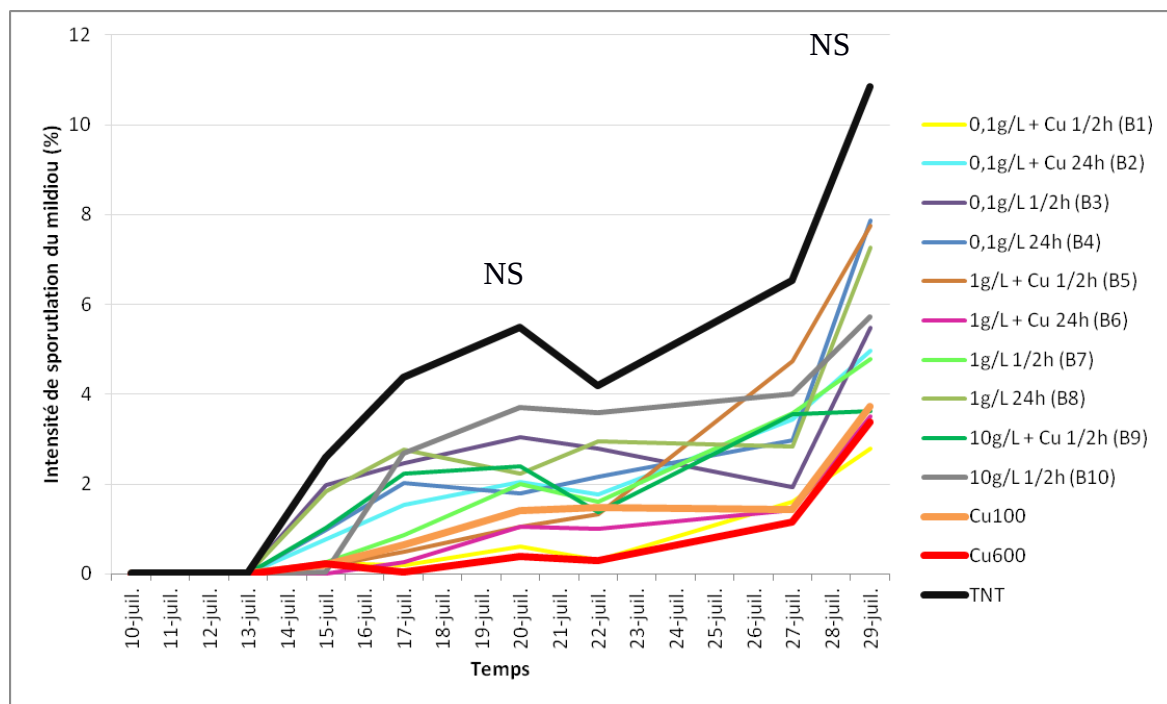


Figure 4: Evolution de l'intensité de sporulation du mildiou (%) en fonction du temps, après traitements à la bourdaine, associée ou non à du cuivre, à différentes concentrations, et à différents temps de macération. Test Newman-Keuls p=0,05.

Partie 2 : Résultats

2.1 Bourdaine

La figure 3 représente l'évolution de la fréquence d'attaque du mildiou après traitement à la bourdaine en fonction du temps pour les différentes modalités. Le 13 juillet, on peut voir que toutes les modalités ont vu le mildiou se développer, à l'exception de la modalité B6 où il se développe à partir du 15 juillet. A cette date, on peut distinguer 3 groupes : le premier est composé du TNT ; le deuxième des modalités B2, B3, B4 et B8 ; le troisième de Cu600, Cu100, B1, B5, B6, B7, B9 et B10. Le premier groupe est le plus touché, et le quatrième le moins touché. Le 20 juillet, 3 modalités se démarquent. Notamment, le TNT et B10 qui sont les modalités les plus impactées avec une fréquence de 0,7, mais aussi Cu600 qui avec une fréquence de 0,1 est la modalité la moins impactée. Le 22 juillet, la modalité B1 se démarque avec une fréquence de 0,1, et devient équivalente à Cu600. A la fin de l'essai, soit le 29 juillet, certaines modalités se démarquent légèrement avec une fréquence de 0,48. Il s'agit des modalités les moins touchées : Cu600, Cu100, B1 (0,1g/l + Cu 1/2h) et B9 (10g/L + Cu 1/2h). Au contraire, les modalités ayant une fréquence plus élevée sont les modalités les plus impactées. Il s'agit principalement du TNT, et de la modalité B10 (10g/L 1/2h) avec des fréquences respectives égales à 0,85, et 0,9, soit une différence de 0,4 avec celle des modalités les moins touchées. D'après le test de Newman Keuls, il y a un seul groupe noté A, aussi bien au début qu'à la fin de l'essai. Ceci signifie qu'il y a un problème au niveau du dispositif.

La figure 4 représente l'évolution de l'intensité de sporulation du mildiou après traitement à la bourdaine. Le mildiou commence à se développer pour certaines modalités le 13 juillet. Le 15 juillet, ces modalités se distinguent en 4 groupes : le premier est composé du TNT ; le deuxième des modalités B3 et B8, le troisième de B2, B4 et B9, et le quatrième: des modalités ne s'étant pas encore développées ou très peu (Cu600, Cu100, B1 B5, B6, B7, B10). Le 20 juillet, le mildiou

s'est développé pour toutes les modalités. Les groupes sont dissociés et ne peuvent être distingués les uns des autres. Cependant, le TNT reste démarqué avec une intensité de 5%. Le 29 juillet, les modalités les moins touchées sont B1 (3%), Cu600, B6 (1g/L + Cu 24h), Cu100, B9 (3,5% pour ces 4 derniers). A l'inverse le TNT dont l'intensité est à 11% est la modalité la plus touchée et la plus démarquée.

Les autres modalités se situent entre le TNT et les modalités les moins touchées, leur intensité étant entre 5% et 8%. Elles ont donc un effet contre le mildiou, mais pas assez par rapport aux références cuivre. Ces résultats sont simplement visuels car d'après le test de Newman-Keuls, il n'y a pas de différence significative entre les modalités.

2.2 Rhubarbe

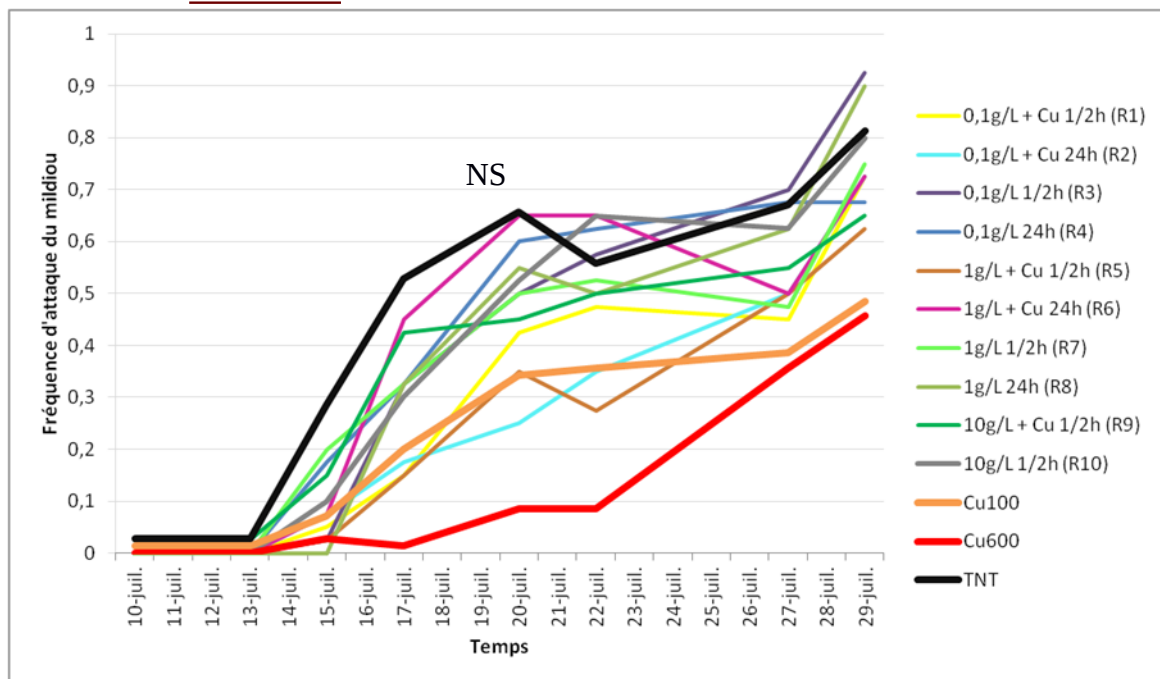


Figure 5: Evolution de la fréquence d'attaque du mildiou en fonction du temps, après traitements à la rhubarbe, associée ou non avec du cuivre, à différentes concentrations, et différents temps de macération. Test Newman-Keuls $p=0,05$.

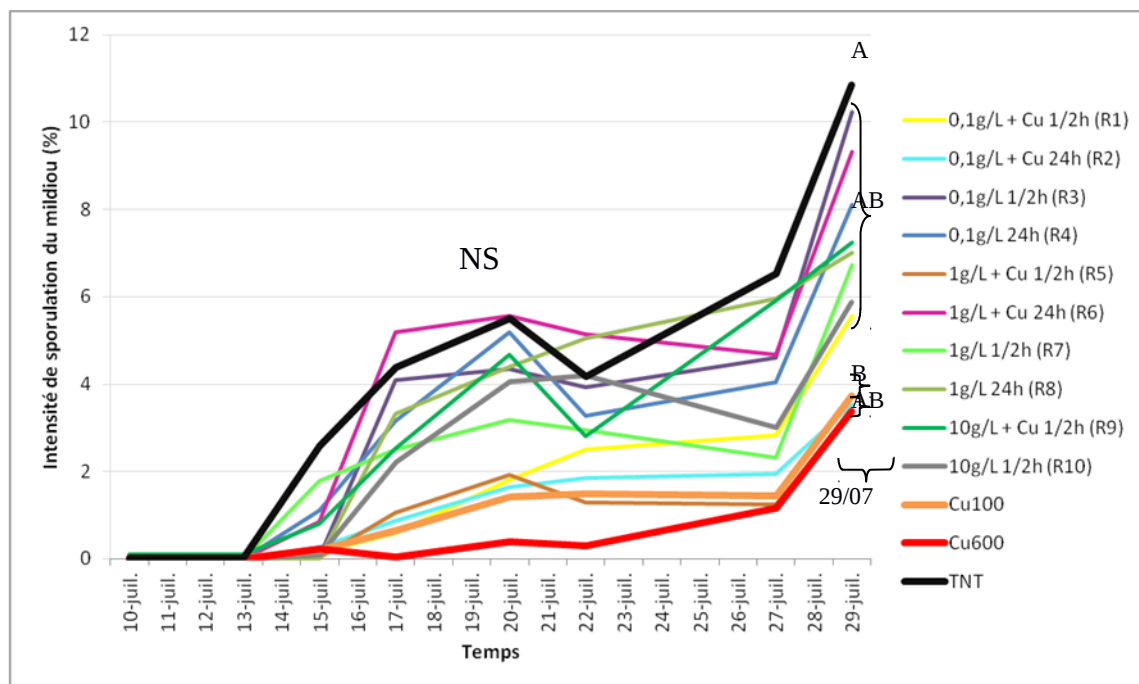


Figure 6: Evolution de l'intensité de sporulation du mildiou (%) en fonction du temps, après traitements à la rhubarbe, associée ou non avec du cuivre, à différentes concentrations, et à différents temps de macération. Test Newman-Keuls $p=0,05$.

La figure 5 représente l'évolution de la fréquence d'attaque du mildiou en fonction du temps après traitement à la Rhubarbe selon les différentes modalités. Le mildiou commence à se développer à partir du 13 juillet. Il y a formation de 3 groupes : TNT (le plus touché) / R4, R7, R9/ R1, R2, R3, R5, R6, R8, R10, Cu100 et Cu600 (les modalités les plus touchées). Le 15 juillet commence à se développer la modalité R8. Le 20 juillet, on observe 3 groupes : le premier comporte la modalité Cu600 la moins touchée et bien démarquée des autres (fréquence=0,1); le deuxième comporte les modalités: R2, R5 et Cu100 (fréquence = 0,35), et le troisième groupe qui est le plus impacté par le mildiou rassemble les autres modalités (R1, R3, R4, R6...R10) qui ont des fréquences situées entre 0,5 et 0,65. Le 29 juillet, Cu600 et Cu 100 sont les modalités les moins touchées (fréquence = 0,45). Les modalités les plus touchées sont les modalités R8, et R3 (fréquence=0,9). Soit le double de la fréquence des modalités les moins atteintes. Ces résultats sont uniquement visuels, car d'après le test statistique de Newman-Keuls, ces résultats ne sont pas significatifs.

La figure 6 représente l'évolution de l'intensité de sporulation du mildiou après traitement à la rhubarbe en fonction du temps selon les différentes modalités. Le mildiou commence à se développer à partir du 13 juillet pour certaines modalités (TNT, R4, R6, R7, R9) qui se divisent en 4 groupes : TNT/ R7/ R4, R6, R9/ et celui des modalités dont le mildiou ne s'est développé qu'à partir du 15 juillet (Cu600, Cu100, R1, R2, R3, R5, R7, R10). De nouveaux groupes se forment à partir du 17 juillet. Il s'agit de 3 groupes. Le premier (le moins touché): Cu600 ; le deuxième : Cu100, R1, R2, R5 ; et le troisième (le plus attaqué): tous les autres (R3, R4, R6,..., R10). Cependant, on peut voir à la fin de l'essai que des modalités du premier et du deuxième groupe se rejoignent. Il s'agit des modalités Cu600, Cu100, R5 (1g/L + Cu 1/2h), et R2 (0,1g/L + Cu 1/2h) avec une intensité de sporulation d'environ 3.5 %. Les modalités les plus touchées ont une intensité d'environ 11%. Il s'agit du TNT, et R3 (0.1g/l 1/2h). D'après le test de Newman-Keuls, Il n'y a pas de différence significative au 20 juillet, mais à la fin de l'essai le 29 juillet, on

distingue deux groupes, notés A ou B (AB pour les modalités faisant partie des deux groupes). Cette analyse statistique montre que le TNT (A) est significativement différent des modalités Cu100, R2 (0,1g/L + Cu 24h) et R5 (1g/L+ Cu 1/2h) (B).

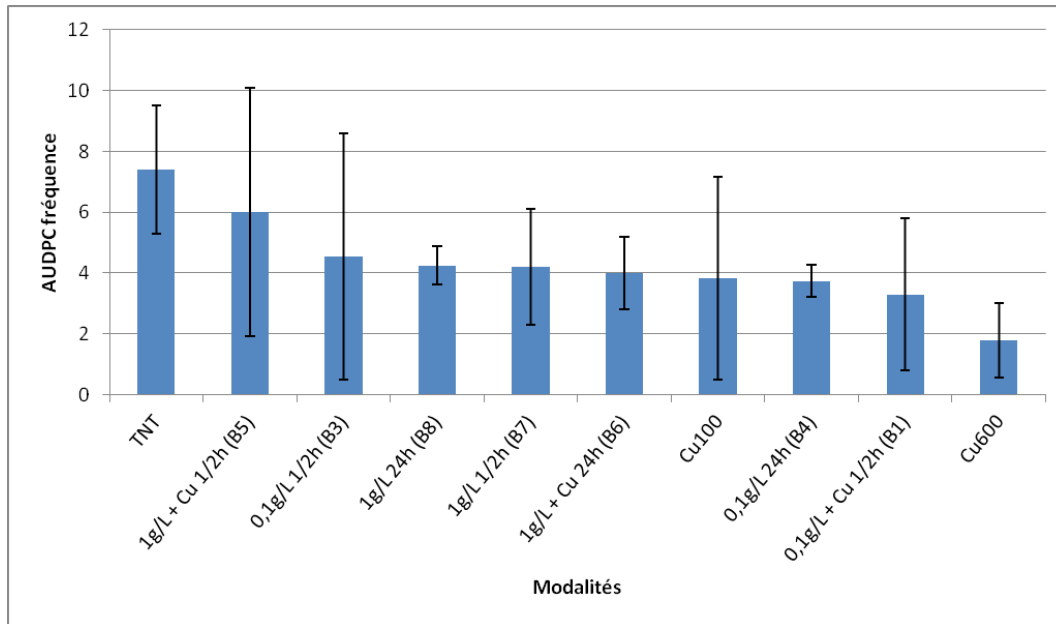


Figure 7: AUDPC de la fréquence d'attaque du mildiou en fonction des différentes modalités sur le Grenache blanc. Test Newman-Keuls $p= 0,05$.

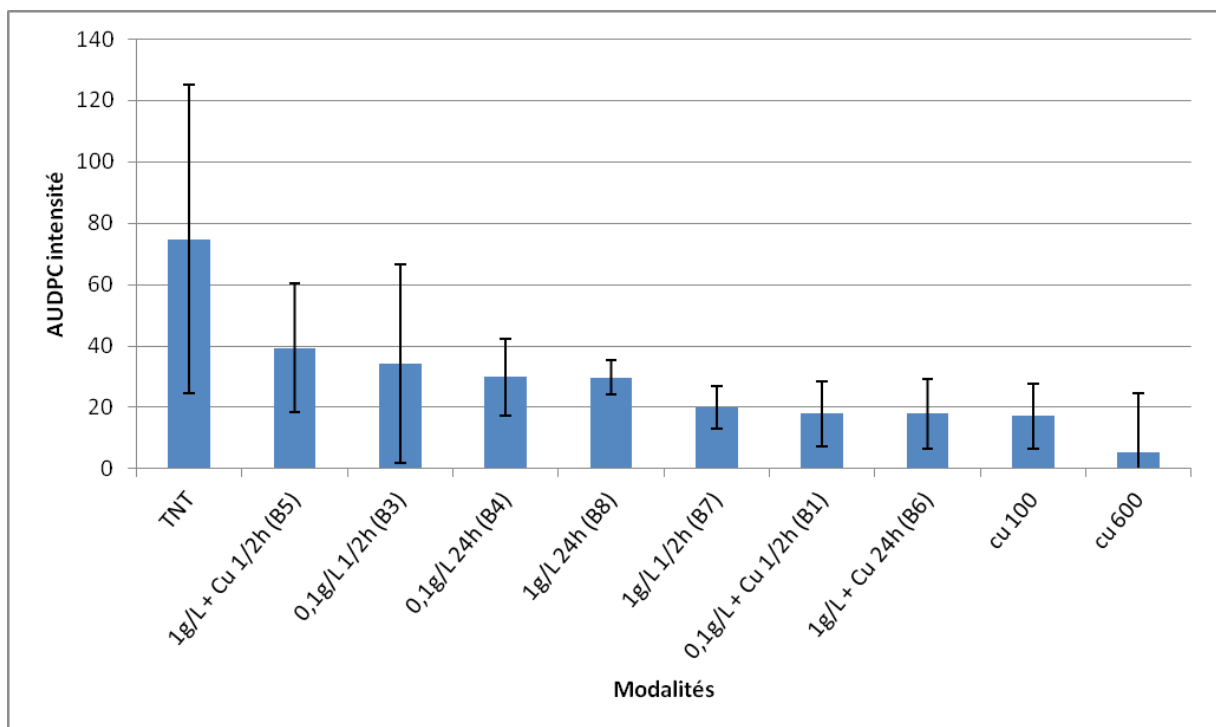


Figure 8: AUDPC de l'intensité de sporulation du mildiou en fonction des différentes modalités sur le Grenache blanc. Test Newman-Keuls $p= 0,05$.

2.3 Bourdaine et rhubarbe

En observant les fréquences et les intensités, on remarque que la bourdaine a plus d'effets que la rhubarbe.

La modalité moins attaquée pour la fréquence de la bourdaine est B9 (10g/l + Cu 1/2h) avec une fréquence de 0,45, tandis que pour la rhubarbe, c'est la modalité R5 (1g/l + Cu 1/2h) avec une fréquence de 0,62, soit une différence de 0,17. La modalité la plus efficace pour l'intensité de la bourdaine est la modalité B9 (10g/l+Cu 1/2h) avec une intensité de 3,5%, tandis que pour la rhubarbe, il s'agit de la modalité R1 (0,1g/l+Cu 1/2h) avec une intensité de 5,5%, soit 2% de différence. On remarque dans les 2 cas que l'effet est plus mesurable lorsque les produits alternatifs sont associés à du cuivre. En effet, la modalité la moins touchée sans cuivre pour la fréquence de la bourdaine est B7 (1g/l 1/2h) avec une fréquence de 0,65 (contre 0,45 pour la modalité associée à du cuivre la plus efficace B9 (10g/l + Cu 1/2h) et Cu600), et pour la rhubarbe R4 (0,1g/l 24h) avec une fréquence de 0,62 (contre 0,45 pour la modalité cuivre la plus efficace Cu600). Pour l'intensité, les modalités les moins touchées par le mildiou sans présence de cuivre sont B3 (1g/l 1/2h) avec la bourdaine, avec une intensité de 5% (contre 3% avec la modalité cuivre la plus efficace B1 (0,1g/l+Cu 1/2h)), et R10 (10g/l 1/2h) pour la rhubarbe avec une intensité de 5,5% (contre 3,5% avec la modalité cuivre la plus efficace Cu600).

2.4 AUDPC

2.4.1 Grenache

D'après la figure 7, qui présente les résultats de l'AUPDC des fréquences d'attaque chez le Grenache selon les modalités, le TNT et B5 possèdent les aires les plus grandes, avec respectivement 7,47 et 6. Ce sont donc les modalités les moins efficaces. Tandis que le produit le plus efficace est le Cu600 (AUDPC=1,5) car il possède l'aire la plus petite. Les efficacités des autres modalités diffèrent peu entre elles. D'après le test de Newman Keuls, ces différences ne sont pas significatives.

D'après la figure 8, qui présente les résultats de l'AUPDC des intensités de sporulation chez le Grenache selon les modalités, le TNT possède l'aire la plus grande, avec une AUDPC égale à 74. Il y a donc des effets par les autres modalités car leurs aires semblent visuellement plus petites. Le produit le plus efficace est le Cu600, car il possède l'aire la plus petite (AUDPC= 5). En effectuant le test de Newman-Keuls, il n'y a pas de différence significative entre les modalités. Ces différences non significatives peuvent s'expliquer par une faible puissance a priori (5%). Il faudrait refaire l'essai avec plus de répétitions.

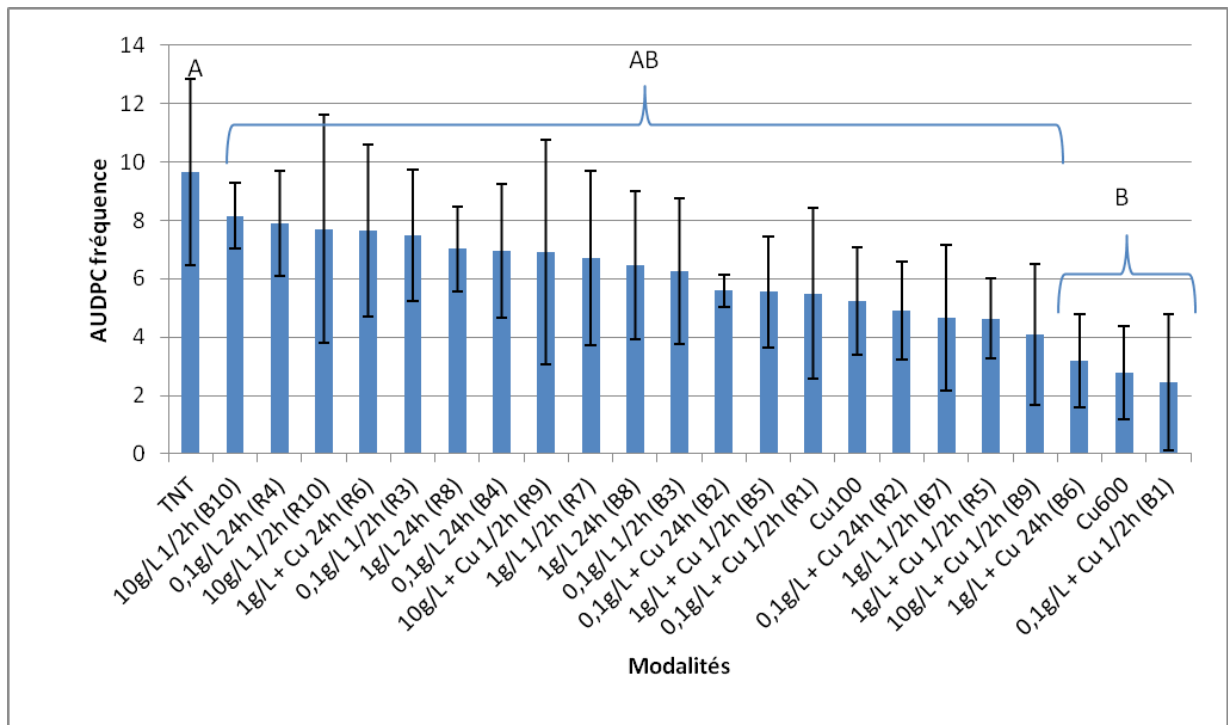


Figure 9: AUDPC de la fréquence d'attaque du mildiou sur le Muscat de Hambourg en fonction des modalités. Test Newman-Keuls $p=0,05$.

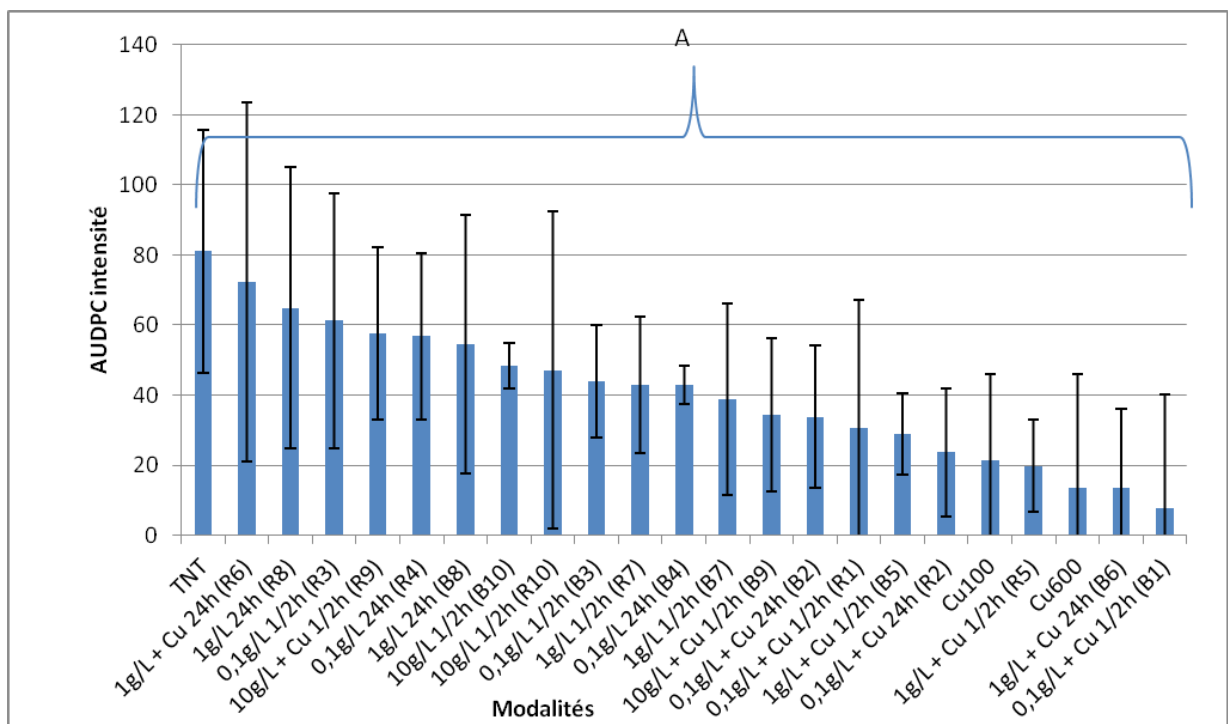


Figure 10: AUDPC de l'intensité de sporulation du mildiou (%) sur le Muscat de Hambourg en fonction des modalités. Test Newman-Keuls $p=0,05$.

En regardant les fréquences et les intensités, on observe une différence d'efficacité pour certaines modalités. Par exemple, B4 est peu efficace pour l'intensité, mais plus efficace pour la fréquence.

2.4.2 Muscat

D'après la figure 9, qui présente les résultats de l'AUPDC des fréquences d'attaque chez le Muscat selon les modalités, le TNT possède l'aire la plus grande, avec une fréquence de 9,4 c'est la modalité la moins efficace. On remarque que les modalités rhubarbe sont peu efficaces, cinq d'entre elles se situent dans les derniers rangs (R4, R10, R6, R3, R8) ainsi que la modalité bourdaine B10 (10g/l 1/2heure). Tandis que les produits les plus efficaces sont la bourdaine B1 (0,1g/l Cu 1/2h (2.5%)), B6 (1g/l Cu 24 heures) et Cu 600 (2,8% et 3,2%) car ils possèdent les aires les plus petites.

En effectuant le test de Newman-Keuls, on constate qu'il y a deux groupes, notés A ou B (AB pour les modalités faisant partie des deux groupes). Cette analyse statistique montre que le TNT (A) est significativement différent des modalités Cu600, Cu 100, B6 (Bourdaine 1g/l + Cu 24h) et B1 (Bourdaine 0.1g/l + Cu 1/2h) (B).

D'après la figure 10, qui présente les résultats de l'AUPDC des intensités d'attaque chez le Muscat selon les modalités, le TNT possède l'aire la plus grande avec 80%, c'est la modalité la plus touchée. On remarque que les modalités rhubarbe sont peu efficaces, cinq d'entre elles se situent dans les derniers rangs après le TNT (R6, R8, R3, R9, R4). Tandis que les produits les plus efficaces sont B1 (5%), B6 et Cu600 (12%), car ils possèdent les aires les plus petites.

D'après le test de Newman Keuls, on observe un seul groupe (A), il n'y a ainsi pas de différence significative. Ceci peut s'expliquer par un problème au niveau du dispositif.

En comparant les fréquences et les intensités, se dessine une différence d'efficacité pour certaines modalités. Par exemple, B10 est la modalité la plus touchée après le TNT pour la fréquence, mais est plus efficace que d'autres modalités pour l'intensité.

Partie 3 : Discussion

Malgré une année « sans » mildiou, celui de cet essai s'est développé en conditions semi-contrôlées. La fréquence d'attaque a atteint 0,95 mais l'intensité reste faible (11%), ce qui est encourageant car il est préférable d'avoir plus de fréquence et moins d'intensité. Cependant, les résultats obtenus sont trop peu significatifs.

Le témoin non traité est la modalité la plus touchée, et donc la plus vulnérable face à *Plasmopara viticola*. Quant au Cuivre 600g/ha, il reste le produit le plus efficace face au mildiou. Cependant, la bourdaine à 0,1g/L associée à du cuivre pendant 1/2h a un effet similaire au Cu600, principalement sur le Muscat de Hambourg.

Parmi les produits qui se démarquent du témoin non traité, on trouve principalement les modalités associées à du cuivre. On peut donc en conclure que seuls les produits associés à du cuivre 100g/ha peuvent concurrencer le cuivre 600g/ha puisque aucun produit non associé au cuivre n'est suffisamment efficace et statistiquement significatif du TNT. De plus d'après les analyses statistiques, les résultats des autres modalités ne sont pas vraiment différents.

Visuellement, on distingue que le Témoin Non Traité se démarque des autres modalités. Il y a donc un effet mesurable même en absence de cuivre. On peut constater que le cuivre est efficace en agissant peut-être sur les concentrations. En effet, on peut voir que lorsque la concentration

diminue en présence de cuivre, l'efficacité augmente (ex : R9 (10g/l + Cu 1/2h) moins efficace que R5 (1g/l + Cu 1/2h) pour l'AUDPC fréquence sur Muscat). Cependant, en absence de cuivre, c'est l'inverse dans certains cas (ex : B3 (0,1 + Cu 1/2h) moins efficace que B7 (1g/l + Cu 1/2h) pour l'AUDPC fréquence sur Muscat). Cela n'est pas valable pour tous les cas étudiés dans cet essai, mais ceci pourrait être étudié plus profondément pour comprendre le fonctionnement de la Rhubarbe et la Bourdaine. De plus, on pourrait croire que la bourdaine améliore l'efficacité du Cu100 voire Cu600 (AUDPC Muscat). En effet, la bourdaine associée à du cuivre est plus efficace que le Cu100 dans plusieurs cas (notamment B1), ce qui laisse penser que c'est un produit efficace, aussi bien en terme de fréquence qu'en terme d'intensité. Dans l'ensemble, les modalités associées à une faible dose de cuivre sont plus efficaces que les modalités testées sans ajout de cuivre, puisque les modalités moins efficaces que Cu100 sont généralement sans cuivre.

Pour la Rhubarbe, son association au cuivre n'a pas vraiment d'intérêt, puisque ces modalités ne comportent aucune différence significative, que se soit visuellement ou statistiquement, entre leur modalité sans cuivre et celle avec cuivre. Elle est moins efficace que la bourdaine.

Les modalités les plus efficaces en début d'essai ne sont pas forcément celles qui ont les meilleurs résultats à la fin de l'essai. Il peut s'agir d'une limitation de l'action du produit dans le temps. Il faudrait envisager un renouvellement d'application à certains intervalles de temps.

On s'aperçoit que le Muscat de Hambourg semble être plus touché par le mildiou que le Grenache blanc, ce qui laisse penser que les deux cépages n'ont pas la même sensibilité face à ce pathogène. Cependant, il est impossible d'affirmer cette supposition.

Il est à noter que les résultats peuvent avoir été influencés par plusieurs motifs. Les pots étant placés près les uns des autres certains rameaux se sont accrochés à ceux des modalités voisines, ce qui peut avoir une conséquence sur la propagation de la maladie et ainsi fausser les résultats. De plus, la distinction des jeunes et vieilles des feuilles n'a pas été prise en compte lors de la notation. La différence d'attaque entre ces deux types de feuille est notable car les jeunes feuilles sont plus sensibles au mildiou et donc plus attaquées. De plus, les solutions ont mal été filtrées, ce qui a bouché le pulvérisateur à plusieurs reprises et ainsi ont eu une conséquence sur le temps de macération qui peut jouer sur les résultats. Les plants, n'ayant pas tous le même âge, peuvent avoir une influence différente dans chaque modalité, car la réaction peut différer selon l'âge des plants. On peut aussi penser que le tuteurage qui a été difficile à mettre en place, n'a pas été très efficace par rapport au vent, ce qui peut avoir un effet sur le développement de la maladie. Certains sarments ont poussé vers le sol, souvent mouillés après l'arrosage, ce qui peut favoriser le développement du mildiou. En effet, les feuilles situées au plus près du sol sont plus atteintes que celles situées en hauteur. Tout ceci peut expliquer que la contamination peut être différente sur une même modalité.

Partie 4 : Conclusion

Les résultats obtenus lors de cet essai sont plutôt encourageants. En effet, deux produits se démarquent, en fréquence et en intensité d'attaque du témoin non traité, à savoir : la Bourdaine à 0,1 g/l macérée 1/2h et associée à du cuivre 100g/ha, et évidemment le cuivre 600g/ha.

Ces résultats ne sont pas concluants mais permettent une avancée dans la recherche de diminution de cuivre en viticulture biologique, mais doivent être approfondis puisque les résultats n'ont pas été assez significatifs sur le Témoin non traité. Ces résultats sont appréciables mais restent insuffisants concernant la suppression totale du cuivre. Il serait préférable d'obtenir des résultats significatifs avec des produits alternatifs non associés à des doses de cuivre. Il est nécessaire de reproduire cette expérimentation afin de préciser l'efficacité de ces produits. Il

faudrait tester ces produits alternatifs dans des régions viticoles avec des climats différents et subissant des attaques plus conséquentes de *Plasmopara viticola*.

Pour comprendre la réaction des plantes face aux applications des produits, il faudrait être équipé pour observer les signaux de la plante face aux produits.

Une étude devrait également se faire sur les grappes, pour voir si les produits testés peuvent avoir un effet sur le développement du mildiou sur les fruits et donc sur le rendement. Cela ne peut se faire qu'en plein champs car en pots il y a peu de développement de fruits.

Sous ombrière, l'essai ne reflète pas la réalité. Pour une meilleure représentation des résultats, ce genre d'essai est déjà établi dans certaines régions, notamment la Savoie, mais les résultats dépendent de la pression de la maladie, et en conditions naturelles, il est impossible de savoir combien de jours avant l'inoculation du mildiou les traitements sont établis.

De nombreuses recherches sont encore nécessaires pour trouver les meilleurs produits et mettre en place de nouveaux traitements pouvant succéder de manière tout aussi efficace au cuivre.