

Essai de traitements alternatifs au cuivre en viticulture biologique pour lutter contre le mildiou de la vigne en conditions contrôlées

Année 2016



Matériel et méthodes

1) Le lieu

Cet essai a été mis en place sur le site d'expérimentation du GRAB à Avignon sous ombrière* (figure 15). Un système d'aspersion est également installé.



Figure 15 : Photographie de l'ombrière source personnelle

2) Le matériel végétal

Cet essai est réalisé sur des plants greffés contenus dans des pots avec du terreau et tuteurées. Deux cépages différents sont utilisés : il s'agit du muscat de Hambourg : qui est un raisin de table à la peau noire et du grenache blanc qui est un raisin de cuve à la peau blanche.

3) Arrosage



(figure 17).

La vigne étant en pot il est nécessaire de l'arroser régulièrement pour qu'elle puisse satisfaire ses besoins en eau. L'arrosage est réalisé grâce à un système d'aspersion au début de l'essai pendant une semaine environ (du 28 avril au 6 mai). A partir du 6 mai, le système d'aspersion est remplacé par un système de goutteurs sur une durée de 15 min deux fois par jour (figure 16). Le goutte à goutte est arrêté lors du début de l'essai le 4 juillet et est relayé par le système d'aspersion

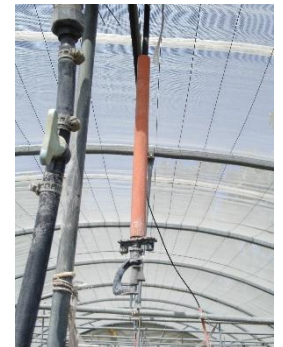


Figure 17 : Asperseur utilisé source personnelle

4) Dispositif expérimental

L'essai a été mis en place suivant un dispositif en bloc de 5 répétitions pour les Muscats et de 3 répétitions pour les Grenaches blancs. Chaque bloc comprend toutes les modalités au nombre de 17. Chaque unité expérimentale est composée de 2 ceps pour le Muscat de Hambourg et de 1 seul cep pour les Grenaches blancs. Il y a 17 modalités donc 34 pots de vigne par bloc pour les Muscat soit 170 pots de Muscat de Hambourg et 17 pots par bloc soit

51 pots de Grenache blanc. Les unités expérimentales sont regroupées et espacées les unes des autres, il n'y a pas de plants de bordures entre chaque unité expérimentale. Le plan de cette expérimentation a été engendré par le logiciel StatBox que nous utilisons pour les tests statistiques (Annexe 1).

5) Modalités

Les modalités testées cette année sont au nombre de 17.

Elles comportent :

- 1) Un témoin non traité (TNT) pour permettre d'évaluer l'efficacité des produits testés par rapport à une absence de traitement.
- 2) Une modalité cuivre à 600g/ha qui est notre référence.
- 3) Une modalité cuivre à 100g/ha qui est une faible dose de cuivre que nous avons ajouté à d'autres modalités.
- 4) Une modalité Héliosol® qui est le mouillant utilisé afin d'augmenter la rétention et le pouvoir mouillant des bouillies de traitement.
- 5) Une modalité d'écorce séchée de bourdaine macérée à froid pendant 24h dans une eau de forage avec une concentration de 1g/L.
- 6) Une modalité de racine séchée de rhubarbe macérée à froid pendant 24h dans de l'eau de forage.
- 7) Une modalité mélangeant de l'écorce séchée de bourdaine et de la racine séchée de rhubarbe avec une masse de 1g pour chacun des produits soit une concentration finale de 2g/L.
- 8) Une modalité mélangeant de l'écorce séchée de bourdaine et de la racine séchée de rhubarbe avec une masse de 0,5g pour chacun des produits soit une concentration finale de 1g/L.

Les modalités 5, 6, 7 et 8 sont aussi additionnées de cuivre afin de donner les modalités 9, 10, 11 et 12.

Les modalités 5, 6, 7 et 8 sont reprises pour former les modalités 13, 14, 15 et 16 mais subissent une étape supplémentaire lors de leur élaboration. En effet les solutions sont portées à ébullition pendant 20 à 30 minutes puis redescendues à une température ambiante afin de donner des décoctions qui sont ensuite appliquées sur les vignes.

Enfin la dernière modalité est obtenue en additionnant de l'écorce de bourdaine en décoction avec du cuivre (100g/ha).

6) Traitement

Les traitements sont appliqués 4 jours avant l'inoculation soit le 1^{er} juillet. Ils sont effectués à l'aide d'un vaporisateur manuel, pouvant contenir jusqu'à 1 litre de solution (figure 18). Les plants sont traités jusqu'au point de ruissellement. La pulvérisation se fait sur tout le cep et sur les deux faces des feuilles, en essayant d'atteindre le plus possible la face inférieure. Les traitements ne sont réalisés qu'une seule fois, il n'y a pas de renouvellement de traitement puisque le but de l'essai est uniquement de prouver et de tester l'efficacité des produits alternatifs. Le volume de bouillie pulvérisé estimé est de 1000L/ha ce qui est supérieur aux volumes appliqués habituellement sur les parcelles de vigne (150L/ha environ), néanmoins le but étant de prouver l'efficacité des produits, l'adaptation du protocole aux volumes d'application en conditions réelles se fera ultérieurement.



Figure 18 : Bouteilles et pulvérisateurs utilisés lors de l'application des traitements source personnelle

7) Inoculum

Pour l'inoculation, une suspension de conidies de *Plasmopara viticola* est réalisée. Les conidies de mildiou proviennent d'une parcelle en viticulture biologique située à Suzette (84) et suivie par le GRAB. Les feuilles contaminées ont été ramassées le 1^{er} juillet 2016 et ont été disposées dans des sachets de congélation sur un papier absorbant humidifié grâce à de l'eau de source et scellée par du scotch. Le 4 juillet 2016, les conidies sont récupérées grâce à un pinceau trempé dans de l'eau de forage et mise en suspension dans un bûcher avec un peu d'eau de forage. Le volume est ensuite porté à 1,75 L et réparti dans 2 pulvérisateurs manuels. La suspension est ensuite appliquée sur les ceps.

8) Observations

Les observations commencent dès que les premières tâches de mildiou apparaissent soit le 13 juillet, 9 jours après l'inoculation de la maladie puis elles sont effectuées tous les 2 ou 3 jours

pour l'ensemble des modalités. 5 feuilles sont observées par cep soit 10 feuilles par unité expérimentale pour les muscats et 5 feuilles par unité expérimentale pour les grenaches. La fréquence d'attaque (nombre de feuilles contaminées sur le nombre de feuilles total) et l'intensité d'attaque (estimation de la surface de feuille attaquée) sont déterminées grâce aux comptages effectués, ce qui constitue nos données.

9) Analyses de données

Pour réaliser une étude statistique nous utilisons le logiciel StatBox avec comme seuil de décision $p = 0,05$. Nous réalisons un calcul d'AUDPC (Area Under Disease Progression Curve) sur les courbes de fréquence et d'intensité afin de pouvoir prendre en compte les résultats obtenus sur toute la durée de l'essai. Plus l'aire est grande plus l'attaque est importante et moins le produit est efficace ("AUDPC," n.d.). Une comparaison entre les deux cépages est effectuée grâce à une Anova à 2 facteurs en utilisant les AUDPC des fréquences. Nous utilisons aussi une Anova à 1 facteur sur les AUDPC des fréquences afin de comparer les modalités entre elles même si les données ne respectent pas les conditions (qu'elles suivent la loi normale et que les variances soient homogènes). Les AUDPC des intensités n'ont pas été utilisées car une interaction entre les modalités et les blocs a été mise en évidence par le logiciel.

Résultats

Un point 0 a été déterminé le jour de l'inoculation du mildiou soit le 4 juillet, en effet par observation à cette date-là aucun symptôme de la maladie n'est observé.

Nous avons choisi de traiter les AUDPC car cela nous permet de prendre en compte les résultats tout au long de l'essai.

Comparaison entre cépages

Nous pouvons remarquer que l'ordre des modalités n'est pas le même selon le cépage et que les AUDPC sur la fréquence des muscats sont très proches de celles des grenaches avec respectivement une valeur moyenne de 9.27 et de 10.75 (figures 19 et 20). Néanmoins les valeurs sont plus étendues pour les grenaches (de 6 à 19.5) (figure 20) que pour les muscats (de 6.8 à 13.71) (figure 19). L'ordre des modalités étant différent nous avons cherché à savoir s'il existait des différences entre les cépages. Une Anova à 2 facteurs a donc été réalisée et n'a révélé aucune différence significative entre les mêmes modalités de chaque cépage (figure 21). Nous avons donc décidé de traiter l'ensemble de nos données sans faire de distinction entre les cépages.

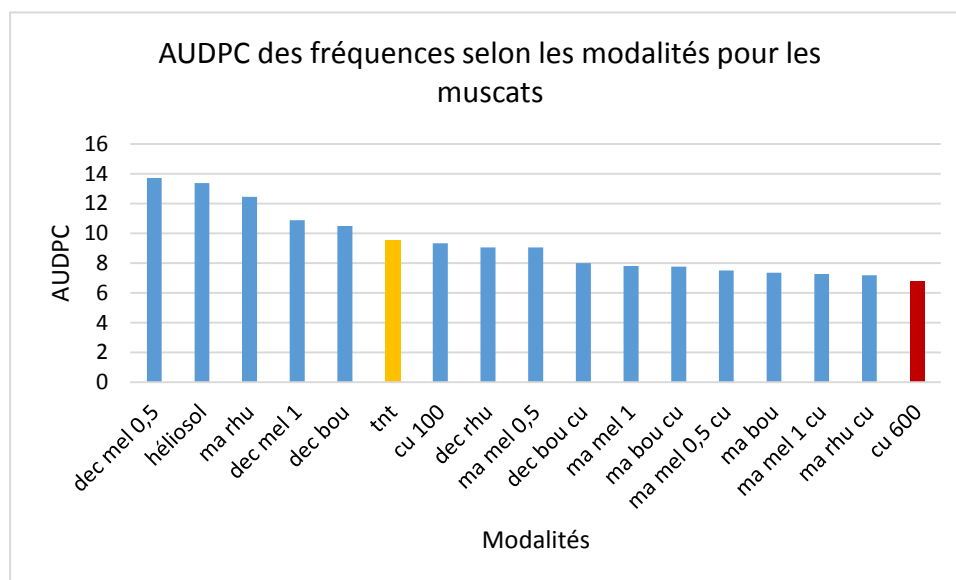


Figure 19 : Histogramme des AUDPC sur les fréquences pour le cépage Muscat

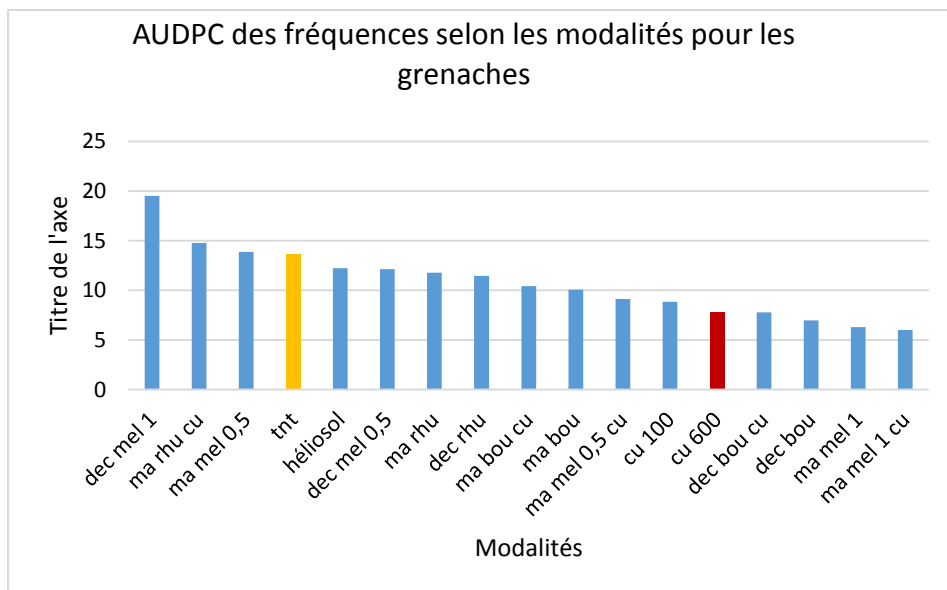


Figure 20 : Histogramme des AUDPC des fréquences pour le cépage Grenache blanc

Histogramme des AUDPC des fréquences de modalités combinées
au cépage

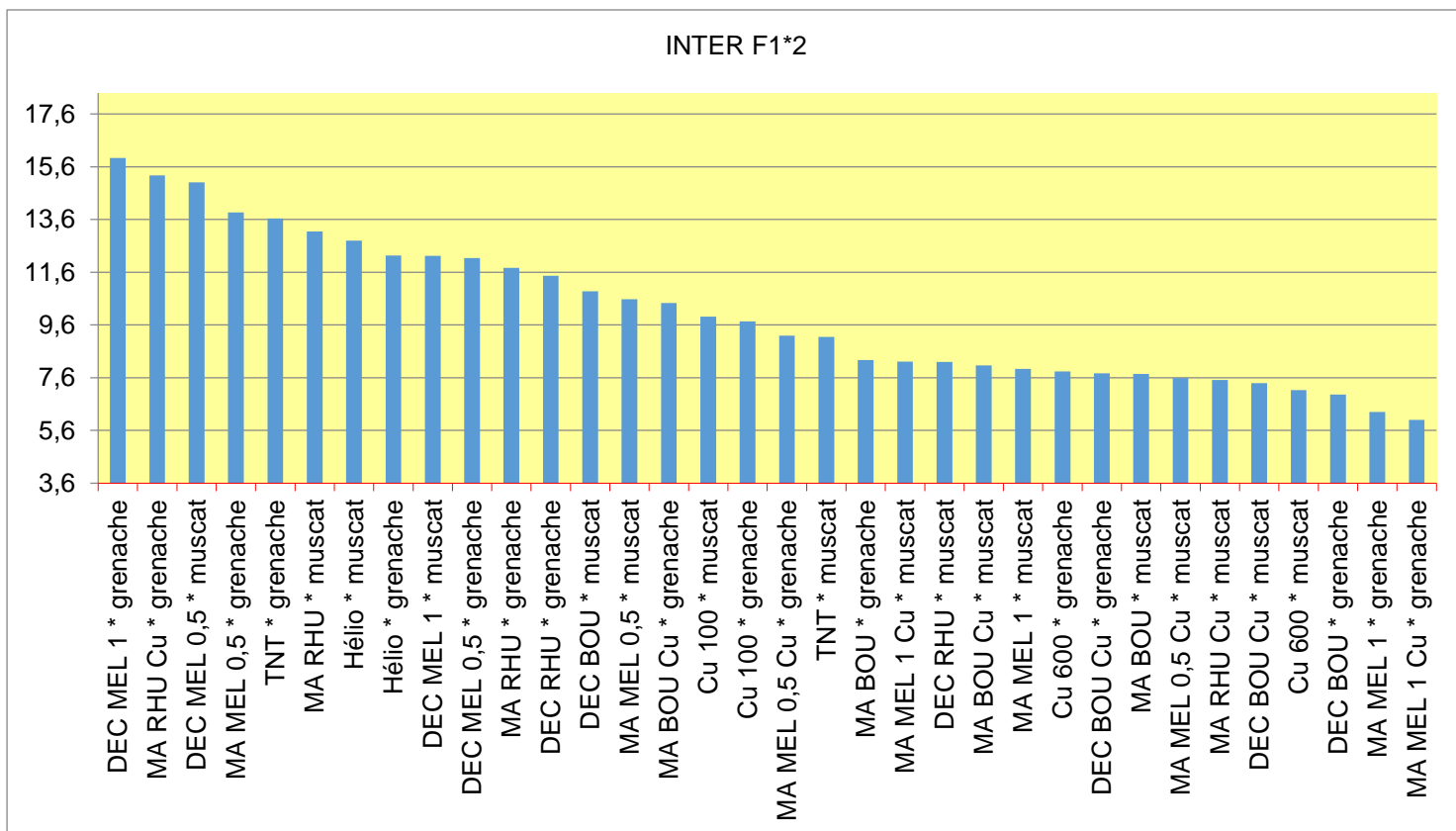


Figure 21 : Histogramme du test Anova 2 effectué sur les AUDPC des fréquences grâce au logiciel StatBox ayant pour résultat 0.766 avec une p-value de 0.720

Nous avons choisi de présenter les graphiques montrant l'intensité d'attaque sur les deux cépages pour dégager une tendance sur nos résultats car la différence y est plus visible puis de présenter les tests statistiques sur les AUDPC des fréquences car une interaction entre les traitements et les blocs a été mise en évidence pour les intensités ce qui ne nous permet pas de continuer l'étude de nos résultats de manière statistique sur ces AUDPC.

Le graphique avec l'ensemble de nos résultats est présenté ci-dessus (figure 22). Il est difficile à lire, c'est pourquoi nous avons choisi de le décortiquer pour mieux mettre en évidence les différents résultats que nous pouvons avoir. Nous pouvons néanmoins constater que l'intensité d'attaque est faible puisque la valeur maximale est atteinte le 17 août pour la modalité « mélange de 0.5 g de bourdaine et 0.5 g de rhubarbe en décoction » avec une valeur de 14% d'attaque. De manière générale, l'intensité d'attaque augmente au cours du temps pour l'ensemble des modalités.

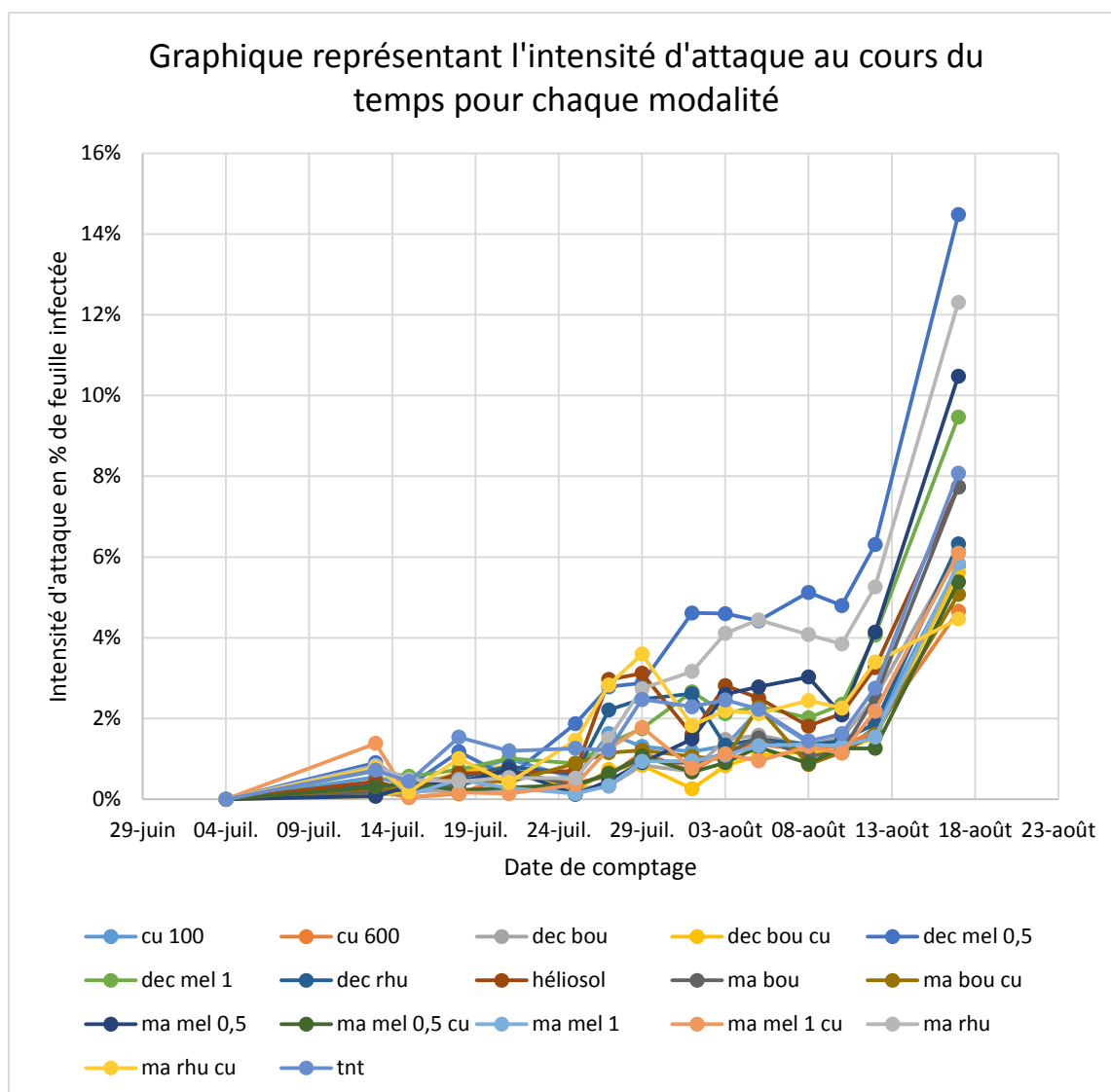


Figure 22 : Graphique représentant l'intensité d'attaque en pourcentage de feuille infectée en fonction du temps pour l'ensemble de nos modalités

Comparaison entre les modalités avec et sans cuivre

Ces graphiques montrent l'évolution de l'intensité d'attaque sur l'ensemble de l'essai. Nous pouvons remarquer que les modalités avec du cuivre ont leurs courbes situées sous les courbes des modalités sans cuivre ce qui est synonyme d'une intensité d'attaque plus faible pour les modalités avec cuivre (figure 23 et 24). Pour la modalité « mélange de 0.5 g de chacun des produits en macération sans cuivre », à la date du 21 juillet, l'intensité d'attaque est de 0.7% alors qu'elle est de 0.3% pour la modalité avec du cuivre et au 12 août, elle est de 4% pour la modalité sans cuivre et de 1% pour la modalité avec cuivre (figure 23). Quant à la modalité « macération de rhubarbe à 1g/L », son intensité d'attaque est 0.5% au 15 juillet alors qu'elle est de 0.1% pour la modalité avec cuivre (figure 24), écart qui s'accroît pour atteindre une différence de 7.5 % au 17 août. Néanmoins le test effectué sur les AUDPC des fréquences ne montre aucune différence significative entre ces modalités (voir partie sur les AUDPC). Les autres graphiques sont présentés dans l'annexe 2.

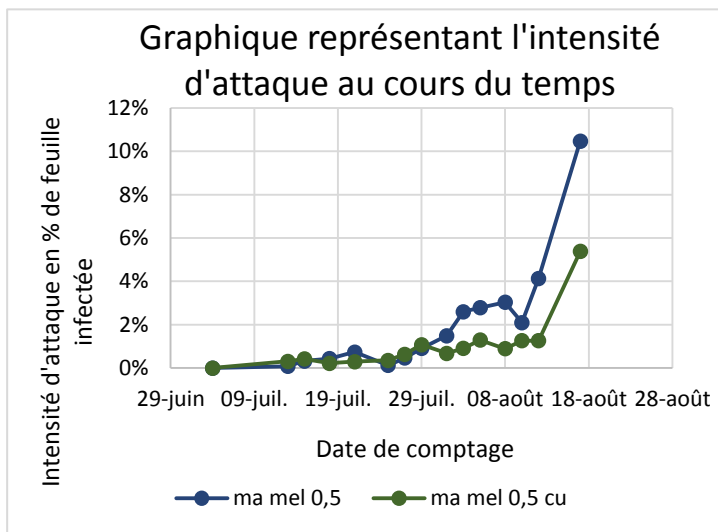


Figure 23 : Graphique représentant l'intensité d'attaque en pourcentage de feuille infectée au cours du temps pour les modalités mélange en macération de 0.5 g de rhubarbe et de bourdaine sans cuivre et avec cuivre

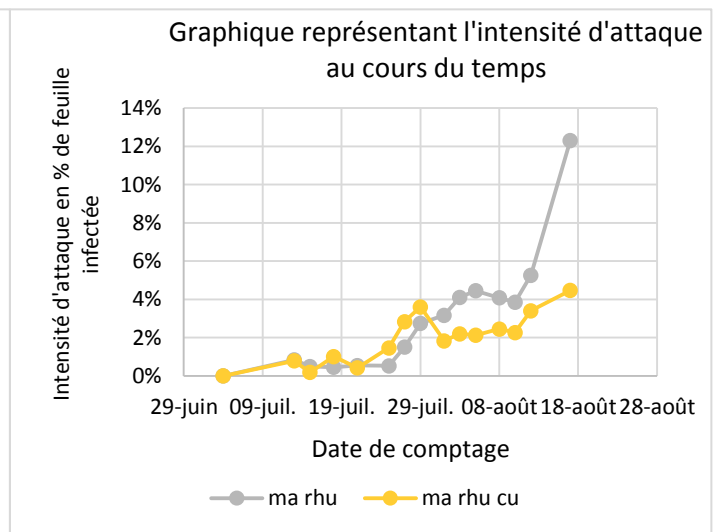


Figure 24 : Graphique représentant l'intensité d'attaque en pourcentage de feuille infectée au cours du temps pour les modalités macération de rhubarbe sans cuivre et avec cuivre

Comparaison entre la modalité « cuivre à 100g/ha » et les modalités avec cuivre

Ces graphiques montrent l'évolution de l'intensité d'attaque sur l'ensemble de l'essai en comparant la modalité « cuivre à 100g/ha » et d'autres modalités contenant la même quantité de cuivre. Nous pouvons constater que, les modalités avec cuivre ont leur courbe située sous ou proche de celle « cuivre à 100g/ha » (figure 25, 26 et 27) ce qui signifie que l'intensité d'attaque des modalités « produit + cuivre » est plus faible ou égale à celle de la modalité cuivre à 100g/ha. La modalité « décoction de bourdaine à 1g/L », a une intensité d'attaque de 0.7% au 27 juillet alors que le cuivre à 100g/ha a une intensité d'attaque de 1.6%. L'écart entre ces deux modalités diminue au cours du temps pour se stabiliser à 0.2% environ au 8 août (figure 25). La modalité « macération de bourdaine à 1g/L » a un écart d'intensité d'attaque avec la modalité cuivre 100g/ha stable d'environ 0.2% tout au long de la durée des comptages (figure 26). Les produits associés au cuivre semblent donc plus efficaces que le cuivre seul.

Nous pouvons néanmoins relever un contre-exemple avec la modalité « macération de rhubarbe à 1g/l avec du cuivre » dont la courbe se situe au-dessus de la courbe de la modalité cuivre à 100g/ha ce qui signifie que l'intensité d'attaque est plus élevée pour cette modalité que pour le cuivre seul. L'écart est maximal à la date du 29 juillet avec une valeur de 2% entre les deux modalités (figure 27).

Néanmoins le test effectué sur les AUDPC des fréquences ne montre aucune différence significative entre ces modalités (voir partie sur les AUDPC). Les autres graphiques sont présentés dans l'annexe 3.

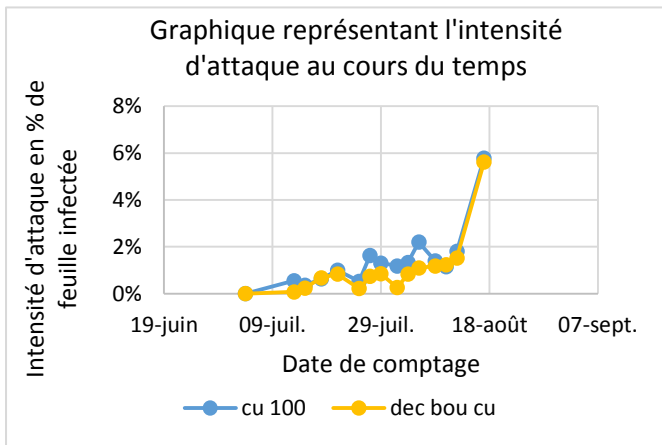


Figure 25 : Graphique représentant l'intensité d'attaque en pourcentage de feuille infectée au cours du temps pour les modalités cuivre à 100g/ha et décoction de bourdaine avec cuivre

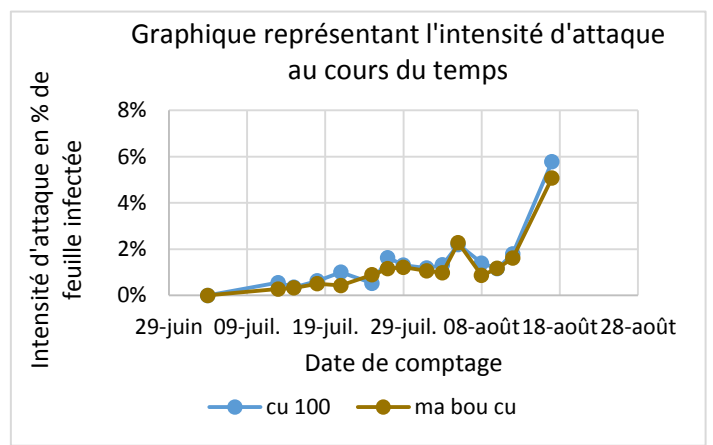


Figure 26 : Graphique représentant l'intensité d'attaque en pourcentage de feuille infectée au cours du temps pour les modalités cuivre à 100g/ha et macération de bourdaine avec cuivre

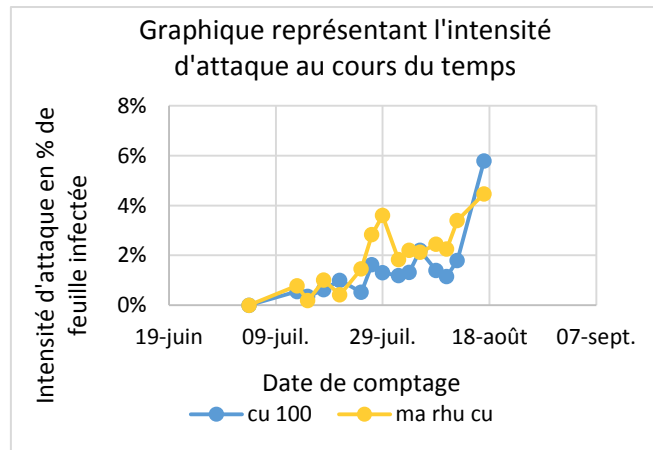


Figure 27 : Graphique représentant l'intensité d'attaque en pourcentage de feuille infectée au cours du temps pour les modalités cuivre à 100g/ha et macération de rhubarbe avec cuivre

Comparaison décoction et macération

Ces graphiques montrent l'évolution de l'intensité d'attaque sur l'ensemble de l'essai en comparant les décoctions et les macérations. Nous pouvons constater que, les décoctions ont leur courbe située soit au-dessus soit en dessous soit proche des courbes des macérations (figure 28, 29 et 30) ce qui signifie que l'intensité d'attaque des plants traités par des décoctions est soit supérieure soit inférieure soit égale à celle des plants traités avec des macérations.

La courbe de la modalité « décoction de rhubarbe à 1g/L » se situe sous la courbe de la modalité « macération de rhubarbe à 1g/L », écart qui est bien visible à partir du 1^{er} août avec une valeur de 1% et qui augmente jusqu'à 3% entre le 3 août et le 12 août pour atteindre une valeur maximale de 6% le 17 août (figure 28). L'intensité d'attaque est donc moins importante pour la décoction de rhubarbe que pour la macération de rhubarbe.

La courbe de la modalité « décoction de bourdaine à 1g/L » se situe proche de la courbe de la modalité « macération de bourdaine à 1g/L », écart qui est faible et stable à environ 0.1% sur toute la durée des comptages (figure 29). L'intensité d'attaque est donc quasiment identique pour la macération de bourdaine et la décoction de bourdaine.

La courbe de la modalité « mélange de 0.5g de rhubarbe et de 0.5g de bourdaine en décoction » se situe au-dessus de la courbe de la modalité « mélange de 0.5g de rhubarbe et de 0.5g de bourdaine en macération », écart qui est stable à partir du 2 août avec une valeur de 2% (figure 30). L'intensité d'attaque est donc moins importante pour la macération que pour la décoction. Nous ne pouvons donc rien supposer quant à une meilleure efficacité d'un type de préparation sur l'autre. De plus le test effectué sur les AUDPC des fréquences ne montre aucune différence significative entre ces modalités (voir partie sur l'AUDPC). Les autres graphiques sont présentés dans l'annexe 4.

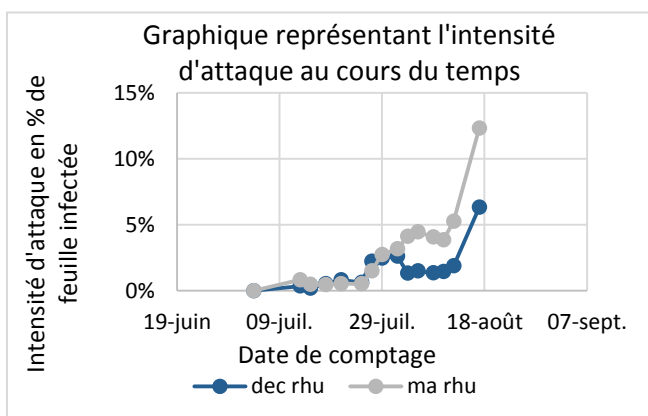


Figure 28 : Graphique représentant l'intensité d'attaque en pourcentage de feuille infectée au cours du temps pour les modalités décoction de rhubarbe et macération de rhubarbe

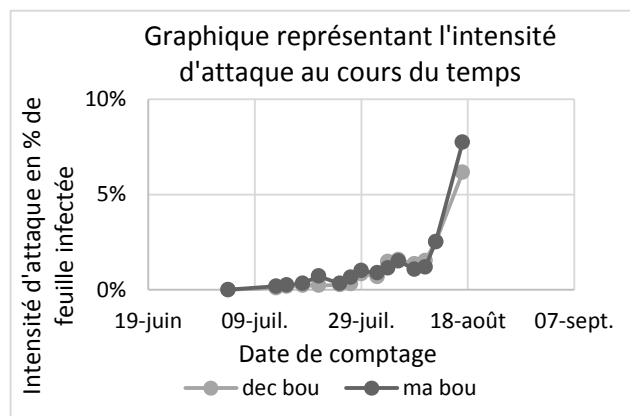


Figure 29 : Graphique représentant l'intensité d'attaque en pourcentage de feuille infectée au cours du temps pour les modalités décoction de bourdaine et macération de bourdaine

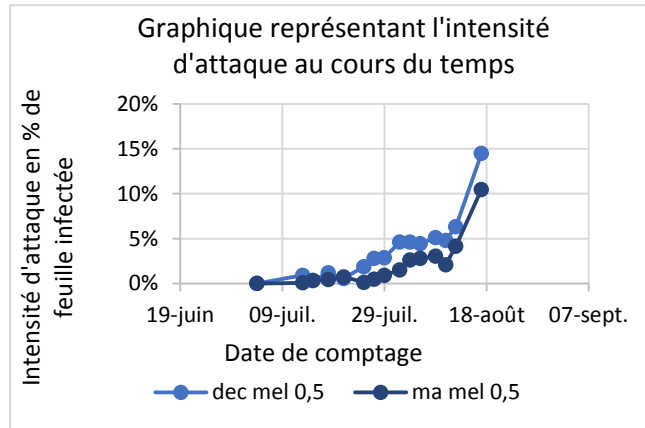
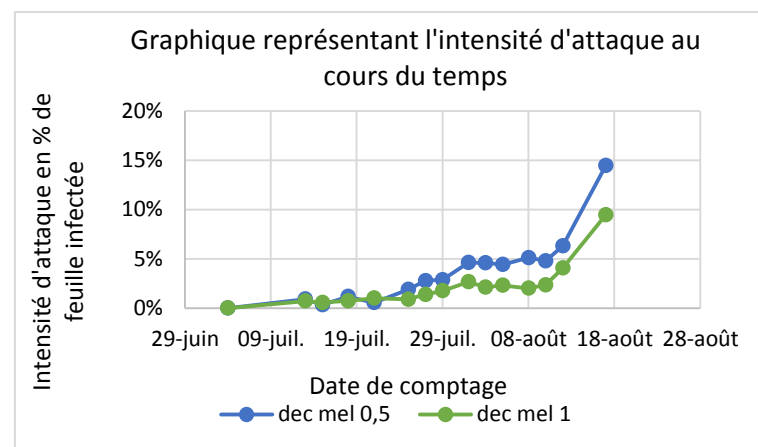
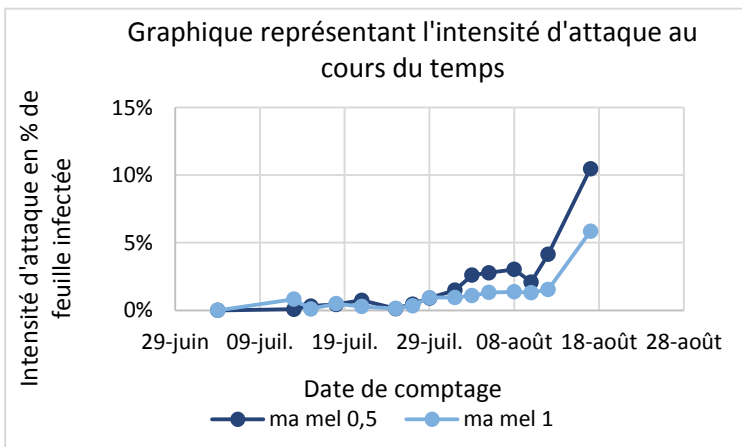


Figure 30 : Graphique représentant l'intensité d'attaque en pourcentage de feuille infectée au cours du temps pour les modalités décoction du mélange de bourdaine et de rhubarbe à 0.5g et macération de mélange de rhubarbe et de bourdaine à 0.5g

Comparaison des mélanges

Ces graphiques montrent l'évolution de l'intensité d'attaque sur l'ensemble de l'essai en comparant le mélange de produits avec des quantités différentes selon le type de préparation. Nous pouvons constater que, quel que soit le type de préparations, les plants traités avec une quantité de 1g de rhubarbe et 1g de bourdaine ont leur courbe située en dessous des courbes des plants traités avec une quantité de 0.5g de rhubarbe et de 0.5g de bourdaine (figures 31 et 32) ce qui signifie que l'intensité d'attaque des plants traités avec une plus grande quantité de produit est inférieure à celle des plants traités avec moins de produits donc le mélange avec 1 g de chaque produit serait plus efficace que celui avec 0.5g de chaque. Pour les macérations, les courbes s'entrecroisent et se suivent jusqu'au 29 juillet, date à laquelle la différence entre les courbes est visible avec des valeurs comprises entre 0.5% au 1^{er} août et 5% au 17 août (figure 31). Pour les décoctions, les courbes s'entrecroisent jusqu'au 21 juillet date à partir de laquelle la différence est bien visible entre les deux modalités. L'écart est compris entre 1 et 2% à partir du 27 juillet (figure 32). Néanmoins le test sur les AUDPC des fréquences ne montre aucune différence significative entre ces modalités (voir partie sur l'AUDPC).



Comparaison des mélanges et des produits seuls

Ces graphiques montrent l'évolution de l'intensité d'attaque sur l'ensemble de l'essai en comparant la rhubarbe et la bourdaine seules avec le mélange des 2 à la même concentration selon le type de préparation (figures 33 et 34). Pour les décoctions, nous pouvons constater que l'intensité d'attaque sur les plants traités avec une décoction de rhubarbe est irrégulière, en effet, elle commence par augmenter jusqu'au 1^{er} août (2.6%) pour ensuite diminuer jusqu'au 8 août (1.4%) et enfin réaugmenter pour atteindre 6.3% au 17 août (figure 33). Ce phénomène peut s'expliquer par une chute de feuilles malades qui fait diminuer l'intensité

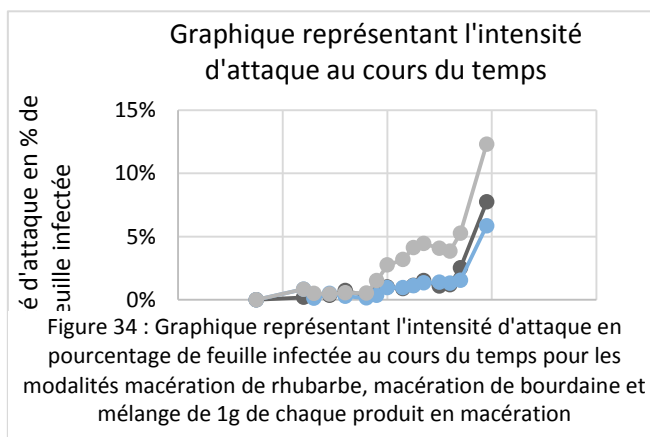
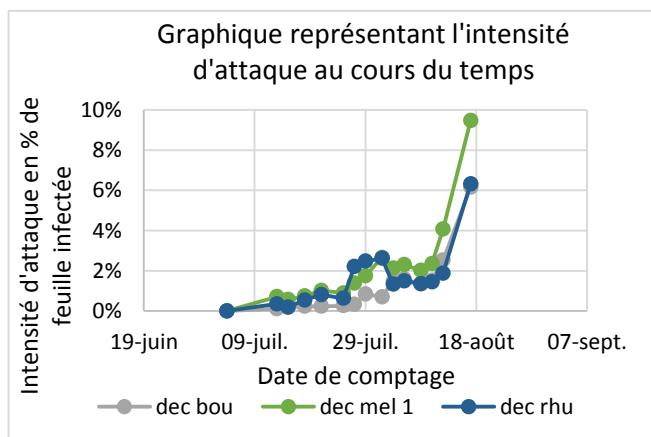
Figure 31 : Graphique représentant l'intensité d'attaque en pourcentage de feuille infectée au cours du temps pour les modalités mélange en macération à 1 ou 0.5g de chaque produit

Figure 32 : Graphique représentant l'intensité d'attaque en pourcentage de feuille infectée au cours du temps pour les modalités mélange en décoction à 1 ou 0.5g de chaque produit

relevée. De manière générale, nous pouvons constater que la courbe des produits mélangés est supérieure sur les plants traités avec le mélange, il serait donc moins efficace que les produits seuls. Néanmoins le test sur les AUDPC des fréquences ne montre aucune différence significative entre ces modalités (voir partie sur l'AUDPC). Nous pouvons également noter que les courbes d'intensité d'attaque de la rhubarbe et de la bourdaine sont très proches sauf entre le 27 juillet et le 1^{er} août où les valeurs de la courbe de la décoction de rhubarbe sont supérieures à celles de la courbe de macération de bourdaine (2% d'intensité moyenne contre 0.6%). Il semblerait donc qu'il n'y ait pas vraiment de différence d'efficacité entre les produits sauf durant une courte période. D'ailleurs, le test effectué sur les AUDPC des fréquences ne montre aucune différence significative entre ces modalités (voir partie sur l'AUDPC)

20

Pour les macérations, nous observons que les courbes s'entrecroisent jusqu'au 25 juillet et qu'après cette date, les courbes d'intensité d'attaque du mélange et de la macération de bourdaine sont très proches alors que celle de la macération de rhubarbe augmente plus fortement (figure 34). L'écart est de 2 à 3% entre le 29 juillet et le 12 août entre la courbe d'intensité d'attaque de la macération de bourdaine et celle du mélange. Le mélange aurait donc une efficacité très proche de la macération de bourdaine alors que la macération de rhubarbe aurait une efficacité plus faible. Néanmoins le test sur les AUDPC des fréquences ne montre aucune différence significative entre ces modalités (voir partie sur l'AUDPC). Ce graphique nous permet aussi de comparer l'efficacité de la bourdaine et de la rhubarbe. La courbe de l'intensité d'attaque de la macération de rhubarbe est supérieure à celle de la macération de bourdaine. Donc la bourdaine serait plus efficace que la rhubarbe. Néanmoins le test sur les AUDPC des fréquences ne montre aucune différence significative entre ces modalités (voir partie sur l'AUDPC).



Les AUDPC des fréquences

Nous pouvons observer sur ce graphique, qu'il n'y a aucune différence significative entre l'ensemble des modalités (figure 35). Nous pouvons noter que nos modalités de référence (le témoin non traité en orange et le cuivre à 600g/ha en bordeaux) ne se situent pas aux extrémités comme nous l'avions supposé.

Figure 33 : Graphique représentant l'intensité d'attaque en pourcentage de feuille infectée au cours du temps pour les modalités décoction de rhubarbe, décoction de bourdaine et mélange de 1g de chaque produit en décoction

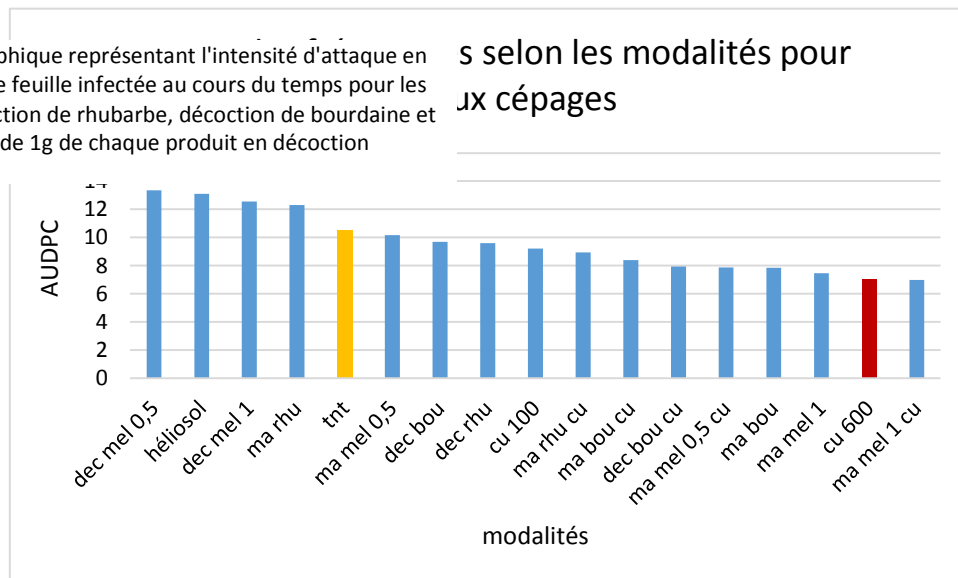


Figure 35 : Histogramme du test Anova 1 effectué sur les AUDPC des fréquences grâce au logiciel StatBox ayant pour résultat 1.466 avec une p-value de 0.125

Discussion

Les résultats de cette année étant non probants, nous pouvons émettre des hypothèses quant aux raisons de ces résultats. Les plants de vigne ont déjà subi des traitements et des inoculations les années précédentes mais nous supposons grâce à une discussion avec un professeur de physiologie végétale qu'ils n'ont pas d'impact sur les résultats que nous obtenons cette année. Néanmoins l'âge des vignes augmentant nous supposons qu'elles sont plus stressées notamment à cause de leurs racines qui s'étendent et des pots qui restent les mêmes (compression racinaire) ce qui peut avoir un impact sur les résultats. En effet, les plantes étant stressées, elles vont libérer plus de molécules de défense qui peuvent empêcher la bonne implantation de la maladie.

Lors de cette étude seules des observations visuelles ont été réalisées, aucune mesure n'a été faite. Or les observations visibles sont subjectives, en effet d'un observateur à un autre l'estimation de la surface d'un symptôme de mildiou peut très fortement varier. De même d'un jour à l'autre, selon la luminosité et la concentration de l'observateur, les estimations peuvent être différentes.

Le manque de résultats de cette année peut être dû à un mauvais développement du mildiou que nous avons inoculé.

En effet le lieu de l'essai est soumis aux contraintes d'un climat méditerranéen de la Vallée du Rhône, c'est-à-dire un temps chaud et sec et du Mistral qui est un vent sec venant du nord. Ces conditions ne sont pas favorables au développement du mildiou puisqu'il nécessite une température comprise entre 11°C et 30°C et un milieu humide. Un dispositif (ombrière + aspersion) a donc été mis en place car il a un effet coupe-vent qui permet de limiter les effets du Mistral sur l'expérimentation et permet d'augmenter l'humidité. L'ombrière permet aussi de faire ruisseler l'excès d'eau et permet de diminuer le lessivage des plants et donc des traitements ou de l'inoculation. Le système d'aspersion est installé afin de garder des conditions humides autour des plants et ainsi favoriser le développement du mildiou après son inoculation.

Néanmoins après l'inoculation, une erreur de programmation du système d'aspersion a fait que l'essai est resté sans aspersion pendant une vingtaine d'heure (de 18h à 11h le lendemain) ce qui a peut-être limité l'implantation du mildiou. De plus ce mois de juillet a été chaud avec des températures comprises entre 11,8°C et 36°C avec une moyenne 25°C. Or à partir de 30°C les conidies de mildiou ne peuvent plus germer (Dubos, 1999). Il est également possible de supposer que la quantité de spores de l'inoculum de mildiou n'est pas en cause puisque la fréquence d'attaque est élevée avec une valeur moyenne de 0.6 à la fin de notre essai ; ce qui signifie que de nombreuses feuilles ont été touchées néanmoins les tâches ne se sont pas développées puisque l'intensité d'attaque est très faible (14.5% au maximum). Les conditions climatiques peuvent être la cause de ce mauvais développement mais la virulence des souches

de mildiou de cette année peut également être remise en cause puisque des essais de transferts sur des feuilles saines prélevées sur les plants de l'essai ont été tenté mais ils ont échoué. Ces échecs peuvent être dus au fait que le mildiou soit peu virulent puisqu'elles ont fonctionné les années précédentes. Néanmoins de l'eau déminéralisée puis de l'eau minéralisée ont été utilisées afin de limiter les risques de destruction des spores par le chlore contenu dans l'eau du réseau. L'utilisation de ces eaux a peut-être fait éclater les spores par un phénomène d'osmose ce qui peut expliquer l'absence de réussite de cette étape. L'étape de transfert avait été tentée car d'après des observations, il semble que le mildiou soit plus virulent après une étape de transfert. D'autres hypothèses peuvent être soulevées suite à cette non-réussite. Il est possible que les premières feuilles malades, ayant été récoltées dans une parcelle de vigne, contenaient du cuivre sur leur surface que nous avons récupéré lors de la récupération des conidies, ce qui aura alors empêché la germination de l'oomycète sur les nouvelles feuilles.

Les résultats auxquels nous nous attendions, à savoir que l'ensemble de nos modalités soient situées sous le témoin non traité qui aurait des valeurs maximales d'intensité et de fréquence d'attaque, que les décoctions soient plus efficaces que les macérations car elles permettent d'extraire plus de molécules supposées actives (Duval Chaboussou and Chabauty, 2013), que les mélanges soient plus efficaces que les produits seuls avec une meilleure efficacité pour une concentration plus élevée et enfin que les modalités additionnées de cuivre soient plus efficaces que leurs homologues sans cuivre ne sont pas observés. Au vu des résultats que nous obtenons, aucune modalité ne se différencie du témoin non traité, pas même le cuivre 600 ce qui montre aucune efficacité des produits, néanmoins la faible intensité d'attaque de la maladie peut être la raison pour laquelle aucune différence n'est observée. Nous n'avons pas réussi à montrer que les traitements fonctionnent, ce qui ne veut pas pour autant dire qu'ils ne sont pas efficaces. D'autres études sont donc nécessaires. Peut-être serait-il utile de changer de lieu ou de période d'étude en installant l'essai dans une région où la pression en mildiou est naturellement plus forte où les conditions sont moins chaudes et sèches ? Commencer l'essai au moment de sortie du mildiou dans la région d'Avignon soit vers mai peut être une possibilité à étudier pour les années suivantes. Au vu des résultats obtenus par d'autres essais comme celui de Gindro et au vu des résultats des années précédentes comme en 2011, il semblerait que l'étude de la bourdaine et de la rhubarbe mérite d'être poursuivie. Toutefois, nous avons une mauvaise connaissance de l'action de la bourdaine et de la rhubarbe comme leur vitesse d'action ou encore leur durée d'action, des études complémentaires sont donc nécessaires.

Aucune différence d'efficacité entre les deux cépages a été mise en évidence puisque les résultats sont identiques selon le cépage. Cette similitude peut s'expliquer par le fait que les cépages présentent tous deux une sensibilité au mildiou.

Conclusion

Les essais d'efficacité des produits alternatifs au cuivre pour lutter contre le mildiou de la vigne ont donné des résultats mitigés lors de cet essai. En effet aucun produit ne se démarque du témoin non traité que ce soit au niveau de la fréquence ou de l'intensité d'attaque. Ce manque de différence est peut-être dû à un mauvais développement du mildiou. En effet lors de l'inoculation, le système d'aspersion n'est pas entré en fonctionnement de suite à cause d'une erreur de programmation. Ainsi les plants sont restés sans aspersion pendant une vingtaine d'heures ce qui n'a peut-être pas permis sa bonne implantation. De plus cet été a été marqué par une forte chaleur et du Mistral et les conditions semi-contrôlées de l'essai n'ont peut-être pas été suffisantes pour limiter l'impact du climat méditerranéen sur l'essai.

Néanmoins au vu des résultats obtenus par d'autres essais comme celui de Gindro ou ceux menés par le GRAB les années précédentes comme en 2011, il semblerait que l'étude de la bourdaine et de la rhubarbe mérite d'être poursuivie. Néanmoins des modifications du protocole peuvent être à envisager. Le mode d'extraction choisi cette année se veut simple car le but est de rester dans l'optique des préparations naturelles peu préoccupantes (PNPP). Nous souhaitons donc que la méthode d'extraction soit reproductible par le vigneron sans achat supplémentaire de matériel. Nous nous sommes donc contentés d'extraction à froid ou de décoction et non de préparations hydroalcooliques par exemple car elles nécessitent de passer par un laboratoire ou alors d'acheter du matériel. Pour les années suivantes, il serait peut-être intéressant de proposer une modalité « anthraquinone » c'est-à-dire de faire extraire les anthraquinones de la rhubarbe et de la bourdaine pour vérifier si ce sont bien ces molécules qui induisent la synthèse de stilbènes.

Toutefois, nous avons une mauvaise connaissance de l'action de la bourdaine et de la rhubarbe comme leur vitesse d'action ou encore leur durée d'action, des études complémentaires sont donc nécessaires.

De plus les résultats obtenus sur plusieurs années permettent de se demander si réduire les doses de cuivre ne permettrait pas de gagner un peu de temps pour trouver des solutions de remplacement à ce produit. L'autre étude de mon stage portait d'ailleurs sur ce volet avec un outil d'aide à la décision pour le traitement qu'est le POD Mildium. Son but est de réduire les doses de cuivre et de soufre appliquées sur les vignes en instaurant des traitements obligatoires aux périodes les plus importantes de la culture et des traitements facultatifs dont les doses seront modulées selon différents critères comme la pression de la maladie, la pluie attendue et la pluie tombée.

Bibliographie

Carbonneau, A., Deloire, A., Torregrosa, L., Pellegrino, A., Jaillard, B., Méty, A., Ojeda, H., Lebon, E., Abbal, P., 2015. *Traité de la vigne - 2e éd.: Physiologie, terroir, culture*. Dunod.

Chambre d'agriculture du Roussillon, 2011. fiche technique n°52 : le cuivre.

Chapitre 9 - Les anthracenosides, n.d.

Delmas, C.E.L., Fabre, F., Jolivet, J., Mazet, I.D., Richart Cervera, S., Delière, L., Delmotte, F., 2016. Adaptation of a plant pathogen to partial host resistance: selection for greater aggressiveness in grapevine downy mildew. *Evol. Appl.* 9, 709–725. doi:10.1111/eva.12368

Dubos, B., 1999. *Maladies cryptogamiques de la vigne*, éditions féret. ed. bordeaux.

Duval Chaboussou, A., Chabauty, A., 2013. *Modes opératoires des extraits végétaux en viticulture biologique*.

Gindro, K., Godard, S., de Groot, I., Viret, O., Forrer, H.-R., Dornart, B., 2007. Peut-on stimuler les mécanismes de défense de la vigne? - Une nouvelle méthode pour évaluer le potentiel des éliciteurs. *Rev. Suisse Vitic. Arboric. Hortic.* 39, 377–383.

GRAB, n.d. Groupe de Recherche en Agriculture Biologique.

Viret, O., 2009. La recherche travaille pour une viticulture écologique. *Rev. Suisse Vitic. Arboric. Hortic.* 41, 85.

Sites internet :

Agence Française pour le Développement et la Promotion de l'Agriculture Biologique - Agence BIO, 2014. *Chiffres de la bio en France en 2014* [WWW Document]. URL <http://www.agencebio.org/la-bio-en-france> (accessed 4.20.16).

AUDPC [WWW Document], n.d. URL <http://www.apsnet.org/EDCENTER/ADVANCED/TOPICS/ECOLOGYANDEPIDEMIOLOGYINR/DISEASEPROGRESS/Pages/AUDPC.aspx> (accessed 8.12.16).

Bayer-agri, 2014. Mildiou, symptômes et dégâts [WWW Document]. URL <http://www.bayer-agri.fr/protection-cultures/mildiou-de-la-vigne/mildiou-symptomes-et-degats/> (accessed 4.3.16).

Berriau, G., 2012. L'utilisation du cuivre en viticulture : réduction de doses, seuil de toxicité et réglementation [WWW Document]. URL http://www.innovation-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/National/FAL_commun/publications/Pays_de_la_Loire/depliant_12_utilisation_cuivre_viti_AB_115_2012.pdf (accessed 4.20.16).

Chambre d'agriculture Charente, 2013. Essais 2013 : produits alternatifs [WWW Document]. URL http://www.charente-maritime.chambagri.fr/fileadmin/publication/CA17/18_Viti_Oeno/Documents/JT_14_nov_-_PA_CA16_V2.pdf (accessed 4.27.16).

Commission européenne, 2014. Final Report Summary - REPCO (Replacement of Copper Fungicides in Organic Production of Grapevine and Apple in Europe) [WWW Document]. URL http://cordis.europa.eu/result/rcn/47894_fr.html (accessed 4.28.16).

Courde, L., 2000. Dossier technique : argumentaire pour le maintien d'une dose efficace de cuivre en agriculture [WWW Document]. URL <http://www.agrobioperigord.fr/upload/dossier-cuivre-en-ab.pdf> (accessed 4.26.16).

Domaine la colombette, n.d. cépages résistants [WWW Document]. URL <http://www.lacolombette.fr/colombette-2-60-Nos-particularites-Cepages-resistants.html> (accessed 4.25.16).

LADET, N., 2016. Contre les maladies fongiques de la vigne, mildiou et oïdium, la piste génétique [WWW Document]. URL <http://www.inra.fr/Grand-public/Genetique/Toutes-les-actualites/Vigne-genetiquement-resistante-au-mildiou-et-a-l-oidium> (accessed 4.25.16).

Lardier, P.-A., 2015. Mildiou – Maladie de la vigne | BASF – France [WWW Document]. URL http://www.agro.basf.fr/agroportal/fr/fr/cultures/la_vigne/les_maladies4/Mildiou_1.html (accessed 4.3.16).

Maille, E., 2012. Optimisation de La Conduite Phytosanitaire en Viticulture Biologique [WWW Document]. URL <http://www.agrobioperigord.fr/upload/article-point-infos-optimisation-de-la-conduite-phytosanitaire-en-viticulture-biologique-2012.pdf> (accessed 4.29.16).

Martin, H., 2009. Introduction à l'agriculture biologique [WWW Document]. URL <http://www.omafra.gov.on.ca/french/crops/facts/09-078.htm> (accessed 4.20.16).

Mercier, E., 2012. Salon millésime bio [WWW Document]. URL http://www.agencebio.org/sites/default/files/upload/documents/4_Chiffres/ActesEvenements/Autres/2012MillesimeBio_EMercier.pdf (accessed 4.20.16).

Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer, 2016. Le plan Ecophyto 2 [WWW Document]. URL <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Consultation-publique-du-projet-de.html> (accessed 4.22.16).

service de presse de l'agence BIO, 2015. dossier de presse de l'agence BIO [WWW Document]. URL http://www.agencebio.org/sites/default/files/upload/dp_agencebio_def.pdf (accessed 4.20.16).

Vinnopôle, n.d. le mildiou de la vigne : Plasmopara viticola [WWW Document]. URL <http://www.vignevin-sudouest.com/publications/fiches-pratiques/mildiou.php#ancre2> (accessed 4.3.16a).

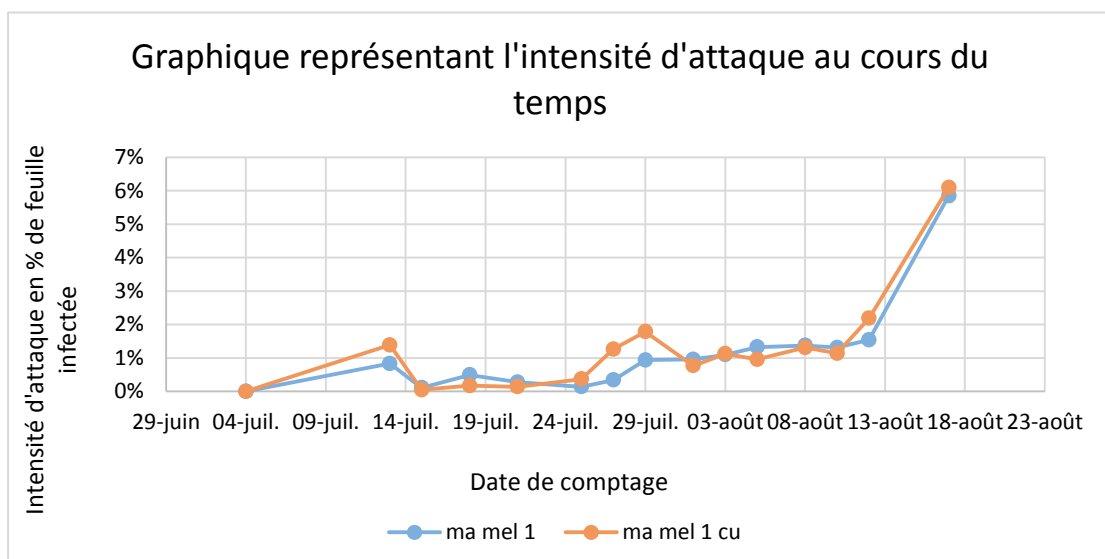
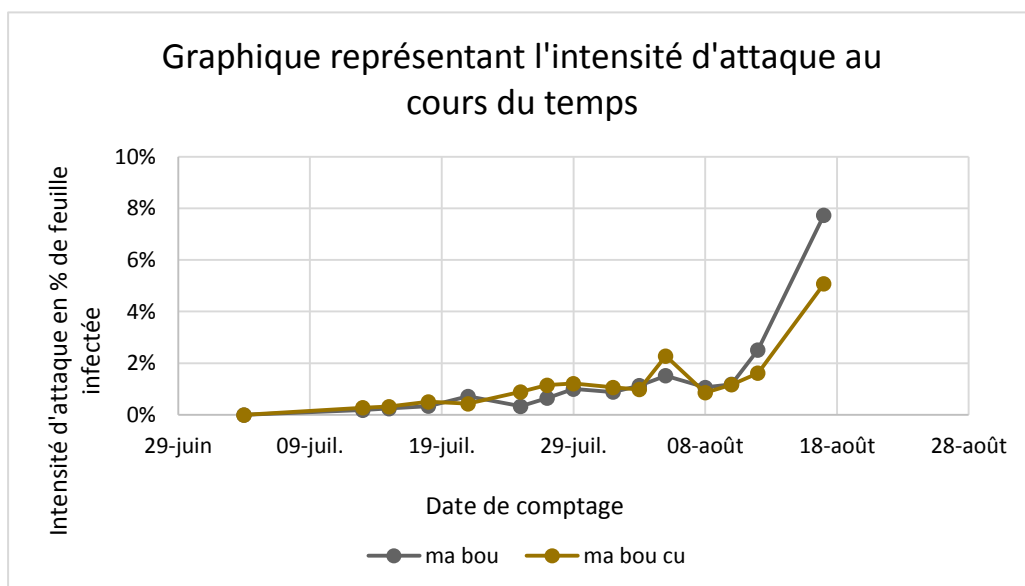
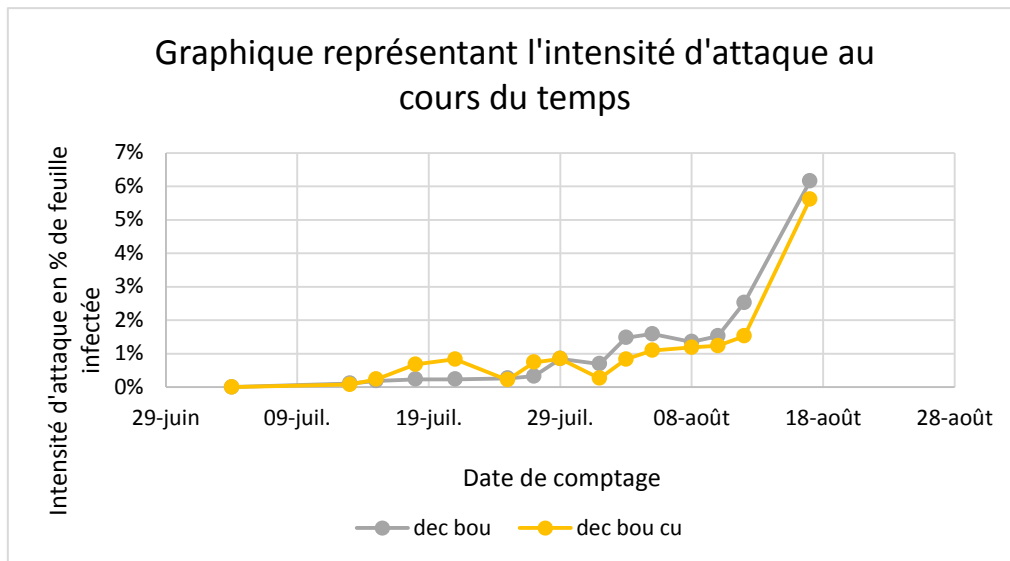
Vinnopôle, n.d. La viticulture biologique [WWW Document]. URL <http://www.vignevin-sudouest.com/publications/fiches-pratiques/viticulture-biologique.php#ancre4> (accessed 4.25.16b).

Annexes

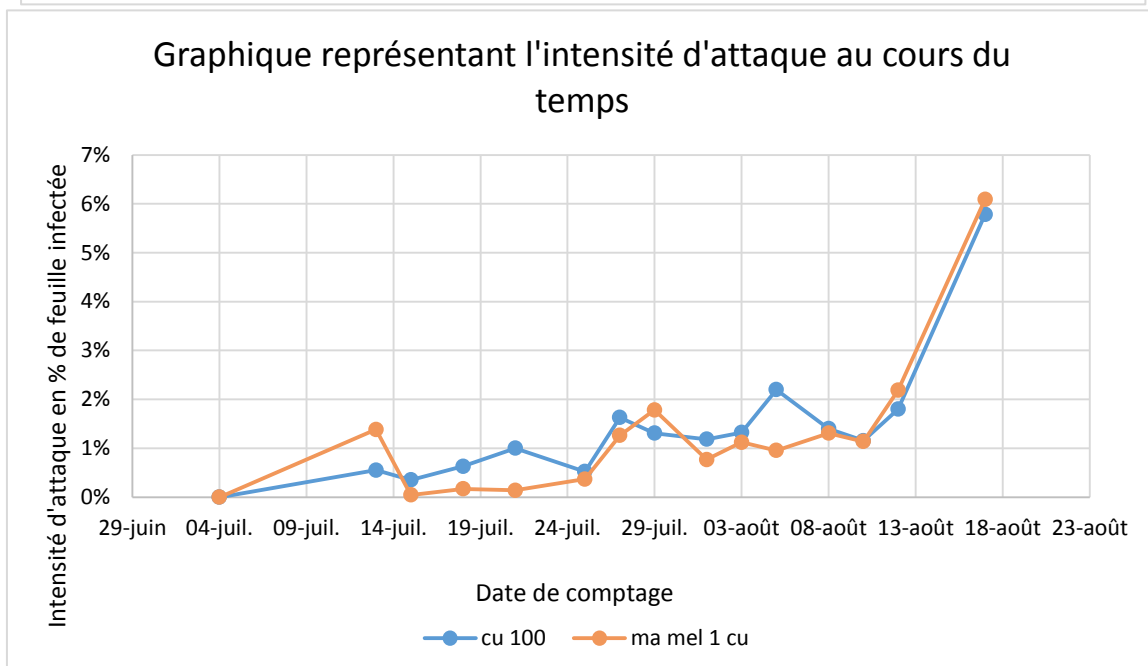
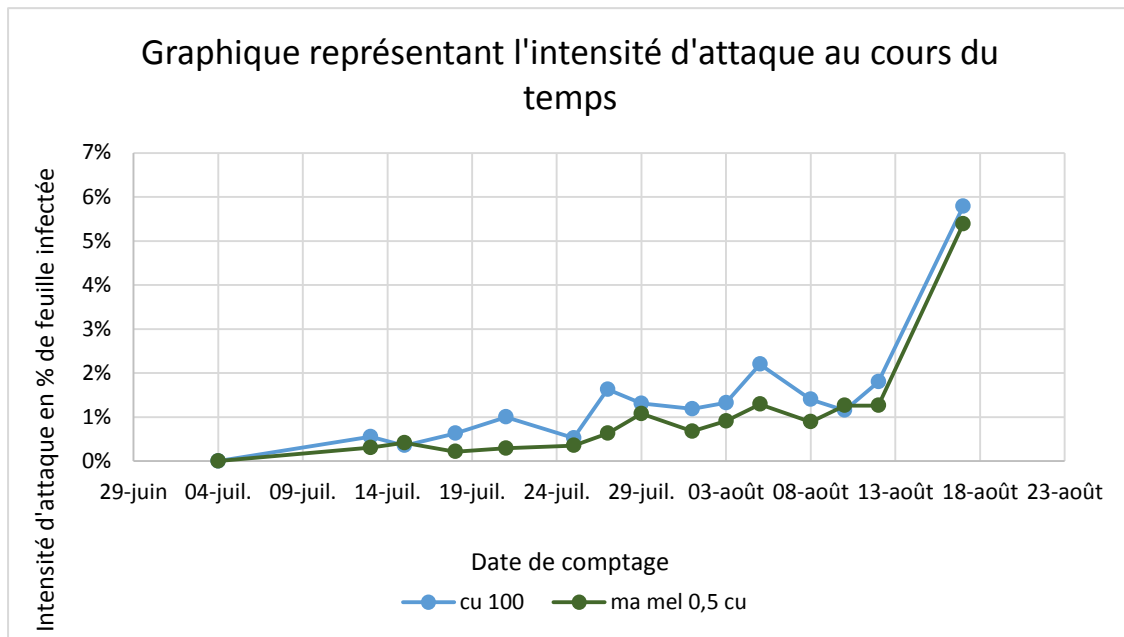
Annexe 1 : Plan de l'essai

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
L1	804 Hélio b8	716 DEC MEL 0,5 b7	616 DEC MEL 0,5 b6	512 MA MEL 0,5 Cu b5	413 DEC BOU b4	303 Cu 100 b3	210 MA MEL 0,5 b2	109 MA MEL 1 b1
L2	815 DEC MEL 1 b8	714 DEC RHU b7	605 MA BOU b6	503 Cu 100 b5	414 DEC RHU b4	309 MA MEL 1 b3	211 MA MEL 1 Cu b2	104 Hélio b1
L3	805 MA BOU b8	709 MA MEL 1 b7	604 Hélio b6	504 Hélio b5	411 MA MEL 1 Cu b4	315 DEC MEL 1 b3	216 DEC MEL 0,5 b2	101 TNT b1
L4	808 MA RHU Cu b8	717 DEC BOU Cu b7	615 DEC MEL 1 b6	508 MA RHU Cu b5	412 MA MEL 0,5 Cu b4	307 MA BOU Cu b3	215 DEC MEL 1 b2	106 MA RHU b1
L5	807 MA BOU Cu b8	701 TNT b7	613 DEC BOU b6	515 DEC MEL 1 b5	417 DEC BOU Cu b4	312 MA MEL 0,5 Cu b3	207 MA BOU Cu b2	114 DEC RHU b1
L6	816 DEC MEL 0,5 b8	702 Cu 600 b7	614 DEC RHU b6	511 MA MEL 1 Cu b5	401 TNT b4	308 MA RHU Cu b3	212 MA MEL 0,5 Cu b2	105 MA BOU b1
L7	803 Cu 100 b8	711 MA MEL 1 Cu b7	606 MA RHU b6	513 DEC BOU b5	409 MA MEL 1 b4	316 DEC MEL 0,5 b3	209 MA MEL 1 b2	113 DEC BOU b1
L8	814 DEC RHU b8	710 MA MEL 0,5 b7	601 TNT b6	509 MA MEL 1 b5	404 Hélio b4	317 DEC BOU Cu b3	206 MA RHU b2	107 MA BOU Cu b1
L9	817 DEC BOU Cu b8	703 Cu 100 b7	612 MA MEL 0,5 Cu b6	516 DEC MEL 0,5 b5	406 MA RHU b4	304 Hélio b3	201 TNT b2	115 DEC MEL 1 b1
L10	801 TNT b8	707 MA BOU Cu b7	603 Cu 100 b6	501 TNT b5	416 DEC MEL 0,5 b4	310 MA MEL 0,5 b3	214 DEC RHU b2	111 MA MEL 1 Cu b1
L11	812 MA MEL 0,5 Cu b8	705 MA BOU b7	617 DEC BOU Cu b6	510 MA MEL 0,5 b5	403 Cu 100 b4	305 MA BOU b3	217 DEC BOU Cu b2	108 MA RHU Cu b1
L12	802 Cu 600 b8	704 Hélio b7	607 MA BOU Cu b6	502 Cu 600 b5	402 Cu 600 b4	306 MA RHU b3	204 Hélio b2	103 Cu 100 b1
L13	810 MA MEL 0,5 b8	706 MA RHU b7	610 MA MEL 0,5 b6	506 MA RHU b5	415 DEC MEL 1 b4	301 TNT b3	203 Cu 100 b2	117 DEC BOU Cu b1
L14	809 MA MEL 1 b8	715 DEC MEL 1 b7	611 MA MEL 1 Cu b6	517 DEC BOU Cu b5	405 MA BOU b4	311 MA MEL 1 Cu b3	208 MA RHU Cu b2	116 DEC MEL 0,5 b1
L15	813 DEC BOU b8	712 MA MEL 0,5 Cu b7	608 MA RHU Cu b6	514 DEC RHU b5	408 MA RHU Cu b4	314 DEC RHU b3	213 DEC BOU b2	102 Cu 600 b1
L16	811 MA MEL 1 Cu b8	713 DEC BOU b7	602 Cu 600 b6	505 MA BOU b5	410 MA MEL 0,5 b4	313 DEC BOU b3	202 Cu 600 b2	110 MA MEL 0,5 b1
L17	806 MA RHU b8	708 MA RHU Cu b7	609 MA MEL 1 b6	507 MA BOU Cu b5	407 MA BOU Cu b4	302 Cu 600 b3	205 MA BOU b2	112 MA MEL 0,5 Cu b1

Annexe 2 : Suite des graphiques de la partie « Comparaison entre les modalités avec et sans cuivre »



Annexe 3 : Suite des graphiques de la partie « Comparaison entre la modalité cuivre 100g/ha et les modalités avec cette même quantité de cuivre »



Annexe 4 : Suite des graphiques de la partie « Comparaison entre les décoctions et les macérations »

