

Evaluation de l'efficacité des préparations à base de prêle des champs (*Equisetum arvense*) sur le développement de *Plasmopara viticola*

Le Blaye Loïc
Master 2 VVT 2015/2016
Maître de stage : Pierre Masson



Résumé

En France la vigne représente 3,7% de la surface agricole utile mais elle consomme à elle seule environ 20% des pesticides. Le plan Ecophyto mis en place suite au Grenelle de l'environnement en 2007 vise à réduire de 50% l'utilisation de pesticides au plan national. En agriculture biologique pour lutter contre le mildiou seul le cuivre est autorisé, mais celui-ci est un métal lourd qui peut s'accumuler dans les sols. A l'heure d'aujourd'hui aucun produit ne peut remplacer le cuivre pour lutter efficacement contre *Plasmopara viticola*, l'agent pathogène du mildiou. Des recherches sont en cours pour trouver des produits alternatifs à l'utilisation du cuivre, et une voie d'avenir est l'utilisation des préparations naturelles peu préoccupantes. Rudolf Steiner qui a été à la base de l'agriculture biodynamique est le premier à en parler en citant la prêle ou l'écorce de chêne. Grâce aux recherches scientifiques l'effet anti germinatif de la prêle et son efficacité pour lutter contre le mildiou a été prouvé, ce qui a confirmé les propos de Steiner. Mais la prêle peut être préparée de différentes façons, en tisane, en décoction simple, fermenté, ou en dilution homéopathique. La question est de savoir quelle formulation à la meilleure efficacité, ceci est le thème principal abordé dans ce mémoire de stage.

Mots clés : Prêle, biodynamie, Steiner, réduction dose, cuivre, préparation naturelle, mildiou

Abstract

In France vines represent 3.7% of the agricultural area, but uses 20% of the whole pesticides. During the Grenelle of environment in 2007, the Ecophyto plan was created, in order to reduce 50% the pesticides use. In organic growing, to protect plants against downy mildew we can use only copper, but it's a heavy metal and it can remain in soil. Actually it's difficult to find a product who can replace copper to fight durably mildew. A lot of research are organized trying to find a product to replace copper, and in the future solutions could be using natural plants. Rudolf Steiner who is the initiator of biodynamic growing was the first men speaking about natural plants to fight mildew, like horsetail or bark oak. The scientist research proved the efficiency and the anti germinal effect of the horsetail against mildew, which confirmed quote from Steiner. However horsetail can be preparing by different way, in tisane, simple decoction, fermented decoction or in homeopathic dilution. We don't actually know what's the better method of use to fight the mildew, so this is the goal of this studie.

Key word : horsetail, biodynamic, Steiner, copper, natural plant, mildew

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier mon maître de stage, Pierre Masson pour l'énergie et la pédagogie qu'il a déployé pour me transmettre sa science. Je remercie également Vincent Masson pour le soutien et les connaissances qu'il m'a apportés, sans oublier Florence Masson qui a toujours été présente pour moi durant le stage.

Merci à toute l'équipe de BioDynamie Services pour leur accueil et leur gentillesse, avec une mention spéciale pour Harald avec qui se fût un plaisir de travailler. Je remercie également Alain et son collègue Denis, pour les compétences pratiques que j'ai pu acquérir en leurs présences. Je remercie Maryna Bogdanok pour son aide précieuse qu'elle m'a apporté pour la réalisation des analyses statistiques.

Merci à l'Association Soins de la Terre, de m'avoir permis de réaliser mon stage, merci à tous les membres du conseil d'administration et tous les adhérents que j'ai pu rencontrer. Merci au Domaine Celine et Laurent Tripoz et au Domaine de la Soufrandière d'avoir mis à disposition des vignes pour que je puisse réaliser cette expérimentation.

Enfin ces cinq mois de stage ont été pour moi riches de rencontres, d'enseignements qui ont fait évoluer ma manière de penser. Mais au-delà des connaissances techniques acquises, j'ai avant tout vécu une belle expérience humaine que je ne suis pas prêt d'oublier malgré ma petite mémoire...

Sommaire

Introduction	4
I. Matériels et méthodes	7
a) Les préparations à base de prêle	8
b) Dates de pulvérisations	9
c) Les parcelles d'études.....	9
d) Le dispositif expérimental.....	10
e) Mesures effectuées	11
f) Traitement des résultats.....	12
II. Résultats/Discussion.....	13
a) Evolution de <i>Plasmopara viticola</i> pendant la campagne.....	13
b) Effet de la prêle sur <i>Plasmopara viticola</i>	14
La fréquence d'attaque sur feuille	14
L'intensité d'attaque sur feuille	14
La fréquence d'attaque sur grappe.....	15
L'intensité d'attaque sur grappe.....	16
Efficacité des traitements	17
c) L'indice du statut azoté	18
d) L'oïdium	19
III. Conclusion et perspectives	21
IV. Bibliographie.....	24

Introduction

En Europe, la vigne représente 3.7% de la surface agricole et génère une consommation totale 20% des pesticides dont 80% de fongicides. Malgré leurs efficacités prouvées pour lutter contre les maladies cryptogamiques, et ainsi permettre d'atteindre des niveaux de rendements corrects, ces pesticides sont nocifs pour l'utilisateur, en provoquant de graves maladies, mais également pour l'environnement (accumulations de produits phytosanitaires dans les sols et les nappes phréatiques, baisse de la biodiversité, perturbation des écosystèmes, etc.). En viticulture biologique et biodynamique, les fongicides les plus utilisés sont le soufre et le cuivre, ce dernier est particulièrement remis en cause par l'Europe car c'est un métal lourd qui s'accumule dans les premiers horizons du sol qui ne peut pas être dégradé par les micro-organismes et qui provoquent une baisse de la biomasse microbienne. En Europe dans le cahier des charges Demeter, en culture maraichère le cuivre est interdit, celui-ci est autorisé uniquement sur les plantes pérennes (viticulture, arboriculture) à dose de 3kg/ha/an moyennée sur cinq ans.

Les principales recherches actuelles portent sur la possibilité de baisser les doses de produits phytosanitaires à utiliser (optidose) et de trouver des alternatives à ces produits. Les éliciteurs des défenses naturelles de la plante paraissent comme une solution porteuse d'espoir, mais aujourd'hui les expérimentations réalisées en plein champ ne confirment pas les bons résultats obtenus en laboratoire. L'utilisation de préparation naturelle peu préoccupante (PNPP) est une solution qui semble être relativement efficace pour lutter contre des maladies cryptogamiques lors de campagne avec une pression cryptogamique modérée. Rudolf Steiner (1924) a été le premier à mentionner l'utilisation de préparations de plantes pour maîtriser les maladies cryptogamiques, il a notamment cité la prêle des champs. Pour Steiner, les jours de pleine lune sont des périodes délicates en terme de pression cryptogamique. En effet d'après sa théorie, ces positionnements lunaires amènent à un excès de forces lunaires dans les sols, ce qui induirait une montée des cryptogames du sol vers les parties aériennes de la plante. Il préconise donc de pulvériser un purin de prêle au sol lorsqu'on arrive près de ces moments critiques afin de contenir ces excès de force lunaire dans le sol et ainsi limiter le développement des maladies cryptogamiques. Des témoignages de vigneron présents dans de nombreuses régions viticoles (Alsace, Jura, Bourgogne, Bordelais Vallée du Rhône) qui appliquent ces recommandations ont observé des baisses d'intensité et de fréquence d'attaque du mildiou ou de l'oïdium. Malheureusement ce ne sont que des témoignages, il n'y a pas de comptages maladies réalisés. Seules les observations des vignerons font foi.

La Lune est un satellite naturel qui tourne autour de la Terre sur une orbite elliptique suivant un cycle de vingt-sept jours et demi, appelé cycle synodique. Quatre phases sont ainsi observées lors de cette rotation : le premier quartier, la pleine lune, le dernier quartier, la lune nouvelle ainsi que deux positions importantes, le périgée (quand la lune est la plus proche de la Terre) et l'apogée (quand la Lune est la plus éloignée de la Terre). Il a été observé que certaines phases ou positions de la lune pouvaient avoir une influence sur différents paramètres de notre Terre. En effet, l'exemple le plus simple et compréhensible de tous est celui des marées, la montée et la rétractation de l'eau sur les côtes maritimes est un phénomène qui est en grande partie dû à la position de la Lune autour de la Terre, on parle de force gravitationnelle.

De plus, différentes études ont mis en évidence un effet des cycles lunaires sur les végétaux résumé dans le tableau n°1 ci-dessous.

Espèce étudiée	Résultats	Auteurs
Moutarde	Effet positif de la lumière lunaire sur la germination	Semmens E (1923)
Chou blanc, tomates, petit pois, mélisse, maïs, avoine, orge, carotte	Les semis réalisés 2 jours avant la pleine lune ont une meilleure germination comparée à un semis 2 jours avant la lune nouvelle	Kolisko L (1924; 1927; 1929; 1935)
Céréales en extérieur		Voegele (1930)
Pomme de terre	Meilleur rendement pour les plantations vers le dernier quartier et la nouvelle lune	Popp M (1933)
Echalote	Rendement maximal pour des plantations du premier et du dernier quartier	Popp M (1933)
Maïs	Résultats contraire aux recherches de Kolisko L (1927)	Popp, M (1936, 1937)
Orge	Production supérieure pour les semis réalisés en lune croissante en comparaison à ceux en lune décroissante	Opitz K(1936)
Carotte, orge, avoine, radis	Confirmation des travaux de Maria Thun sur le rythme sidéral (feuille, fruit, fleur, racine)	Abele U (1973, 1975)
Seigle d'hiver, carotte, radis, moutarde, pomme de terre	Confirmation des résultats de Kolisko L sur les carottes et les travaux de POPP M (1933) sur les pommes de terre Mise en évidence d'un effet positif du périgée sur les semis comparé à l'apogée Le rythme tropique (montant, descendant) n'influence que certaines espèces, dont le haricot qui en est très sensible	Spieß (1994)
Radis	Germination plus rapide des radis semés 2 jours avant la pleine lune Effet lumière lunaire positif sur le développement de la surface foliaire ou sur le rapport tige/racine	Fritz (1994)
Algue	Pour plusieurs espèces d'algues, leurs reproductions suivent des périodicités lunaires	Endres et Schad, (1997)
	Il y a des maxima de concentration de cytokinine qui fluctuent à différentes phases lunaires	Hofman <i>et al.</i> , 1986
Tomate	Dans des conditions de lumière et de températures contrôlées, il y a un maxima d'absorption de l'oxygène à la pleine lune et à la nouvelle lune	Graviou E (1978)
Haricot	Variation de 20 % sur l'absorption d'eau par les graines en fonction d'un cycle lunaire synodique circaseptan (7,4 jours)	Brown et Chow(1973)
	Confirmation des travaux de Brown et Chow(1973) sur l'absorption d'eau par les graines suivant un cycle lunaire synodique circaseptan, mais celui-ci est déphasé par rapport à ces mêmes recherches.	Innamorati et Signorini (1980) Spruyt <i>et al.</i> , (1987)

Tableau 1 L'influence des cycles lunaire sur les végétaux d'après Ernst Zürcher (2008)

Les recherches de Brown et Chow(1973), d'Innamorati et Signorini (1980) ou de Spruyt *et al.*, (1987) mettent en évidence l'influence des phases lunaires sur l'absorption d'eau par les végétaux. Pour Kolisko (1935) l'eau et la lune forme une unité, ils doivent être toujours mis en relation. Le terme « eau » doit être compris dans un sens plus large, ce n'est pas juste de l'eau de pluie ou de l'eau distillée, mais le représentant de l'état liquide en général. On ne connaît pas les mécanismes qui agissent entre les phases lunaires et les végétaux, mais les protagonistes du monde biodynamique ont toujours pensé que cette influence passe par l'eau comme le suppose Kolisko. Et les dernières recherches réalisées sur le sujet confirment partiellement cette supposition.

Concernant les affirmations de Steiner (1924) sur l'augmentation de la pression des maladies cryptogamiques lors des phases de pleine lune, il n'y a aucune publication scientifique qui puisse confirmer ces propos. Mais l'eau, avec l'humidité qu'elle apporte est aussi à la base du développement des maladies cryptogamiques. Si on suppose que l'eau qui subit une influence des phases lunaires, on pourrait donc penser qu'il existe une certaine relation entre celles-ci et les attaques des maladies cryptogamiques. Ceci n'est qu'une supposition pour essayer d'expliquer les propos de Rudolf Steiner.

Concernant la prêle, il existe peu d'études qui décrivent une activité antifongique des extraits d'*Equisetum arvense*. Néanmoins, Garcia *et al.*, (2012) ont constaté qu'une utilisation de cet extrait a été efficace pour atteindre 100% d'inhibition de croissance de l'*Aspergillus carbonarius* et de *Fusarium verticillioides*. Cet effet antimicrobien de la prêle des champs pourrait être attribué à la présence de phénols dans son extrait. En effet les polyphénols constituent 5% de la masse sèche de l'extrait de prêle (Marchand *et al.*, 2014). Dans cette même étude il est démontré qu'il y a un bon effet anti germinatif de la prêle sur *Botrytis allii*, *Botrytis cinerea*, *Penicillium expansum*, mais il n'y a pas d'effet éliciteur de la prêle sur les salades.

Des études ont été menées pour connaître l'effet éliciteur ou non de la prêle sur la vigne, en mesurant différents paramètres (la synthèse de phytoalexines stilbéniques et la production de callose dans les stomates) ; (Gindro *et al.*, 2007). Il a été conclu que la décoction de prêle n'a pas d'effet « éliciteur », mais un effet fongitoxique (notamment anti-germinatif) direct sur le mildiou avec une efficacité de 71%.

D'après une étude de Bardon (2011), dans des conditions de vignes sous ombrière avec des extraits hydro-alcooliques d'*Equisetum arvense*, ceux-ci couplée à du cuivre à 100g/ha ont été aussi efficaces que le cuivre seul à 600g/ha contre le mildiou sur de la vigne, et la prêle seule a été significativement différente en matière d'intensité d'attaque comparé au témoin non traité. De plus la prêle associée à 100g/ha de cuivre est plus efficace que la modalité cuivre à 100g/ha. Cette étude met en évidence l'impact positif de la prêle sur le mildiou. La vertu principale de la prêle des champs face aux agents pathogènes est attribuée à sa richesse en polyphénols.

Le but principal de cette expérimentation est de connaître la meilleure manière de préparer la prêle de champs en évaluant son efficacité sur un agent pathogène responsable du mildiou chez la vigne, *Plasmopara viticola* dont on sait déjà qu'elle influence son développement. Dans le monde bio-dynamique, la prêle a toujours été préparée en élaborant une tisane simple, sans macération longue. Ensuite Kolisko qui était un élève de Steiner a démarré des travaux sur une tisane de prêle fermentée, qui donna de meilleurs résultats. Kolisko travailla aussi sur les dilutions infinitésimales, elle mit en lumière des dilutions qui montraient des bons résultats, notamment les D5. Puis en

collaborant avec plusieurs conseillers en biodynamie, Jean-Luc Petit (consultant en arboriculture-viticulture bio et biodynamie) a mis en évidence que la prêle devait être élaborée en décoction pour favoriser son extraction et donc augmenter son efficacité. Comme nous avons pu le voir, dans l'agriculture biodynamique il y a plusieurs méthodes pour préparer la prêle, et on ne connaît pas encore véritablement quelle « « formulation » » est la plus efficace. Les recherches mises en place depuis trois années par l'association Soins De La Terre sont là pour répondre à ces interrogations. Cependant les deux années précédentes la faible pression mildiou a rendu impossible l'analyse de résultats, en effet même le témoin non traité ne présentait aucun symptôme d'attaque du mildiou. Mais cette année, le manque de températures négatives de l'hiver, puis les fortes précipitations du mois de juin associées à une montée des températures ont favorisé le développement de *Plasmopara viticola*, l'agent pathogène du mildiou. C'est donc la première campagne où l'on peut effectuer des observations et des comptages sur les différentes modalités mises en place. Ce qui nous permettra de répondre à nos interrogations de la meilleure manière de préparer la prêle.

Cette expérimentation rentre pleinement dans l'esprit d'une agriculture biodynamique. En effet le sujet mis en place est là pour répondre à des attentes techniques des agriculteurs biodynamistes. La biodynamie vise à rendre autonomes les agriculteurs vis-à-vis des firmes produisant des produits phytosanitaires. Nous souhaitons donc utiliser de la prêle séchée qui provient de la récolte de l'année précédente, que tout le monde peut se procurer, car elle pousse partout en France et dans beaucoup de régions dans le monde. Contrairement à d'autres études qui utilisent des extraits hydro-alcooliques, où l'utilisateur est toujours dépendant d'une firme, et ne connaît pas exactement la formulation des produits.

J'ai réalisé mon stage au sein de l'association Soins de la terre, c'est une petite structure qui a pour but de mener des recherches sur les pratiques biodynamiques, et de publier les résultats de recherche sur son site internet. Les principales recherches sont axées sur le développement des sols via les préparations biodynamiques, la baisse de l'utilisation des produits phytosanitaires grâce à l'ajout de tisanes de plantes, l'incinération de graines pour lutter contre des espèces invasives, tout cela dans le but de faire avancer les pratiques biodynamiques. Elle permet la diffusion d'une information claire et précise sur la biodynamie.

I. Matériels et méthodes

Sur cette étude, cinq modalités seront évaluées, une décoction simple (DEA), une décoction simple fermentée (DEAF), une dilution au cinquième de décoction simple (D5), une Lichtdunger (un mélange de D5 de décoction simple avec une D5 de *Dioscorea batata*, un igname dont l'intérêt pour l'agriculture a été exprimé par Rudolf Steiner en marge du cours aux agriculteurs) et un témoin traité à l'eau qui nous permet de suivre l'évolution des maladies cryptogamiques. L'essai a été mené en plein champ et sans inoculation artificielle de l'agent pathogène. L'utilisation du protocole CEB °007 est recommandé pour étudier les propriétés d'une préparation afin de pouvoir comparer des résultats obtenus avec ceux provenant d'expérimentations menées ailleurs. Dans notre cas nous avons suivi des indications de la norme OEPP PP 1/31(3) (Évaluation biologique des fongicides : *Plasmopara viticola*).

a) Les préparations à base de prêle

Pour lutter contre le mildiou, il est préconisé d'après Masson (2015) d'utiliser la prêle *Equisetum arvense* à dose de 100g/ha. Les préparations de prêle sont réalisées à l'avance et stockées au frais et à l'abri de la lumière. Puis le jour des traitements, on prélève la dose nécessaire à la pulvérisation. Les préparations de prêle sont élaborées selon les recommandations de Masson (2015) :

DEA (décoction simple): Pour réaliser la DEA, il faut mettre à macérer 100g de prêle séchée dans 3 litres d'eau de pluie pendant 24 heures. Puis porter à ébullition le mélange, une fois que celui-ci est arrivé au point d'ébullition le feu doit être baissé afin de laisser frémir pendant 40 minutes. Filtrer ensuite le tout.

DEAF (décoction simple fermentée): Il faut tout d'abord sécher la prêle ayant servi pour la DEA, puis les incinérer. Ensuite on utilise 3 litres de DEA dans laquelle on rajoute 10 millilitres petit lait et 50 grammes de cendre de prêle. Grâce au petit lait une fermentation lactique s'enclenchera, et les cendres permettront de conserver la solution. Les cendres apportent des éléments minéraux en complément de ce qui a été extrait par la décoction. L'ajout de cendre est une technique utilisée par les laboratoires du docteur Hauschka permettant de conserver des produits à base d'extrait naturel sans l'ajout d'alcool ou de conservateur. La décoction est ensuite soumise durant plusieurs jours à des processus rythmiques : exposition au froid puis à la chaleur (37°C), à la lumière puis à l'obscurité, enfin en alternance entre le repos et l'agitation.

D5 : Il faut réaliser une dilution jusqu'à la 5^{ème} décimale de la préparation DEA avec de l'eau de pluie.

Lichtdünger : C'est une préparation sous forme liquide venue d'Allemagne, c'est un mélange de substances homéopathisées jusqu'à la D5. Elle s'emploie ensuite en diluant une part du liquide obtenu avec 39 parties d'eau, soit au 1/40^{ème}.

On prélève la quantité nécessaire de chaque préparation de prêle qu'on mélange ensuite avec de l'eau de pluie préalablement chauffée à 37°C pour obtenir un volume de pulvérisation nécessaire. Chaque préparation est ensuite dynamisée selon une durée bien précise. Pour la DEAF et la DEA une dynamisation de 20 minutes est recommandée, la D5 n'a besoin que de 3 minutes et il convient de 5 minutes pour la lichtdünger. Les dynamisations sont réalisées manuellement dans des pots en grès, l'eau du témoin n'est pas dynamisée. Le brassage (rhüren en allemand), appelé aussi dynamisation, c'est-à-dire la formation d'un vortex puis de chaos bouillonnant est une opération très importante indiquée par Steiner(1924). Aucune recherches scientifiques n'ont été effectuées pour relater de son intérêt ou non, cependant des études internes ont été réalisées sur l'efficacité des préparations biodynamiques (500 P) sur des sols avec différents dynamiseurs et sans dynamisation. Sur la modalité où les préparations n'ont pas été dynamisées, il y a quand même un très faible effet des préparations surtout avec la silice de corne (501), mais les résultats ne sont pas satisfaisants si on les compare avec la modalité où la 500P a subit une dynamisation qui montre d'excellents résultats.

Pour obtenir un maximum d'efficacité, il convient d'utiliser une eau de bonne qualité, c'est-à-dire une eau favorable au développement de la vie, donc chauffée à 37°C, avec la meilleure résistivité possible, et un potentiel hydrogène (pH) neutre ou légèrement acide. Beaucoup d'études ou recherches qui ont été faites sur l'efficacité de la prêle ou d'extraits naturels utilisent de l'eau de mauvaise qualité qui pourrait nuire à l'obtention de bons résultats.

b) Dates de pulvérisations

Date de pulvérisation	Position de la lune
14/03/2016	Opposition lune saturne
21/03/2016	2 jours avant la pleine lune de Pâques
05/04/2016	2 jours avant le périgée
11/04/2016	Opposition lune saturne
20/04/2016	2 jours avant la pleine lune
04/05/2016	2 jours avant le périgée
19/05/2016	2 jours avant la pleine lune
01/06/2016	2 jours avant le périgée
18/06/2016	2 jours avant la pleine lune
29/06/2016	2 jours avant le périgée

Tableau 2 Calendrier des traitements

Les dates pour les pulvérisations de prêle ont été choisies à l'avance en fonction de la position de la lune comme relaté dans le tableau n°2 ci-dessus, sans prendre en compte la météorologie, mais les traitements ont toujours été réalisés par beau temps, avec absence de pluies. Les quatre premiers traitements ont été appliqués au sol en raison de l'absence de végétation, mais les suivants ont été pulvérisés sur feuillage. Si l'on avait suivi à la lettre les recommandations du cours aux agriculteurs (1924), on aurait dû pulvériser les traitements directement au sol tout au long de la campagne. Mais lors de toutes les études récentes qui montrent de bons résultats réalisés sur l'efficacité de la prêle, les pulvérisations ont été effectuées sur le végétal. Ainsi nous avons choisi de réaliser les traitements sur le feuillage dès que possible. Les traitements sont réalisés à base de prêle uniquement, cependant si le développement du mildiou est trop virulent et qu'il commence à engendrer des pertes de récoltes trop importantes, les vignerons peuvent effectuer des traitements à base de cuivre et de soufre, et donc arrêter l'expérimentation.

c) Les parcelles d'études

L'étude a été menée sur trois sites différents sur deux cépages : Chardonnay (Domaine de Céline et Laurent Tripoz, Domaine La Soufrandière de chez Bret Brothers) et Pinot Noir (Domaine de Céline et Laurent Tripoz).

Le domaine Tripoz basé à Loché, dans le vignoble du Mâconnais, met à disposition deux parcelles d'études. Ces parcelles voisines sont plantées en 2000 avec du chardonnay et en Pinot N greffées sur du *V. riparia* avec une densité de 8 000 pieds/ha. Les vignes prennent racine sur un sol limono-argileux profond. C'est un sol sensible à la battance et au tassement favorisant la stagnation d'eau. Les vignes sont taillées en guyot simple, le chardonnay quant à lui est plié en arcure pour limiter les phénomènes d'acrotonie. Chacune des parcelles a une taille de 5 ares. Les sols sont travaillés sous le rang avec un inter-cep ou tondu avec une tondeuse satellite dans les années difficiles, et le milieu du rang est broyé avec un girobroyeur.

Le domaine de la Soufrandière se situe sur la commune de Vinzelle (appellation pouilly-vinzelle). Il s'agit d'une parcelle plantée en chardonnay en 1990 avec une densité de 8000 pieds/ha. Elle est installée sur un coteau exposé plein Est possédant un sol argilo-calcaire. Sur cette parcelle de vigne, le rang est maintenu propre par roulage de l'herbe à l'aide d'un rouleau Faca. Le cavillon est lui entretenu par passage de disque cranté.

L'essai est mis en place pour la deuxième année consécutive sur ces parcelles. Ces vignes sont toutes cultivées en biodynamie, et reçoivent donc les préparations bouse de corne (500 P) au printemps et à l'automne ainsi que la silice de corne (501), une à trois fois selon les années.

d) Le dispositif expérimental

Pour les modalités DEA, DEAF et cuivre il y a trois répétitions par parcelle, tandis que les autres modalités ne possèdent que deux répétitions (tableau n°3). En effet, comme il s'agit d'expérimentation en plein champ, ce sont des vignes qui nous sont mises à disposition gratuitement par des vignerons, qui peuvent accuser une perte de récolte car il n'y a aucun traitement soufré, ni cuprique de réalisé. Il est donc difficile d'obtenir une surface permettant d'installer trois répétitions pour chaque modalité comme cela est recommandé pour réaliser une expérimentation fiable et répétable.

Modalités	répétitions/site
DEAF (décoction simple fermenté)	3
DEA (décoction simple non fermenté)	3
D5 (dilution au cinquième de DEA)	2
LD (Lichtdunger = D5 de DEA + D5 de Dioscorea batata)	2
TNT (témoin traité à l'eau)	2
Cuivre (référence)	3

Tableau 3 Récapitulatif des modalités et des répétitions par site

Ce manque de répétition est un problème pour pouvoir analyser les données séparément site par site et réaliser des tests statistiques pertinents. En effet, pour les essais sur l'évaluation biologique, il est recommandé d'avoir au minimum douze degrés de liberté résiduels (dl). Plus on a de dl résiduel, plus l'expérimentation va être précise, puissante et répétable. L'ajout de répétitions supplémentaires par exemple permet d'augmenter les dl résiduels.

Ainsi dans notre cas, un site ne peut pas représenter une expérimentation à lui tout seul car il n'y a pas assez de dl résiduels (4) du au nombre de répétitions insuffisant. Pour obtenir un dispositif expérimental solide avec un dl résiduel supérieur ou égal à douze, il faudrait envisager une randomisation totale, c'est-à-dire quatre blocs, avec quatre répétitions pour chaque modalité, mais ce dispositif est impossible dans notre cas car les vignerons ne peuvent pas nous mettre à disposition des parcelles d'essai aussi grandes. Cependant nous disposons de trois sites qui ont le même dispositif expérimental comme voir dans le tableau n°3 ci-dessus et d'après calcul expliqué dans le tableau ci-dessous n°4 nous disposons donc au total de 12 dl. Nous pouvons donc appliquer le dispositif de blocs randomisés où une parcelle d'essai représente un bloc, avec à l'intérieur de celui-ci deux ou trois répétitions en fonction des modalités. Cela nous permet donc d'analyser statistiquement les données de ces trois sites ensemble.

Pour une expérimentation avec 3 sites contenant 5 traitements et 2 répétitions :

DI totaux= (nombre de traitements*nombre de répétition*nombre de site) -1	= (5*2*3)-1= 29
- DI traitements= nombre de traitements-1	=5-1=4
- DI sites= nombre de site-1	=3-1=2
- DI interaction traitement site = (nombre de traitements-1)*(nombre de site-1)	= (5-1)*(3-1)=8
- DI répétitions sur les sites= (nombre de répétition-1)*(nombre de site)	= (2-1)*3=3
Total dl	=29-4-2-8-3=12

Tableau 4 Calcul du nombre de degrés de libertés résiduels pour une expérimentation en blocs randomisés

Les trois parcelles d'études sont considérées comme blocs dans notre dispositif expérimental comme le rappelle le tableau n°5. Chaque modalité est constituée de deux entre-piquets correspondant à 12 pieds de vignes et répétée deux ou trois fois à l'intérieur de chaque bloc. La disposition des modalités entre les blocs se fait aléatoirement, mais elle ne l'est pas à l'intérieur de ces derniers pour des raisons de commodité lors des pulvérisations. Plus précisément, l'attribution des modalités au sein d'un bloc pour la répétition X d'une modalité donnée a été effectuée de façon aléatoire, par contre l'emplacement de la répétition X+1 de la même modalité a été conditionnée par celui de la répétition X.

Bloc	Parcelle
A	Chardonnay Domaine Tripoz
B	Pinot Noir Domaine Tripoz
C	Chardonnay Domaine de la Soufrandière

Tableau 5 Les différents blocs associés aux parcelles

e) Mesures effectuées

Quantification de l'attaque du pathogène

Dans une expérimentation portée sur l'évaluation biologique des fongicides il est nécessaire de quantifier la propagation de la maladie en fonction des modalités. Pour ceci, des comptages sont réalisés sur grappes et sur feuilles dès le début des premières attaques du pathogène. L'observateur doit avoir reçu une bonne formation pour faire les estimations et doit bénéficier d'un étalonnage au préalable pour obtenir des valeurs précises et constantes. Il est conseillé de ne pas changer d'observateur pour les mesures au sein d'un même bloc pour minimiser les erreurs d'estimations et ne pas biaiser les résultats. Les comptages sont effectués sur cinquante feuilles choisies au hasard de chaque côté du rang et cinquante grappes sur chaque répétition. Nous devons estimer le pourcentage d'attaque du pathogène sur l'organe végétal en question, ainsi nous pourrons ensuite calculer l'intensité et la fréquence d'attaque avec les formules ci-dessous :

$$\text{Intensité d'attaque(\%)} = \frac{\text{Total des estimations d'attaque}}{\text{Total des organes}}$$

$$\text{Fréquence d'attaque(\%)} = (\text{Total des organes} - \text{Total des organes non touchés}) \times 2$$

Efficacité des traitements :

L'indice de l'efficacité des traitements est ensuite calculé en utilisant la formule d'Abbott :

$$\% \text{ d'efficacité} = I1 - I2 / I1 \times 100$$

Où : $I1$ - incidence de la maladie sur le témoin non traité ;

$I2$ - incidence de la maladie sur le traitement t .

Seules sont prises en compte les données de l'expérimentation où les intensités d'attaque sur les témoins sont significatives (> 25 %) (Hebrard *et al.* 2013).

Influence sur la vigueur de la vigne

L'hypothèse secondaire liée à l'utilisation de la prêle est sa possible influence sur la vigueur de la vigne, elle pourrait en effet jouer un effet d'engrais foliaire azoté. Pour vérifier cette hypothèse, nous allons mesurer l'indice de statut azoté de la vigne à l'aide d'un N-tester. Cet appareil mesure l'intensité de la coloration verte du limbe qui est en lien direct avec la teneur en chlorophylle de la feuille, elle-même dépendante de la nutrition azotée de la vigne (Spring, 1999). Les précédentes études réalisées n'ont pas donné de différences significatives entre les modalités concernant le paramètre de l'indice du statut azoté. Mais d'autres paramètres mesurés notamment l'entassement du feuillage ont montré des différences significatives entre les différentes modalités. Cependant cette année seul l'indice du statut azoté de la vigne a pu être mesuré. Les mesures ont été effectuées sur 50 feuilles par répétition, les feuilles doivent être de même âge, situées sur un rameau principal, être exemptes de symptômes de maladies cryptogamiques et de carence car ceci pourrait fausser les résultats. Les mesures ont été effectuées une fois au mois de juillet.

f) Traitement des résultats

Les résultats obtenus concernant l'efficacité de la prêle sur le mildiou et l'indice de statut azoté ont été analysés statistiquement à l'aide du logiciel R. Un premier test paramétrique sur l'analyse de variance (ANOVA) a été réalisé, mais pour que celui-ci soit applicable il a fallu d'abord remplir deux conditions, que les valeurs suivent une loi normale (test de Shapiro-Wilk) et que les variances soient homogènes (test de Bartlett). Ensuite si le test ANOVA nous indique une différence entre les modalités, il faut réaliser un test de Tukey qui nous permet de faire des groupes et ainsi voir quelles sont les modalités différentes. Si l'on ne peut pas appliquer le test ANOVA en raison de non validité des conditions nécessaires comme mentionné ci-dessus, un test non paramétrique de Kruskal-Wallis sera alors appliqué.

II. Résultats/Discussion

a) Evolution de *Plasmopara viticola* pendant la campagne

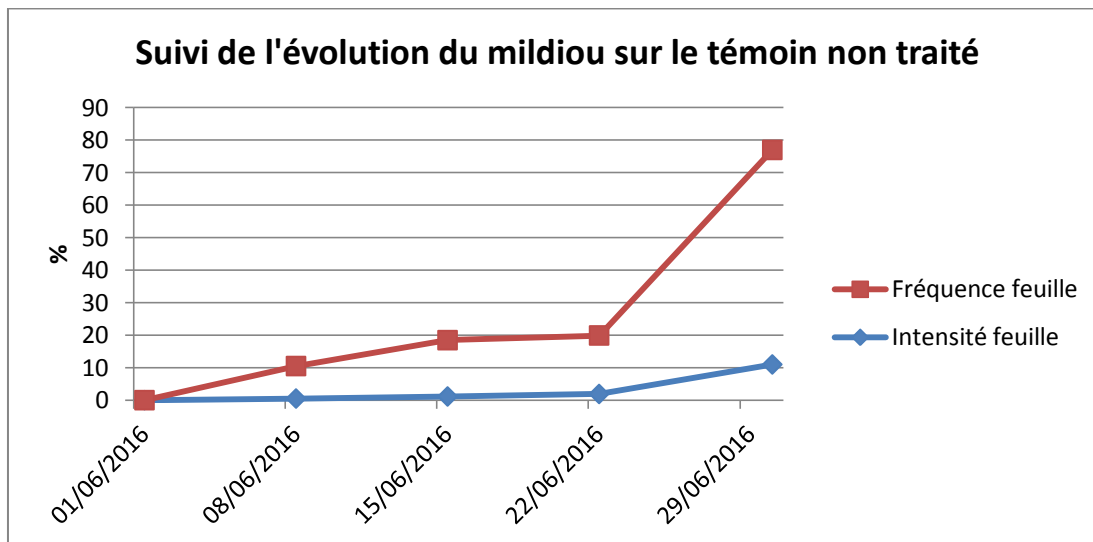


Figure 3 Evolution du mildiou au cours de l'expérimentation

La figure n°3 ci-dessus nous indique la fréquence et l'intensité du mildiou sur feuille du témoin non traité au cours de la campagne 2016, qui nous permet de suivre l'évolution de la maladie. Le mildiou a commencé à se développer au début du mois de juin, avec l'apparition des premières taches le 8 juin. Ensuite sa propagation a augmenté doucement pendant la première moitié du mois de juin atteignant des fréquences de 20% sur feuille avec une intensité inférieure à 5% (figure n°4). Aux alentours du 22 juin le mildiou s'est sévèrement développé arrivant à 60% de feuille touchées à une intensité de 10%. Pendant le mois de juin, *Plasmopara viticola* a été dans des conditions de développement idéal pendant la floraison (figure n°5) avec l'alternance de fortes pluies et températures chaudes, ce qui a causé sa forte expansion.

Pour la campagne 2016, le débourrement a commencé vers le 20 avril sur les parcelles d'études, avec 5 jours d'avance pour le chardonnay par rapport au pinot N. Le printemps a été froid et pluvieux ce qui induit une pousse lente de la vigne. La floraison a débuté vers la fin du mois de juin, en plein pendant le développement du mildiou. L'expérimentation a été menée jusqu'au 29 juin, jour du dernier passage de prêle effectué, et les comptages finaux ont été réalisés le 30 juin. En effet, l'expérimentation a dû être arrêtée car la pression de la maladie était trop importante pour continuer à protéger la vigne uniquement avec de la prêle. Après discussion, les vigneron ont donc repris leurs traitements phytosanitaires habituels pour essayer de sauver la récolte.

b) Effet de la prêle sur *Plasmopara viticola*

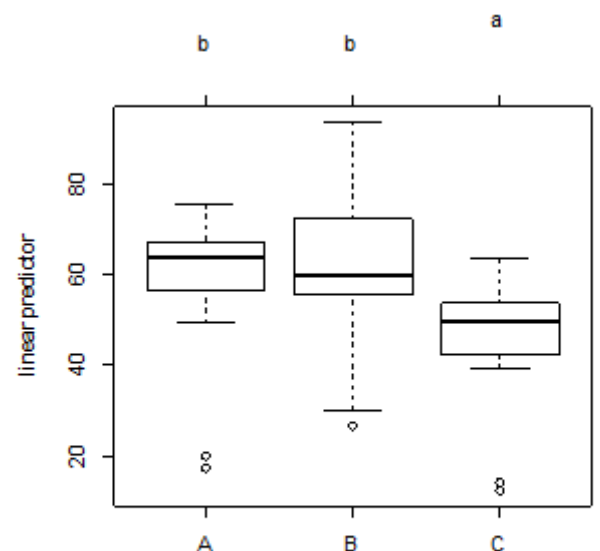
La fréquence d'attaque sur feuille

La figure n°6 ci-dessous nous montre la fréquence d'attaque de *Plasmopara viticola* sur feuille au 30 juin. On peut observer une forte variation entre les blocs, le bloc A a une moyenne de 56%, 62% pour le bloc B et 44% pour le bloc C. Ce dernier est le moins attaqué par le mildiou que, tandis que le bloc B présente une fréquence d'attaque supérieure. Un test ANOVA a été réalisé et a montré qu'il y a une différence significative entre les blocs, puis le test de Tukey a confirmé que le bloc C est différent statistiquement des autres (figure n°6). Il y a donc un effet bloc sur la variable étudiée.

La figure n°7 ci-dessous nous renseigne sur la fréquence d'attaque sur feuille en fonction des traitements appliqués, la référence cuivre est la plus basse avec une fréquence moyenne de 23%. Parmi les modalités à base de prêle la DEA a la fréquence d'attaque la plus faible (57,7%), mais il n'y a pas de grand écart avec la LD (59%), la DEAF (60,6%), et la D5 (63%). Le témoin représente la modalité la plus touchée avec une fréquence moyenne de 70%. Un test ANOVA a été appliqué et montre une différence significative entre les modalités, puis le test de Tukey a établi des groupes comme le montre la figure n°7. La modalité cuivre appartient au groupe « a », elle est donc statistiquement différente des autres qui appartiennent toutes au groupe « b ». Les modalités à base de prêle ne sont statistiquement pas différentes du témoin.

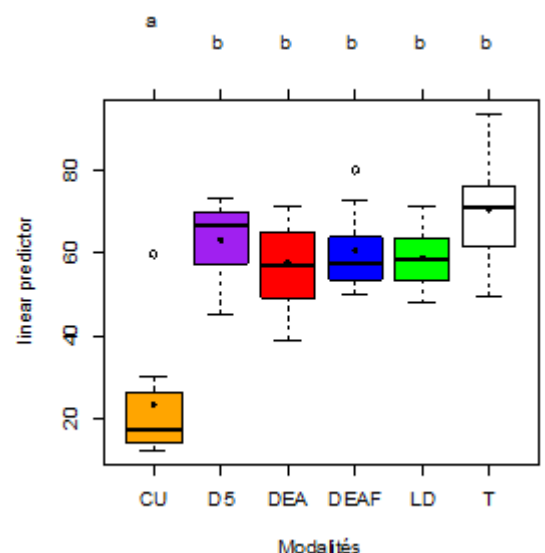
L'intensité d'attaque sur feuille

L'intensité d'attaque était très différente selon les parcelles, en effet le bloc C, correspondant à la parcelle de chardonnay du domaine de la Soufrandiere présentait une pression maladie plus faible. Ceci ce confirme dans la figure n°8 où l'intensité de la maladie est plus faible dans le bloc C. L'analyse de la variance réalisée avec un test ANOVA nous a montré une différence significative entre les blocs. Puis un test de Tukey (figure n°8) a révélé que le bloc C est statistiquement différent des autres, ce qui a confirmé nos observations. L'effet de bloc sur la variable est encore vérifié ici.



e en

Figure 6 Boîtes à moustaches de la fréquence d'attaque sur feuille en fonction des blocs



La figure n°9 ci-dessous nous présente l'intensité de l'attaque sur feuille du mildiou au 30 juin en fonction des modalités. On peut voir que c'est la modalité cuivre (la référence) qui a l'intensité d'attaque la plus basse. Parmi les autres modalités, le témoin est celui où l'intensité est la plus grande, ensuite la D5, la DEA et la DEAF sont très proches. La modalité LD a une intensité d'attaque inférieure. Un premier test ANOVA a été effectué, et a permis d'affirmer qu'il y avait une différence significative entre les modalités. Puis grâce au test de Tukey trois groupes ont été établis comme nous montre la figure n°9. La modalité cuivre est la seule à appartenir au groupe « a », elle est donc statistiquement différente des autres modalités.

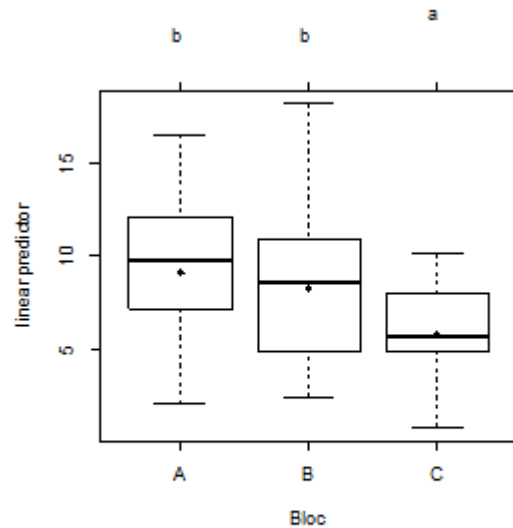


Figure 8 Boîtes à moustaches de l'intensité d'attaque sur feuille en fonction des blocs

La modalité LD forme le groupe « b », elle n'est pas statistiquement différente des autres modalités à base de prêle qui forment un groupe « bc ». Néanmoins c'est la seule préparation à base de prêle à être statistiquement différente du témoin car celui-ci appartient au groupe « c ».

Les modalités D5, DEA, DEAF ne sont pas statistiquement différentes du témoin, on ne peut pas conclure de leur effet sur *Plasmopara viticola*. Par contre l'effet de la prêle sur le développement du mildiou peut être vérifié ici car la modalité LD est statistiquement différente du témoin. La LD permet donc de diminuer l'intensité d'attaque de *Plasmopara viticola* sur feuille.

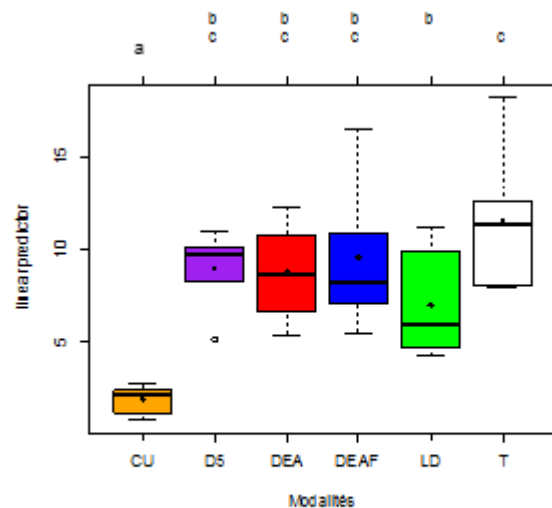


Figure 9 Boîtes à moustaches de l'intensité d'attaque sur feuille en fonction des modalités

La fréquence d'attaque sur grappe

La figure n°10 ci-dessous nous permet d'observer la fréquence d'attaque du mildiou sur grappe en fonction des blocs. Le bloc C présente là aussi une fréquence plus basse avec 35% tandis que celle du bloc B est de 55% et le bloc A est de 57%

Un test ANOVA a montré une différence entre les blocs et le test de Tukey classé les blocs A et B dans le même groupe, excluant le bloc C dans un autre groupe. Le bloc C est donc statistiquement différent des deux autres, ce qui montre une fois de plus l'effet bloc sur la variable étudiée.

On peut observer sur la figure n°11 ci-dessous la fréquence d'attaque de *Plasmopara viticola* sur grappe en fonction des modalités. Le témoin présente la moyenne la plus haute (64%), et la modalité cuivre la plus petite (16,88%). Les modalités à base de prêle sont proches l'une de l'autre, la DEA présente la fréquence d'attaque la plus basse avec 49,5%, puis vient la LD (55,33%), la DEAF (60,4%) et la D5 (60,6%). Le test ANOVA permet de dire qu'il y a des différences significatives entre les modalités. Un test de Tukey effectué a classé la modalité cuivre dans le groupe « a » et les autres modalités dans le groupe « b ». Ce qui nous permet de dire que la modalité cuivre est statistiquement différente des autres. Par contre les modalités à base de prêle ne sont pas différentes statistiquement entre elles, ni différente par rapport au témoin. Les préparations à base de prêle n'ont donc aucun effet sur la fréquence d'attaque de *Plasmopara viticola* sur grappe.

L'intensité d'attaque sur grappe

La figure n°12 ci-dessous nous montre l'intensité de l'attaque du mildiou sur grappe. On retrouve une fois de plus une disparité en fonction des blocs. Mais ici, c'est le bloc B qui présente l'intensité la plus élevée avec une moyenne de 23,7%, le bloc C a toujours le taux le plus bas avec 8,21% tandis que celle du bloc B est de 14,31%.

Un test ANOVA a révélé une différence entre les modalités, puis le test de Tukey a mis en évidence que le bloc A était statistiquement différent des deux autres, mais les blocs B et C ne se différencient pas statistiquement.

La figure ci-dessous n°13 présente l'intensité du mildiou sur grappe en fonction des modalités, la modalité cuivre est toujours la plus basse avec une moyenne de 3,17%, et le témoin est le plus élevé avec une moyenne de 23,8%. La DEA est la modalité à base de prêle qui est la plus basse avec une moyenne de 14,83%, s'en suit la LD (17,97%), la D5 (18,6%) puis la DEAF (18,83%). Un test ANOVA sur

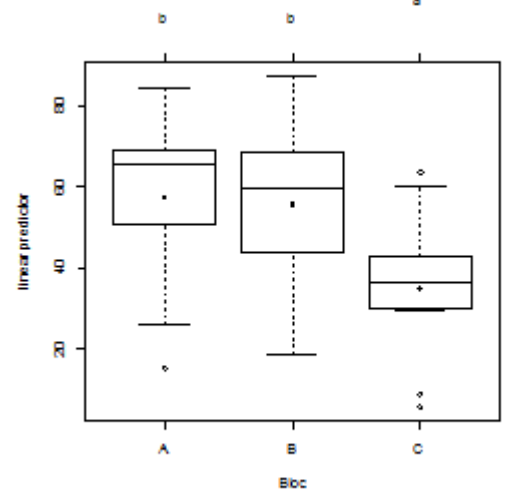


Figure 10 Boîtes à moustaches de la fréquence d'attaque sur grappe en fonction des blocs

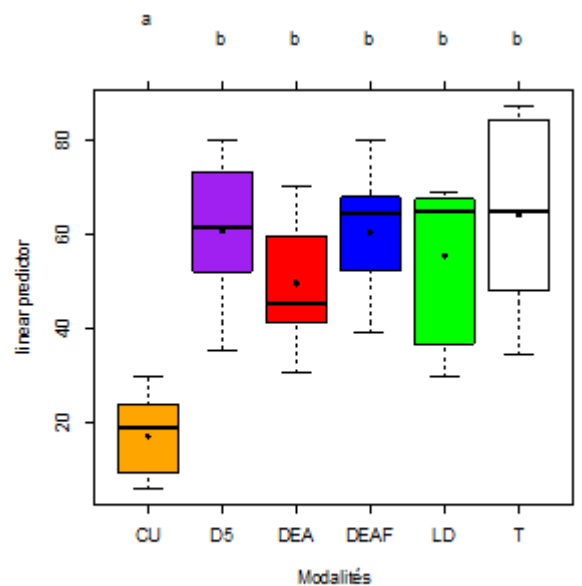


Figure 11 Boîtes à moustaches de la fréquence d'attaque sur grappe en fonction des modalités

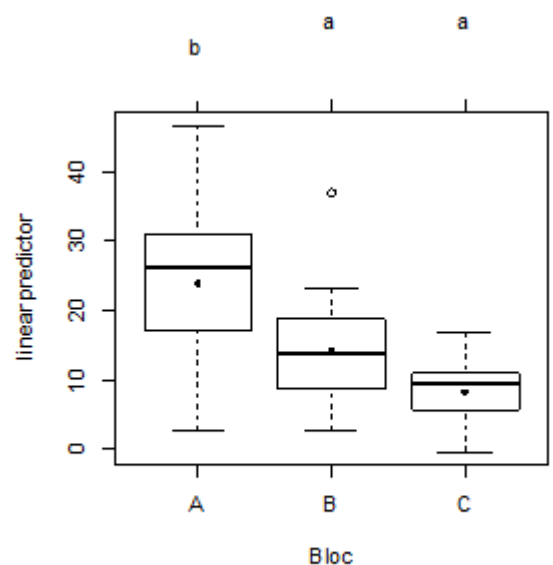


Figure 12 Boîtes à moustaches de l'intensité d'attaque sur grappe en fonction des blocs

l'analyse des variances décèle une différence significative entre les modalités. Le test de Tukey nous informe sur le graphique n°13 que la modalité cuivre est statistiquement différente des autres. Les autres modalités sont dans le même groupe, donc statistiquement pas différentes. Là aussi comme le témoin ne se différencie pas des modalités à base de prêle, nous ne pouvons pas affirmer que la prêle a un effet sur le mildiou.

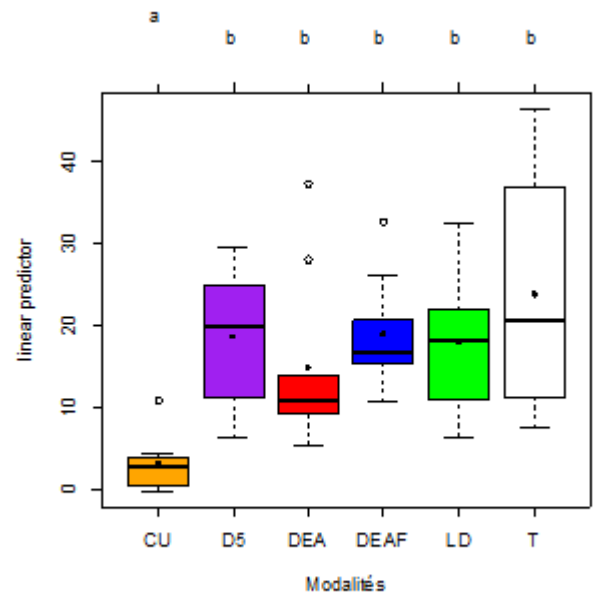


Figure 13 Boîtes à moustaches de l'intensité d'attaque sur grappe en fonction des modalités

Efficacité des traitements

Le calcul sur l'efficacité des traitements a été réalisé grâce à la formule d'Aboltt décrite au préalable. Le tableau n°6 ci-dessous nous présente l'efficacité des traitements en fonction des paramètres étudiés. L'efficacité des traitements sur l'intensité d'attaque sur feuille n'a pas pu être calculée car le témoin non traité présentait un taux d'infection inférieur à 25%. De plus les résultats d'une expérimentation en bloc randomisé doivent être analysés ensemble et non pas par bloc individuel. Cependant nous pouvons montrer des résultats d'un seul ou plusieurs blocs si cela apporte des précisions sur l'analyse. Ainsi sur le bloc C de notre expérimentation, le témoin non traité avait un taux d'infection inférieur à 25%. Les données du bloc C n'ont donc pas été comptabilisées pour effectuer les calculs d'efficacité sur les variables présentées dans le tableau n°6.

	CU	D5	DEA	DEAF	LD
Fréquence d'attaque sur feuille	64,77%*	10,95%	21,14%	16,53%	19%
Fréquence d'attaque sur grappe	71,52%*	13,09%	27,39%	12,01%	11,78%
Intensité d'attaque sur grappe	86,06%*	30,70%	46,93%	31,34%	27,58%
Efficacité moyenne	74,12%	18,25%	31,82%	19,96%	19,41%

Tableau 6 Efficacité des traitements en fonction des variables étudiés par rapport au témoin non traité ; Astérisque= Différence significative à 0.05%

La combinaison d'un test ANOVA avec un test de Tukey a permis de déceler une différence significative entre les modalités puis de les classer en groupe. Les modalités significativement

différentes sont notées d'un astérisque dans le tableau n°6. La modalité cuivre qui est le produit de référence est logiquement le plus efficace, mais avec 74.12% d'efficacité moyenne la protection n'est pas parfaite. Ce qui témoigne bien d'une part de la forte pression cryptogamique de la campagne 2016 et de la fragilité des traitements cupriques dans une année comme celle-ci. Cependant dans l'ensemble des variables la modalité cuivre est statistiquement différente, alors que les préparations à base de prêle sont dans le même groupe. On ne connaît donc pas qu'elle modalité contenant de la prêle a été la plus efficace. Mais si l'on observe les résultats d'efficacité on se rend compte qu'une tendance se dégage clairement, la modalité DEA a l'efficacité moyenne la plus élevée (31.82%), mais c'est aussi la plus efficace dans toutes les variables analysées. Il ne faut pas oublier que la variable sur l'intensité d'attaque sur feuille n'a pas pu être analysée. Les résultats obtenus sont différents de ceux obtenus dans l'étude de Gindro *et al.*, (2007), qui trouvaient une efficacité de la décoction de prêle de 71% sur des vignes sous serre. Ce qui prouve une fois de plus la difficulté de reproduire en plein champ les expérimentations réalisées sous serre et d'obtenir les mêmes résultats.

Conclusion sur l'analyse des résultats

Après analyse statistique des résultats, on s'aperçoit que le cuivre reste la protection la plus sûre pour lutter préventivement contre le mildiou. Ensuite sur la variable de l'intensité d'attaque sur feuille, la Lichtdünger a montré une différence significative avec le témoin, ce qui prouve que la prêle seule a un effet sur le développement du mildiou confirmant les recherches de Bardon (2011). Mais ce résultat a pu être vérifié uniquement sur cette variable. En observant les autres paramètres analysés, les préparations à base de prêle n'ont pas été statistiquement différentes du témoin. Cependant si l'on fait une méta-analyse des paramètres étudiés on s'aperçoit qu'une tendance se dégage, le témoin présentait toujours les taux d'intensité ou de fréquence les plus élevés. Certes cette différence n'est pas significative mais force est de constater que la prêle a quand même un effet sur le développement de *Plasmopara viticola*.

Les résultats de cette étude ne permettent pas de répondre correctement à la problématique principale sur la meilleure manière de préparer la prêle. La LD a montré un résultat significatif sur une variable, on peut donc affirmer que c'est cette préparation qui est la plus efficace. Cependant la LD a montré des résultats positifs uniquement sur une variable. Et si l'on analyse les autres paramètres étudiés c'est la modalité DEA qui présente la meilleure efficacité, mais ceci n'est qu'une tendance non démontré statistiquement. Il semble donc impossible de dire qu'elle est la meilleure façon de préparer la prêle, et serait judicieux de renouveler cette expérimentation pour confirmer ou non ces résultats.

c) L'indice du statut azoté

Les mesures du statut azoté de la vigne ont été effectuées le 12 juillet. Une seule mesure a été faite, ce qui est dommageable car trois mesures auraient fait office de répétition et permis de suivre l'évolution du statut azoté. Mais aussi de valider avec plus d'assurance les résultats obtenus.

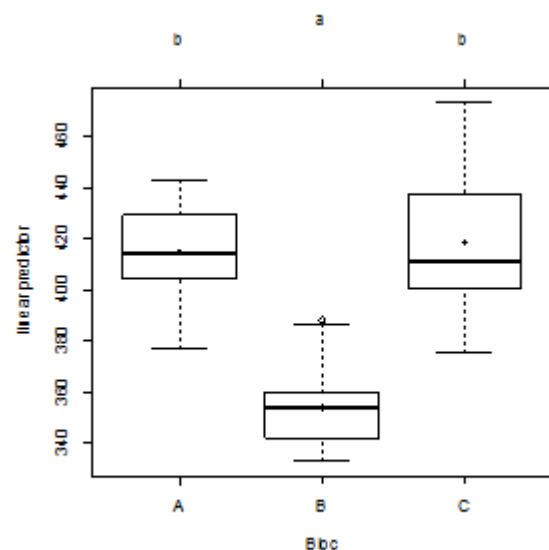


Figure 14 Boîtes à moustache sur l'indice du statut azoté en fonction des blocs

On peut observer dans le graphique n°14 que le bloc B (chardonnay Tripoz) a des valeurs de N-tester nettement inférieures aux deux autres blocs. Le bloc C (chardonnay Soufrandière) possède les valeurs les plus élevées.

Les valeurs suivent une loi normale (Shapiro-wil) et les variances sont homogènes (Bartlett). L'analyse des variances avec un test ANOVA a montré un effet bloc sur la variable étudiée. On a alors réalisé un test de Tukey qui nous a permis de faire des groupes comme l'illustre le graphique n°14. Ce qui nous permet d'identifier le bloc B comme significativement différent des deux autres. Les blocs A et C rentrent dans le même groupe, ils ne sont donc pas statistiquement différents.

Ensuite les valeurs de la variable étudiée ont été analysées en fonction des modalités testées comme le montre le graphique n°15. A première vue, il n'y a pas de grande différence entre les modalités, cependant le témoin fait partie des modalités qui ont les valeurs les plus faibles. Mais le test ANOVA pratiqué sur l'analyse des variances à confirmer nos impressions et ne nous permet pas d'affirmer qu'il y a une différence significative entre les modalités.

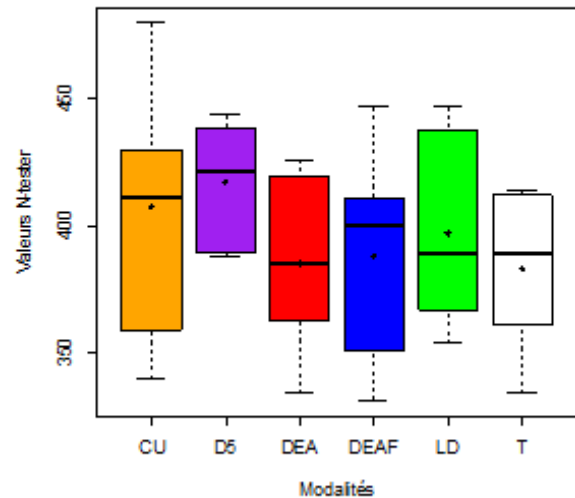


Figure 15 Boîtes à moustache sur l'indice du statut azoté en fonction des modalités

d) L'oïdium

Les résultats d'une expérimentation en bloc randomisé doivent être analysés ensemble et non pas par bloc individuel. Cependant nous pouvons montrer des résultats d'un seul bloc si cela nous semble intéressant. Dans notre expérimentation nous avons suivi principalement le développement du mildiou pour tester l'efficacité des différentes prèles. Mais il se trouve que sur le site n°3, la parcelle de chardonnay du domaine de la Soufrandière il y a eu un développement d'oïdium assez important pour réaliser des comptages. Seule cette parcelle a été touchée, les autres parcelles de chardonnay et de Pinot N situées sur le domaine Tripoz n'ont pas été infectées par l'oïdium. Nous savons grâce aux études sur la prêle que celle-ci a un effet antifongique, et qu'elle permet de contenir partiellement le développement de *Plasmopara viticola*, mais aucune recherche n'a démontré sa capacité à lutter contre l'oïdium chez la vigne. Cependant des témoignages de vignerons appliquant des traitements avec ajout de décoction de prêle ont observé une baisse de l'intensité de l'oïdium, mais aucun comptage n'a été réalisé. Ainsi il est intéressant d'analyser les comptages effectués sur le site n°3. Comme vu précédemment, le manque de répétition ne permet pas de réaliser une analyse statistique permettant de différencier les modalités, mais il est possible de dégager des tendances grâce aux statistiques descriptives.

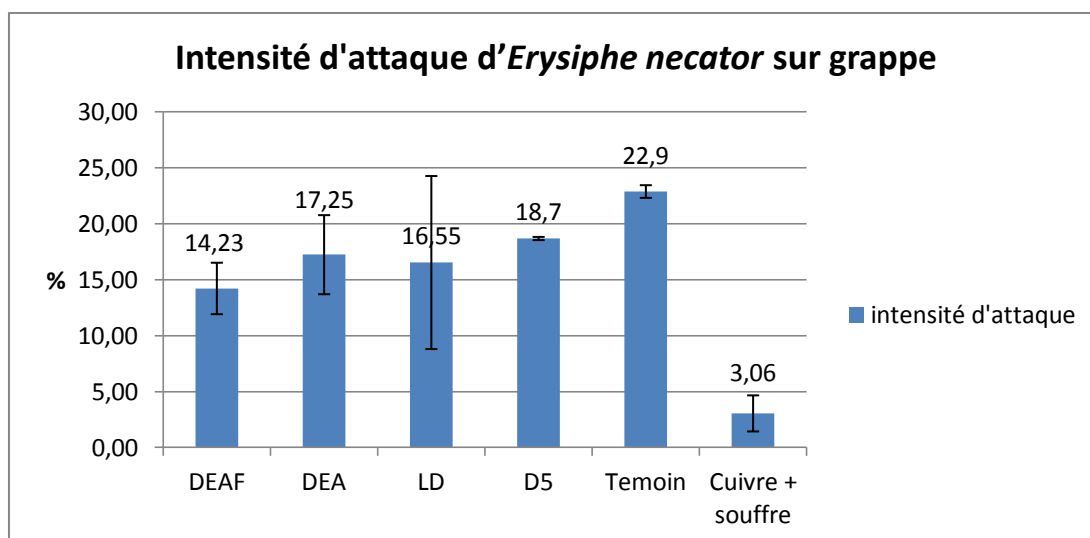


Figure 16 Intensité d'attaque d'*Erysiphe necator* sur grappe

Le graphique n°16 ci-dessus nous montre l'intensité d'attaque sur grappe d'*Erysiphe necator*, agent pathogène de l'oïdium, lors du comptage réalisé le 12 juillet 2016. Le but était de savoir si d'une part la prêle a un effet sur le développement de l'oïdium, et si c'est le cas, qu'elle était la meilleure préparation qui avait la meilleure efficacité. On peut observer sur le graphique n°16 que la modalité qui est la plus basse reste celle qui reçoit les traitements classiques à base de cuivre et de soufre avec une intensité d'attaque de 3,06%. A contrario la modalité qui est la plus atteinte est le témoin non traité avec une intensité d'attaque de 22,9%, et toutes les modalités à base de prêle sont en-dessous de ce dernier. On ne peut pas dire que les modalités qui contiennent de la prêle sont significativement différentes du témoin, néanmoins une tendance se dégage nettement. A noter que la modalité LD à un écart-type assez important, avec même des valeurs supérieures à celle du témoin, on peut donc émettre des doutes quant à l'efficacité de celle-ci. Ensuite si on observe les quatre modalités testées on peut voir que la DEAF est la modalité qui est la moins touchée avec une intensité d'attaque de 14,23 %, puis vient ensuite la Lichtdünger (16,55%), la DEA (17,25%) et enfin la D5 avec 18,7%. Conclure sur le fait que la DEAF est la meilleure manière de préparer la prêle pour lutter contre l'oïdium serait trop rapide car les résultats ci-dessus sont le reflet d'une seule parcelle sur une année, et aucune analyse statistique n'a pu être réalisée. Mais ces résultats sont assez positifs pour nos recherches et confirment les observations faites par les vignerons. Il serait intéressant dans des régions à forte pression oïdium, de mettre en place des expérimentations pour évaluer l'efficacité de la prêle sur l'oïdium afin d'analyser statistiquement les résultats et de pouvoir ainsi éclaircir la problématique.

III. Conclusion et perspectives

Durant la campagne 2016 la pression maladie a été très forte, beaucoup de viticulteurs convertis en agriculture biologique ou biodynamique ont eu des difficultés à contenir le développement du mildiou. Les alternances de pluies et de chaleur ont favorisé la propagation du mildiou, et au dire des vignerons, ils n'avaient jamais vu un mildiou avec une telle virulence. Les absences de résultats que nous obtenons sur l'efficacité de la prêle sont probablement dues à la puissance de *Plasmopara viticola* de cette année.

Dans les études scientifiques réalisées sur l'efficacité de la prêle sur le mildiou, les meilleurs résultats ont été obtenus quand la prêle a été associée avec une dose de cuivre (Bardon 2011). Et ainsi les traitements qui sont réalisés uniquement à base de plantes ne donnent pas de résultats satisfaisants. Je pense qu'il faudrait revoir les modalités pour l'année prochaine, en associant pour chaque traitement une faible dose de cuivre, 100 g/ha par exemple, avec un témoin à 100g de Cu/ha. Un couplage de la prêle avec le cuivre permettrait de mieux lutter contre l'agent pathogène du mildiou afin de contenir un minimum le mildiou. Car une année comme celle-ci, les maladies cryptogamiques ont pris le dessus sur le potentiel effet positif de la prêle. On sait qu'il est impossible de tenir une saison complète uniquement avec des tisanes, décoctions de plantes ou huiles essentielles. Ce ne sont que des compléments aux traitements phytosanitaires qui vont aider la plante à se défendre, ou avoir un effet direct sur les agents pathogènes. L'ajout de cuivre permettrait de ralentir le développement des maladies et donc de maintenir l'expérimentation jusqu'au bout de la saison en rassurant le vigneron sur la potentielle perte de récolte. Toutes les études qui ont montré des résultats positifs sur l'efficacité de la prêle (Garcia *et al.*, 2012 ; Gindro *et al.*, 2007; Bardon 2011) ont été faites en laboratoire ou sous serre avec inoculation artificielle de l'agent pathogène. Peu d'études ont été réalisées en plein champ dans des conditions naturelles.

Lors de ces essais la prêle a été appliquée à une dose de 100g/ha pour la modalité DEA et DEAF, et en quantité encore plus faible pour les modalités D5 et LD. Au vu des résultats obtenus, est-ce que la dose de prêle utilisée n'est pas trop faible pour pouvoir lutter efficacement contre le mildiou ? Surtout dans une année comme celle-ci avec une forte pression cryptogamique.

D'après Marchand *et al.*, (2014) la prêle n'a aucun effet néfaste sur les abeilles, les typhlodromes et les espèces aquatiques, il est donc envisageable d'augmenter la dose à employer à l'hectare sans craindre une baisse de la biodiversité. En agriculture biologique pour lutter contre le mildiou seul le cuivre est autorisé. La dose de référence est de 600g de Cu métal/ha bien que beaucoup de vignerons n'emploient pas autant de quantité de cuivre par traitements. Le cuivre doit être utilisé en préventif car il a un effet anti-germinatif sur *Plasmopara viticola*. D'après Garcia *et al.* (2012) et Gindro *et al.*, (2007), la prêle aurait comme le cuivre un effet anti-germinatif dans une proportion plus faible que ce dernier, il convient donc d'utiliser la prêle en traitement préventif. Dans notre expérimentation la prêle est employée à une dose six fois moins concentrée que la dose de référence pour le cuivre, alors que ces effets sont indéniablement plus faibles. Il semblerait donc que la dose de 100g/ha de prêle soit trop faible pour lutter durablement contre *Plasmopara viticola*. Il serait intéressant de mettre en place des expérimentations sur les doses de prêle à appliquer, en utilisant la prêle à 100, 200, 400 et 600g/ha, en réalisant des traitements préventifs et ainsi observer

si l'augmentation de la dose permet d'augmenter l'effet anti-germinatif afin de lutter durablement contre le mildiou.

Cependant la Lichtdünger est la seule modalité qui a donné un résultat encourageant avec une différence significative avec le témoin sur l'intensité d'attaque de *Plasmopara viticola* sur feuille. Cette préparation commerciale est à base de D5 de décoction de prêle et une D5 de *Dioscorea batata*, puis diluée au 40^{ème} donc avec une concentration en substance active très faible. Son efficacité est sûrement due à la présence de *Dioscorea batata* car sur la même variable la modalité D5 de décoction de prêle n'est pas statistiquement différente du témoin. Cependant aucune recherche scientifique n'a été faite sur l'efficacité de *Dioscorea batata* contre des maladies fongiques comme le mildiou. Et dans notre expérimentation la Lichtdünger est différente du témoin uniquement sur une variable. Il faut donc rester prudent quant à son efficacité, et répéter l'expérimentation pour obtenir des résultats plus fiables.

Sur la parcelle du domaine de la Souffrandière, qui possède une exposition plus favorable, un sol moins limoneux, et une meilleure gestion des mauvaises herbes il n'y a pas eu de pertes de rendement. D'autre part au 20 juin les parcelles étaient quasi indemnes de mildiou sans qu'aucun cuivre ni soufre n'ait été appliqué alors que dans les autres parcelles, les vignerons avaient déjà appliqué plus de 6 traitements représentant plus de 2 kilogrammes de cuivre métal par hectare. Cela interroge sur les possibilités de n'employer que des tisanes avant la fleur ce qui serait une belle économie financière et aussi écologique.

Le choix de la date de traitement est aussi un point important qui est discutable. Je pense que l'influence lunaire sur le développement des champignons est indéniable, mais ne regarder que le calendrier lunaire pour positionner les dates de traitement est un tort, surtout quand celles-ci sont espacées de plus de quinze jours. En effet il est arrivé qu'il tombe jusqu'à 20 millimètres de pluie entre deux traitements ce qui lessive complètement un produit cuprique dans lequel il a été ajouté des adjuvants pour augmenter la tenue du produit sur la feuille. Alors je pense qu'un produit naturel uniquement à base de prêle est lessivé plus rapidement, ce qui favorise davantage le développement des maladies cryptogamiques. Il me semble que vouloir appliquer les traitements en suivant les indications de Steiner met en péril l'objectif principal de l'étude qui est de connaître la meilleure façon pour préparer la prêle, car cela laisse de trop grandes fenêtres de temps favorable au développement et à l'installation de l'agent pathogène. Il serait pour moi judicieux de garder ces dates de traitements tout en se gardant la possibilité durant la saison d'effectuer des traitements si des épisodes pluvieux venaient à lessiver les produits appliqués.

Les préparations naturelles peu préoccupantes sont à l'heure actuelle compliquées à mettre en place car on possède encore trop peu d'information à leurs sujets. Leurs efficacités sont bien reconnues de tous les applicateurs, mais le manque d'information concernant leur mode d'action, leur rémanence ou bien leur photodégradation ne permet pas encore de bien les utiliser et de tirer le meilleur profit de leurs vertus.

Concernant cette expérimentation, je préconiserai en parallèle des essais en plein champ, de tester ces préparations à base de prêle en effectuant des tests *in vitro* sur disque foliaire avec inoculation artificielle de l'agent pathogène. Ces expérimentations en laboratoire pourraient répondre de manière plus facile quant à la meilleure façon de préparer la prêle. Les résultats seraient dans tous les cas confirmés par des essais au vignoble. Ces tests permettraient d'évaluer facilement

l'efficacité de la prêle sur d'autre maladie comme l'oïdium. Mais ils pourraient également nous renseigner sur la rémanence, leur photodégradation ou la stabilité dans le temps des préparations à base de prêle. Ce sont des tests faciles à mettre en place, demandant très peu de moyens techniques.

Des ajustements techniques comme l'ajout de faibles doses de cuivre ou l'augmentation du nombre de traitements ou de la dose appliquée permettraient d'obtenir des résultats satisfaisants, car on crée actuellement des conditions favorables au développement de *Plasmopara viticola*, qui prend le dessus sur la prêle et ne lui permet pas de pouvoir exprimer ces propriétés antifongiques.

Sur les blocs A et B correspondant aux parcelles du domaine Tripoz, la campagne 2016 a été compliquée en terme d'entretien du sol. En effet, les fortes pluies du début de saison ont rendu impossible le passage d'outils mécaniques sous le rang de vigne, alors que l'herbe continuait de pousser. Ils ont donc tondu cette herbe puis effectué un petit buttage ce qui a permis de maintenir le cavillon partiellement propre. Mais ensuite durant toute la saison, l'herbe sous le rang s'est développée de façon exponentielle, et a fini par monter dans les pieds de vigne sur certains endroits (figure n°16). Les adventices qui montent dans les souches constituent une échelle à mildiou, qui va favoriser les contaminations primaires. De plus cela entraîne la formation d'un microclimat humide à l'intérieur de la zone des grappes favorable au développement de *Plasmopara viticola*. Tout ceci a favorisé le développement du mildiou de façon hétérogène sur ces deux blocs.

Concernant le design de l'essai, celui-ci n'est pas approprié pour effectuer des tests sur l'efficacité de produits biologiques. En effet nous nous sommes rendus compte que lorsque nous pulvérisons les produits à base de prêle il y avait par temps de vent une dérive de chaque produit ce qui pourrait fausser les résultats. Il faudrait donc soit augmenter les rangs de gardes afin de réaliser les comptages dans des rangs où l'on est sûr qu'il n'a pas reçu des pulvérisations d'une autre modalité. Mais cette solution est compliquée car il faudrait que les vigneron mettent à disposition des parcelles plus grandes, acceptant de prendre le risque de perdre un peu de récolte. La deuxième solution serait de passer de chaque côté du rang pendant la pulvérisation avec des panneaux en plastique afin de limiter les dérives. Cette solution serait la plus facile à mettre en place, elle ne demandera pas de surface supplémentaire aux vigneron, mais le temps de pulvérisation sera plus long et nécessitera trois personnes pour effectuer cette tâche.

Dans le futur pour mener à bien cette expérimentation il faudrait revoir le dispositif expérimental. Tout d'abord centraliser l'essai sur une même parcelle de vigne et mettre en place quatre blocs, avec quatre répétitions par modalité, où celle-ci seraient réparties aléatoirement. Ce qui permettrait de traiter les données plus facilement et d'avoir une expérimentation fiable et répétable. On pourrait avec l'accord du domaine Tripoz se concentrer uniquement sur la parcelle de Chardonnay en réalisant le dispositif décrit ci-dessus. Ainsi les surfaces de vigne que le vigneron met à disposition restent inchangées. Seulement la disposition aléatoire des modalités entraînera une complication lors des pulvérisations, mais largement acceptable pour les expérimentateurs.

La difficulté majeure dans une structure comme celle-ci est de trouver des vignes pour réaliser des expérimentations concernant l'emploi de produits naturels. En effet mettre à disposition des parcelles de vignes est un risque à prendre pour les vigneron car les essais occasionnent des pertes de rendements obligatoires notamment sur les témoins non traités. Sur les parcelles de vigne du domaine Tripoz (bloc A et B), l'arrêt de l'expérimentation a été décidé un peu trop tard, le mildiou

était déjà bien installé sur le végétal et même avec la reprise des traitements cupriques et soufrés et la pulvérisation de sel il n'a pas été possible d'endiguer le mildiou. Sur ces parcelles d'expérimentation il y a eu une perte de 90% du rendement. Alors même si cette perte est petite et acceptable pour l'exploitation, l'association « Soins de la Terre » est à la recherche d'une assurance qui pourrait prendre en charge et dédommager les vignerons dans les années comme celle-ci. De plus cela encouragerait les vignerons à développer des essais qui pourraient être maintenues jusqu'au bout de la campagne.

Même si cela n'a pas pu être vérifié dans cette étude, on a vu précédemment que la prêle a un effet sur le développement de *Plasmopara viticola*, mais aucune n'a été faite sur sa capacité à combattre l'oïdium alors que les résultats décrits plus hauts sont intéressants et porteurs d'espoir. Beaucoup de vignerons utilisent la prêle pour lutter contre le mildiou. Si la faculté de la prêle à pouvoir lutter contre le mildiou et l'oïdium est avérée, cela en ferait une plante essentielle dans le but de baisser les doses de produits phytosanitaires.

IV. Bibliographie

Abele U. 1973 Vergleichende Untersuchungen zum konventionellen und biologisch-dynamischen Pflanzenbau unter besonderer Berücksichtigung von Saatzeit und Entitäten. Dissertation. Justus Liebig Universität Giessen. Inst. für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung.

Abele U. 1975 Saatzeitversuch mit Radies. Lebendige Erde 6: 223-225.

Bardon A. 2011 rapport Master 2 Vigne Vin Terroir : Alternative au cuivre dans la maîtrise du mildiou en vigne en agriculture biologique Université de Bourgogne.

Brown F. Chow C. 1973 Lunar-correlated Variations in Water Uptake by Bean Seeds. Biol. Bull. 145: 265-278.

Endres K. Schad W. 1997 Biology of the Moon. Moon periodicities and Life Rhythms. S.Hirzel verlag, Stuttgart / Leipzig.

Fritz J. 1994 Untersuchungen zum Einfluss des synodischen Mondrhythmus auf das Pflanzenwachstum von Rettich (*Raphanus sativus*) und Efeueralie (*Fatschedera lizei*). Witzenhausen (Dipl.- Arbeit). Universität Gesamthochschule Kassel.

Garcia D., Ramos A.J., Sanchis V., Marín S., 2011 Effect of *Equisetum arvense* and *Stevia rebaudiana* extracts on growth and mycotoxin production by *Aspergillus flavus* and *Fusarium verticillioides* in maize seeds as affected by water activity. Food Microbiology 153, 21–27.

Gindro K., Godard S., De Groote I., Viret O. 2007 Peut-on stimuler les mécanismes de défense de la vigne? Revue suisse Vitic. Arboric. Hortic. Vol. 39 (6): 377-383.

Graviou E. 1978 Analogies between rhythms in plant material, in atmospheric pressure, and solar lunar periodicities. International Journal of Biometeorology. Vol.22 (2): 103-111.

Hebrard O., Douzals J-P., Ruelle B., De Rudnicki, V., Bonicel, J-F, Codis, S., Montegano, P.Verges, A., Davy A., Raynal M. 2013 L'optimisation des doses permise par la précision d'application du

pulvérisateur en vignes étroites. Compte-rendu de 7 années d'expérimentation. Institut Français de la Vigne et du Vin, IRSTEA Montpellier. Lettre actualités n° 64.

Hofman P.J., Featonby-Smith C., Van Staden J. 1986 The development of ELISA and IRA for cytokinin estimation and their application to a study of lunar periodicity in *Ecklonia maxima* (Osbeck) Papenf.. J. Pl. Physiol. 122: 455-466.

Innamorati M., Signorini, P. 1980 Ritmi nei vegetali: rilevamento ed analisi. G. Bot. Italiano 114 (3-4): 124.

Kolisko L. 1927 The moon and the plant growth. In Wachsmuth G. (ed), "GäaSophia." Jahrbuch der naturwissenschaftlichen Sektion am Goetheanum. Dornach, Switzerland. Bd II: 358-379.

Kolisko L. 1929 The moon and the plant growth. In Wachsmuth, G. (ed), "GäaSophia." Landwirtschaft. Dornach, Switzerland. Bd IV: 84-94.

Kolisko L. 1934 The moon and the plant growth. Mitteilungen des Biologischen Institutes am Goetheanum. Dornach, Switzerland. Nr.1: 19-21 and Nr.2: 17-24.

Kolisko L. 1935 The moon and the plant growth. Mitteilungen des Biologischen Institutes am Goetheanum. Dornach, Switzerland. Nr.3: 17-19 and Nr.4: 3-14. Kolisko, E. and L.

Kolisko L 1939 / 1953 Agriculture of Tomorrow, Stroud, Gloucester, England: Kolisko Archive, original publication, 1939, Bournemouth 1947 Trad. allem.: Landwirtschaft der Zukunft, Meier & Cie, Schaffhausen Switzerland, 1953.

Marchand,P.A., Isambert C.A., Jonis M., Parveaud C.-E., Chovelon M., Gomez C.,Lambion J., Ondet S.J., Aveline N., Molot B., Berthier C., Furet A., Clerc F., Rey A., Navarro J-F., Bidault F., Maille E., Bertrand C., Andreu V., Treuvey N., Pierre S. P., Coulon A., Chaput C., Arufat A., Brunet J.-L., Belzunces L., Bonafos R., Guillet B., Conseil M., Tournant L., Oste S., Larrieu, J.-F. 2014 Évaluation des caractéristiques et de l'intérêt agronomique de préparations simples de plantes, pour des productions fruitières, légumières et viticoles économes en intrants. Innovations Agronomiques 34, 83-96.

Masson P. 2015 Guide pratique pour l'agriculture biodynamique.

Opitz K. 1936 Über den Einfluss des Mondes auf das Pflanzenwachstum. Z. Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde 41: 357-359.

Popp M. 1933 Hat der Mond einen Einfluss auf das Pflanzenwachstum? Z. Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde Bd.11 (4): 145-150.

Poppn M.1936 Hat der Mond einen Einfluss auf das Pflanzenwachstum? 2. Mitt. Z. Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde 41: 348-357.

Popp M. 1937 Hat der Mond einen Einfluss auf das Pflanzenwachstum? 3. Mitt. Z. Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde 48 (3/4): 133-138.

Semmens E. 1923 Effect of Moonlight on the germination Seeds, Nature vol. 111 p.49-50.

Spiess H. 1994 Chronobiologische Untersuchungen mit besonderer Berücksichtigung lunarer Rhythmen im biologische-dynamischen Pflanzenbau, Darmstadt; 2 vols.

Spring J.-L. 1999 Indice chlorophyllien du feuillage et nutrition azotée du cépage Chasselas. Rev. Suisse Vitic. Arboric. Hortic., 31, 141-145.

Spruyt E., Verbelen J.-P., De greff J. A. (1987) Expression of Circaseptan and Circannual Rhythmicity in the Imbibition of Dry Stored Bean Seeds. Plant Physiol. 84: 707-710.

Steiner R. 1923 Le cours aux agriculteurs.

Voegele L. 1930 Dynamische Wirkungen und ihre praktische Auswertung. Demeter 5 (12): 241- 245.

Zürcher E. 2008 Aux origines des plantes: Des plantes anciennes à la botanique du XXIe siècle.