

MASTER FAGE
Biologie et Ecologie pour la Forêt, l'Agronomie et
l'Environnement

Spécialité
BIPE

Mémoire de stage :

Thème : Optimisation agro-environnementale de l'application de produits phytosanitaires en viticulture

Titre : Optimisation agro-environnementale de l'application des produits phytosanitaires en viticulture par l'utilisation de matériels d'application performants et l'adaptation des doses au contexte de la parcelle

Soutenu par :

Mélanie PERCHERON

à Nancy le 03/09/2012

Maître de stage :

Sébastien CODIS

Ingénieur agronome

Tuteur universitaire :

Yves JOLIVET

Siège social
Institut Français de la vigne et de Vin
Domaine de l'Espiguette
30240 Le Grau du Roi



SOMMAIRE

Introduction	p1
Epilogue – <i>Présentation de l’Institut Français de la vigne et du Vin</i>	p2
I. Réflexions et mise en place de l’étude	p2
1.1. Les principales maladies préjudiciables en viticulture	p2
1.1.1. Biologie et épidémiologie de l’agent responsable du mildiou sur vigne	p2
1.1.2. Biologie et épidémiologie de l’agent responsable de l’oïdium sur vigne	p3
1.2. Les doses homologuées de produits phytosanitaires	p4
1.3. Technologie, configuration et précision des matériels de pulvérisation	p4
1.3.1. Technologie et configuration de pulvérisateur	p5
1.3.2. Précision des matériels de pulvérisation	p5
1.4. Optimisation agro-environnementale de la pulvérisation	p7
1.4.1. Pertes de produits phytosanitaires et impacts environnementaux	p7
1.4.2. Quelle action sur les doses de produits phytosanitaires ?	p8
1.5. Problématique	p8
II. Dispositif expérimental et modalités d’essai	p8
2.1. Caractéristiques de la parcelle	p9
2.2. Techniques d’application évaluées	p10
2.2.1. Matériel de pulvérisation	p10
2.2.2. Spécialités fongicides utilisées	p11
2.3. Réductions de doses envisagées	p12
2.4. Mise en place des modalités de traitement	p13
2.5. Suivi du pathosystème	p14
2.5.1. Disposition des Témoins Non Traités	p14
2.5.2. Disposition des placettes en zone traitée	p14
2.5.3. Suivi des maladies	p15
III. Résultats et interprétations	p15
3.1. Calendrier et éléments de raisonnement des traitements	p15
3.2. Pourcentage de récupération des pertes et doses réellement appliquées	p16
3.3. Etat phytosanitaire spatio-temporel de la parcelle au regard des Témoins Non Traités	p17
3.4. Effets des traitements sur le pathosystème	p20
3.4.1. Suivi des placettes	p20
3.4.2. Inventaire des foyers d’oïdium	p21
IV. Optimisation agro-environnementale de la pulvérisation : bilan et perspectives	p23
Conclusion	p23
Bibliographie	p23
Annexes	

LISTE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Schéma représentant les doses homologuées de fongicides anti-oïdium et anti-mildiou relatives aux doses homologuées en France.	p4
Figure 2 : Schéma représentant et expliquant les trois technologies de pulvérisation ainsi que la configuration des pulvérisateurs fréquemment utilisés en viticulture et utilisés sur nos essais expérimentaux.	p5
Figure 3 : Graphique représentant la quantité de dépôt par unité de surface de végétation (exprimée en ng/dm ² pour 1g/ha) sur les capteurs placés en vigne étroite et en vigne large en début et en pleine végétation pour différents pulvérisateurs classés par ordre croissant de performance.	p6
Figure 4 : Schéma (A) expliquant l'essai expérimental illustrant la répartition de la bouillie (B) sur les 4 faces en traitement tous les 4 rangs avec un pulvérisateur pneumatique 4 mains 4 canons.	p6
Figure 5 : Image satellite de la parcelle d'essai du Domaine Mas Piquet.	p10
Figure 6 : Formule permettant de calculer le volume de bouillie appliqué à l'hectare.	p11
Figure 7 : Représentation schématique de la parcelle d'essai et du dispositif expérimental au Domaine de Mas Piquet.	p13
Figure 8 : Disposition des 8 placettes sur une modalité d'essai selon le passage du matériel et le type de buse.	p15
Figure 9 : Graphique représentant l'évolution de l'indice foliaire LAI en ha/ha selon les trois dates de mesure pour les deux sous-parcelles H et C du Domaine de Mas Piquet.	p15
Figure 10 : Graphique représentant la hauteur des précipitations (en mm), la température moyenne (en °C) et les traitements en fonction des jours des mois de mars à août.	p16
Figure 11 : Intensité oïdium sur les huit Témoins Non Traités de la parcelle du Domaine de Mas Piquet.	p18
Figure 12 : Répartition des foyers d'oïdium dans la parcelle d'essai du Domaine Mas Piquet selon les 4 classes d'intensité maladie.	p21
Tableau 1 : Comparaison des deux sous-parcelles C et H selon plusieurs facteurs agronomiques.	p9
Tableau 2 : Eléments propres aux matériels générant un volume hectare quasiment identique	p11
Tableau 3 : Homologation des deux spécialités Héliocuivre et Héliosoufre.	p12
Tableau 4 : Matériel et réductions de dose pour les 4 modalités de traitement	p13
Tableau 5 : Pourcentage de récupération et quantités de Cuivre et soufre réellement appliquées sur la parcelle	p17
Tableau 6 : Fréquence et intensité d'attaque mildiou et oïdium sur grappes sur les 8 Témoins Non Traités (TNT A à H) sur l'essai au Domaine Mas Piquet pour les 3 comptages du 13/06/2012 (compt1–floraison), 05/07/2012 (compt2–fermeture grappe) et 01/08/2012 (compt3–véraison).	p17
Tableau 7 : Fréquence et intensité d'attaque mildiou et oïdium sur feuilles sur les 8 Témoins Non Traités (TNT A à H) sur l'essai au Domaine Mas Piquet pour les 3 comptages du 13/06/2012 (compt1–floraison), 05/07/2012 (compt2–fermeture grappe) et 01/08/2012 (compt3–véraison).	p18
Tableau 8 : Statistique descriptive de la fréquence et de l'intensité oïdium sur la parcelle.	p19
Tableau 9 : Intensité mildiou et oïdium sur la sous-parcelle C selon la réduction de dose (modalité 2 à 4) et selon le type de buses (IDK – LU) lors du comptage 3 (01/08/2012).	p20
Tableau 10 : Intensité mildiou et oïdium sur la sous-parcelle H selon la réduction de dose (modalité 2 à 4) et selon le type de buses (IDK – LU) lors du comptage 3 (01/08/2012).	p20
Tableau 11 : Nombre et pourcentage de foyers niveaux 1 à 4 selon la sous-parcelle et les modalités d'essai.	p22
Photographies 1 : Symptômes de mildiou sur feuilles de vigne.	p3
Photographies 2 : Symptômes d'oïdium sur vigne.	p4

Introduction

Actuellement, la France est le plus grand consommateur de produits phytosanitaires en Europe, toutes cultures confondues. Bien qu'elle n'occupe que 3,7% de la Surface Agricole Utile (SAU), la viticulture consomme néanmoins 20% des produits phytosanitaires, dont 80% de fongicides (Aubertot *et al.*, 2005). Ces fongicides sont utilisés principalement pour lutter contre le mildiou, l'oïdium et la pourriture grise, trois maladies fongiques cryptogamiques ayant d'importants impacts économiques sur la viticulture française. Cependant, la forte utilisation de produits phytosanitaires peut engendrer des problèmes à la fois sanitaires (exposition des opérateurs et des riverains) et environnementaux (pollution des eaux, pollution des sols, appauvrissement de la biodiversité ...). Face à ces impacts, dans le cadre du Grenelle de l'environnement, la France s'est engagée, en 2008, à réduire de 50%, si possible, l'utilisation de produits phytosanitaires d'ici l'horizon 2018 (Plan Ecophyto 2018), et ce pour toutes les cultures.

Pour atteindre cet objectif, plusieurs pistes sont envisageables. A long terme, les connaissances en génétique des populations et l'amélioration des connaissances dans la prophylaxie et de manière plus générale dans le fonctionnement systémique de la vigne seront des axes à suivre pour parvenir à ces objectifs. A court et moyen termes, afin de satisfaire les engagements de la France d'ici 2018, une meilleure gestion des traitements, tant au niveau des substances et des formulations des produits qu'au niveau des techniques d'application est une piste très concrète de réduction des intrants qui est à privilégier. En effet, les techniques d'application, via les réductions de doses permises entre autres par un matériel performant et un raisonnement précis des traitements devraient permettre à elles-seules de franchir la barre des 50% de réduction. Cependant, dans ce nouveau contexte agro-environnemental, les techniques d'application en viticulture demeurent encore un domaine trop marginalisé et dont le potentiel n'a pas encore été exploré.

Ainsi, ma mission au sein de l'Institut Français de la Vigne et du Vin a constitué en l'étude et la validation, par des essais biologiques, de la faisabilité de réduction de doses en tenant compte de plusieurs facteurs à savoir :

- Les caractéristiques biologiques et environnementales des parcelles suivies : cépage, végétation, historique de la pression maladie ... ;
- Les caractéristiques techniques liées à la pulvérisation : performance des pulvérisateurs en termes agronomiques et environnementaux ;
- L'épidémiologie des maladies cryptogamiques étudiées.

Pour cela, des essais ont été réalisés sur trois niveaux expérimentaux, en conditions réelles au vignoble. Ils seront donc limités (en termes de représentativité statistiques) et tributaires des aspects économiques (liés à la gestion des domaines expérimentaux) et matériels. Ainsi, pour la partie expérimentale de mon stage, ma mission a été de fixer les modalités de traitement au regard de la problématique environnementale actuelle, de mettre en place des protocoles de traitement différents selon les niveaux d'expérimentation, de réaliser et suivre les traitements expérimentaux, de collecter les données et d'analyser les résultats dans la limite de leur validité statistique. Pour la partie communication inhérente à un stage ingénieur, ma mission a été de gérer et d'animer le réseau de parcelles à disposition, mais également de transmettre à tous nos partenaires les résultats et conclusions de nos essais.

Par ailleurs, l'IFV étant précurseur dans ce domaine expérimental, nos essais se sont placés dans la catégorie pré-essai, afin de donner, certes, des résultats en termes de réductions de doses, mais surtout des pistes de réflexions permettant d'aller plus loin dans l'optimisation agro-environnementale de la gestion des traitements phytosanitaires.

Ce rapport présente donc les différents points relatifs aux traitements phytosanitaires, à savoir les maladies les plus préjudiciables sur la vigne et leur épidémiologie, le matériel

utilisé, l'homologation des doses et les limites environnementales de la pulvérisation. Ces différents points nous amènent à construire un dispositif expérimental testant l'influence du matériel de pulvérisation et de la réduction de dose sur l'efficacité de protection de la vigne contre le mildiou et l'oïdium, et ce dans deux contextes agronomiques différents. L'analyse des résultats permettra ensuite de statuer sur la faisabilité de réduction de doses selon le matériel et selon les deux entités parcellaires et ouvrira cette problématique sur de nouvelles perspectives agronomiques et environnementales de la gestion des maladies en viticulture, notamment sur les approches systémiques.

Epilogue - Présentation de l'Institut Français de la Vigne et du Vin

L'Institut Français de la Vigne et du Vin (IFV) résulte de la fusion en 2007 de l'ENTAV (Etablissement National Technique pour l'Amélioration de la Viticulture) et de l'ITV (Institut Technique de la Vigne et du Vin). L'IFV travaille en grande partie sur cette problématique du plan Ecophyto 2018 et contribue à l'amélioration de l'efficacité agronomique de la filière viti-vinicole. Ses missions sont multiples et vont de la sélection végétale au marché des produits viticoles en passant par la viticulture *in senso* et la vinification. Les domaines de recherche sont ainsi multiples. On peut citer par exemple les domaines de recherche sur les maladies du bois, sur la maîtrise de la pulvérisation, sur le maintien des sols viticoles, sur les OAD (Outils d'Aide à la Décision), sur la valorisation des terroirs ou sur l'environnement. L'IFV travaille en collaboration avec des centres de recherches comme l'INRA, d'autres instituts techniques comme l'IRSTEA (ex Cemagref), l'InTAB, le CIVC, le CIVB, des entreprises privées (comme les constructeurs de pulvérisateurs) mais également des chambres d'agriculture et des coopératives viticoles, dans le but de transmettre leurs résultats aux principaux acteurs de la filière, les viticulteurs.

I. Réflexions et mise en place de l'étude

1.1. Les principales maladies préjudiciables en viticulture

La vigne est soumise à beaucoup de stress biotiques comme les attaques engendrées par les agents responsables de maladies fongiques telles que le mildiou, l'oïdium, l'esca, le black dead arm, l'eutypiose (ces trois dernières sont des maladies du bois), l'excoriose... Parmi ces maladies, le mildiou et l'oïdium sont celles responsables de grosses pertes économiques pour la filière viti-vinicole (baisse de rendements et altération des vins) et de la forte utilisation de fongicides. C'est pourquoi l'étude a été portée sur ces deux maladies, de part leur récurrence dans le domaine viticole français.

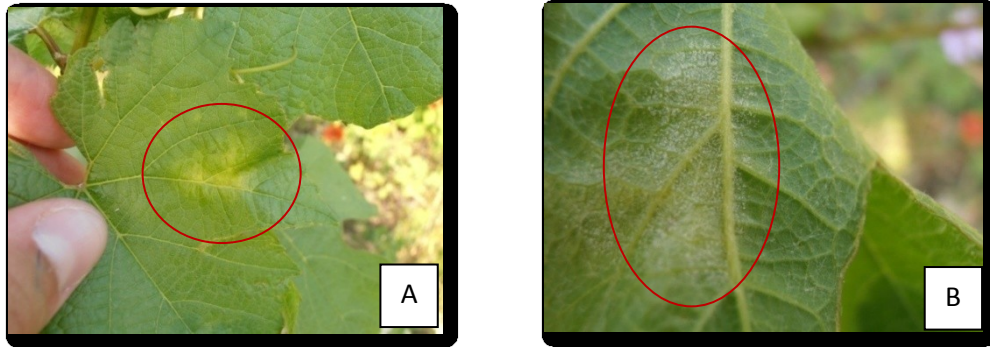
1.1.1. Biologie et épidémiologie de l'agent responsable du mildiou sur vigne

Plasmopara viticola [Oomycètes, ordre des Péronosporales, famille des Péronosporées] est l'agent responsable du mildiou sur la vigne, introduit en France au cours du 19^{ème} siècle. Cet agent pathogène est un champignon obligatoire, dans le sens où il ne peut se développer que sur des organismes vivants. Le mildiou est responsable de dépréciation de la qualité des baies, de l'affaiblissement des ceps et de la diminution des rendements.

Le mildiou de la vigne est une maladie explosive et se développe en trois phases. En période hivernale, le mildiou se conserve sur les feuilles mortes tombées au sol sous forme d'oospores. Au printemps, si les conditions climatiques sont favorables (bonne humidité relative et températures autour de 11°C), les oospores entrent en phase de germination : elles vont former des sporanges contenant des zoospores. Ces dernières sont dispersées sur les organes verts de la vigne proches du sol par effet splash dû à des phénomènes pluvieux. Les

premières feuilles de vigne sont ainsi contaminées, et après incubation, les premiers symptômes de mildiou apparaissent. Ensuite, pendant la nuit, des fructifications (conidies) apparaissent en face inférieure des feuilles. La phase de contamination primaire est terminée. Les conidies apparues pendant cette phase vont ensuite se disperser sur d'autres feuilles et contaminer d'autres organes et ainsi de suite : ce sont les contaminations secondaires (Gessler *et al.*, 2011).

Ainsi, sur la face supérieure des feuilles contaminées apparaissent des taches à l'aspect tache d'huile. Ce sont des fructifications blanches en face inférieure (*Photographies 1*).



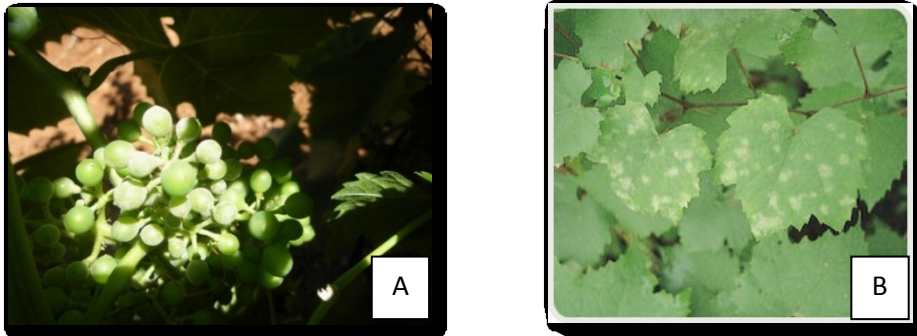
Photographies 1 : Symptômes de mildiou sur feuilles de vigne - A : Tache d'huile en face supérieure - B : Symptômes de sporulation de couleur blanche sur face inférieure (Source : Photographies personnelles).

1.1.2. Biologie et épidémiologie de l'agent responsable de l'oïdium sur vigne

L'oïdium de la vigne est causé par *Uncinula necator* [champignon Ascomycètes, classe des Euscomycètes, ordre des Erysiphales / F.I. Oïdium tuckeri], champignon également obligatoire, se développant sur des êtres vivants. L'oïdium s'est diffusé en Europe dans les années 1840 suite à l'importation de pieds de vigne américains. Outre une diminution de la photosynthèse nette et des volumes de production, l'oïdium est également responsable d'un retard de la maturation et d'une dépréciation de la qualité des baies et du vin (Halleen *et al.*, 2001). Par ailleurs, l'évaluation des coûts de traitement anti-oïdium s'élève à 75 millions €.

Le cycle de développement de l'oïdium peut se résumer de la façon suivante : en hiver, l'oïdium peut se conserver de deux manières : séjourner dans les bourgeons contaminés au printemps précédent (s'ensuivra l'apparition de drapeaux, pousse de 4 à 5 feuilles blanches) ou bien passer l'hiver sous sa forme de conservation appelée cléistothèces qui s'accrochent aux écorces du bois. Quelques temps avant la floraison, ces cléistothèces vont germer et former des ascospores qui iront ensuite contaminer les jeunes feuilles et inflorescences dans leur voisinage. Le champignon se développe ainsi dans les feuilles et forme des conidies, qui seront par la suite disséminées par le vent sur d'autres organes. Après la nouaison, l'oïdium passe sur les grappes. L'extension explosive de la maladie se fait par foyers concentriques.

Les organes herbacés touchés par l'oïdium sont recouverts d'un feutrage blanc qui disparaît au frottement (*Photographies 2*). Quand tous ces symptômes sont observés, cela signifie que la quantité d'inoculum est déjà très importante.



Photographies 2 : Symptômes d'oïdium sur vigne - Symptômes de la poussière blanche duveteuse A sur grappe et B sur feuille (Source : (A) Photographie personnelle (B) Site internet n°1.

1.2. Les doses homologuées de produits phytosanitaires

Actuellement en France, les doses de produits phytosanitaires sont homologuées à l'hectare cadastral, sans prise en compte du stade de développement de la vigne, c'est-à-dire que la dose est identique quel que soit le stade de développement de la vigne et quelle que soit sa surface foliaire. L'intérêt de cette démarche est la simplicité pour les utilisateurs de produits phytosanitaires. Au sein de l'Union Européenne, la définition de l'homologation des doses de produit ne se fait pas de la même manière (Codis *et al.*, à paraître). En Allemagne par exemple, la dose est certes définie selon la surface cadastrale, mais dépend également du stade végétatif de la vigne. En Belgique, la dose est modulée selon la surface foliaire à traiter. Ainsi, pour une même spécialité fongicide anti-mildiou ou anti-oïdium, les doses homologuées sont hétérogènes entre les différents pays européens (Figure 1).

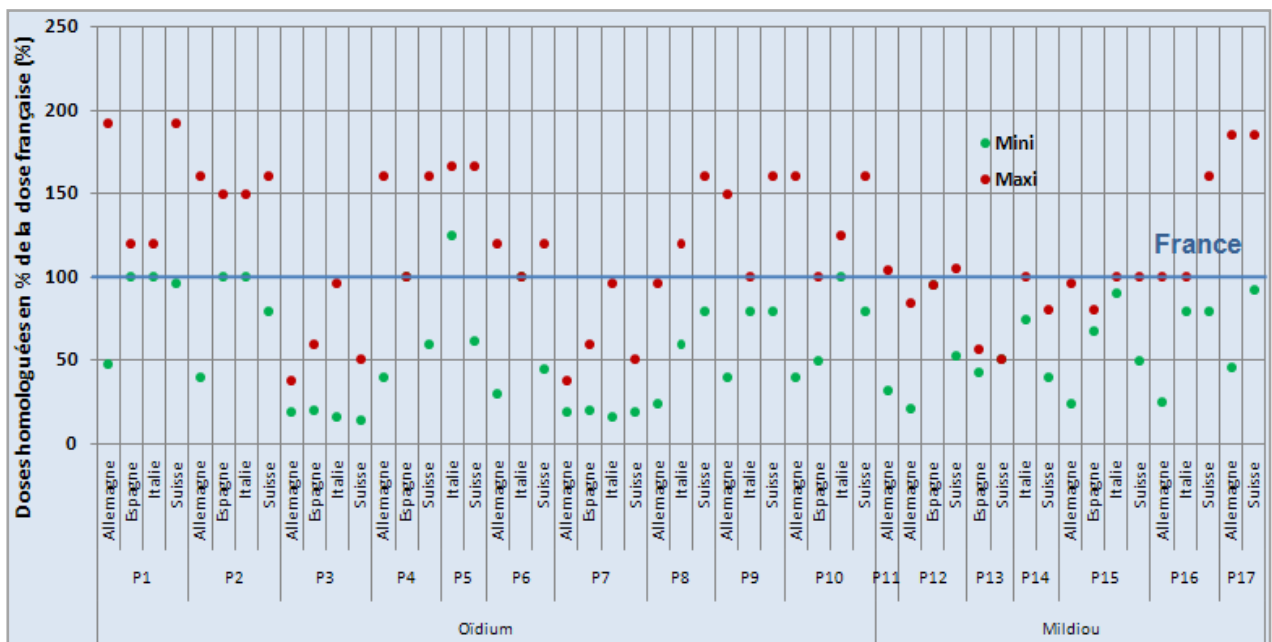


Figure 1 : Schéma représentant les doses homologuées de fongicides anti-oïdium et anti-mildiou relatives aux doses homologuées en France. La ligne bleue représente le niveau 100 de la France (Codis *et al.*, à paraître).

1.3. Technologie, configuration et précision des matériels de pulvérisation

Le pulvérisateur est un matériel dont le but est d'appliquer sur une surface végétale un produit dilué dans de l'eau. Actuellement, les volumes par hectare appliqués varient entre 40 et 300 L/ha selon l'environnement parcellaire, les habitudes des utilisateurs ...

1.3.1. Technologie et configuration de pulvérisateur

Actuellement, il existe plusieurs technologies de pulvérisation. Trois de ces technologies sont privilégiées en viticulture : pneumatique, jet projeté et jet porté (Site internet n°2). Ensuite, selon la technologie, il peut y avoir une ou plusieurs configurations possibles. Certaines sont plus ou moins adaptées aux technologies précédemment citées (Figure 2).

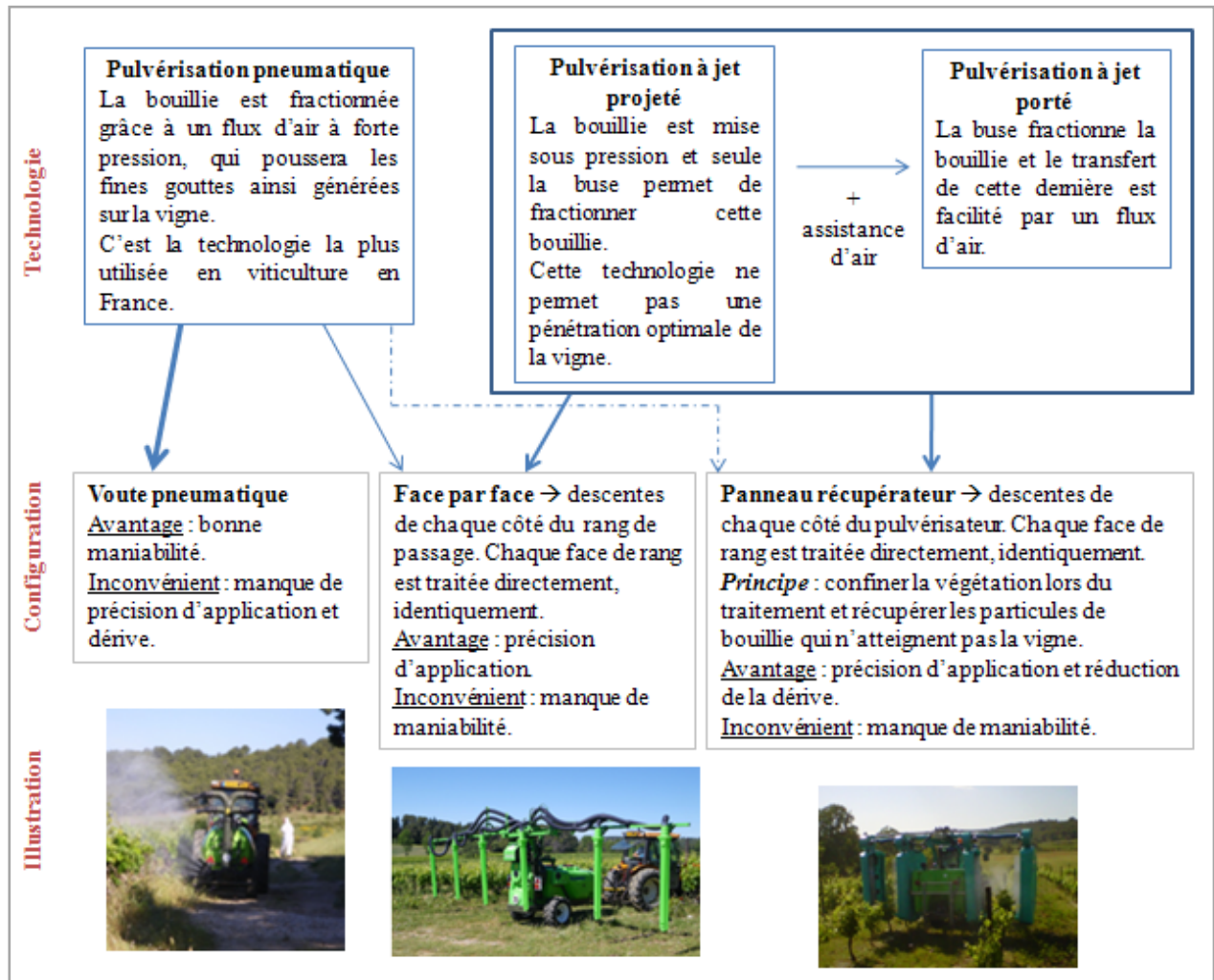


Figure 2 : Schéma représentant et expliquant les trois technologies de pulvérisation ainsi que la configuration des pulvérisateurs fréquemment utilisés en viticulture et utilisés sur nos essais expérimentaux.

Des différentes configurations spatiales des appareils (disposition des diffuseurs selon la végétation) va dépendre la précision d'application des produits, depuis un traitement uni-face (traitement d'une seule face en un passage) jusqu'à un traitement en face par face.

1.3.2. Précision des matériels de pulvérisation

La qualité d'application des produits phytosanitaires dépend à la fois de la dose (adaptée ou non au stade de développement de la vigne), de la précision du matériel, de la qualité des réglages (pression, débit, hauteur...) et de l'architecture de la vigne (caractéristiques géométriques, vigueur, épaisseur du feuillage...). Grâce à des collecteurs recueillant la pulvérisation d'un traceur sur la vigne et mesurant la quantité des dépôts sur ces derniers, un classement des pulvérisateurs a pu être établi en fonction du stade début ou pleine

végétation et selon le mode de conduite de la vigne (large ou étroite) (Figure 3). Cette étude indique la quantité de dépôts sur les collecteurs indépendamment de la distribution sur le cep.

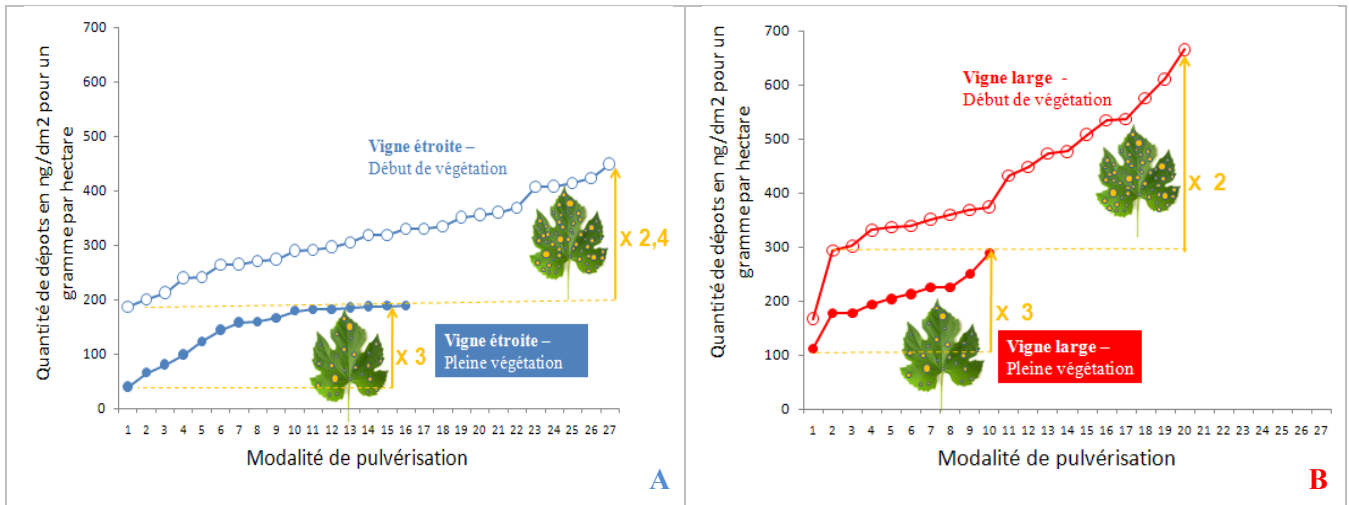


Figure 3 : Graphique représentant la quantité de dépôt par unité de surface de végétation (exprimée en ng/dm² pour 1g/ha) sur les capteurs placés en vigne étroite (A) et en vigne large (B) en début et en pleine végétation pour différents pulvérisateurs classés par ordre croissant de performance (Hebrard, 2012a)

Ainsi, en vigne étroite comme en vigne large et en pleine végétation, la quantité de dépôts sur les collecteurs peut passer du simple au triple. Le pulvérisateur 1 apparaît donc comme étant moins efficace sur la quantité des dépôts que le pulvérisateur 16. De ce fait, en prenant un pulvérisateur performant, une plus grande quantité de produit pourra être appliquée sur la vigne.

Par ailleurs, le choix du pulvérisateur et des modalités de passage (tous les rangs, tous les 2 rangs, 3 rangs, 4 rangs ...) jouent grandement sur la qualité d'application des produits et sur leur distribution selon les faces des ceps de vigne. Ainsi, on constate qu'avec un appareil pneumatique, les faces qui ne sont pas du côté du pulvérisateur reçoivent beaucoup moins de produit que celles qui sont de son côté (Figure 4).

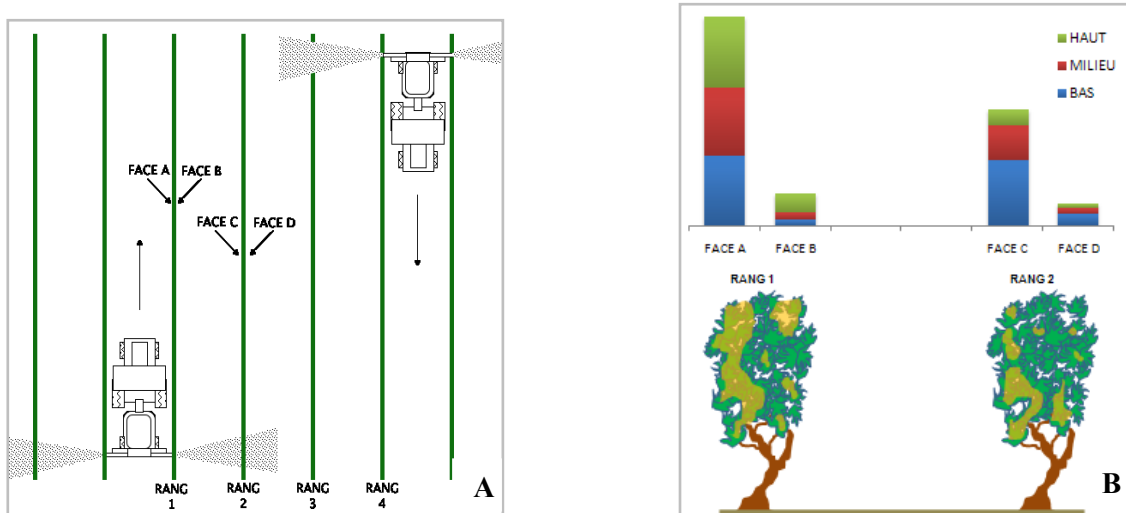


Figure 4 : Schéma (A) expliquant l'essai expérimental illustrant la répartition de la bouillie (B) sur les 4 faces en traitement tous les 4 rangs avec un pulvérisateur pneumatique 4 mains 4 canons (Hebrard, 2012b)

1.4. Optimisation agro-environnementale de la pulvérisation

Le but ultime de la pulvérisation est d'appliquer le produit uniquement sur le végétal, à des doses adaptées. La végétation, la technicité et la précision du pulvérisateur, les produits phytosanitaires et les doses sont des pistes pouvant permettre de s'en rapprocher.

1.4.1. Pertes de produits phytosanitaires et impacts environnementaux

La perte de produits phytosanitaires est de deux sortes : des pertes directes au sol et de la dérive par volatilisation ou pulvérisation sur d'autres organismes proches. Dans les deux cas, les produits appliqués atteignent d'autres cibles que celle initiale (la vigne). La perte directe au sol peut être influencée par quatre facteurs principaux : les conditions météorologiques (Thistle *et al.*, 1998), le pulvérisateur et sa technologie, les caractéristiques de la culture cible et de l'environnement alentour et les propriétés physicochimiques des produits phytosanitaires utilisés. (Schamphelire *et al.*,).

La quantité de produits phytosanitaires perdus dans l'air ou dans le sol peut atteindre d'importants seuils, jusque 40% voire 90% (Sinfort *et al.*, 2009 ; Druart *et al.*, 2011). Par ailleurs, en viticulture, cette perte dépend fortement du stade de développement de la vigne : en effet, entre le début de végétation et la pleine végétation, la perte de produits phytosanitaires peut passer de 40% à 10% (Sinfort *et al.*, 2009).

Outre l'architecture de la vigne, le type de matériel de pulvérisation utilisé peut avoir une influence sur la perte de produits phytosanitaires. Un classement des pulvérisateurs a en effet été réalisé par ordre croissant de performance en termes de dépôts (partie 1.3.2.). Par ailleurs, la variabilité de performance relative aux différentes technologies (panneaux récupérateurs, face par face, uni-face ...) fait que les impacts en termes de pertes de produits phytosanitaires seront différents d'un matériel à l'autre. Par exemple, les pulvérisateurs avec panneaux récupérateurs généreront moins de dérive de part leur technologie de récupération d'une partie des pertes (particules qui n'atteignent pas le végétal) (Viret *et al.*, 2003). Enfin, les réglages de sortie de bouillie sont à prendre en compte dans la limitation des pertes de produits phytosanitaires. En effet, dans le cas des pulvérisateurs pneumatiques, une mauvaise orientation des jets de sortie augmente significativement les phénomènes de perte de produits phytosanitaires (Sinfort *et al.*, 2009).

De la même manière, la taille des gouttes générées peut également avoir une influence. En effet, selon la technologie de la buse, la taille des gouttes varient. Ainsi, il semble que les gouttes les plus fines soient plus sujettes à la dérive que les grosses gouttes, pour une qualité des dépôts relativement égale (Symmons *et al.*, 1991). Cependant, il existe beaucoup de contradictions à ce sujet dans la littérature scientifique.

La formulation des produits phytosanitaires peut également influencer la perte dans l'atmosphère de ces produits. Ainsi, les adjuvants peuvent minimiser ces pertes lors de l'application des produits phytosanitaires en jouant sur les caractéristiques physicochimiques du produit (Celen, 2010). Ainsi, il s'avère que la tension de surface d'un produit phytosanitaire (tension à l'interface feuille – produit) apparaît comme étant un facteur majeur des phénomènes de dérive (Schamphelire *et al.*, 2009). De la même manière, l'ajout d'un polymère « drift retardant » peut réduire les pertes via une augmentation de la viscosité du produit (Schamphelire *et al.*, 2009). Cependant, des contradictions existent toujours concernant les effets de la formulation des produits.

1.4.2. Quelle action sur les doses de produits phytosanitaires ?

Tous les facteurs précédemment étayés peuvent et doivent être pris en compte de manière concomitante pour optimiser les doses de produits phytosanitaires à appliquer sur la vigne. Ainsi, en début de végétation, quand la surface végétale d'interception des produits phytosanitaires est faible, la pulvérisation est efficace en termes de quantité et de qualité de dépôts par rapport à la surface de végétal. En revanche, une partie non négligeable de ces produits peut atteindre d'autres organismes et d'autres compartiments que la vigne. A l'inverse, en pleine végétation, les produits pulvérisés sont davantage interceptés par du végétal, permettant indirectement de réduire les pertes de produits au sol et dans l'air.

Par ailleurs, les pulvérisateurs peuvent permettre de réduire les doses appliquées à l'hectare en limitant les pertes environnementales. C'est le cas par exemple des panneaux récupérateurs, dont la finalité est de confiner la pulvérisation et de récupérer les particules qui n'atteignent pas le végétal.

Cependant, tous ces éléments sont à relativiser du fait des conditions météorologiques (vent, humidité, température, stabilité atmosphérique) et environnementales non constantes qui influencent les paramètres de pulvérisation eux-mêmes.

En plus de ces facteurs la précision lors de la préparation et de l'application des traitements peut jouer sur l'efficacité de pulvérisation, sur la réduction des pertes de produits et finalement sur les doses appliquées à l'hectare. Plusieurs points d'imprécision semblent importants : au niveau du pulvérisateur (débit, orientation des jets, hauteur, maintien de la vitesse d'avancement...), au niveau de la bouillie (balance peu précise, absence de compteur à eau, cuve à étalonner, concentration réelle de la bouillie et homogénéité des mélanges...).

1.5. Problématique

Si l'on considère les pratiques des pays européens voisins et les facteurs précédemment cités, est-il possible de passer d'une dose cadastrale à une dose fonctionnelle à partir de facteurs qui conditionnent l'efficacité de protection ? En d'autres termes, est-il possible de réduire, sans risques pour la production, les doses actuellement homologuées à l'hectare cadastral par l'utilisation de techniques d'application performantes (technologie et réglages) et par la prise en compte du développement végétatif de la vigne ? Les pistes sont donc multiples et interconnectées : prise en compte de l'évolution de la végétation, utilisation d'un matériel performant (en termes agronomiques pour la qualité des dépôts et en termes environnementaux pour la limitation des pertes de produits), attention et précision lors de la préparation des bouillies. Les objectifs sont donc d'exploiter ces idées et de donner des pistes sur la faisabilité d'une réduction de dose selon le matériel utilisé et le stade de développement de la vigne sur une parcelle expérimentale aux facteurs agronomiques connus.

II. Dispositif expérimental et modalités d'essai

L'étude a porté sur trois niveaux expérimentaux. Le premier niveau expérimental a été maîtrisé (expérimentations réalisées du début à la fin par nos soins). Le deuxième niveau a été réalisé sur des domaines expérimentaux et le personnel de l'exploitation réalisait les traitements selon notre protocole (l'aspect gestion du personnel étant pour nous impossible à contrôler). Le troisième niveau expérimental était composé d'un réseau de parcelles réparties sur les départements viticoles de la région Languedoc-Roussillon (départements 30, 66, 11 et 34). La mise en place d'un volet « réseau » avait pour principal objectif l'étude de la faisabilité de réductions de dose de produits phytosanitaires selon le matériel de pulvérisation utilisé, avec la technicité et le niveau de précision des viticulteurs en conditions réelles. Ainsi,

le raisonnement des traitements phytosanitaires, dans ce cas là, a également été discuté sur un aspect économique (assurer une bonne récolte et un bon produit final dans un contexte économique difficile) et social en plus des aspects biologiques et environnementaux qui priment dans le cadre d'un essai purement expérimental. Ces expérimentations ont été réalisées en partenariat avec les bureaux d'études de constructeurs de pulvérisateurs, avec les chambres d'agricultures et plusieurs domaines expérimentaux.

Dans cet écrit, seuls les résultats de l'expérimentation maîtrisée du Domaine de Mas Piquet seront présentés.

2.1. Caractéristiques de la parcelle

Le domaine de Mas Piquet est situé sur la commune de Grabels et est rattaché au lycée agricole Frederic Bazille - Agropolis. Au 19^{ème} siècle, le domaine est une exploitation agricole méditerranéenne typique, vivrière (céréales, maraîchage, oliviers, vignes, moutons) avec une répartition spatiale selon la qualité des terres (Site internet n°3). Aujourd'hui, le domaine est propriété de Groupama, exploité par le lycée Agropolis à titre pédagogique mais aussi économique. Plusieurs parcelles sont en conversion biologique et la vente directe se développe au domaine. Sur l'aspect géologique, le domaine de Mas Piquet se trouve sur le « pli de Montpellier » : ce dernier correspond à un chevauchement et se caractérise par un ensemble calcaire assez profond au niveau des sols (Site internet n°4).

La parcelle mise à disposition pour les essais est une parcelle en 2^{ème} année de conversion biologique. Elle est implantée avec du Chardonnay (cépage sensible au mildiou et à l'oïdium (Valdes-Gomez, 2007)) et compte 52 rangs pour une surface de 1,48 ha. Elle est située sur un sol calcaire et peut être scindée en deux sous-parcelles (*Figure 5*) du fait de caractéristiques contrastées sur les plans pédologiques, topographiques et environnementaux (*Tableau 1*).

Tableau 1 : Comparaison des deux sous-parcelles C et H selon plusieurs facteurs agronomiques.

	Sous - parcelle C	Sous - parcelle H
Sol	Importante quantité de cailloux et faible épaisseur de sol (<i>Figure 5</i>) Composition minérale : Sol basique (pH=8,87 en surface, 8,78 à 30 cm), excès de calcaire (785g/kg en surface, 726g/kg à 30 cm de profondeur), insuffisance en Phosphore, déficience en oligo-éléments. Très faible taux de matières organiques en surface (4,95g/kg). Mauvaise assimilation des éléments minéraux.	Quantité de cailloux moindre, et sol plus profond Composition minérale : Sol basique (pH=8,35 en surface, 8,72 à 30 cm), excès de calcaire moindre (569g/kg en surface, 365g/kg à 30 cm de profondeur), insuffisance en Phosphore, déficience en oligo-éléments dont le fer principalement. Taux de matières organiques plus élevé en surface (27,40g/kg). Risque d'asphyxie élevé. Mauvaise assimilation des éléments minéraux.
Topographie	Parcelle située sur une sorte de plateau butte-témoin	Parcelle située en bas de pente
Proximité d'eau	Milieu sec, loin de sources potentielles d'eau	Présence d'une nappe d'eau superficielle (hydromorphisme)
Végétation environnante	Alentours dégagés, parcelle entourée de chemins, exposition au vent	Parcelle entourée d'arbres (grands résineux au Sud de la sous-parcelle) (<i>Figure 5</i>), créant ainsi une zone plus ombragée, donc plus humide une grande partie de l'année

Les deux sous-parcelles apparaissent donc comme très contrastées. A cet égard, elles sont susceptibles de se comporter différemment par rapport au pathosystème étudié. En effet, sachant que l'humidité et le manque de luminosité est favorable au développement du mildiou et de l'oïdium (Willoquet *et al.*, 1996 ; Zahavi *et al.*, 2001 ; Zahavi *et al.*, 2012), il est possible que la pression maladie soit supérieure dans la sous-parcelle H. De la même manière, l'exposition au vent de la sous-parcelle C peut favoriser la migration de spores vers cette dernière. Partant de l'hypothèse que les deux sous-parcelles se comportent différemment à l'égard du pathosystème, elles ont été séparées dans le cadre de l'essai expérimental.

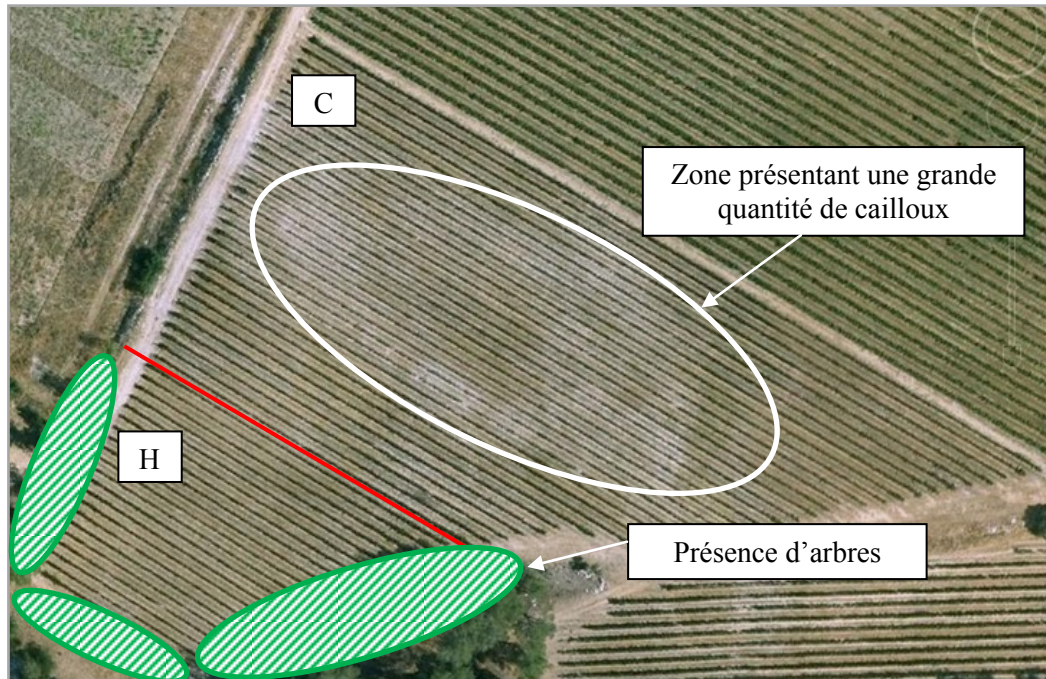


Figure 5 : Image satellite de la parcelle d'essai du Domaine Mas Piquet. La ligne rouge marque la séparation entre les deux sous parcelles H et C.

2.2. Techniques d'application évaluées

Un des objectifs de l'étude était de comparer un matériel de nouvelle génération performant à un matériel d'ancienne génération très employé sur le vignoble français. Ainsi, plusieurs points liés aux techniques d'applications des traitements ont été évalués.

2.2.1. Matériel de pulvérisation

Actuellement, de nouvelles générations de panneaux récupérateurs font leur apparition et sont considérés comme performants de part leur technologie de récupération. Le principe est de confiner la pulvérisation au sein des panneaux et de récupérer par un système de pompe les particules de bouillies qui n'atteignent pas le végétal. Ainsi, l'optimisation de la pulvérisation peut se faire sur deux niveaux : du point de vue agronomique, dans le sens où les dépôts sont de bonne qualité du fait du confinement, mais également du point de vue environnemental, car le confinement et la récupération des pertes permet indirectement de réduire les doses appliquées à l'hectare. En effet, la dose voulue est réellement appliquée sur le cep, mais du fait de la récupération de la bouillie qui n'atteint pas le végétal, cela revient à réduire la dose à l'hectare.

Ainsi, pour les essais sur le Domaine de Mas Piquet, le panneau récupérateur du constructeur Dhugues sera utilisé et équipé de deux types de buses générant des tailles de gouttes différentes, le but étant de tester la qualité du traitement ainsi que la récupération et

donc la limitation des pertes environnementales selon la taille des gouttes. Des buses Lechler à jet plat à injection d'air, générant des gouttes plus grosses, seront ainsi placées du côté gauche du pulvérisateur, tandis que des buses Lechler à jet plat classique, générant des gouttes plus fines, équiperont l'autre côté du pulvérisateur. Il est à noter que les buses suivent une norme : quelle que soit la technologie des buses (à jet plat, à turbulence, à injection d'air ...) et leur taille, les débits seront identiques pour une pression donnée. Il a donc été simple d'équiper le pulvérisateur avec deux types de buses différentes mais ayant le même débit.

Ce pulvérisateur à panneaux récupérateurs sera comparé à un matériel d'ancienne génération, le Tecnomas Pulsar, moins performant en termes agro-environnementaux mais très largement utilisé aujourd'hui au vignoble notamment pour sa simplicité d'utilisation. Il sera équipé de pastilles, du fait de sa technologie pneumatique et ce, d'un seul côté du pulvérisateur.

Pour pouvoir comparer les deux pulvérisateurs, il était indispensable de se retrouver dans les mêmes gammes de débits et de volumes appliqués à l'hectare. Ce dernier est calculé selon la formule suivante (Figure 6) :

$$\text{Volume (L/ha)} = \frac{\text{Débit des buses (L/min)} * 600}{\text{Largeur inter-rang (m)} * \text{Vitesse (km/h)}}$$

Figure 6 : Formule permettant de calculer le volume de bouillie appliqué à l'hectare.

La vitesse d'avancement du tracteur, et notamment sa constance, dépendent des conditions du sol de la parcelle. En moyenne, la vitesse d'avancement dans des parcelles normalement accidentées se situe autour de 5 km/h. Au domaine de Mas Piquet, du fait de la quantité importante de cailloux et de la pente, la vitesse a été tablée à 3,85 km/h.

Ainsi, en prenant en compte la vitesse d'avancement, la largeur de l'inter-rang, le débit des buses pour une pression donnée et les modalités de passage des deux pulvérisateurs, il a été possible d'équiper les matériels de sorties différentes mais générant néanmoins des volumes à l'hectare quasiment identique (Tableau 2) :

Tableau 2 : Eléments propres aux matériels générant un volume hectare quasiment identique.

	Tecnomas Pulsar	Panneau récupérateur Dhugues	
Nb de rang(s) traité(s) passage	1,5	2	
Inter-rang	3,75 m	5 m	
Vitesse d'avancement	3,85 km/h		
Sorties utilisées	Pastilles Teejet CP4916-35	Lechler IDK 90	Lechler LU
Pression de travail	3 bars	6 bars	
Débit moyen par sortie	0,723 L/min	0,498 L/min	0,5 L/min
Volume à l'hectare	181 L/ha	187 L/ha	

Les débits aux sorties ainsi que la pression de travail du pulvérisateur (influençant le débit des sorties) sont à surveiller avant chaque traitement afin d'éviter d'éventuels problèmes techniques (bouchage, anomalies sur le manomètre ...)

2.2.2. Spécialités fongicides utilisées.

En viticulture biologique, afin de lutter contre le mildiou et le soufre, les substances les plus utilisées sont respectivement le cuivre (Cu) et le Soufre (S). Dans ce contexte, sur le Domaine de Mas Piquet, les deux spécialités fongicides utilisées sont l'Héliocuvivre (anti-mildiou) et l'Héliosoufre (anti-oïdium). Un adjuvant à base de terpène entre dans la composition de ces fongicides de contact afin de limiter le lessivage des produits lors de

pluies et de faciliter leur adhésion à la surface des feuilles et des grappes. Selon Bonet *et al.*, 2012 dans le guide du « Coût des Fournitures en Viticulture et Œnologie 2012 », l'homologation de ces deux produits est la suivante (*Tableau 3*) :

Tableau 3 : Homologation des deux spécialités Héliocuire et Héliosoufre.

	Formulation	Concentration en s.a.	Dose/ha de produit commercial	Dose de s.a. homologuée	Classement toxicologique	DRE
Héliocuire	SC	400 g/L	3 L/ha	1200 g/ha	Xn	24 h
Héliosoufre	SC	700 g/L	10 L/ha	5,25 kg/ha	-	24 h

SC : suspension concentrée Flo

A noter qu'annuellement, l'application de Cuivre ne doit pas excéder 6 kg par an, et ce moyennée sur 5 ans. En d'autres termes, sur 5 ans, il faut en moyenne avoir appliqué 6 kg de Cuivre par an, en sachant qu'une année n, cette dose limitée peut être dépassée mais qu'elle doit être corrigée les années suivantes. Dans les années à venir, une évolution réglementaire pourrait être à l'ordre du jour et limiter à 4 kg la quantité de Cuivre appliqué par an.

2.3. Réductions de doses envisagées

La réduction de dose se fait toujours par rapport à une dose pleine, ici notée N. Selon les spécialités commerciales utilisées contenant la même substance active, les doses homologuées en g/ha pour chaque application ne sont pas les mêmes. Pour le cuivre en viticulture biologique par exemple, la plus petite dose homologuée est de 720 g Cu/ha tandis que la plus grande est de 5 kg Cu/ha (Bonet *et al.*, 2012).

Pour les essais expérimentaux du Domaine de Mas Piquet, bien que l'Héliocuire AB soit homologué à 1,2 kg/ha, la pleine dose N a été tablée à **700 g/ha Cu** pour deux raisons :

- Elle est très légèrement située en dessous de la plus petite dose homologuée ;
- En moyenne, 689 g/ha Cu par traitement et par hectare sont appliqués dans la région Languedoc-Roussillon (Jonis, 2009).

L'Héliosoufre AB quant à lui est homologué à **5,25 kg S/ha**. C'est la seule formulation de soufre mouillable homologué à cette dose, les autres spécialités étant homologuées à 10 kg/ha. Cette valeur de 5,25 kg/ha constituera la dose N de l'essai.

Dans un premier temps, relativement aux volontés d'adapter les doses de produits phytosanitaires aux stades végétatifs de la vigne, les doses ont été scindées selon deux phases principales de développement de la vigne : le début de végétation et la pleine végétation (à partir de la floraison). Pour chacune des modalités, la dose choisie est inférieure en début de végétation comparativement à la pleine végétation (*Tableau 4*).

Les réductions de doses ont ensuite été déterminées en tenant compte des conclusions de 7 années d'essai à l'IFV de Davayé (Codis, 2012) : selon cette étude, une réduction de dose de 60% (soit 0,4 N) en début de végétation et de 30% (soit 0,7 N) en pleine végétation est possible via l'utilisation d'un matériel performant et un raisonnement précis des traitements. Ces deux valeurs constitueront la réduction maximale (modalité 4) de l'essai avec les panneaux récupérateurs. Ensuite, une réduction intermédiaire (modalité 3) et une modalité à pleine dose (modalité 2) ont été décidées afin d'avoir une échelle de 3 doses pour le panneau récupérateur. (*Tableau 4*).

Enfin, une comparaison de l'efficacité des pulvérisateurs a été envisagée à une dose identique, la pleine dose N selon les modalités 1 et 2 (*Tableau 4*). Il a été décidé de ne pas réduire la dose pour le Pulsar car une crainte de faillite de la protection était envisageable.

Tableau 4 : Matériel et réductions de dose pour les 4 modalités de traitement (Px Réc : panneaux récupérateurs).

	Début de végétation	A partir de la pré-floraison
Modalité 1	Pulsar Dose N	Pulsar Dose N
Modalité 2	Px Réc Dose N	Px Réc Dose N
Modalité 3	Px Réc Dose 0,6 N	Px Réc Dose 0,85 N
Modalité 4	Px Réc Dose 0,4 N	Px Réc Dose 0,7 N

Il aurait certainement été possible de réduire davantage les doses de produits phytosanitaires. Cependant, étant en grande parcelle et dans un contexte économique particulier, il n'était pas souhaitable de mettre en péril la production.

2.4. Mise en place des modalités de traitement

La parcelle d'essai ayant été scindée en deux sous-parcelles sous l'hypothèse de comportements différents, les mêmes modalités y seront appliquées. La disposition des modalités de traitement n'est pas aléatoire pour des raisons de facilitation de surface (grande parcelle) et de passage lors des essais. Ainsi, la modalité 4, pour laquelle la dose est la plus faible, a été placée entre les modalités 2 et 3, dont les doses sont plus fortes. Ceci permet d'encadrer d'éventuels départs de foyers à faible dose (*Figure 7*). La modalité 1 quant à elle n'a qu'une répétition. En effet, le pneumatique Pulsar n'étant pas le plus performant (partie 1.3.2.) en termes de qualité de dépôts et de pertes de produits, une faillite de la protection était envisageable. C'est pourquoi cette modalité n'est établie que sur 3 rangs de taille moyenne, entre la modalité la plus forte de la sous-parcelle H et la modalité 3 de la parcelle C (*Figure 7*). De cette manière, chaque modalité pour laquelle un risque de faillite de protection était envisagé est encadrée par 2 modalités à doses supérieures.

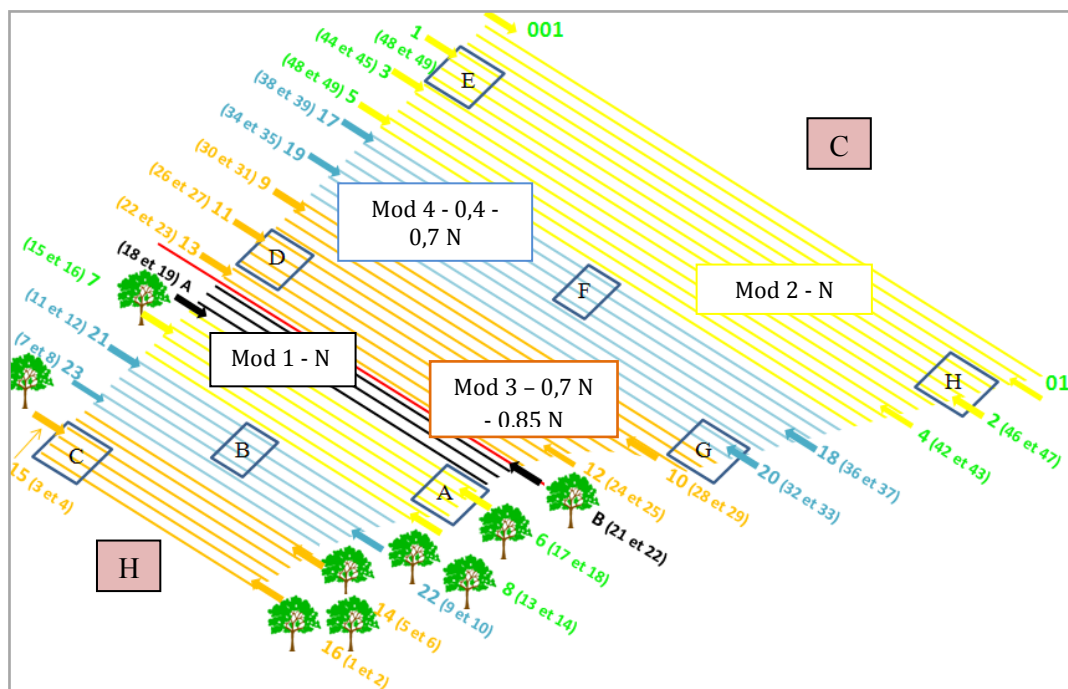


Figure 7 : Représentation schématique de la parcelle d'essai et du dispositif expérimental au Domaine de Mas Piquet. Les cadres bleus correspondent aux Témoins Non Traités. Les flèches notées de 001 à 23 et A et B correspondent aux rangs de passage du pulvérisateur.

En partie 2.2.1 a été exposé le fait que deux types de buses allaient être étudiés sur le panneau récupérateur Dhugues. Le pulvérisateur passant tous les deux rangs, il était impératif de jalonner le passage du pulvérisateur afin d'avoir toujours le même type de buses traitant les mêmes rangs (*Figure 7*). Par ailleurs, lors des traitements phytosanitaires et dans le but de limiter les effluents de produits, un protocole de concentration de la bouillie mère a été mis en place, allant de la plus faible modalité à la plus forte modalité (modalité 4 à 2) avec les panneaux récupérateurs Dhugues (Annexe 1).

2.5. Suivi du pathosystème

2.5.1. Disposition des Témoins Non Traités

Afin de connaître la pression de maladie au cours de la campagne, des Témoins Non Traités (TNT) ont été définis. Ces derniers ne devaient pas recevoir de traitements anti-mildiou et anti-oïdium lors des essais. Les autres traitements du type insecticides ou engrais (si nécessaires) étaient indépendants des TNT.

La disposition des Témoins Non Traités devait être homogène sur les deux sous-parcelles. Cependant, pour des questions économiques, il n'était pas possible de placer beaucoup de zone TNT avec une grande surface. En effet, si une forte pression maladie au cours de la campagne avait dû apparaître, les TNT auraient correspondu à une perte directe de rendements pour le Domaine de Mas Piquet (les grappes oïdiées ou présentant du mildiou devant être exclues du processus de vinification). En plus de cela, ces TNT auraient pu être sources d'inoculum pouvant se propager dans le reste de la parcelle et causer des dommages si les traitements des zones traitées étaient insuffisants ou mal raisonnés.

Ainsi, relativement aux surfaces des deux sous-parcelles, 3 TNT dans la sous-parcelle H et 5 TNT dans la sous-parcelle C ont été définis (*Figure 7*). Afin d'avoir une disposition homogène des TNT au sein des sous-parcelles et au sein des modalités de réduction de doses, au moins un TNT a été fixé par une modalité d'essai. Des TNT étaient présents en bout de rangées mais également en milieu de rangées. Ils avaient une largeur de 4 rangs pour une longueur de 10 ceps (sauf pour les TNT B et F qui n'avaient que 5 ceps de long) (*Figure 7*). Afin de repérer facilement les TNT lors des traitements, ceux-ci étaient balisés avec du ruban de signalisation et des panneaux indiquant le début et la fin des TNT sur le rang.

2.5.2. Disposition des placettes en zone traitée

Afin d'étudier l'efficacité de protection anti-mildiou et anti-oïdium selon la dose, le matériel et les buses, 8 placettes de 5 ceps de long ont été placées dans les modalités traitées avec le panneau récupérateur Dhugues (modalités 2, 3 et 4) et 4 dans la modalité traitée avec le Tecnoma Pulsar. Pour les modalités 2, 3 et 4, les placettes fonctionnaient par paires selon le type de buses qui avait traité le rang (*Figure 8*). Ainsi, un total de 52 placettes a été disposé.

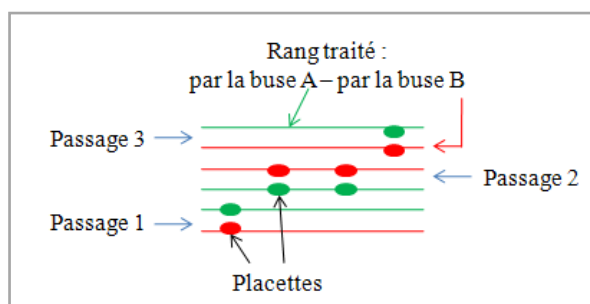


Figure 8 : Disposition des 8 placettes sur une modalité d'essai selon le passage du matériel et le type de buse.

2.5.3. Suivi des maladies

En début de campagne, les 8 Témoins Non Traités étaient suivis une fois par semaine afin de détecter la présence ou non de symptômes de maladies. A partir de la floraison (fin mai-début juin), des comptages maladies (Fréquence et Intensité) sur les TNT et sur les placettes de suivi ont été réalisés à trois stades clés de sensibilité de la vigne : floraison, fermeture de la grappe et véraison. Ainsi, pour chacun des 8 TNT, 100 feuilles et/ou 100 grappes (selon le stade au moment du comptage) étaient inspectées et le pourcentage de surface attaquée était renseigné. Pour les placettes, 50 feuilles et/ou 50 grappes étaient inspectées de la même manière. Ces notations successives permettaient de suivre l'évolution de la pression maladie et de raisonner les traitements phytosanitaires. De la même manière, le stade phénologique de la vigne était fréquemment relevé.

III. Résultats et interprétations

Au cours de la campagne, le suivi de l'indice foliaire (LAI) sur les deux sous-parcelles a permis d'avoir une idée de leur vigueur (*Figure 9*). Par ailleurs, au sein de la sous-parcelle H par exemple, certaines souches sont beaucoup moins vigoureuses que d'autres. Ceci pourrait s'expliquer par un sol moins profond ou par la proximité avec la nappe phréatique sous-jacente et des effets temporaires d'anoxie au niveau des racines (hydromorphisme).

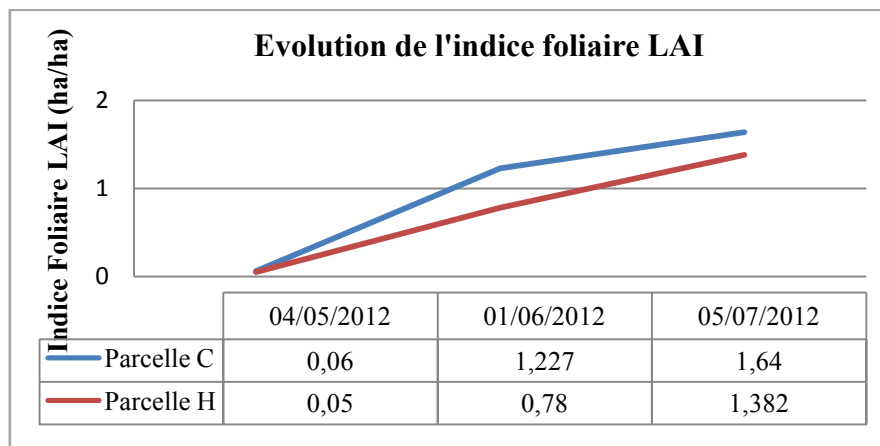


Figure 9 : Graphique représentant l'évolution de l'indice foliaire LAI en ha/ha selon les trois dates de mesure pour les deux sous-parcelles H et C du Domaine de Mas Piquet.

La mesure du LAI a été réalisée selon un protocole du CIVB. Actuellement, aucun protocole ne permet d'approcher avec suffisamment de précision le LAI d'une parcelle de vigne. L'erreur associée au comptage, à la collecte des échantillons et à la mesure de la surface peut s'élever à 20%. Il donne cependant une tendance de la vigueur selon les deux sous-parcelles.

3.1. Calendrier et éléments de raisonnement des traitements

Les traitements ont été raisonnés selon plusieurs points :

- La pression de maladie suivie toutes les semaines ;
- les bulletins de prévision des maladies de la région ;
- les périodes de sensibilité de la vigne (5 feuilles étalées, floraison, fermeture de la grappe) ;
- les délais entre traitements successifs ;
- Les conditions météorologiques provoquant les attaques de maladies (temps pluvieux ou humide suivi de températures relativement élevées).

Au total, sur la campagne 2012, 6 traitements ont été réalisés (Figure 10).

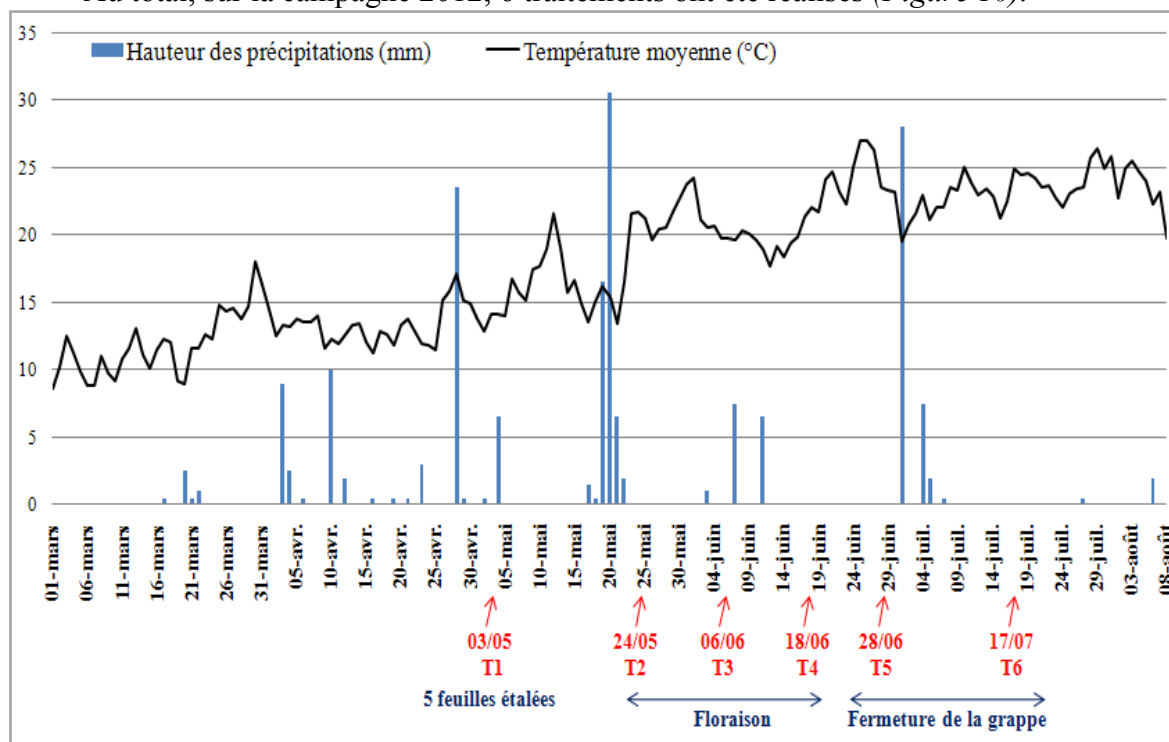


Figure 10 : Graphique représentant la hauteur des précipitations (en mm), la température moyenne (en °C) et les traitements en fonction des jours des mois de mars à août.

Le traitement T1 a été seulement un anti-oïdium. Il a été réalisé avec le pulvérisateur avec panneau récupérateur Magneto (celui du Domaine Mas Piquet) à une dose de 0,5 N car le pulvérisateur avec les deux panneaux récupérateurs Dhugues n'était pas encore disponible : nous n'avons donc pas pu réaliser le traitement nous-mêmes et avons du simplifier le protocole pour ce traitement. Les cinq autres traitements ont été réalisés en considérant la pleine végétation, avec le matériel (Panneaux récupérateurs Dhugues et Pneumatique Pulsar) et les doses définies par le protocole (partie 2.3.).

Le stade floraison est le plus critique en termes de protection : autour de ce stade, les traitements doivent être réalisés environ tous les 10-12 jours. Peu de temps après le T5 du 28 juin, un gros épisode pluvieux a fait craindre un lessivage du traitement : c'est pourquoi le T6 du 17 juillet arrive de manière assez rapproché. Par ailleurs, avant de mettre en place l'essai, un traitement anti-excoriose a été réalisé fin février-début mars. Ce traitement contenait une faible dose de soufre, ce qui peut avoir joué sur la pression de l'oïdium au cours de la campagne.

Finalement, au regard de la faible évolution de la pression maladie jusque fin juin-début juillet, le raisonnement des traitements aurait pu être plus drastique. Cependant, l'impact économique qu'une forte pression maladie aurait pu engendrer a dû être pris en compte et a limité la prise de risque pendant toute la campagne. Par ailleurs, il était convenu que le responsable du domaine avait une part de responsabilité dans les essais via son avis sur le positionnement et la fréquence des traitements.

3.2. Pourcentage de récupération des pertes et doses réellement appliquées

En moyennant la récupération du traitement 1 réalisé avec les panneaux récupérateurs Magneto et les 5 autres traitements réalisés avec les panneaux récupérateurs Dhugues, un total de 23,6% de pertes de produits phytosanitaires a été récupéré, et seulement 2,36 kg/ha de

Cuivre et 19,41 kg/ha de Soufre ont été appliqués pour toute la campagne 2012 (*Tableau 5*), toutes modalités confondues.

Tableau 5 : Pourcentage de récupération et quantités de Cuivre et soufre réellement appliquées sur la parcelle.

	Moyenne du % de récupération (2012)	Quantité de Cuivre réellement appliquée (g/ha/an)	Quantité de Soufre réellement appliquée (kg/ha/an)
Modalités 2, 3 et 4	23,6 %	2,36 kg/ha	19,41 kg/ha
Modalité 4 seulement	23,48 %	1,93 kg/ha	16,2 kg/ha

Ainsi, la quantité de produit réellement appliquée diffère de la quantité théorique compte tenu du taux de récupération des panneaux récupérateurs lors des traitements. Si l'on ne considère que la modalité 4 (faible dose), la quantité réelle appliquée est seulement de 1,93 kg/ha de cuivre et 16,2 kg/ha de soufre.

Par ailleurs, il est à noter que la récupération diffère selon le type de buse utilisé. Avant chaque traitement, des tests récupération à l'eau claire ont été réalisés afin de comparer la récupération des buses Lechler IDK (à jet plat à injection d'air) et des buses Lechler LU (à jet plat classique). Il s'avère que les buses IDK montraient un taux de récupération trois fois supérieurs aux buses LU. Ceci peut s'expliquer par le fait que les buses LU génèrent des gouttes fines, plus sujettes à la dérive.

3.3. Etat phytosanitaire spatio-temporel de la parcelle au regard des Témoins Non Traités

Tout au long de la campagne 2012, la maladie cryptogamique qui s'est principalement développée sur les Témoins Non Traités (TNT) est l'oïdium sur grappe, et ce à partir de fin juin-début juillet (notation de symptômes lors du comptage n°2 réalisé le 5 juillet 2012). (*Tableaux 6*).

Tableau 6 : Fréquence et intensité d'attaque mildiou et oïdium sur grappes sur les 8 Témoins Non Traités (TNT A à H) sur l'essai au Domaine Mas Piquet pour les 3 comptages du 13/06/2012 (compt1–floraison), 05/07/2012 (compt2–fermeture grappe) et 01/08/2012 (compt3–véraison).

<i>Grappe</i>		TNT A		TNT B		TNT C		TNT D		TNT E		TNT F		TNT G		TNT H	
		Mildiou	Oïdium	Mildiou	Oïdium	Mildiou	Oïdium	Mildiou	Oïdium	Mildiou	Oïdium	Mildiou	Oïdium	Mildiou	Oïdium	Mildiou	Oïdium
Compt 1	Fréquence	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11,83	0	6,5	0	1,13
	Intensité	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,67	0	0,26	0	0,02
Compt 2	Fréquence	0	88	0	33	1	9	1	85	0	11	0	46	0	24	2	5
	Intensité	0	41,36	0	3,81	0,05	4,44	0,063	42,15	0	1,188	0	21,9	0	1,82	0,044	0,49
Compt 3	Fréquence	19	100	0	91	45	62	67	98	51	30	16	68	25	41	21	28
	Intensité	4,45	86,95	0	51,17	10,12	29,45	5,45	83,8	8,01	15,51	3,05	44,83	4,25	19,65	3,68	16,55

1 : aucune contamination

2 : entre 0 et 10 % de contamination

3 : entre 11 et 40 % de contamination

4 : au-delà de 40 % de contamination

Sur les grappes, on constate que sur les TNT F, G et H, des symptômes d'oïdium étaient présents dès le premier comptage, soit le 13 juin 2012, mais n'ont pas explosé par la suite. Pour les 5 autres TNT en revanche, les symptômes n'ont été détectés qu'au moment du deuxième comptage (réalisé le 05 juillet 2012), mais la pression oïdium a explosé entre les 2^{ème} et 3^{ème} comptages, sauf pour le TNT C pour lequel la pression finale est restée modérée.

En fin de campagne, du mildiou (sous forme de mildiou mosaïque) est apparu sur les TNT, davantage sur les feuilles que sur les grappes (*Tableau 7*) tandis que la pression oïdium était absente sur les feuilles.

Tableau 7 : Fréquence et intensité d'attaque mildiou et oïdium sur feuilles sur les 8 Témoins Non Traités (TNT A à H) sur l'essai au Domaine Mas Piquet pour les 3 comptages du 13/06/2012 (compt1–floraison), 05/07/2012 (compt2–fermeture grappe) et 01/08/2012 (compt3–véraison).

Feuille		TNT A		TNT B		TNT C		TNT D		TNT E		TNT F		TNT G		TNT H	
		Mildiou	Oïdium	Mildiou	Oïdium	Mildiou	Oïdium	Mildiou	Oïdium	Mildiou	Oïdium	Mildiou	Oïdium	Mildiou	Oïdium	Mildiou	Oïdium
Compt 1	Fréquence	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
	Intensité	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,05	0	0,1	0	0	0	0
Compt 2	Fréquence	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	Intensité	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Compt 3	Fréquence	44	26	27	0	67	0	44	40	12	0	39	0	17	0	36,17	0
	Intensité	7,25	8,35	2,6	0	10,51	0	7,95	14,8	1,1	0	4,45	0	1,45	0	4,2	0

1 : aucune contamination

3 : entre 11 et 40 % de contamination

2 : entre 0 et 10 % de contamination

4 : au-delà de 40 % de contamination

Par conséquent, les analyses et interprétations porteront essentiellement sur l'oïdium. Par ailleurs, la répartition spatiale de l'intensité d'attaque (définie comme étant le pourcentage de surface moyenne de feuille contaminée) de l'oïdium reste hétérogène quand on prend en compte les huit Témoins Non Traités (Figure 11).

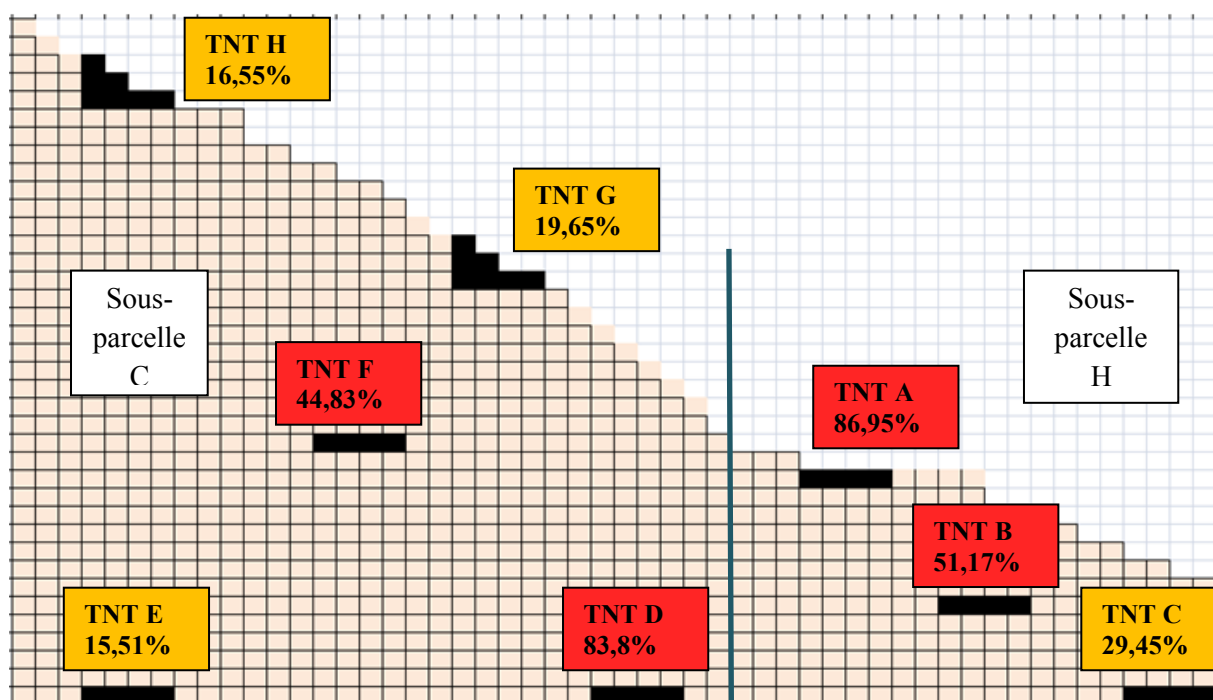


Figure 11 : Intensité oïdium sur les huit Témoins Non Traités de la parcelle du Domaine de Mas Piquet.

Ainsi, au sein de cette parcelle de Chardonnay, ces différences de pression maladie apparaissent bien que toute la parcelle soit conduite de la même manière (traitement, taille, fertilisation ...), malgré le même cépage et malgré le même sous-bassement géologique. Plusieurs hypothèses peuvent être émises afin d'expliquer ce phénomène. Tout d'abord, cette hétérogénéité peut être due au mode de dispersion de l'oïdium : ce dernier s'étend par foyers concentriques. Les facteurs environnementaux relatifs aux deux sous-parcelles décrits en partie 2.1 peuvent également avoir une influence sur le pathosystème et son développement hétérogène au sein des TNT. Ainsi, une combinaison des effets de la végétation, de l'épaisseur du sol et de la présence de la nappe phréatique sous-jacente, résultant en une humidité plus importante, pourrait favoriser le développement de l'oïdium dans la sous-parcelle H (Willocquet *et al.*, 1996). A l'inverse, la présence de végétation autour de la sous-parcelle H pourrait limiter le développement de l'oïdium via l'effet barrage des haies au

déplacement des spores (Plantegenest *et al.*, 2007). La différence de vigueur peut également expliquer les différences d'intensité oïdium au sein des TNT (vigueur différent selon les zones de la parcelle) : en effet, une vigne très vigoureuse présente une plus grande probabilité d'attaque du fait de sa plus grande proportion de jeunes pousses (Valdes-Gomez, 2007).

Il semble donc que les caractéristiques inhérentes à chacune des sous-parcelles de l'essai puissent induire une différence dans l'intensité oïdium au sein des TNT (*Tableau 8*).

Tableau 8 : Statistique descriptive de la fréquence et de l'intensité oïdium sur la parcelle.

Oïdium grappes		Parcelle H			Parcelle C				
		TNT A	TNT B	TNT C	TNT D	TNT E	TNT F	TNT G	TNT H
Fréquence (%)	TNT	100	91	62	98	30	68	41	28
	Moyenne	84			53				
	Ecart type	19,84			29,94				
Intensité (%)	TNT	86,95	51,17	29,45	83,8	15,51	44,83	19,65	16,55
	Moyenne	56,45			37,43				
	Ecart type	40,57			43,15				
	Ecart type moyen	37,45			39,58				
	Variance	1645,65			1862,21				

Afin d'affirmer ou d'infirmer cette hypothèse, un test statistique a été réalisé. Les distributions des données d'intensité selon les TNT ne suivant pas la normalité, un test de Wilcoxon (test de comparaison de deux distributions) sur R 2.14.2 pour distributions indépendantes a été réalisé. Le résultat indique que les intensités dans les deux sous-parcelles sont significativement différentes ($p\text{-value} = 8.864\text{e-}10$). Cependant, les deux sous-parcelles présentent-elles des distributions réellement indépendantes ? En effet, quand une sous-parcelle est touchée, ne peut-elle pas être source d'inoculum pour l'autre sous-parcelle adjacente ? Ou bien est-ce du seul fait du mode de dispersion de l'oïdium ? Dans le cas de distributions non indépendantes, les différences ne sont plus significatives.

Par ailleurs, la différence d'intensité oïdium sur grappe entre les deux sous-parcelles est de 20%. Or, lors des comptages, l'erreur d'estimation de l'intensité peut varier d'un opérateur à l'autre (même après étalonnage). On considère également qu'à partir de 40% d'attaque sur grappe, la récolte est endommagée.

S'ajoute à cela le fait que la différence de pression maladie entre les deux sous-parcelles prend en compte un grand nombre de facteurs interconnectés comme la structure et la composition du sol, la vigueur de la vigne, l'environnement alentour, la présence d'eau ... Il est donc difficile de dégager un effet rapport à un autre, étant donné que chacun des facteurs joue sur un autre.

Ainsi, sous la condition d'indépendance des deux sous-parcelles, les hypothèses faites quant à l'influence de différents facteurs combinés sur le comportement du pathosystème sont vérifiées. Les deux sous-parcelles correspondent donc à deux systèmes différents, qui dès lors permettront d'analyser d'une manière plus approfondie l'effet de pulvérisation en réduction de doses sur des systèmes à la sensibilité aux maladies différente. La mise en place d'un dispositif expérimental prenant en compte séparément des sous-parcelles se justifie donc.

3.4. Effets des traitements sur le pathosystème

3.4.1. Suivi des placettes

L'étude de la réduction de dose par validation biologique devait se faire selon les placettes disposées comme indiqué en partie 2.5.2. Ainsi, l'intensité mildiou et oïdium selon les différentes placettes peut permettre de donner des informations sur l'efficacité de la protection selon le type de buses et selon la dose appliquée (*Tableaux 9 et 10*).

Tableau 9 : Intensité mildiou et oïdium sur la sous-parcelle C selon la réduction de dose (modalité 2 à 4) et selon le type de buses (IDK – LU) lors du comptage 3 (01/08/2012).

Intensité maladie (%)	Modalité 2				Modalité 3				Modalité 4			
	IDK		LU		IDK		LU		IDK		LU	
	M	O	M	O	M	O	M	O	M	O	M	O
Placette 1	0	0	0	0	1,5	0	0	0	0	1,08	0	0
Placette 2	1,3	0	0	0	0	0	6,1	0	0	0	0	0
Placette 3	0	0,1	0	0	0	0,8	0,9	0	0	0,8	0	0
Placette 4	0	0	0	0	6,7	0	0	4,3	0	0,29	5	0
Moyenne	0,33	0,03	0	0	2,05	0,2	1,75	1,08	0	0,54	1,25	0

Tableau 10 : Intensité mildiou et oïdium sur la sous-parcelle H selon la réduction de dose (modalité 2 à 4) et selon le type de buses (IDK – LU) lors du comptage 3 (01/08/2012).

Intensité maladie (%)	Modalité 2				Modalité 3				Modalité 4				Modalité 1	
	IDK		LU		IDK		LU		IDK		LU			
	M	O	M	O	M	O	M	O	M	O	M	O	M	O
Placette 1	0,18	0	0	0	0	0,2	0,43	0	0	0	0	0	0	3
Placette 2	0	0	0	0	0,43	0	0	11,5	0	0	0	0,24	0	0,14
Placette 3	0	0	0	0	2,8	0	0	0,3	0	0	0	1,3	0,83	0,83
Placette 4	1,4	1,1	0	0	7,6	30,9	0	0,7	0,9	0	0	0,22	0	0,15
Moyenne	0,39	0,28	0	0	2,7	7,8	0,11	3,13	0,2	0	0	0,44	0,21	1,03

Au regard des faibles intensités oïdium, il semble difficile de mettre en exergue d'éventuelles différences entre les types de buses et les modalités. Un test de comparaison de variance (ANOVA) à 2 facteurs a néanmoins été réalisé sur R2.14.2, mais ne montre pas d'effet ni du de la modalité de réduction de doses, ni du type de buses sur l'intensité oïdium.

Ces résultats sont néanmoins à nuancer : en effet, certaines conditions pour valider le test ne sont pas remplies, comme l'homogénéité des variances. Néanmoins, il est possible de conclure sur le fait qu'il n'y a pas de différence significative entre les différents types de buses et entre les différentes modalités, sous réserve de la puissance de test. Ainsi, dans les conditions d'intensité de maladie de l'essai et des réductions de doses effectuées, il s'avérerait que le type de buses et donc indirectement la taille de gouttes générées n'aient pas d'influence sur l'efficacité de la protection anti-oïdium. Cependant, une différence physique existe au regard de la taille des gouttes et de la pénétration du feuillage. Afin d'espérer pouvoir mettre en évidence une différence entre les deux types de buses, il faudrait se placer dans des situations de plus fortes pressions de maladies et/ou de réductions de doses plus importantes.

Cependant, en passant du temps dans la parcelle, nous avons constaté que le positionnement aléatoire des placettes sur les modalités n'était pas suffisamment conséquent pour être représentatif de la distribution des foyers de maladie. En effet, des foyers d'oïdium ont été découverts en dehors des placettes, en plus grand nombre que dans ces dernières. Ainsi, sur cette constatation, en plus de l'analyse de la fréquence et de l'intensité maladie dans les placettes, un comptage de tous les foyers et de leur intensité a été réalisé. Par ailleurs,

au regard du mode de dispersion très hétérogène de l'oïdium, il nous a semblé judicieux d'analyser la répartition spatiale des foyers d'oïdium en plus de l'intensité dans les placettes.

3.4.2. Inventaire des foyers oïdium

L'inventaire des foyers d'oïdium a été réalisé sur toute la parcelle. La fréquence et l'intensité oïdium ont été renseignées via l'estimation du pourcentage de surface de grappe attaquée tous les 5 ceps (*Figure 12*). Quatre classes d'intensité ont été définies :

- Niveau 1 : aucune contamination ;
- Niveau 2 : intensité oïdium comprise entre 0 et 10%, jugée acceptable ;
- Niveau 3 : intensité oïdium comprise entre 10 et 40%, jugée dommageable ;
- Niveau 4 : intensité supérieure à 40%, néfaste pour la production.

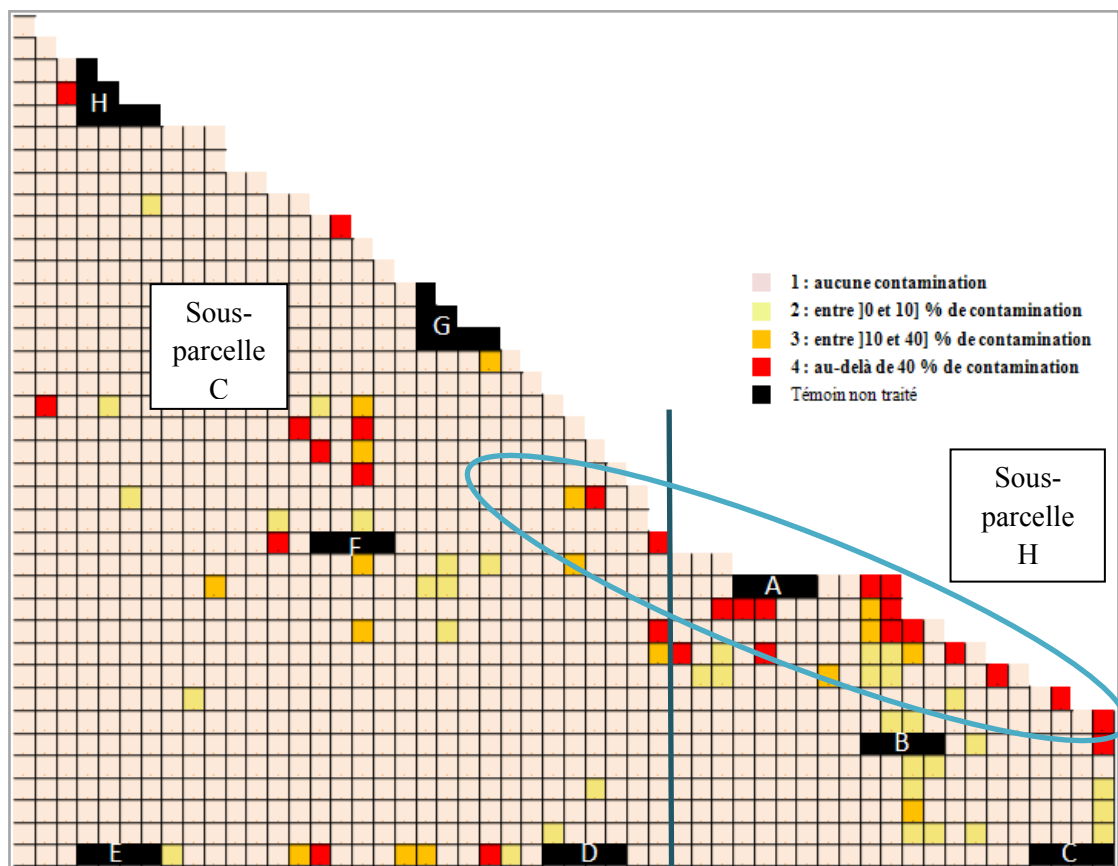


Figure 12 : Répartition des foyers d'oïdium dans la parcelle d'essai du Domaine Mas Piquet selon les 4 classes d'intensité maladie. L'ellipsoïde bleu suggère l'effet bord en bas de parcelle.

Dans la *figure 12*, chaque « case » correspond à une succession de 5 ceps sur un même rang (soit environ 5 m de longueur). Cela a permis d'avoir une représentation spatiale précise de la parcelle. A chaque case correspond un niveau de contamination établi avec les pourcentages de grappes attaquées. Il est indéniable que la répartition des foyers d'oïdium est très hétérogène sur la parcelle. On constate en effet qu'un nombre important de foyers se concentrant au niveau des bords de la sous-parcelle H (également de la sous-parcelle C mais en moindre importance) mais également au niveau de certains TNT (TNT A et F). Ainsi, plusieurs pistes d'interprétation peuvent être évoquées. Dans un premier temps, un effet bord (Emiko-Condeso *et al.*, 2007) plus marqué au niveau de la sous-parcelle H pourrait s'expliquer par la végétation environnante assez imposante créant à cet endroit une zone recevant beaucoup moins de rayonnement solaire et se maintenant donc plus humide. Or, il

s'avère que le rayonnement lumineux ralentit le développement de l'oïdium tandis qu'une humidité relative importante le favorise (Willocquet *et al.*, 1996 ; Zahavi *et al.*, 2001 ; Zahavi *et al.*, 2012). Ainsi, un plus faible ensoleillement et une accentuation de l'humidité pourraient expliquer l'intensité oïdium supérieure dans la sous-parcelle H et plus particulièrement les foyers existants en bord de parcelle (*Figure 12*). En plus de cet éventuel effet bord, on constate qu'un certain nombre de foyers de niveau 4 sont autour du TNT A : ce dernier pourrait avoir été source d'inoculum.

Le nombre de foyers et l'intensité de ces derniers selon les modalités de traitement et selon les sous-parcelles sont présentés dans le *Tableau 11*.

Tableau 11 : Nombre et pourcentage de foyers niveaux 1 à 4 selon la sous-parcelle et les modalités d'essai.

		Sous-parcelle C			Sous-parcelle H			
		Mod 2	Mod 4	Mod 3	Mod 1	Mod 2	Mod 4	Mod 3
Nombre total de « cases »		433	111	197	42	74	64	44
Foyers niveau 1	<i>Nombre</i>	423	92	185	37	70	40	37
	<i>%</i>	97,69	82,88	93,9	88,1	94,59	62,5	84,1
Foyers niveau 2	<i>Nombre</i>	6	6	4	3	0	14	3
	<i>%</i>	1,39	5,4	2,03	7,14	0	21,9	6,82
Foyer niveau 3	<i>Nombre</i>	1	7	4	0	1	4	0
	<i>%</i>	0,23	6,3	2,03	0	1,35	6,25	0
Foyer niveau 4	<i>Nombre</i>	3	6	4	2	3	6	4
	<i>%</i>	0,69	5,4	2,03	4,76	4,05	9,4	9,1

1 : aucune contamination 2 : entre 0 et 10 % de contamination 3 : entre 11 et 40 % de contamination 4 : au-delà de 40 % de contamination

Au regard des résultats, il semble y avoir un effet parcelle et un effet modalité de traitement sur le nombre de foyers d'oïdium : sur la parcelle la plus sensible (sous-parcelle H), l'effet de la réduction de dose, et notamment en modalité 4, est plus important. Le nombre de cases sans contaminations est en effet plus faible (62,5% au lieu de 80% minimum pour les autres modalités). Dans l'ensemble, sur les deux sous-parcelles, la modalité 4 présente plus de foyers oïdium et la modalité 2 présente le plus grand nombre de cases sans contaminations. Ces deux pistes sont corroborées par un test ANOVA 2 facteurs réalisé sur R2.14.2, qui montre un effet de la parcelle et de la modalité de traitement, sans interactions entre les deux facteurs.

Ainsi, le pourcentage des 4 niveaux de foyers est différent d'une parcelle à l'autre, et est d'une modalité à l'autre au sein d'une même parcelle. Ces résultats sont néanmoins à nuancer : en effet, l'erreur liée à l'estimation de la surface de grappes attaquées peut faire passer la contamination du niveau 2 au niveau 3 ou du niveau 3 au niveau 4 et inversement.

Les résultats seront à approfondir avec un test de Tukey sur R permettant de situer où sont les différences au sein des modalités de traitement, et de pouvoir conclure sur l'éventuelle efficacité du panneau récupérateur Dhugues sur le Tecnoma Pulsar. Par ailleurs, il nous a semblé qu'un test ANOVA n'était peut-être pas le plus approprié pour ce genre de données, dans le sens où nous avons des classes allant de 1 à 4. Un test Chi-deux de Pearson a été réalisé, et permet de comparer des distributions de données qualitatives (ici les niveaux 1 à 4). Ce test donne la même conclusion que le test ANOVA 2 facteurs, mais présente une limite : en effet, lorsque les effectifs sont inférieurs à 5, l'erreur liée au test augmente.

Finalement, la protection phytosanitaire a été efficace sur les deux sous-parcelles, bien que ces dernières présentent des différences :

- D'intensité de maladie (notamment l'oïdium) dans les Témoins Non Traités ;

- Des différences de comportement liées au sol (composition et épaisseur), à la végétation environnante, à la topographie et à la proximité d'eau en sous-sol.

Ainsi, il serait d'autant plus possible de réduire les doses de produits en prenant davantage en compte les facteurs agronomiques ayant une influence sur le pathosystème.

IV. Optimisation agro-environnementale de la pulvérisation : bilan et perspectives

En regard des précédents résultats, force est de constater qu'une réduction de doses est possible, même dans le cas d'une pression en oïdium relativement forte, en utilisant un matériel performant, en l'occurrence ici le panneau récupérateur Dhugues, et en adaptant la dose au stade végétatif de la vigne. Ainsi, pour replacer ces réductions de doses par rapport au contexte de la viticulture biologique et en ne considérant que la modalité 4 (dose la plus faible), pour le cuivre, seulement un tiers de la dose homologuée a été appliquée (1,93 kg/ha au lieu de 6 kg homologués). Concernant le soufre, ces résultats ont montré, dans un premier temps, que toute la campagne pouvait être gérée avec du soufre mouillable. Dans un second temps, les résultats en termes de quantité de soufre appliquée sur la plus faible modalité (16,2 kg/ha) et selon les 4 modalités confondues (19,41 kg/ha) nous placent parmi les applications plus basses au niveau de la région Languedoc-Roussillon (Constant, 2008). Si l'on compare les doses en soufre mouillable et en soufre poudre, la quantité de soufre mouillable appliqué sur nos essais pour la campagne 2012 est inférieure à la quantité moyenne de soufre poudre appliqué en une seule application (entre 20 et 30 kg/ha). De manière concomitante à ces résultats, un groupe de travail national vient de voir le jour sur l'optimisation de l'utilisation du soufre en viticulture à partir des techniques d'application.

Néanmoins, les doses de produits phytosanitaires auraient certainement pu être davantage réduites. En effet, les deux sous-parcelles sur lesquelles nous avons mené les essais se sont comportées différemment au regard de la pression de maladie (et notamment de l'oïdium) et des caractéristiques liées à leur environnement (végétation, sol, géologie, topographie, humidité et ensoleillement ...).

Ces constatations nous donnent des pistes quant à une gestion systémique de la vigne. En effet, une parcelle de vigne peut être considérée comme un ensemble, comprenant un grand nombre de facteurs interdépendants (agronomiques, environnementaux, géologiques, anthropiques ...) dont le fonctionnement et les interactions seront source des propriétés de cet ensemble. Ainsi, plus cet ensemble est complexe, plus les propriétés émergentes résultant de la combinaison de ces facteurs sont nombreuses. Le fait que ces facteurs interagissent ensemble induit des feedbacks aussi bien positifs que négatifs : un changement dans un des facteurs peut avoir un effet (ou simplement changer) sur un autre facteur ou processus. Tout cet ensemble peut être décomposé en sous-systèmes et être ainsi hiérarchisé selon les caractéristiques intrinsèques liées aux cépages (aspect génétique) ; le climat à trois échelles spatiales (régionale, parcellaire, cep) ; le stade de développement de la vigne ; la végétation alentour et la biodiversité fonctionnelle ; le sol ; le mode de conduite de la vigne. Ainsi, la prise en compte de la parcelle comme un système composé de facteurs interconnectés a une influence sur la gestion des maladies de la vigne de manière soit directe soit indirecte, à plus ou moins long terme et à différentes échelles spatiales.

Prenons l'exemple du sous-système climat, dont les actions directes et indirectes sur d'autres sous-systèmes et facteurs vont jouer sur la gestion des maladies cryptogamiques. Le climat peut être découpé en trois échelles spatiales, pour lesquelles les facteurs entrant en jeu peuvent être différents :

- le climat régional, correspondant au climat du type méditerranéen, continental, océanique... ;

- le climat parcellaire, à l'échelle de la parcelle, fonction du climat local et des caractéristiques parcellaires, correspondant aux caractéristiques de températures, pluviométrie, humidité, rayonnement solaire, vent ... ;
- le climat à l'échelle du cep, incluant les mêmes paramètres que le climat parcellaire.

A l'échelle régionale, certaines maladies seront présentes de manière plus ou moins récurrente. Prenons l'exemple de deux régions viticoles françaises, le Languedoc-Roussillon (LR) et la Champagne-Ardenne (CA). Dans la première région, le climat est méditerranéen, venteux et sec, alors que le climat champ-ardennais est beaucoup plus humide. Par ailleurs, le risque de maladie [Aléas (Pression oïdium et mildiou)*Vulnérabilité (Prophylaxie, gestion systémiques ...)] est différent selon les deux régions. En effet, les aléas sont globalement plus forts en CA et faibles en LR (bien que l'oïdium est souvent élevée), tandis que la vulnérabilité dépend du mode de conduite des viticulteurs. Ceci se traduit par un nombre de traitement (IFT = Indice de Fréquence de Traitement) par campagne supérieur en CA (20) qu'en LR (10). De même, selon le climat, le stade de développement de la vigne sera plus ou moins avancé, du fait des températures et des degrés-jours : les périodes de sensibilité de la vigne seront plus en moins en adéquation avec les périodes de virulence des champignons (dépendant elles-mêmes de la température, de l'humidité de l'air, des précipitations et du vent).

Le climat à l'échelle de la parcelle peut avoir les mêmes effets que le climat régional sur le stade de développement de la vigne (non étayé dans la littérature scientifique). En effet, la fragmentation parcellaire et la présence de haies peuvent être source d'une humidité de l'air et de vents différents (Plantegenest *et al.*, 2007 ; Emiko-Condeso *et al.*, 2007).

Enfin, le climat à l'échelle du cep va jouer de manière directe sur le développement de maladies sur la vigne, et va lui-même être influencé par plusieurs autres paramètres :

- L'action directe sur le développement de l'oïdium passe notamment par la circulation de l'air et par le rayonnement solaire au sein du cep. Ainsi, les rayons solaires UVB pourraient avoir une influence négative sur le développement mycélien de l'oïdium dans les grappes (Willcoquet *et al.*, 1996). Cet effet est cependant mal connu : ces facteurs peuvent en effet jouer sur le ralentissement du développement du champignon ou sur la sensibilité des grappes à l'oïdium (Zahavi *et al.*, 2001 ; Zahavi *et al.*, 2012). Par ailleurs, la circulation de l'air autour des grappes diminue l'humidité relative autour de ces dernières et donc défavorise le développement du mildiou ou de l'oïdium.

- Le mode de conduite de la vigne a une influence sur le rayonnement solaire et la circulation de l'air autour des grappes. Ainsi, une vigne laissée libre (Free canopy) montre un pourcentage de contamination des baies plus faible (Zahavi *et al.*, 2001 ; Zahavi *et al.*, 2012).

- Par ailleurs, la vigueur induite (elle-même influencée par d'autres facteurs) aura une influence sur le climat à l'échelle du cep : en effet, une vigne très vigoureuse avec une densité de feuillage élevée limitera l'ensoleillement et augmentera l'humidité relative autour des baies.

- Le sol, sa composition et sa biodiversité vont directement jouer sur les stratégies d'enherbement, de fertilisation et d'irrigation, et ce dans les deux sens : sol → stratégies / stratégie → sol. La vigueur en sera ainsi influencée (Valdes-Gomez *et al.*, 2011).

Toutes les relations ne seront pas explicitées dans cet écrit, mais il est indéniable que la modification d'un facteur va modifier un ou plusieurs autres facteurs ou processus et créer des « réactions en chaînes ». Ainsi, il est important de considérer tous les facteurs agronomiques inhérents à la culture, au sol, au climat, à la végétation et aux caractéristiques des cépages afin de gérer au mieux l'apparition et le développement de maladies cryptogamiques. Les traitements phytosanitaires interviennent quant à eux pour limiter le développement des maladies, mais ne doivent pas être la solution de première importance.

L'annexe 2 présente les interactions éventuelles (non étayées dans la littérature scientifique) et les relations définies (étayées dans la littérature scientifique) jouant conjointement sur la gestion des maladies cryptogamiques de la vigne. Il n'est pas exhaustif.

Conclusion

Les différents résultats des essais montrent qu'il est possible de réduire les quantités de produits phytosanitaires et de limiter les pertes environnementales via l'utilisation d'un matériel performant, la réduction des doses d'homologation et la prise en compte du stade végétatif de la vigne même lors de campagnes à forte pression maladie. Ainsi, ces premiers résultats établissent que le machinisme viticole, à court terme, peut être une solution rapide pour parvenir aux objectifs de réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires du plan Ecophyto 2018. Cependant, ces essais ayant eu lieu en conditions réelles dans le vignoble, il n'était pas possible, sur un plan statistique, de faire un grand nombre de modalités ou de faire un grand nombre de répétitions et de rendre l'essai reproductible et répétable d'une année à l'autre (pression maladie et situations climatiques variables). Par ailleurs, nous étions soumis aux aléas de l'expérimentation en conditions non contrôlées, à savoir les aléas climatiques, les casses matérielles, l'absence de pression maladies (dans d'autres essais) pouvant invalider les expérimentations ...

Au titre de précurseurs, ces essais se sont révélés très prometteurs en mettant en exergue plusieurs points à prendre en compte dans des essais expérimentaux de ce type mais également dans la profession viticole :

- L'importance de la précision lors de la préparation et de l'application des traitements phytosanitaires ;
- La pertinence des traitements selon la pression maladie et les stades de sensibilité de la vigne ;
- L'importance d'analyser la parcelle comme un système dans lequel interagissent un grand nombre de facteurs à la fois environnementaux, biologiques et anthropiques.

Ainsi, à long terme, la prise en compte de la complexité de la parcelle et la réflexion systémique peuvent être des pistes pour réduire l'utilisation systématique des produits phytosanitaires pour lutter contre les maladies cryptogamiques de la vigne.

BIBLIOGRAPHIE

- AUBERTOT J.N., J.M. BARBIER, A. CARPENTIER, J.J. GRIL, L. GUICHARD, P. LUCAS, S. SAVARY, I. SAVINI, M. VOLTZ (éditeurs), 2005. *Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et limiter leurs impacts environnementaux*. Rapport d'Expertise scientifique collective, INRA et Cemagref (France)
- BONET, E., CABOULET, D., GUISET, M., Edition 2012. Le coût des fournitures en viticulture et œnologie, évolutions techniques et réglementaires
- CELEN, H., 2012. The effect of spray mix adjuvants on spray drift, *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, **16** (1), 105-110
- CODIS, 2012., OPTIPULVE L'optimisation des doses permise par la précision d'application du pulvérisateur en vignes étroites Compte rendu de 8 années d'expérimentation. Conférence Euroviti du Sitevi
- CODIS, S., DOUZALS, J-P, DAVY, A., et CHAPUY, G., A paraître. Comparaison des systèmes d'expression des doses de produits de protection de la vigne dans 5 pays européens et les besoins d'une harmonisation. *Phytoma*.
- CONSTANT, N., 2008. Analyse des stratégies de lutte contre l'oïdium des viticulteurs biologiques en Languedoc-Roussillon – Synthèse d'enquêtes. AIVB-LR, 14 p.

- DE SCHAMPHELEIRE, M., NUYTTENS, D., BAETENS, K., CORNELIS, W., GABRIELS, D., SPANOGHE, P., 2009. Effects on pesticide spray drift of the physicochemical properties of the spray liquid, *Precision Agriculture*, **10**, 409–420
- DRUART, C., MILLET, M., SCHEIFLER, R., DELHOMME, O., RAEPPPEL, C., DE VAUFLEURY, A., 2011. Snails as indicators of pesticide drift, deposit, transfer and effects in the vineyard, *Science of the Total Environment*, **409**, 4280-4288
- EMIKO CONDESO, T., MEENTEMEYER, R., 2007. Effects of landscape heterogeneity on the emerging forest disease sudden oak death, *Journal of Ecology*, **95**, 364-375
- FEECHAN A, KABBARA S, DRY I.B, 2011. Mechanisms of powdery mildew resistance in the Vitaceae family. *Molecular Plant Pathology*, **12** (3), 263-274
- HALLEEN, F., HOLZ, G., 2001. An overview of the biology, epidemiology and control of *Uncinula necator* (powdery mildew) on grapevine, with reference to South Africa. *South African Journal for Enology and Viticulture*. **22** (2), 111-121
- HEBRARD, O., 2012a. Optimisation agro-environnementale de la pulvérisation, Journée technique Viti-Oeno AREDVI
- HEBRARD, O., 2012b. La collaboration IFV-Cemagref pour l'éco-évaluation des pulvérisateurs : premiers résultats et perspectives. Conférence Euroviti du Sitevi
- JONIS, M., 2009. Usage du cuivre en agriculture biologique Résultats d'enquête, Etude ITAB dans Usage du Cuivre pour la production de vins, fruits et légumes biologiques, ITAB.
- GESSLER, C., PERTOT, I., PERAZZOLLI, M., 2011. *Plasmopara viticola*: a review of knowledge on downy mildew of grapevine and effective disease management, *Phytopathologia Mediterranea*, **50**, 3-44
- PLANTEGENEST, M., LE MAY, C., FABRE, F., 2007. Landscape epidemiology of plant diseases, *Journal of the royal society Interface*, **4**, 963-972
- SINFORT, C., COTTEUX, E., RUELLE, B., DOUCHIN, M., BERENGER, M., LAGREVOL, J., LIET, A., DE RUDNICKI, V., BONICELLI, B., 2009. Influence des conditions et matériels de pulvérisation sur les pertes de pesticides au sol et dans l'air en viticulture Langueocienne, Manuscrit Auteur, publié dans « Colloque National du Groupe Français d'études et d'applications des pesticides, Toulouse »
- SYMMONS P.M., DOBSON, H.M., SISSOKO, M., 1991. Pesticide droplet size and efficacy : a series of trials on grasshoppers, *Crop Protection*, **10**, 136-144
- THISTLE, H.W., TESKE, M.E., REARDON, R.C., 1998. Weather effects on drift – Meteorological factors and spray drift : an overview, p.64-74, in Proceedings of the North American Conference on Pesticide Spray Drift Management
- VALDES-GOMEZ, H., 2007. Relations entre état de croissance de la vigne et maladies cryptogamiques en région méditerranéenne
- VALDES-GOMEZ, H., GARY, C., CARTOLARO, P., LOLAS-CANEO, M., CALONNEC, A., 2011. Powdery mildew development is positively influenced by grapevine vegetative growth induced by different soil management strategies, *Crop Protection*, **30**, 1168-1177
- VIRET, O., SIEGFRIED, W., HOLLIGER, E., RAISIGL, U., 2003. Comparison of spray deposits and efficacy against powdery mildew of aerial and ground-based spraying equipment in viticulture, *Crop Protection*, **22**, 1023-1032
- WILLOCQUET, L., COLOMBET, D., ROUGIER, M., FARGUES, J., CLERJEAU, M., 1996. Effects of radiation, especially ultraviolet B, on conidial germination and mycelia growth of grape powdery mildew, *European Journal of Plant Pathology*, **102**, 441-449
- ZAHAVI, T., REUVENI, M., 2012. Effect of grapevine training systems on susceptibility of berries to infection by *Erysiphe necator*, *European Journal of Plant Pathology*, **133**, 511-515
- ZAHAVI, T., REUVENI, M., SCHEGLOV, D., LAVÉE, S., 2001. Effect of training systems on development of powdery mildew, *European Journal of Plant Pathology*, **107**, 495-501

Site internet n°1: <http://www.bayer-agri.fr>, consulté en ligne le 20 juin 2012

Site internet n°2: <http://www.matevi-france.com>, consulté en ligne le 25 juillet 2012

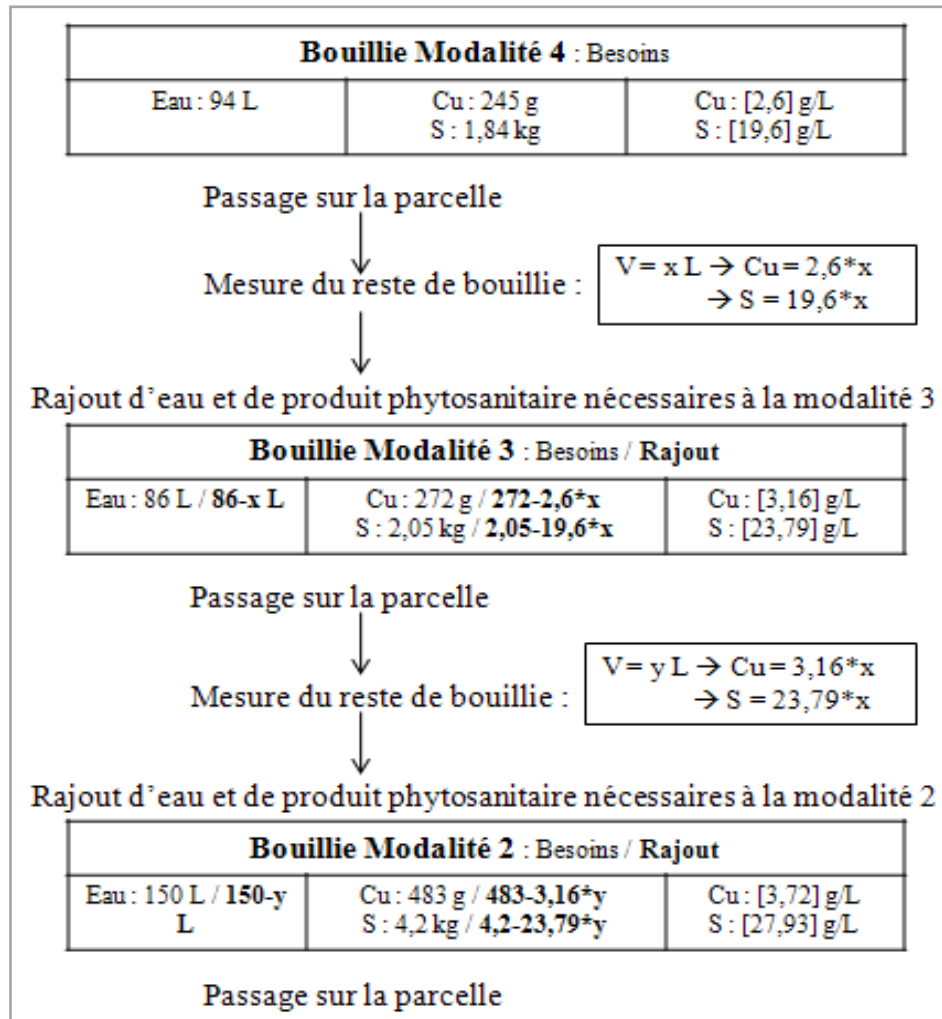
Site internet n°3: http://www.epl.agropolis.fr/dom_piquet, consulté le 06 août 2012

Site internet n°4: <http://www.montpellier-herault.com/arriere-pays/mosson-paillade/val-de-la-mosson2.html> consulté le 6 août 2012

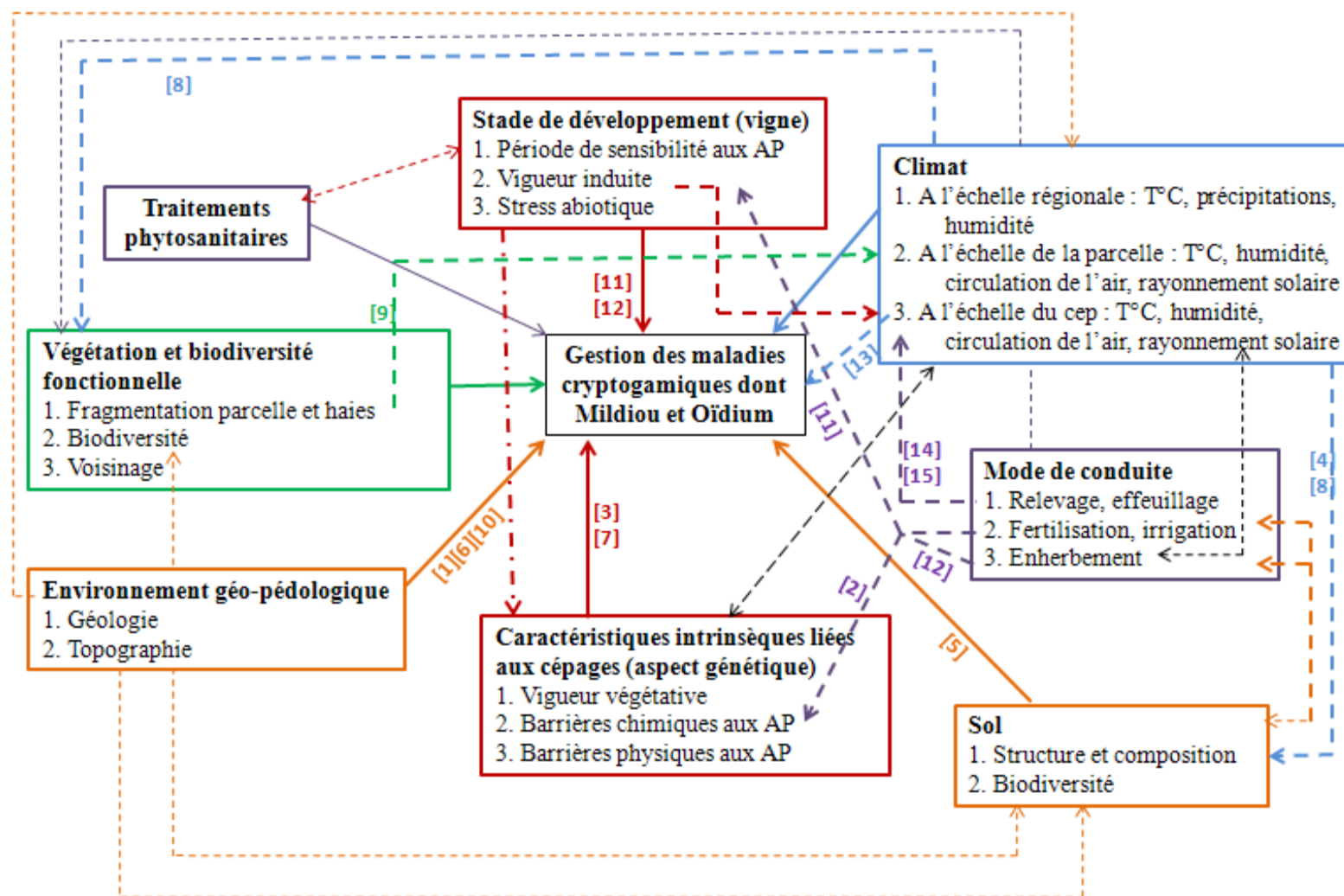
ANNEXES

Annexe 1 : Schéma du protocole de concentration de la bouillie mère.

Annexe 2 : Relations entre différents facteurs agronomiques intervenant dans une approche systémique de la viticulture. Ce schéma n'est pas exhaustif.



Annexe 1 : Schéma du protocole de concentration de la bouillie mère.



ANNEXE 2 : Relations entre différents facteurs agronomiques intervenant dans une approche systémique de la viticulture. Ce schéma n'est pas exhaustif. Les nombres entre parenthèse renvoient aux articles scientifiques qui étayent la relation.

- [1] AVELINO, J., CABUT, S., BARBOZA, B., BARQUERO, M., ALFARO, R., ESQUIVEL, C., DURAND, J.F., CILAS, C., 2007. Topography and crop management are key factors for the development of American Leaf Spot Epidemics on Coffee in Costa Rica, *Phytopathology*, **97** (12), p.1532-1542
- [2] BAVARESCO, I., EIBACH, R., 1987. Investigations on the influence of N fertilizer on resistance to powdery mildew (*Oidium tuckeri*) downy mildew (*Plasmopara viticola*) and on phytoalexin synthesis in different grapevine varieties. *Vitis*, **26**, 192-200
- [3] BOSO, S., SANTIAGO, J.L., MARTINEZ, M.C., 2004. Resistance of eight different clones of the grape cultivar albarino to *Plasmopara viticola*, *Plant disease*, **88**, (7), 741-744
- [4] CHAKREBORTY, S., PANGGA, I.B., ROPER, M.M., 2012. Climate change and multitrophic interactions in soil : the primacy of plants and functional domains, *Global Change Biology*, **18**, 2111-2125
- [5] CORTI, G., CUNIGLIO, R., AGNELLI, A., RICCI, F., 2007. Influence of soil factors on ESCA infection in a vineyard soil on Pliocene deposits, *Communication in soil science and plant analysis*, **38**, 661-678
- [6] EMIKO CONDESO, T., MEENTEMEYER, R., (2007) Effects of landscape heterogeneity on the emerging forest disease sudden oak death, *Journal of Ecology*, **95**, 364-375
- [7] FEECHAN A, KABBARA S, DRY I.B (2011) Mechanisms of powdery mildew resistance in the Vitaceae family. *Molecular Plant Pathology*, **12** (3), 263-274
- [8] PAUTASSO, M., DORING, T.F., GARBELOTTO, M., PELLIS, L., JEGER, M.J., 2012. Impacts of climate change on plant diseases – opinions and trends. *European Journal of Plant Pathology*, **133**, 295-313
- [9] PLANTEGENEST, M., LE MAY, C., FABRE, F., (2007), Landscape epidemiology of plant diseases, *Journal of the royal society Interface*, **4**, 963-972
- [10] SEGUIN, G., 1986. 'Terroirs' and pedology of wine growing, *Experientia*, **42**, 861-873
- [11] VALDES-GOMEZ, H., (2007), Relations entre état de croissance de la vigne et maladies cryptogamiques en région méditerranéenne
- [12] VALDES-GOMEZ, H., GARY, C., CARTOLARO, P., LOLAS-CANEO, M., CALONNEC, A., (2011), Powdery mildew development is positively influenced by grapevine vegetative growth induced by different soil management strategies, *Crop Protection*, **30**, 1168-1177
- [13] WILLOCQUET, L., COLOMBET, D., ROUGIER, M., FARGUES, J., CLERJEAU, M., (1996), Effects of radiation, especially ultraviolet B, on conidial germination and mycelia growth of grape powdery mildew, *European Journal of Plant Pathology*, **102**, 441-449
- [14] ZAHAVI, T., REUVENI, M., (2012), Effect of grapevine training systems on susceptibility of berries to infection by *Erysiphe necator*, *European Journal of Plant Pathology*, **133**, 511-515
- [15] ZAHAVI, T., REUVENI, M., SCHEGLOV, D., LAVEE, S., (2001), Effect of training systems on development of powdery mildew, *European Journal of Plant Pathology*, **107**, 495-501

RESUME

Dans le cadre du plan Ecophyto 2018, la France s'est engagée, en 2008, à réduire de 50% l'utilisation de produits phytosanitaires d'ici l'horizon 2018, si possible. Rapportée à sa surface, la viticulture fait partie des cultures les plus consommatrices de produits phytosanitaires. Pour atteindre ces objectifs à court et moyen terme, les techniques d'application des produits phytosanitaires via l'utilisation de matériels précis et performants et l'adaptation de la dose à la végétation sont à privilégier. L'objectif de ce stage était d'étudier les pistes d'optimisation agronomique (qualité des dépôts) et environnementale (limitation des pertes de produits) de l'application des produits phytosanitaires. Les essais réalisés sur une vigne en conversion biologique et à forte pression oïdium et faible pression mildiou ont permis de montrer qu'il était possible de réduire les doses de produits phytosanitaires via l'utilisation d'un pulvérisateur équipé de panneaux récupérateurs des particules et l'adaptation de la dose à la végétation. Les résultats des essais ont également mis en exergue l'influence du comportement environnemental et biologique des parcelles sur la gestion des maladies de la vigne. Ainsi, à long terme, les connaissances en génétique et en prophylaxie et l'approche systémique de la viticulture pourraient permettre de limiter voire stopper l'utilisation de produits phytosanitaires.

Mots clés : optimisation agro-environnementale de la pulvérisation, viticulture, doses, produits phytosanitaires, Ecophyto 2018, panneaux récupérateurs, agriculture biologique, cuivre, soufre, approche systémique

ABSTRACT

In the context of 2018 Ecophyto plan, France made a commitment, in 2008, to reduce by half the use of pesticides before 2018, if possible. As regards to its surface, the viticulture is a culture with high consumption of pesticides. To achieve these objectives in short and medium times, the most relevant tracks are the techniques of application of pesticides by the use of successful equipment and the adaptation of quantity of products to vegetation stages. The objective of this training period was to study the agronomic (quality of deposition of pesticides) and environmental (limitation of the losses of pesticides in the environment) optimization during the pesticides spraying. The experimentations on organic conversion viticulture with high powdery mildew pressure and medium downy mildew pressure showed that it was possible to reduce the doses of pesticides by the use of materiel with tunnel of recuperation of losses and the adaptation of the quantity of pesticides to the development of the vine. The environmental and biologic behavior of the field had also an effect on the emergency of powdery and downy mildew. Thus, in a long time, the knowledge in genetic and disease prevention but also in the farming systems could permit to reduce the use of pesticides.

Keywords : organic agriculture, copper, sulfur, agronomic and environmental optimization of the spraying, viticulture, doses, pesticides, Ecophyto 2018, tunnel of recuperation, organic agriculture, copper, sulfur, farming system.