HAL
open science

Le black rot en Vaucluse : modélisation de la dynamique de la maladie et essai sur la gestion raisonnée en agriculture biologique et conventionnelle

Manon Morin

To cite this version:

Manon Morin. Le black rot en Vaucluse : modélisation de la dynamique de la maladie et essai sur la gestion raisonnée en agriculture biologique et conventionnelle. Sciences du Vivant [q-bio]. 2017. dumas-01873707

HAL Id: dumas-01873707

https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01873707v1

Submitted on 13 Sep 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE

CHAMBRE AGRICULTURE VAUCLUSE

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

présenté pour l'obtention du

DIPLÔME D'INGÉNIEUR AGRONOME

option : Viticulture Œnologie

parcours : Vigne et Vin

Le black rot en Vaucluse :
modélisation de la dynamique de la maladie et essai sur la gestion raisonnée en agriculture biologique et conventionnelle

par

Manon MORIN

Année de soutenance : 2017

Organisme d'accueil : Chambre d'agriculture du Vaucluse, pôle vigne et vin, Orange

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE

CHAMBRE AGRICULTURE VAUCLUSE

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

présenté pour l'obtention du

DIPLÔME D'INGÉNIEUR AGRONOME

option : Viticulture Œnologie

parcours : Vigne et Vin

Le black rot en Vaucluse :
modélisation de la dynamique de la maladie et essai sur la gestion raisonnée en agriculture biologique et conventionnelle

par

Manon MORIN

Mémoire préparé sous la direction de :
Claire NEEMA

Organisme d'accueil : Chambre d'agriculture du Vaucluse, pôle vigne et vin, Orange

Présenté le : 06/11/2017

Maître de stage : Silvère DEVEZE

Table des matières

Remerciements **5**
Liste des tableaux **6**
Liste des figures **6**
Liste des photographies **7**
Liste des annexes **8**
Introduction **9**
I. Synthèse bibliographique **10**
1. Epidémiologie et facteurs de développement du black rot **10**
1.1. Les périthèces et pycnides, deux organes qui passent l'hiver sur les vignes 10
1.2. Dynamique de libération et de germination des ascospores 11
1.3. Dynamique de libération et de germination des conidies 11
1.4. Le processus infectieux 12
1.5. Développement des hyphes, périodes d'incubation et de latence 13
1.5.1. Développement des hyphes en réseau 13
1.5.2. Période d'incubation des spores 14
1.5.3. Période de latence 15
1.6. Sensibilité de la vigne 16
1.7. Synthèse : le cycle du black rot 18
2. Le contrôle de la maladie **18**
2.1. Le contrôle chimique 18
2.1.1. Les différentes familles de produits 18
2.1.2. Calendrier de traitement 19
2.2. Le contrôle en viticulture biologique 20
3. Problématique et objectifs du stage **20**
II. Matériels et méthodes **21**
1. Dynamique de la maladie en Vaucluse depuis 2014 ..... **21**
1.1. Lieu et contexte 21
1.2. Données disponibles 22
1.3. Traitement des données 22
2. Gestion raisonnée du black rot en agriculture biologique et conventionnelle **24**
2.1. Le vignoble expérimental 24
2.2. Contamination artificielle de la parcelle 24
2.3. Modalités et stratégies testées 25
2.4. Mise en œuvre des stratégies 26
2.5. Déroulement des notations 26
2.6. Traitement des données 27

III. Résultats **27**
1. Dynamique de la maladie en Vaucluse depuis 2014 ..... **27**
1.1. Piolenc, de 2014 à 2017 27
1.2. Comparaison de Piolenc et Mormoiron, 2014 33
1.3. Synthèse 33
2. Gestion raisonnée du black rot en agriculture biologique et conventionnelle **34**
2.1. Contamination et dynamique du black rot en 2017 34
2.2. Analyse des résultats en agriculture biologique en 2017 35
2.3. Analyse des résultats en agriculture conventionnelle en 2017 36
2.4. Synthèse de l'année 2016 37
IV. Discussion **38**
1. Conception et évaluation du modèle **38**
2. Gestion du black rot et préconisations en agriculture conventionnelle et biologique **39**
V. Conclusions et perspectives **40**
Références bibliographiques **41**
Annexes **45**

Remerciements

Tout d'abord, je tiens à remercier l'ensemble des membres de l'équipe technique de la chambre d'agriculture du Vaucluse à Orange, pour leur accueil et leur encadrement tout au long de ce stage, qui fut très formateur. Pour m'avoir permis de mener à bien ce stage, je tiens à remercier tout particulièrement Silvère Devèze, maître de stage et conseiller en viticulture. Je le remercie pour sa patience et du temps qu'il a pris pour partager ses connaissances, de m'avoir fait découvrir son travail et de m'avoir formée à l'expérimentation et au suivi du vignoble. Je remercie également Florine Thevenot, pour son encadrement et pour m'avoir appris les différents travaux en vert de la vigne. Je remercie Pauline Garin pour ces conseils avisés, pour avoir partagé avec moi sa vision de la viticulture et pour m'avoir épaulée dans mon expérimentation. Je remercie chaleureusement Marie Arrigoni, qui ne doit jamais cesser de partager ses connaissances avec pédagogie et plaisir, tant elles sont formatrices. Enfin je remercie Olivier Jacquet, chef d'équipe du pôle technique vigne et vin, pour son accueil et son soutien. Il me reste à remercier très chaleureusement Hélène Blaise, pour son sourire du matin, sa bonne humeur, sa bienveillance et son entrain.

Je me dois de remercier mes collègues stagiaires, sans qui ce stage n'aurait pas pris la même tournure. Merci à Paul, pour son rire, ses blagues et sa bonne humeur de tous les jours. Merci beaucoup à Samuel, pour ses conseils avisés et son soutien. Merci également à Pauline, pour son rire, sa bonne humeur et son soutien. Pour finir, un immense merci à Morgane, ma coéquipière de choc, avec qui les mercredis auront été plus faciles ! Je ne peux que la remercier pour son soutien immense, son aide et sa bonne humeur.

Je remercie finalement Claire Neema, actuelle tutrice de ce stage, pour m'avoir guidée dans ce travail et soutenue. Merci beaucoup pour le temps qu'elle a su m'accorder et pour ses conseils avisés.

Liste des tableaux

Tableau 1: besoins en humidité et température pour une infection par *Guignardia bidwellii* .12
Tableau 2: calcul du temps de traitement par face 26
Tableau 3 : caractéristiques des fongicides utilisés.....26
Tableau 4 : détail des traitements pour chaque modalité en 2017 27
Tableau 5: notations en 2017 27
Tableau 6: stade phénologique du grenache de 2014 à 2017 à Piolenc 28
Tableau 7: évènements infectieux et dates de sorties de tâches réelles et modélisées en 2014 28
Tableau 8: évènements infectieux et dates de sorties de tâches modélisées et observées en 2015 29
Tableau 9 : évènements infectieux et dates de sorties de tâches modélisées et réelles en 2016 30
Tableau 10 : évènements infectieux et des sorties de tâches modélisées et réelles en 2017 32
Tableau 11: comparaison des évènements infectieux à Piolenc et Serres en 2014.....33
Tableau 12 : évènements infectieux à Serres en 2014.....33
Tableau 13: bilan des sorties données par le modèle de 2014 à 2017.....34
Tableau 14 : comptage témoin sur feuille le 29/05/17 35
Tableau 15 : résultat du test de Kruskal-Wallis pour les modalités biologiques le 29 mai 2017 36
Tableau 16 : résultat du test de Dunn le 29 mai 2017 36
Tableau 17: comptage du 20 juin 2017 sur les modalités biologiques.....36
Tableau 18 : résultat du comptage sur grappe des modalités biologiques le 23 juin 2017 36
Tableau 19 : comptage des modalités biologiques sur grappe le 6 juillet 2017.....36
Tableau 20: comptage des modalités biologiques sur grappe le 19 juillet 2017.....36
Tableau 21 : comptage sur grappe des modalités biologiques au 2 août 2017 37
Tableau 22: fréquences et intensités des grappes des modalités conventionnelles le 23 juin 2017 37
Tableau 23: fréquences et intensités d'attaque des grappes des modalités conventionnelles au 6 juillet 2017 37
Tableau 24 : fréquences et intensités des modalités conventionnelles au 19 juillet 2017.....37
Tableau 25: fréquence et intensité des modalités conventionnelles le 2 août 2017.....37

Liste des figures

Figure 1: cycle du black rot en fonction des données météorologiques.....18
Figure 2: plan de la parcelle expérimentale en 2017.....26
Figure 3: évènements infectieux en 2014 à Piolenc 28
Figure 4: évènements infectieux en 2015 à Piolenc 29
Figure 5: évènements infectieux en 2016 à Piolenc 30
Figure 6 : évènements infectieux en 2017 à Piolenc 32
Figure 7: évènements infectieux en 2014 à Serres.....33
Figure 8 : détail de la météorologie à Piolenc en 2017, de la brumisation et des traitements phytosanitaires.....34
Figure 9: évolution du nombre de feuilles touchées sur le témoin en 2017 35
Figure 10 : comptage du 29 mai 2017 sur les modalités biologiques 35
Figure 11: efficacité de Abbott au 29 mai 2017.....35
Figure 12: nombre de feuille touchée/cep sur le témoin en 2016 37
Figure 13 : nombre de feuille touchée/cep au 1er juin 2016.....38

Figure 14 : nombre de feuille touchée/cep le 17 juin 2016 38
Figure 15: fréquence d'attaque sur grappe en 2016.....38
Figure 17: intensité d'attaque en 2016.....38
Figure 16: efficacité de Abbott sur les fréquences en 2016.....39
Figure 18: efficacité de Abbott sur les intensités en 2016.....39

Liste des photographies

Photographie 1: à gauche, jeunes tâches de black rot; à droite, tâches plus âgées 14
Photographie 2: à gauche, des pycnides sur une feuille; au milieu, tout premier pycnide sur baie; à droite, baie momifiée couverte de pycnides (loupe binoculaire, x13) 15
Photographie 3: les pompons au-dessus de la vigne 24
Photographie 4: la station de brumisation en fonctionnement.....24

Liste des annexes

Annexe 1: détails de la météorologie et des calculs du modèle en 2014 à Piolenc 45
Annexe 2: détails de la météorologie et des calculs du modèle en 2015 à Piolenc 47
Annexe 3: détails de la météorologie et des calculs du modèle en 2016 à Piolenc 49
Annexe 4: détails de la météorologie et des calculs en 2017 à Piolenc.....51
Annexe 5: détails météorologiques et calculs de SUS pour Serres en 2014.....53
Annexe 6 : résultats des tests statistiques pour les modalités biologiques le 20 juin 2017 55
Annexe 7: tests statistiques pour l'ensemble des modalités le 23 juin 2017.....56
Annexe 8 : traitements statistiques pour l'ensemble des données du 6 juillet 2017 57
Annexe 9 : traitements statistiques pour l'ensemble des données du 19 juillet 2017.....58
Annexe 10: résultats statistiques des modalités biologiques au 2 août 2017.....59
Annexe 11 : test statistique pour l'ensemble des modalités au 30 juin 2016 60
Annexe 12 : test statistique pour l'ensemble des modalités le 13 juillet 2016.....61
Annexe 13: test statistique de l'ensemble des modalités au 26 juillet 2016 62
Annexe 14: test statistique pour l'ensemble des modalités au 9 août 2016 63
Annexe 15 : efficacité de Abbott pour les modalités biologiques.....64
Annexe 16: efficacités de Abbott pour les modalités conventionnelles.....66

Introduction

Phyllosticta ampelicida (Engelmann) van der Aa (1973) (téléomorphe *Guignardia bidwellii* (Ellis) Viala et Ravaz) est un champignon pathogène responsable de la maladie du black rot qui touche les plantes de la famille des *Vitaceae*, et parmi elles *Ampelopsis*, *Cissus* ,*Parthenocissus* et *Vitis*. Ce pathogène est originaire des USA, les premières pertes dues au black rot ont été recensées en 1804 dans le Kentucky. Depuis, la maladie s'est propagée et a été observée dans différentes régions des Etats Unis. La maladie a probablement été introduite dans d'autres régions viticoles comme l'Europe par la propagation de matériel viticole contaminé. Le black rot est répertorié en France pour la première fois en 1885. La maladie s'étend ensuite rapidement aux autres vignobles européens de l'Allemagne et de l'Italie. Il est surtout présent en Europe dans les régions aux printemps humides. Les dégâts n'ont jamais été très importants jusqu'au début du XXIème siècle, où le black rot devient très présent en 2002 dans le nord de l'Allemagne. Les épidémies de black rot deviennent plus importantes, notamment en France, Luxembourg, et en Suisse. Le champignon se développe également dans les vignobles plus chauds méditerranéens, au Portugal et en Italie. La propagation soudaine du champignon est mal comprise : on peut supposer qu'elle est due à un changement dans le calendrier de traitement des produits phytosanitaires ou dans les produits utilisés : il y a de plus en plus de vignes conduites en agriculture biologique, pourtant, aucun produit phytosanitaire n'est homologué contre le champignon. On peut s'interroger également sur le rôle des parcelles de vigne abandonnées, qui jouent le rôle de réservoir d'inoculum et contaminent les parcelles adjacentes.

Le black rot infecte tous les tissus verts en croissance, les rameaux, vrilles et baies. Les dégâts causés par le champignon peuvent entrainer jusqu'à 100% de perte de récolte si le millésime est pluvieux. Le vin produit avec des raisins touchés est de mauvais goût. D'un point de vue économique, les surcoûts pour traiter le black rot sont importants : les vignerons doivent faire face à des pertes de récoltes et augmentent leur nombre de traitement phytosanitaire à l'hectare. Face à la propagation de la maladie dans le sud est de la France, la Chambre d'Agriculture du Vaucluse met en place des essais contre le black rot dans le cadre d'un projet régional visant à expérimenter des stratégies de lutte à bas niveau d'intrant.

Ce présent rapport aura tout d'abord pour but de faire la synthèse des connaissances actuelles sur le développement et la gestion phytosanitaire du champignon. Il vous sera ensuite présenté un premier essai qui consiste à mettre en place un modèle pour comprendre le développement du black rot. Le deuxième essai portera sur la stratégie de lutte du champignon en agriculture conventionnelle et biologique, tout en respectant des faibles niveaux d'intrants.

I. Synthèse bibliographique

Le black rot est causé par l'agent pathogène *Guignardia bidwellii* (Ellis). C'est un ascomycète (ordre: Dothidéale; famille: Mycosphaerellacées) originaire du nord de l'Amérique, connu pour être un pathogène causant des dégâts importants sur les vignes de *Vitis vinifera* (Scribner et Viala, 1888; Prunet, 1898). Cette maladie est apparue dans le sud de l'Europe (notamment en Italie et en France) au début des années 1880. Il se répand ensuite au reste de l'Europe du nord (Besselat et Bouchet, 1984; Mauri et Kobel, 1988).

Cette synthèse bibliographique s'orientera d'abord sur le cycle de développement du champignon afin de comprendre son évolution au cours d'une saison. Les méthodes de traitement du champignon seront ensuite étudiées, à la fois en agriculture biologique et conventionnelle.

1. Epidémiologie et facteurs de développement du black rot

1.1. Les périthèces et pycnides, deux organes qui passent l'hiver sur les vignes

Le champignon passe la saison hivernale principalement sous forme de périthèces (formation reproductrice qui porte les asques, contenant eux-mêmes les cellules reproductrices, les ascospores) sur les baies séchées dites momifiées de l'année précédente, mais aussi sur les vrilles et rafles restées au sol ou sur le palissage (Hoffman et Wilcox, 2002). La contamination primaire sur les jeunes feuilles provient des ascospores libérées de ces périthèces (Molitor et Beyer, 2014). L'arrêt de la croissance mycélaire, l'exposition à des températures entre 5 et 15°C, avec un optimum autour de 12°C, et l'alternance d'un régime lumineux (12h de lumière, 12h d'obscurité) favorisent la formation du périthèce. Une période d'induction caractérisée par des faibles températures est nécessaire à la différenciation et à la maturation des ascospores (Jailloux, 1992). Sur des baies momifiées où les périthèces ont passé l'hiver, il peut y avoir plus de 10^4 ascospores par baie (Hoffman *et al.*, 2004). Pour que 90% des ascospores de l'hiver soient mûres, il faut environ 400 degrés jour, en sommant les températures moyennes journalières entre 9 et 19°C, à partir du stade BBCH 08 (pointe verte ; le stade phénologique est évalué en utilisant l'échelle de Lorenz *et al.*, 1995), (Ferrin et Ramsdell, 1977 ; Jermini et Gessler, 1996 ; Onesti, 2015). L'équation donnant le pourcentage d'ascospores mûres au jour i (%APmat(i)) depuis le stade pointe verte a été développée par Onesti (2015) :

$$\%APmat(i) = \exp(-5.31 \times \exp(-0.99 \times CDD_{9\text{-}19}(i) / 100)$$

$CDD_{9\text{-}19}(i)$ représente la somme des températures moyennes journalières ($t_{moy,i}$) comprises entre 9 et 19°C (notées t(i)) depuis le stade pointe verte. Pour $t_{moy,i} \leq 9$, t(i)=0. Pour $9 < t_{moy,i} < 19$, t(i)= $t_{moy,i}$-9. Pour $t_{moy,i} \geq 19$, t(i)=10.

Au printemps, l'infection primaire est majoritairement initiée par les ascospores libérées des baies momifiées. Cependant les conidies (spore issue de la multiplication végétative) peuvent aussi passer l'hiver dans les pycnides (fructification asexuée) des sarments, vrilles et baies momifiées et jouer un rôle dans l'infection primaire (Ullrich *et al.*, 2008). Les spores de *Guignardia bidwellii* se différencient par leur taille : les ascospores mesurent environ 14 µm à la différence des conidies qui mesurent 9,6 µm de diamètre. Les conidies ont besoin de plus de temps pour mûrir. Il faut environ 1 000 degrés jour pour que 90% des conidies des baies momifiées soit mûres, en sommant les températures supérieures à 10°C (Ferrin et Ramsdell, 1978 ; Hoffman *et al.*, 2004 ; Onesti, 2015). L'équation qui donne le pourcentage de conidies mûres au jour i (%CONmat(i)) depuis le stade pointe verte a été développée par Onesti (2015) :

$\%CONmat(i) = 1 / (1 + \exp(6.12-0.76 \times CDD_{10}(i) / 100))$

$CDD_{10}(i)$ représente la somme des températures moyennes journalières ($t_{moy,i}$) supérieures à 10°C (t(i))depuis le stade pointe verte. Pour $t_{moy,i} \leq 10$, t(i)=0. Pour $10<t_{moy,i}$, $t(i)= t_{moy,i}-10$.

1.2. Dynamique de libération et de germination des ascospores

L'émission des ascospores primaires s'observe dès la période de débourrement de la vigne et lorsque les pluies excèdent 0,3 mm, pour une durée minimum d'une heure (Spotts, 1977 ; Ferrin et Ramsdell, 1977). Onesti (2015) précise que la prédiction de la libération de ces spores est la plus correcte lorsque l'on choisit la valeur seuil de 3 mm de pluie. La pluie humidifie les baies, les périthèces absorbent l'eau, gonflent, s'ouvrent et dispersent les ascospores dans l'air. Si la température est de 20°C pendant 3h, en condition humide, les ascospores sont relâchées en grande quantité. Il y a donc une corrélation entre la quantité de pluie et la libération des ascospores (Ferrin et Ramsdell, 1977). En effet, le nombre d'ascospores libérées augmente avec la quantité de pluie (Onesti, 2015). 90% des ascospores sont libérées dans l'air à la fin de la première heure (Jermini et Gessler, 1996). On peut détecter des libérations d'ascospores en petite quantité encore 8h après la fin d'une pluie (Ferrin et Ramsdell, 1977 ; Jermini et Gessler, 1996).

Les ascospores sont disponibles dans les 2 ou 3 semaines après le débourrement (Becker et Pearson, 1996 ; Jermini et Gessler, 1996 ; Hoffman et Wilcox, 2002). Onesti (2015) montre que leur expulsion est possible à partir de 400 degrés jour environ (somme des températures moyennes journalière entre 9 et 25°C depuis le stade pointe verte), 50% sont disponibles au bout de 600 degrés jour et 90% le sont au bout de 1 000 degrés jour. La plus grande libération des ascospores est observée entre le stade boutons floraux séparés et pleine floraison de la vigne (Jermini et Gessler, 1996). Ferrin et Ramsdell le confirment (1977), observant un maximum de libération des ascospores juste avant et pendant la floraison. Selon Hoffman *et al*. (2004), sur deux années d'étude, 88 et 98% des ascospores de la saison sont piégées juste avant le stade floraison et dans les deux semaines qui suivent.

En plaçant des ascospores à germer dans de l'eau libre, on observe que la germination a lieu dans les 6h, pour des températures allant de 10 à 30°C (Ferrin et Ramsdell, 1977 ; Caltrider, 1961). 6h est donc la durée d'humidité minimum requise pour que l'infection par les ascospores ait lieu. Le taux de germination est proportionnel à la température, il est donc plus important en proportion lorsqu'il fait 30°C. Au vignoble, la température minimale requise pour une infection par les ascospores est de 7°C, la température maximale est de 31°C, et la température optimale pour l'infection est de 24°C (Onesti, 2015). Ferrin et Ramsdell (1977) retrouvent que l'infection des feuilles a lieu plus rapidement à 27°C et qu'aucun symptôme ne se développe à 32°C.

Les ascospores sont sensibles à la dessiccation : lorsque 6h de sécheresse suivent l'inoculation, le taux de germination est abaissé à 90,7% (contre 97% en absence de période de sécheresse) (Ferrin et Ramsdell, 1977). Après 48h de séchage, même après ré-humidification, la germination n'a pas lieu. Par ailleurs, l'alternance de périodes de sec (12h), humidité (6h) et sec (12h) de nouveau diminue la germination jusqu'à 6,7%. Ce phénomène suggère que la croissance de l'appressorium est le facteur dépendant qui limite l'infection.

1.3. Dynamique de libération et de germination des conidies

Les conidies sont libérées des pycnides mûres dès 0.5 mm de pluie (Maurin *et al.*, 1990).

Tableau 1: besoins en humidité et température pour une infection par *Guignardia bidwellii*

Température moyenne (°C)	Durée minimum d'humidité (h)	Température moyenne (°C)	Durée minimum d'humidité (h)
10	24	24	7
13	12	26,5	6
15,5	9	29	9
18,5	8	32	12
21	7		

Onesti (2015) précise qu'il faut 1 mm de pluie répartie sur une heure minimum, durée que préconise également Spotts (1980). Les conidies sont libérées en plus grande quantité que les ascospores et transportées par l'eau de pluie (Harms *et al.,* 2005). En présence d'eau libre, les pycnides mûres expulsent les conidies dans un exsudat mucilagineux, le cirrhe (Janex-Favre *et al.,* 1993). Elles sont dispersées par la pluie en spalsh et sont retrouvées en tas sur les lames de microscope qui bordent les pycnides (Onesti, 2015 ; Campbell et Madden, 1990).

Le nombre de conidies libérées augmente avec la quantité de pluie (Onesti, 2015). Des piégeages ont été réalisés pour comprendre leur dynamique de libération lors d'évènements pluvieux. Les premières sont dispersées dès le débourrement (Onesti, 2015 ; Becker et Pearson, 1996), on atteint le maximum de piégeage lorsque les baies sont au stade 1 cm de diamètre (Ferrin et Ramsdell, 1978). Une importante proportion de l'inoculum de la saison se trouve piégée dans les eaux de ruissellement juste avant la mi floraison (stade BBCH 65). Enfin, la majorité des spores ont été libérées avant la véraison. La dynamique de libération des conidies est modélisée par Onesti (2015) : la libération débute environ à 200 degrés jour (somme des températures moyennes journalières supérieures à 10°C depuis le stade pointe verte), 50% des conidies sont libérées au bout de 400 degrés jour et 100% le sont au bout de 800 degrés jour (Onesti, 2015).

Leur germination est déclenchée par contact entre la spore et une surface hydrophobe (Shaw, 2006). Sous des conditions de température et d'humidité favorables la germination se fait en moins d'une heure. Entre 20 et 30°C, à 100% d'humidité relative, le pourcentage de germination augmente avec la durée d'incubation (à 20°C, 8% des conidies ont germé en 10h, 15% des conidies ont germé en 50h). A 15°C, quelle que soit la durée d'incubation, le pourcentage de conidies germées ne dépasse pas 5 % (Onesti, 2015).

Les conidies sont également sensibles à la dessiccation (Spotts, 1977) : après 48h de sécheresse qui suivent l'évènement infectieux, la survie des spores est quasiment nulle (Onesti, 2015 ; Molitor, 2009). Après 24h de séchage, moins de 20% des conidies survivent.

La formation de l'appressorium prend environ 6h. L'infection est initiée par la croissance d'un ou deux hyphes sous la cuticule (Cornelia et al, 2009).

1.4. Le processus infectieux

L'infection, c'est-à-dire le développement de la maladie par les conidies et ascospores, est dépendante des conditions d'humidité et de température (Spotts, 1977 ; Northover, 2008). Le facteur qui semble influencer le plus l'infection est la durée durant laquelle la feuille reste humide après la pluie (Ferrin et Ramsdell, 1978).

Selon le tableau 1 ci-contre (Spotts, 1977), plus la température est grande, moins les besoins en humidité pour que l'infection ait lieu sont importants.

A 7°C, même après 48h d'humidité, l'infection par les conidies n'a pas lieu. Par ailleurs, la sévérité de la maladie est plus faible pour les plantes dont on a fait varier la température pendant l'infection. La température optimale de croissance pour les pycnides semble être autour de 25°C (Caltrider, 1961), celle pour leur germination est de 30°C. Ferrin et Ramsdell (1978) obtiennent les mêmes résultats. 24h d'humidité à 24°C sont donc les conditions optimales pour une infection par les conidies (Spotts, 1977). L'infection n'est pas affectée par la source d'humidité (pluie ou rosée). Onesti (2015) montre l'aptitude des pycnides à maintenir la capacité de produire des conidies même après une longue période avec une humidité basse (87 jours à 54% d'humidité relative). Le champignon est donc capable de survivre en petite quantité en été sous un climat chaud et sec et engendrer des nouvelles infections à la fin de la saison. La réactivation de la maladie après une période

estivale sèche a déjà été observée dans certains vignobles (Hoffman *et al.*, 2004 ; Ferrin et Ramsdell, 1978). Sur les jeunes feuilles (de rang 1 à 3 à partir de l'apex), les ascospores et conidies développent toujours un appressorium, le tube de germination est très court (Ullrich *et al.*, 2008). Sur des feuilles plus âgées (rang 4 et plus), la longueur du tube de germination est plus variable. De plus, l'hyphe sous cuticulaire est beaucoup plus développé sur les jeunes feuilles de rang 1 à 3 que sur celles de rang 4 et plus, qui ne forment presque pas de ramifications, ni de réseau en filet (Kuo et Hoch, 1996 ; Ullrich *et al.*, 2009). Si le taux de croissance moyen journalier de la vigne est important juste avant et après l'infection, la sévérité de la maladie et la densité de pycnides seront également importantes. La germination des spores n'est donc pas affectée par l'âge de la feuille, à la différence du développement sous cuticulaire des hyphes (Northover, 2008).

Les conidies libérées en très grand nombre sont responsables de la progression rapide de la maladie (Ferrin et Ramsdell, 1978). La sévérité de l'infection va dépendre de la durée de la période humide (Molitor, 2009). Les conditions d'inoculations de la vigne (en termes de température et durée d'humectation) ont une influence significative sur le développement de *Guignardia bidwellii*, la durée de la période d'incubation (temps entre l'évènement infectieux et l'apparition des tâches nécrosées) et de latence (temps entre l'évènement infectieux et l'apparition des pycnides sur les tâches) (Northover, 2008). Molitor (2009) a mis au point un indicateur pour évaluer la sévérité de la pluie et donc de la force de l'infection. Il s'agit de l'indice infectieux (noté II) donné par l'équation ci après :

$II_{(5°C;\ 20°C)} = \Sigma\ t(j)$

t(j) est la température moyenne de l'heure j ($t_{moy,j}$) comprise entre 5 et 20°C. Pour $t_{moy,j} \leq 5$, $t(j)=0$. Pour $5<t_{moy,j}<20$, $t(j)=t_{moy,j}-5$. Pour $t_{moy,j} \geq 20$, $t(j)=15$. La somme des températures moyennes commence à la première heure de pluie et se termine à la fin de la période humide (humidité relative<85%). La sévérité de l'infection augmente donc avec la température et la durée de la période humide : II<85 : aucune infection ; 85<II<150 : infection légère ; 150<II<300 : infection moyenne ; II>300 : infection sévère

1.5. Développement des hyphes, périodes d'incubation et de latence

1.5.1. Développement des hyphes en réseau

Les ascospores et conidies sont deux types de spores qui germent en même temps sous des conditions similaires (Ullrich *et al.*, 2008) et qui développent un appressorium et des

hyphes de façon identique. Le tube de germination se différencie en appressorium (Agrios, 2005) qui perce directement la cuticule où un hyphe se développe. Le réseau d'hyphes croît d'autant plus vite que la croissance des tissus de la vigne est importante (Northover, 2008). Le processus d'infection a lieu en deux temps (Kuo et Hoch, 1996) : une première phase asymptomatique longue durant laquelle le mycélium croît dans les espaces sous cuticulaires au-dessus des cellules anticlinales de l'épiderme. Les hyphes se ramifient de façon importante et entourent les cellules épidermiques : il y a formation d'un dense filet d'hyphe sous cuticulaire et une anastomose (fusion de deux hyphes monocaryotiques) (Ullrich *et al.*, 2008). Un hyphe mature forme des ramifications qui vont se développer dans la partie péricline de l'épiderme cellulaire. Quelques temps après l'inoculation, quelques hyphes sont présents dans le parenchyme palissadique foliaire, sous l'épiderme. On constate un développement important des hyphes autour des faisceaux vasculaires de la feuille. La germination des spores et la formation de l'appressorium se fait aussi facilement sur la face supérieure que sur la face inférieure de la feuille. Lorsque le réseau d'hyphe devient très dense, les tissus commencent au même moment à se nécroser (Ullrich *et al.*, 2008). Les

Photographie 1: à gauche, jeunes tâches de black rot; à droite, tâches plus âgées

hyphes s'agrègent et formeront une futur pycnide, c'est la deuxième phase de l'infection, la phase nécrotique destructive.

1.5.2. Période d'incubation des spores

La durée d'incubation (c'est-à-dire le temps écoulé entre l'infection et l'apparition des premières tâches (visibles en photographie 1 ci-contre)) du champignon sur les feuilles et grappes correspond au temps nécessaire à la colonisation de l'hôte. Elle est corrélée négativement et linéairement avec la température (Northover, 1998 ; Northover 2008 ; Hoffman *et al*., 2002). Molitor *et al*. (2012) a développé un modèle pour comprendre le cycle infectieux des conidies : les feuilles de vigne sont inoculées avec une suspension de conidies à des moments différents (d'une semaine avant à 8 semaines après le stade « fin de la floraison ») pour comprendre la durée de la période d'incubation. Il y a une corrélation forte entre la durée de la période d'incubation et la température moyenne pendant cette période. Le modèle qui fonctionne le mieux est celui qui cumule les moyennes des températures journalières entre 6 et 24°C, dont l'équation ci-après a été mise au point par Molitor *et al*. (2012) :

$CDD_{(6°C;\ 24°C)} = \Sigma\ t(i)$

t(i) est la température moyenne du jour i ($t_{moy,i}$) comprise entre 6 et 24°C. Pour $t_{moy,i} \leq 6$, t(i)=0. Pour $6 < t_{moy,i} < 24$, $t(i)=t_{moy,i}-6$. Pour $t_{moy,i} \geq 24$, t(i)=8. Pour un évènement infectieux, la somme des températures $CDD_{(6°C;\ 24°C)}$ commence le jour suivant la pluie. Il se passe entre 175 et 305 degrés jour entre le lendemain d'une inoculation (par les ascospores ou conidies) et l'apparition des tâches sur les feuilles pour les cépages de *Vitis vinifera*, on observe donc $175 < CDD_{(6°C;\ 24°C)} < 305$. Par conséquence, pour une unique période infectieuse, les symptômes continuent d'apparaître pendant une à deux semaines après l'apparition des premiers symptômes (Kuo and Hoch, 1996; Hoffman *et al*., 2002).

Pour les grappes, la période d'incubation dépend des températures et du stade phénologique. Elle dure également entre 175 et 305 degrés jour (pour des températures comprises entre 6 et 24°C) pour une inoculation qui a eu lieu entre le stade BBCH 68 (fin floraison) et BBCH 77 (fermeture de la grappe) mais elle augmente avec le développement de la baie (Molitor *et al*., 2012 ; Onesti, 2015). Par exemple, lorsque l'infection a lieu dans les trois premières semaines après floraison, cette durée est de 13 jours. Pour une infection qui a eu lieu 7 semaines après floraison, la période d'incubation peut atteindre 29 jours. 7 semaines après le stade « fin de la floraison », aucun symptôme sur les grappes n'est observé. Le processus qui est responsable de l'augmentation de la durée de la période d'incubation avec le développement phénologique des baies est inconnu jusqu'alors, même si des hypothèses sont soulevées. L'équation qui détermine la période d'incubation sur grappe ci-après a été définie par Molitor et al. (2012) :

$CDD_{(6°C;\ 24°C)} = \Sigma\ t(i)$

t(i) est la température moyenne au jour i comprise entre 6 et 24°C. Pour un évènement infectieux, la somme des températures $CDD_{(6°C;\ 24°C)}$ commence le jour suivant la pluie. A la différence de la période d'incubation sur feuille, les tâches apparaissent entre :

$175*f(GS) < CDD_{(6°C;\ 24°C)} < 305*f(GS)$ où f(GS) est un facteur de correction déterminé par Molitor *et al.* (2012), qui augmente la période d'incubation avec le développement de la baie. Il est calculé le jour où l'évènement infectieux a lieu :

$f(GS) = 1+1/(1+ \exp(7.10-2.23\times CDD_{10} / 100))$

Photographie 2: à gauche, des pycnides sur une feuille; au milieu, tout premier pycnide sur baie; à droite, baie momifiée couverte de pycnides (loupe binoculaire, x13)

CDD_{10} est la somme des températures moyennes journalières ($t_{moy,i}$) au jour i, supérieures à 10°C (notées t(i)) entre le stade BBCH 68 (fin floraison) et le jour de l'évènement infectieux. Pour $t_{moy,i} \leq 10$, t(i)=0. Pour $10<t_{moy,i}$, t(i)= $t_{moy,i}$-10.

Les équations développées par Molitor (2009) sur l'indice infectieux (voir paragraphe 1.6.) et par Molitor (2012) sur la période d'incubation sur feuille et sur grappe, font partie d'un modèle évalué par Onesti (2015), sur un essai de 3 ans. L'évaluation du modèle se fait sur la comparaison des données prédites par le modèle (détection des évènements infectieux, détermination des périodes d'incubation) et les données réelles observées au vignoble (date de sortie de tâches réelles). Les résultats sont classés en 4 catégories :

-vrai positif : une pluie a été déterminée comme un évènement infectieux par le modèle, dans la réalité une sortie de tâche a été observée (dans la période d'incubation donnée par le modèle)

-vrai négatif : une pluie a été déterminée comme non responsable d'un évènement infectieux par le modèle, dans la réalité aucune tâche n'a été observée (dans la période d'incubation donnée par le modèle)

-faux positif : une pluie a été déterminée comme un évènement infectieux par le modèle, dans la réalité aucune tâche n'a été observée (dans la période d'incubation donnée par le modèle)

-faux négatif : une pluie a été déterminée comme non responsable d'un évènement infectieux par le modèle, dans la réalité une sortie de tâche a été observée (dans la période d'incubation donnée par le modèle)

Onesti (2015) montre que le nombre de faux positif est autour de 18% pour les feuilles et grappes. Le nombre de faux négatif est autour de 17.5% sur feuille et 26.3% sur grappe. Ces erreurs viennent soient de la mauvaise prédiction d'un évènement infectieux, soit de la mauvaise prédiction de la période d'incubation. Elle a cependant observé que pour un faux positif, des tâches sortaient généralement 2 jours après ou avant les dates données par le modèle. Les erreurs de prédiction viennent donc en partie d'une mauvaise évaluation de la période d'incubation mais pas d'un évènement infectieux.

1.5.3. Période de latence

Cette période est la durée écoulée entre l'infection et la production des pycnides sur les tâches nécrosées (visibles sur la photographie 2 ci-contre). Cette production est influencée par la température et l'humidité (Onesti, 2015 ; Viala et Pacottet, 1904). Northover (2008) montre que la période de latence sur feuille est significativement influencée par la température et la durée d'humectation pendant l'inoculation.

Spotts (1980) montre en effet qu'en conditions contrôlées de laboratoire, les pycnides apparaissent 13 jours après un évènement infectieux, pour toutes températures comprises entre 21 et 26,5°C. A 15°C, ils apparaissent au bout de 21 jours. Sur les feuilles et baies, les premiers pycnides apparaissent environ 1,6 jours après l'observation des premiers symptômes (Molitor *et al.*, 2012). Ils sont produits entre 5 et 35°C, avec un optimum autour de 24-25°C (Caltrider, 1961 ; Galet, 1977 ; Northover, 2008 ; Onesti, 2015). La production n'a pas lieu à 40°C (Onesti, 2015). Il faut environ 13 jours à 5°C pour que 90 % des pycnides soient produits. A 20°C, il faut seulement 6 jours (Onesti, 2015). La densité de pycnide sur une tâche sur rameau est significativement influencée par la température et la durée d'humectation pendant l'infection : elle est donc significativement réduite si l'humidité relative est basse. La période de latence diminue donc avec l'augmentation de la température et dure entre 262 et 392 degrés jour sur feuille après un évènement infectieux, pour une somme des températures

moyennes journalières entre 6 et 24°C (Onesti, 2015). Northover (1998) trouve une valeur minimale de 245 degrés jour, pour une somme des températures moyennes journalières entre 7 et 26°C, sachant que 90% des pycnides sont produites dans les 140-150 degrés jour. Ce modèle est valable dans plusieurs régions viticoles (de la zone tempérée), comme le montre Hoffman *et al*. (2002). Après l'apparition du premier pycnide, une lésion continue à en produire pendant 10-14 jours (Luttrell, 1946 ; Onesti, 2015). Les symptômes continuent d'apparaître jusqu'à 305 degrés jour (Hoffman *et al.*, 2002). C'est la formule déterminée par Onesti (2015), qui donne les meilleurs résultats entre les périodes de latence prédites et réelles :

$$CDD_{(6°C;\ 24°C)} = \Sigma\ t(i)$$

t(i) est la température moyenne ($t_{moy,i}$) du jour i comprise entre 6 et 24°C. Pour un évènement infectieux, la somme des températures $CDD_{(6°C;\ 24°C)}$ commence le jour suivant la pluie. Les pycnides sont visibles pour : $262 < CDD_{(6°C;\ 24°C)} < 392$.

A 100 % d'humidité relative, les pycnides commencent à extraire le cirrhe et les conidies sortent environ 4,6 jours après l'apparition des lésions (Onesti, 2015). A 95 % d'humidité relative, l'extrusion du cirrhe débute seulement au bout de 10,3 jours après l'apparition des lésions environ. Cette extrusion est également dépendante de la température : elle n'a pas lieu entre 5 et 10°C, on atteint un maximum d'extrusion à 25°C.

La température à laquelle une pycnide est produite influence le nombre de conidie à l'intérieur. Il y a plus de conidies dans des pycnides qui se sont développées à 15-20°C plutôt qu'à 25-35°C (Onesti, 2015). Etant donné que la température optimale pour la production des pycnides se trouve autour de 20-25°C, la plus grande production d'inoculum a lieu à 20°C. La production de conidies pour une tâche supporte plusieurs évènements pluvieux (Onesti, 2015). Leur production décline de 88% au cours de 4 pluies qui ont eu lieu dans les 2 semaines après la formation des pycnides par exemple. Une pycnide peut donc produire des conidies de façon répétée pendant 5 évènements pluvieux.

La période de latence sur grappe dure également entre 262 et 392 degré jours mais augmente avec le stade phénologique de la baie (Onesti, 2015). Si les conditions météorologiques sont favorables, les infections lors de la floraison peuvent permettre le développement de deux à trois cycles infectieux sur grappe (Molitor *et al.*, 2012).

1.6. Sensibilité de la vigne

Pour Kuo et Hoch (1996), tous les organes verts en forte croissance sont sensibles au champignon. Il a déjà été expliqué précédemment dans cet écrit que les feuilles de vigne montrent une sensibilité dès le débourrement et jusqu'au rang 3. L'infection des inflorescences est possible à partir de la pré floraison sur le pédoncule floral (Molitor et Berkerlmann-Loehnertz, 2011). L'infection du fruit est possible à partir de la chute des capuchons floraux jusqu'à la véraison (Northover, 2008). Pour les cépages de *Vitis vinifera*, les baies demeurent hautement sensibles de la mi floraison à 3-5 semaines plus tard environ. Elles deviennent apparemment très résistantes 6 à 7 semaines après la floraison (Hoffman *et al.*, 2002).

Ferrin et Ramsdell (1978) montrent en effet que la sévérité de la maladie est plus importante lorsque la vigne a été inoculée de la mi floraison au stade baie de 1 cm de diamètre. Lorsque les grappes de chardonnay et de riesling sont inoculées à 50 % de floraison, 25% à 40% des baies par grappe selon les années développent du black rot (Hoffman *et al.*, 2002).

Molitor et Berkelmann-Loehnertz (2011) confirment ces résultats, avec une grande sévérité de la maladie lorsque la contamination a eu lieu entre le stade BBCH 73 (baie de la taille de grains de plomb) et BBCH 77 (fermeture de la grappe). 60 degrés jours (en base 10°C) après le stade BBCH 68 (fin floraison), la vigne est au stade nouaison et y atteint son seuil maximal de sensibilité relative (75%). Les infections sont possibles jusqu'au stade BBCH 77, mais s'arrêtent au stade BBCH 81, soit au début de la véraison. En effet, les symptômes continuent d'apparaître sur baie pendant 4 400 degrés heure (en base 0 °C) après le stade BBCH 68, soit 130 degrés jour (en base 6°C) (Hoffman *et al.*, 2002). Passé 380 degrés jour (en base 10°C, température seuil selon Schultz (1992), pour laquelle la vigne a un développement phénologique négligeable), la sensibilité relative est inférieure à 10% (Molitor et Berkelmann-Löhnertz, 2011). Elle est nulle après 450 degrés jour.

La sévérité de la maladie diminue avec le mûrissement de la baie et la durée de la période d'incubation augmente avec l'âge du fruit (Hoffman, 2002). A la fin de la période de sensibilité de la vigne, la durée de la période d'incubation peut être supérieure à 4 semaines (Hoffman et Wilcox, 2002 ; Hoffman et al., 2002 ; Molitor, 2009). Jermini et Gessler (1996) et Gadoury et al. (1997) remarquent l'absence de nouveaux symptômes pour des contaminations qui ont eu lieu 6 semaines après la pleine floraison ou au début de la véraison. Les changements morphologiques pendant le processus de mûrissement induit probablement des barrières qui empêchent le développement du mycélium (Kuo et Hoch, 1996). Il est supposé que cette résistance ontogénique est probablement couverte par une plus forte expression d'autres gènes dans les premiers stades de développement, et donc qu'elle s'exprime plus tard dans le développement (Boyle et Aust, 1997). Si des symptômes sont présents sur des baies mûres, ils ne résultent pas d'une infection qui a eu lieu pendant la véraison, mais qui a eu lieu antérieurement. Northover (2002) étudie cette résistance ontogénique en inoculant la vigne avec des doses croissantes d'inoculum (jusqu'à 6 x 10^6 conidies/mL). Une plus grande dose d'inoculum rallonge occasionnellement mais non significativement la période de sensibilité de la vigne. Quelle que soit la quantité d'inoculum, la résistance ontogénique se met donc en place.

Molitor et Berkelmann-Löhnertz (2011) établissent donc une courbe en cloche de la sensibilité relative de la grappe : à la fin de la floraison (BBCH 68), la sensibilité relative est de 40%. Entre le stade BBCH 73 et 77 (baie de 2 mm de diamètre à fermeture), la sensibilité relative passe par un maximum (>80%). Elle est nulle au stade BBCH 81 (début véraison). La période où la vigne est la plus sensible coïncide donc avec le moment où les conidies deviennent disponibles, ce qui explique des taux de sévérité de l'infection très grands dans cette période. Ils émettent un modèle qui permet de déterminer la sensibilité de la grappe (noté SUS) au jour i :

$$SUS = 0.995 \times \exp(-0.5 \times (((CDD_{10} - 144.4) / 110.7)^2))$$

CDD_{10} est la somme des températures moyennes journalières ($t_{moy,i}$) supérieures à 10°C (notées t(i)), depuis le stade BBCH 68 (début véraison). Pour $t_{moy,i} \leq 10$, t(i)=0. Pour $10 < t_{moy,i}$, $t(i) = t_{moy,i} - 10$.

Le cépage influence significativement la sévérité de la maladie sur les tissus de la vigne ainsi que sur la production des pycnides (Northover, 2008) ; par exemple pour le riesling, la phase de plus haute sensibilité se situe entre le stade BBCH 77 et 79. En comparant la sensibilité de cépages de *V. vinifera, V. labrusca, V. riparia* et de certaines

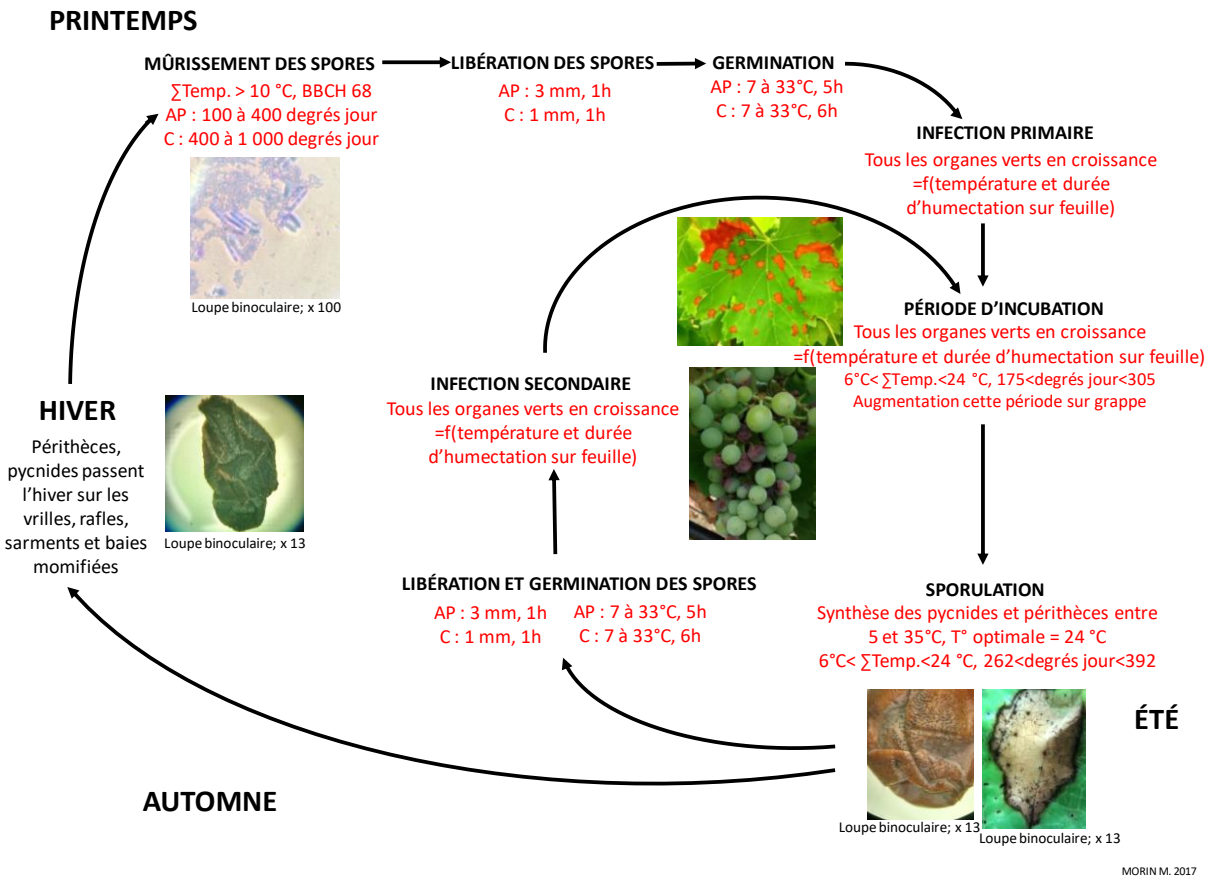


Figure 1: cycle du black rot en fonction des données météorologiques : Temp. = température ; AP = ascospore ; C = conidie

hybrides, Northover (2008) montre que les feuilles et rameaux des cépages de *V. vinifera* sont les plus sensibles à l'infection par *Guignardia bidwellii*.

1.7. Synthèse : le cycle du black rot

Pour chaque étape du cycle du black rot, la figure 1 ci-contre a pour but d'expliquer les limites et conditions météorologiques pour le développement de *Guignardia bidwellii*, d'après la synthèse bibliographique précédente.

2. Le contrôle de la maladie

2.1. Le contrôle chimique

2.1.1. Les différentes familles de produits

La gestion du black rot en viticulture conventionnelle se fait par l'utilisation de fongicides organo-synthétiques. Il est possible d'appliquer des fongicides pénétrants (systémiques) curatifs inhibiteurs de la déméthylase, notés IDM (fenbuconazole, difénoconazole, myclobutanil, tébuconazole, tetraconazole). Les triazoles en font partie, ils bloquent l'activité d'une enzyme qui intervient dans la synthèse des ergostérols, entrainant ainsi une augmentation de la perméabilité des membranes du champignon et sa mort. Les strobilurines sont également un fongicide pénétrant de la famille des Qoi (Quinone outside inhibitor), ils bloquent la quinone au niveau du complexe II de la chaîne respiratoire mitochondriale. Les fongicides SDHI sont des fongicides pénétrants inhibiteurs de la succinate déshydrogénase. Une autre molécule est récemment utilisée, le cyflufenamid, de la famille des amidoximes. Il inhibe l'installation et le développement mycélaire sur tous les organes de la vigne.

Les dithiocarbamates sont des fongicides de contact préventifs multisites. Ils semblent être légèrement moins efficaces. La gestion du black rot et le nombre de traitement va dépendre du produit utilisé (Hoffman *et al.*, 2004).

Le myclobutanil (fongicide IDM) pénètre rapidement dans la plante et restreint directement le métabolisme du champignon (Kuo et Hoch, 1996 ; Ullrich *et al.*, 2008). Il empêche le développement des lésions foliaires quand il est appliqué dans les 6 jours après une inoculation et la formation des pycnides dans les 10 jours après une inoculation (Molitor *et al.*, 2011). Son activité curative est aussi efficace sur baie. Il réduit la production des conidies à l'intérieur des pycnides de 65 à 80 % quand il est appliqué dans les 3-4 jours après l'apparition des premiers symptômes (Hoffman et Wilcox, 2003). Le myclobutanil n'a pas une bonne activité préventive à long terme, ce qui est une caractéristique des triazoles (Wilcox, 2008). En effet, lors de la croissance de la baie, les matières actives se retrouvent diluées et leur concentration baisse en surface. Pour pallier à ce manque d'efficacité, il faut utiliser le myclobutanil combiné aux dithiocarbamates pour avoir une protection plus longue (Molitor, 2009).

A la différence du myclobutanil, l'azoxystrobine (de la famille des strobilurines, fongicide Qoi) a une activité curative bien inférieure contre le black rot mais apporte une activité préventive supérieure sur les baies (Hoffman *et al.*, 2004). Appliqué 10 jours après une inoculation, il apporte un contrôle sur feuille et réduit la synthèse des conidies dans les pycnides (Hoffman et Wilcox, 2003). Le pyraclostrobine (fongicide Qoi) a une activité qui dure dans le temps, même en période de croissance de la baie. Les strobilurines ne circulent que dans une mineure partie des tissus de la plante, elles ne sont efficaces que sur le mycélium subcuticulaire (Barlett *et al.*, 2002 ; Hoffman et Wilcox, 2003). Le pyraclostrobine

empêche la germination des spores pendant 3 semaines malgré le facteur dilution et la croissance de la baie. Cependant, toutes les strobilurines n'ont pas cette efficacité. La trifloxystrobine et le krésoximméthyl seront plutôt utilisés en préventif (Stef, 2015). De plus, selon Molitor *et al.* (2011), l'utilisation du myclobutanil ou du pyraclostrobine (fongicide Qoi) avant floraison est inefficace, les produits se déposent sur les capuchons floraux qui tombent par la suite, la baie n'est pas protégée. Il faut traiter juste après la chute des capuchons floraux.

Pour conclure, le myclobutanil a une bonne activité curative prolongée, qui permet une certaine flexibilité des traitements. L'azoxystrobine a une meilleure activité protectrice, il est appliqué autour de la floraison. Les champignons sont capables de développer des résistances, il faut donc mettre en place des rotations dans les matières actives utilisées et ne pas dépasser une certaine fréquence d'utilisation annuelle (Molitor *et al.*, 2011).

2.1.2. Calendrier de traitement

Les recommandations traditionnelles sur le black rot indiquent que les traitements peuvent être nécessaires pour l'ensemble de la période de 3 mois allant du développement des sarments à la véraison. Il était également suggéré aux viticulteurs de traiter la vigne jusqu'au moment où les baies contiennent 5% de sucre, au vu du fait qu'une infection pouvait avoir lieu sur des baies verées (Ramsdell et Milholland, 1988).

Différents régimes de traitement sont étudiés en faisant varier le nombre et le moment des applications d'IDM pour combiner les actions de fongicides avec le stade phénologique (Hoffman *et al.*, 2004). Les résultats montrent que, suivant les espèces et les conditions climatiques, un contrôle complet du fruit est obtenu lorsque le myclobutanil (IDM) est appliqué immédiatement avant la floraison et 2 et 4 semaines plus tard (Nita *et al.*, 2005 ; Wilcox et Riegel, 1996 ; Wilcox *et al.*, 2000 ; Hoffman *et al.*, 2004) c'est-à-dire pendant la période de plus forte sensibilité pour la vigne. L'application de traitements additionnels 2 et 4 semaines avant la préfloraison (par rapport à un unique traitement en préfloraison) ne fournit pas forcément de contrôle supplémentaire. Cependant, en cas d'omission des traitements lors de la préfloraison et dans les 4 semaines suivantes, le contrôle de la maladie est sérieusement compromis, selon les millésimes. Certaines années, deux traitements curatifs peuvent suffirent à gérer la maladie (Hoffman et Wilcox, 2002). Un traitement 6 semaines après la floraison n'apporte pas un contrôle supplémentaire de la maladie. Par rapport aux recommandations habituelles, pour ces expérimentations où l'on cible les traitements durant la période de plus grande sensibilité pour la vigne, le nombre de traitement saisonnier est diminué de 50%. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par Gadoury *et al.* (1997) sur la gestion du black rot.

Suivant les années, 3 traitements (préfloraison, 2 et 4 semaines après floraison) ne fournissent pas un contrôle satisfaisant de la maladie. Pour les vignobles à fort historique black rot et si les conditions lors du débourrement sont humides, les traitements doivent commencer dès le débourrement, où la vigne devient sensible (Molitor et Berkelmann-Loehnertz, 2011 ; Hed et Travis). Dans le cas où l'infection foliaire en pré floraison est extrêmement importante et lorsque la canopée est dense, il est recommandé de faire un traitement additionnel deux semaines avant la pré floraison (Hoffman *et al.*, 2004), notamment avec un produit préventif (Ellis *et al.*, 1986). Pendant la période de plus grande sensibilité de la vigne, c'est-à-dire de la pré floraison (BBCH 57) à la fermeture de la grappe (BBCH 77-79), des fongicides efficaces et curatifs doivent être utilisés, comme les triazoles et strobilurines (Spotts, 1977; Ellis *et al.*, 1986; Hoffman and Wilcox, 2003; Hoffman *et al.*, 2004; Molitor, 2009). Pour les vignobles avec un potentiel d'inoculum élevé, il est judicieux

de traiter jusqu'à la véraison pour réduire l'inoculum pour les années suivantes (Molitor et Berkelmann-Loehnertz, 2011).

Etant donné que la période de contrôle du black rot coïncide avec celle du mildiou et de l'oïdium, dans une stratégie de raisonnement des traitements, il est recommandé de réaliser une lutte conjointe avec un même produit pour éviter des traitements fongicides supplémentaires (strobilurine, triazole et dithiocarbamate) (Molitor et Berkelmann-Loehnertz, 2011).

2.2. Le contrôle en viticulture biologique

Peu de recherches sur la lutte contre le black rot en agriculture biologique ont été menées au jour d'aujourd'hui. Les quelques conclusions d'expérimentations sont présentées ci-après.

Les fongicides en agriculture biologique contiennent du cuivre et du soufre mais n'apportent apparemment pas un niveau de contrôle satisfaisant du black rot (Harms *et al.*, 2005). Le cuivre est un produit de contact utilisé en préventif qui détruit les spores du black rot. Le soufre est également un produit de contact multisite qui empêche la germination des spores et agit sur la croissance du mycélium. Le cuivre est, selon Travis (2007), le produit le plus efficace contre le black rot même si on n'atteint pas l'efficacité des fongicides organo-synthétiques. Hed et Travis montrent également un plus grand niveau d'efficacité du cuivre dans les années humides, avec un intervalle de traitement court (7 jours) et un fort dosage à l'hectare (100%). La limite à cette gestion est la restriction d'utilisation de ce produit. A la différence, des études de terrain menées par Loskill *et al.* (2009) et Molitor *et al.* (2010) montrent le potentiel de contrôle du soufre. Des essais montrent que l'application de souffre supprime la maladie si la pression est faible (Hed et Travis). Ces résultats sont en accord avec ceux découverts par Le Roux, en Beaujolais. Ils conseillent d'utiliser le soufre dès débourrement et le cuivre pendant la plus grande période de sensibilité de la vigne, de la pré floraison à fermeture. L'efficacité du soufre et du cuivre utilisés ensemble est supérieure aux deux produits utilisés séparément. On obtient un meilleur contrôle par une application hebdomadaire d'une combinaison de soufre et de cuivre (Loskill et *al.*, 2009 ; Le Roux).

Dans le cas des vignobles à fort historique black rot (avec un fort inoculum) et pendant un millésime humide, il faut traiter la vigne dès le débourrement pour atteindre un contrôle de la pourriture sur le fruit (Hed et Travis). Les viticulteurs peuvent améliorer la couverture des traitements en utilisant de plus grands volumes d'eau, en traitant chaque rang à la fois et en réglant correctement l'appareil de pulvérisation.

3. Problématique et objectifs du stage

En 2014 et plus particulièrement en 2015, les vignobles du Sud Est de la France sont très fortement touchés par le black rot, maladie jusque là encore peu présente dans ces vignobles. Les départements du Gard, du Vaucluse, de l'Ardèche et de la Drôme ont subi une pression exceptionnelle. La Chambre d'Agriculture du Gard a réalisé une enquête pour évaluer la perte de récolte : elles sont significativement plus importantes pour les entreprises en agriculture biologique (46%) qu'en agriculture conventionnelle (32%). En l'absence de produit homologué contre ce champignon en agriculture biologique, des viticulteurs bio décident de repasser en conventionnel pour pouvoir gérer la maladie. Par ailleurs, face à une année humide et propice au black rot, le nombre de traitement à l'hectare est beaucoup plus

important, ce qui entraine des coûts supplémentaires. Une étude réalisée par la Chambre d'Agriculture du Vaucluse montrent que les viticulteurs en bio ont presque trois fois plus de dépenses que les viticulteurs « conventionnels ». En termes de produits phytosanitaires, le coût de la protection contre le black rot en agriculture biologique est estimé entre 113 et 138€/ha. Après ajout de la main d'œuvre et de la tractorisation, le coût est estimé entre 300 et 370€/ha. En agriculture conventionnelle, après ajout des frais de main d'œuvre, le surcoût est estimé entre 110 et 150€/ha.

Le cycle de développement du black rot est aujourd'hui mal connu par les conseillers viticoles, qui ont du mal à en comprendre les facteurs de développement. Les conditions météorologiques qui entrainent ou non une contamination par le champignon sont également mal perçues. La première partie de cette recherche va donc porter sur la mise en place d'un modèle (au vu de la bibliographie), qui va permettre d'appréhender le fonctionnement du champignon en lien avec la météorologie et la sensibilité de la vigne. Ce modèle sera testé 4 années, de 2014 à 2017, puis confronté à la réalité. C'est un outil qui a pour but de déterminer quelle pluie est contaminatrice (afin de pouvoir prévenir les viticulteurs), quelle sera la force de l'infection et quand les symptômes seront-ils visibles. Il permettra également d'évaluer la sensibilité de la vigne en fonction du stade phénologique, afin d'éviter des traitements supplémentaires inutiles et coûteux.

La deuxième partie de cette recherche portera sur la mise en place d'un planning de traitement raisonné pour gérer le black rot en agriculture biologique et conventionnelle. Dans un souci de réduction des traitements phytosanitaires pour le bien de l'environnement, mais face à la pression black rot, la stratégie est de trouver les moments clés pour traiter efficacement et ainsi contrôler la maladie. Une expérimentation sera mise en place sur une parcelle de grenache, afin de tester différentes stratégies de traitement en agriculture conventionnelle et biologique. Cet essai a été conduit en 2016 et reconduit en 2017.

II. Matériels et méthodes

1. Dynamique de la maladie en Vaucluse depuis 2014

1.1. Lieu et contexte

Le vignoble vauclusien, dans les Côtes du Rhône, est pour la première fois fortement touché par le black rot en 2014, maladie fongique jusque là peu détectée. Ce sont les vignobles autour du Ventoux et de Mormoiron qui sont particulièrement touchés (récolte en partie détruite). L'année 2015 a été une année charnière en touchant une plus grande proportion du vignoble vauclusien et notamment les viticulteurs en agriculture biologique. En 2016 et 2017, la pression du champignon est plus faible.

Le but de cette étude est donc de mettre en place un modèle utilisable en Vaucluse, pour analyser les données météorologiques et ainsi comprendre la dynamique de la maladie en terme de : détermination des évènements infectieux, sortie des premières tâches sur feuille, cycle de contamination sur baie, force de l'infection et sensibilité de la grappe au cours du temps. Grâce à ce modèle, deux situations vont être comparées :

(i) : étude du vignoble de Piolenc de 2014 à 2017. Le but est d'étudier précisément les dates de sortie de tâches, en confrontant le modèle avec la réalité.

(ii) : comparaison du vignoble de Piolenc en 2014 (vignoble expérimental de la Chambre d'agriculture du Vaucluse), avec celui de Mormoiron en 2014. En effet cette année là, le vignoble de Mormoiron montre des dégâts extrêmement importants de black rot, à la différence de celui de Piolenc qui n'est que légèrement touché.

1.2. Données disponibles

Le vignoble expérimental de Piolenc est situé au nord d'Orange et couvre 4,5ha. Il est situé à basse altitude (50m), en plaine. Au centre du domaine se trouve une station météorologique qui renseigne chaque année : la température moyenne journalière (°C), la pluviométrie journalière (mm) et la durée d'humectation journalière (temps pendant lequel l'humidité relative est supérieure à 85%). Etant donné que l'intensité de la maladie black rot va dépendre du stade phénologique de la vigne, pour chaque année on en connait le stade pour le grenache de Piolenc, cépage vauclusien utilisé comme repère. Les dates de sortie de tâche sur feuille sont répertoriées sur l'ensemble des vignes de grenache du domaine expérimental de Piolenc.

Le vignoble de Mormoiron se situe au sud-ouest du Mont Ventoux, il est caractérisé par une altitude plus élevée (de 200 à 340m). Les données de la station météo voisine de Serres Carpentras vont être utilisées. Cette station est située à 9km de Mormoiron, à 100m d'altitude et se situe également sous l'influence climatique du Mont Ventoux. L'autre donnée disponible pour 2014 est le stade phénologique de la vigne à Serres Carpentras (en prenant comme repère le grenache).

1.3. Traitement des données

La recherche bibliographique a permis de mettre en avant plusieurs équations qui expliquent le cycle de développement du black rot. Chaque année, pour Piolenc et pour Serres Carpentras, les données climatiques journalières vont être analysées du 20 mars au 10 septembre, c'est-à-dire du débourrement aux vendanges. L'analyse des données doit permettre de détecter quelles pluies correspondent à des évènements infectieux et comment se développe le black rot. Les données sont analysées à l'aide du logiciel Microsoft Excel, selon le schéma ci-après :

(1) : étude de la maturité des spores (ascospores et conidies) à la sortie de l'hiver :

$\%APmat(i) = \exp(-5.31 \times \exp(-0.99 \times CDD_{9\text{-}19}(i) / 100)$

$CDD_{9\text{-}19}(i)$ représente la somme des températures moyennes journalières ($t_{moy,i}$) comprises entre 9 et 19°C (notées t(i)) depuis le stade pointe verte. Pour $t_{moy,i} \leq 9$, t(i)=0. Pour $9 < t_{moy,i} < 19$, t(i)= $t_{moy,i}$-9. Pour $t_{moy,i} \geq 19$, t(i)=10.

$\%CONmat(i) = 1 / (1 + \exp(6.12\text{-}0.76 \times CDD_{10}(i) / 100))$

$CDD_{10}(i)$ représente la somme des températures moyennes journalières ($t_{moy,i}$) supérieures à 10°C (t(i))depuis le stade pointe verte. Pour $t_{moy,i} \leq 10$, t(i)=0. Pour $10 < t_{moy,i}$, t(i)= $t_{moy,i}$-10.

Si des spores sont mûres le jour de l'évènement infectieux, une contamination est possible.

(2) : détermination des pluies qui causent une infection : les évènements infectieux :

Pour qu'une pluie soit un évènement infectieux, les conditions à respecter sont les suivantes :

- 1 mm de pluie minimum réparti sur une heure (même si les ascospores ne sont libérées qu'après 3 mm de pluie, les conidies sont mûres dès le stade débourrement et seront-elles aussi capables de causer une infection.)
- Respecter les conditions d'infection en termes de température et besoin en humidité (se reporter au tableau 1). S'il fait trop froid, ou si la période humide

- n'est pas assez longue, même en cas de forte pluie l'infection ne peut pas se mettre en place. Molitor prend en compte la température moyenne pendant la période humide. Cette donnée n'est pas renseignée par les stations météorologiques. Une approximation sera donc faite en prenant la température moyenne journalière comme température pendant l'infection.

(3) : détermination de la force de l'évènement infectieux : calcul de l'index infectieux II :

$II_{(5°C;\ 20°C)} = \Sigma\ t(j)$

t(j) est la température moyenne de l'heure j ($t_{moy,j}$) comprise entre 5 et 20°C. Pour $t_{moy,j} \leq 5$, t(j)=0. Pour $5 < t_{moy,j} < 20$, $t(j) = t_{moy,j} - 5$. Pour $t_{moy,j} \geq 20$, t(j)=15. La somme des températures moyennes commence à la première heure de pluie et se termine à la fin de la période humide (humidité relative<85%). La sévérité de l'infection augmente donc avec la température et la durée de la période humide :

II<85 : aucune infection

85<II<150 : infection légère (catégorie infection de force 1)

150<II<300 : infection moyenne (catégorie infection de force 2)

II>300 : infection sévère (catégorie infection de force 3)

Cette équation prend normalement en compte la somme des températures moyennes horaires pendant la pluie. Les stations météorologiques ne transmettent pas cette donnée. Une approximation sera donc faite, en considérant pour chaque heure humide que la température horaire moyenne est égale à la température moyenne de la journée.

(4) : pour chaque pluie infectieuse (qui respecte donc les conditions du (2)), calcul de la période d'incubation $CDD_{(6°C;\ 24°C)}$ pour déterminer la sortie des tâches sur feuille :

$CDD_{(6°C;\ 24°C)} = \Sigma\ t(i)$

t(i) est la température moyenne du jour i ($t_{moy,i}$) comprise entre 6 et 24°C. Pour $t_{moy,i} \leq 6$, t(i)=0. Pour $6 < t_{moy,i} < 24$, $t(i) = t_{moy,i} - 6$. Pour $t_{moy,i} \geq 24$, t(i)=8. Pour un évènement infectieux, la somme des températures $CDD_{(6°C;\ 24°C)}$ commence le jour suivant la pluie. Les tâches sur feuille apparaissent entre 175 et 305 degrés jour : $175 < CDD_{(6°C;\ 24°C)} < 305$

(5) : après la floraison et pour chaque pluie infectieuse (qui respecte donc les conditions du (2)), calcul de la période d'incubation $CDD_{(6°C;\ 24°C)}$ pour déterminer la sortie des tâches sur grappe :

$CDD_{(6°C;\ 24°C)} = \Sigma\ t(i)$

t(i) est la température moyenne du jour i ($t_{moy,i}$) comprise entre 6 et 24°C. Pour $t_{moy,i} \leq 6$, t(i)=0. Pour $6 < t_{moy,i} < 24$, $t(i) = t_{moy,i} - 6$. Pour $t_{moy,i} \geq 24$, t(i)=8. Pour un évènement infectieux, la somme des températures $CDD_{(6°C;\ 24°C)}$ commence le jour suivant la pluie. Les tâches sur feuille apparaissent entre 175*f(GS) et 305*f(GS) degrés jour :

$175*f(GS) < CDD_{(6°C;\ 24°C)} < 305*f(GS)$, avec f(GS) :

$f(GS) = 1+1/(1+ \exp(7.10-2.23 \times CDD_{10} / 100))$

CDD_{10} est la somme des températures moyennes journalières ($t_{moy,i}$) supérieures à 10°C (notées t(i)) entre le stade BBCH 68 (fin floraison) et le jour de l'évènement infectieux. Pour $t_{moy,i} \leq 10$, t(i)=0. Pour $10 < t_{moy,i}$, $t(i) = t_{moy,i} - 10$.

(6) : évaluation de la sensibilité de la grappe SUS au cours du temps pour évaluer l'impact d'un évènement infectieux pour la récolte :

Photographie 3: les pompons au-dessus de la vigne (Piolenc, 2017)

Photographie 4: la station de brumisation en fonctionnement (Piolenc, 2017)

$SUS = 0.995 \times \exp(-0.5 \times (((CDD_{10} - 144.4) / 110.7)^2))$

CDD_{10} est la somme des températures moyennes journalières ($t_{moy,i}$) supérieures à 10°C (notées t(i)), depuis le stade BBCH 68 (début véraison). Pour $t_{moy,i} \leq 10$, t(i)=0. Pour $10 < t_{moy,i}$, $t(i) = t_{moy,i} - 10$.

Il a été choisi, au vu de la bibliographie, de ne pas modéliser et calculer la période de latence sur feuille et grappe. En effet, chaque tâche produira automatiquement des pycnides qui ré-alimenteront l'infection. Par ailleurs, la sortie des pycnides sur tâches n'a jamais été notée pour chaque année étudiée, il est donc impossible de comparer le modèle avec la réalité.

2. Gestion raisonnée du black rot en agriculture biologique et conventionnelle

2.1. Le vignoble expérimental

L'essai black rot en 2016 et 2017 est réalisé sur le domaine expérimental de la chambre d'agriculture du Vaucluse, à Piolenc. Ce domaine est constitué de 4,5ha de vigne. La parcelle expérimentale utilisée pour l'essai est une parcelle de grenache noir, cépage sensible au black rot. La parcelle a été plantée en 2000, à 4 444 ceps/ha (2,25x1m), palissée. Le porte greffe utilisé est le 110 Richter. La superficie de cet essai est de 0,07ha, répartis sur 8 rangs de vigne (6 rangs contenant les modalités et 2 rangs de garde).

La parcelle dispose d'un dispositif de brumisation placé au dessus de la vigne, pour contaminer artificiellement la parcelle. Les brumisateurs sont situés tous les 2m sur les rangées de vigne, à 2m de hauteur (voir photographies 3 et 4). Le débit d'un brumisateur est de 33L/h. Cet essai a été mis en place en 2016 et a continué en 2017. Le but de cette étude sera donc de faire la synthèse de deux années d'essais.

2.2. Contamination artificielle de la parcelle

Etant donné que les spores passent l'hiver sur les baies momifiées de l'année précédente, des grappes momifiées ont été récupérées dans le vignoble (sur la parcelle expérimentale de l'essai black rot) après vendange en 2016 puis disposées dans une cagette trouée. La cagette est restée à l'extérieur tout l'hiver. A partir du mois d'avril, elle a été placée à l'abri de la pluie, afin d'éviter une libération des spores trop tôt.

La contamination se fait à l'aide de pompons de tulle qui vont contenir des baies momifiées et des rafles coupées en petits morceaux. Chaque pompon contient environ 50% de rafle et 50% de baie en poids, le tout pesant environ 20g. Ces pompons vont être attachés à l'aide de fil de fer au 2ème fil releveur, 20cm au dessus de la vigne. Chaque cep de vigne est ainsi surplombé d'un pompon (voir photographies 3 et 4).

Pour contaminer la parcelle de vigne dès le débourrement il faut s'assurer que les températures soient assez importantes afin que les conditions pour une infection soient respectées. Devant un mois d'avril trop froid, les pompons ont été installés le 3/05/2017 et la brumisation a fonctionné la nuit suivante pendant 12h, afin de réussir la contamination (la quantité d'eau apportée est d'environ 50 mm).

La station de brumisation a fonctionné une unique fois au mois de mai (le 3/05/2017) et a fonctionné toutes les nuits du 23/05/2017 au 10/08/2017 à hauteur de 2 min dans le but de maintenir une atmosphère humide pendant la période de plus grande sensibilité des grappes et ainsi aider au développement de la maladie sur grappe. Le bon fonctionnement de la station

de brumisation est vérifié par la présence de 3 pluviomètres répartis diagonalement dans la parcelle.

2.3. Modalités et stratégies testées

Le but de cet essai est de déterminer le meilleur calendrier de traitement en lien avec la sensibilité de la vigne au black rot au cours de la saison, dans une stratégie de réduction des traitements tout en gérant la maladie. La période de plus grande sensibilité de la grappe commence à pré-floraison et se termine à fermeture : c'est donc une période qui subira automatiquement des traitements. Il s'agit maintenant de déterminer si les traitements en pré-floraison et post-fermeture sont indispensables pour gérer le black rot, à la fois en agriculture conventionnelle et biologique. 8 modalités vont donc être testées dans cet essai : 4 modalités en agriculture biologique, 3 modalités en agriculture conventionnelle et une modalité témoin.

- Modalités en agriculture biologique :

-M2 : traitements du débourrement à fermeture : l'intérêt de cette modalité est de montrer la nécessité ou non de traiter après le stade fermeture

-M3 : traitements de pré-floraison à véraison : l'intérêt de cette modalité est de montrer la nécessité ou non de traiter avant la pré-floraison

-M4 : traitements de pré-floraison à fermeture : modalité où l'on traite le moins, en lien avec la sensibilité de la grappe au cours de la saison

-M5 : traitements de débourrement à véraison : modalité où on pratique le plus de traitements.

Le soufre et le cuivre seront les deux produits utilisés lors des traitements des modalités biologiques, ce sont deux fongicides de contact. Le soufre utilisé pour les traitements est le soufre mouillable Microthiol Spécial Disperss, lessivé au bout de 10 mm de pluie. Le cuivre appliqué est du sulfate de cuivre Eqal DG NC, lessivé également au bout de 10 mm de pluie.

- Modalités en agriculture conventionnelle :

-M6 : deux traitements juste avant et après la floraison. La stratégie est de montrer ici que les traitements réalisés avant la fleur ne sont pas indispensables pour gérer la maladie. Deux produits pénétrants systémiques seront utilisés : Luna Sensation et Dynali. Luna Sensation fait partie de la famille des SDHI, c'est un inhibiteur de la succinate déshydrogénase de la chaîne respiratoire du champignon. Il protège la vigne 21 jours, un maximum de 2 traitements de produits SDHI est possible par an. Dynali est composé de triazole (un IDM de groupe I) et d'amidoxime, il inhibe la déméthylation et perturbe la biosynthèse des membranes cellulaires du black rot. Il est lessivé après 60 mm de pluie. Il peut être utilisé au maximum 2 fois/ha/an.

-M7 : traitements de débourrement à véraison : modalité où le plus de traitements sont réalisés. Les produits utilisés seront le Polyram DF et le Milcozèbe DG, deux fongicides de contact de la famille des dithiocarbamates qui inhibent la germination des spores. Ces deux produits vont être utilisés en préventif et en alternance pour limiter le développement de résistance. Il ne faut pas dépasser 3 applications successives de Polyram DF. 14 jours doivent espacer 2 traitements successifs. Pour le Milcozèbe DG, il ne faut pas dépasser plus de 4 traitements successifs. Renouveler tous les 10 jours (ou tous les 7 jours en cas de forte pression), et lorsque la pluviométrie est supérieure à 20 mm.

-M8 : traitements de débourrement à fermeture. Il s'agit de montrer ici la nécessité de traiter ou non de la fermeture à la véraison. Les produits utilisés seront le Polyram DF et le Milcozèbe DG.

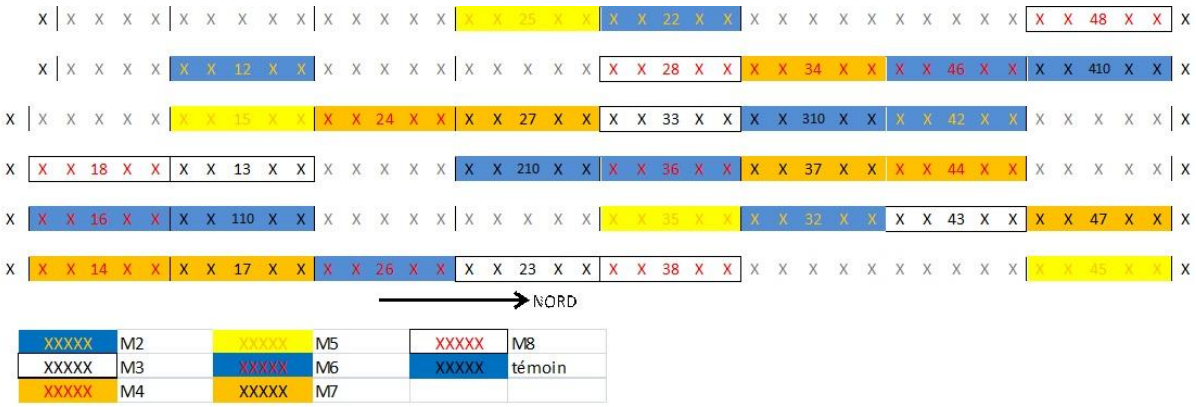


Figure 2: plan de la parcelle expérimentale en 2017 (x représente un cep)

Tableau 2: calcul du temps de traitement par face

Volume de bouillie	150 L/ha
Nombre de parcelle élémentaire/modalité	4
Nombre de cep/parcelle élémentaire	5
Densité de plantation	4444 pieds/ha
Surface à traiter par modalité	45m^2
Volume de bouillie pour 45m^2	0,68L
Débit pulvérisateur	0,54L/min
Temps de traitement pour 45m^2	75,6s
Temps pour traiter une face d'une parcelle élémentaire	9,44s

Tableau 3 : caractéristiques des fongicides utilisés

Produit	Substance active	Famille de produit	Dose/ha
Eqal DG NC	cuivre	fongicide de contact	750
Microthiol Special Disperss	soufre	fongicide de contact	10
Dynali	cyflufenamid difenoconazole	fongicide pénétrant: triazole (IDM), amidoximes	0,5
Luna Sensation	fluopyram trifloxystrobine	fongicide pénétrant : SDHI	0,2
Milcozèbe DG	mancozebe	fongicide de contact: dithiocarbamate	2
Polyram DF	metirame	fongicide de contact: dithiocarbamate	2

- Modalité témoin : aucun traitement n'a été appliqué.

Une modalité est représentée par une parcelle élémentaire de 5 pieds de grenache séparés par les piquets de palissage. Chaque modalité est répétée 4 fois, répartie aléatoirement sur la parcelle. Le plan de la parcelle expérimentale est disponible sur la figure 2 ci-contre.

En 2016, seules les modalités M2, M3, M4, M5, M7 et M8 ont été testées.

2.4. Mise en œuvre des stratégies

Les différentes modalités sont traitées à pied au pulvérisateur à dos, face par face. Les modalités sont traitées avec un atomiseur à dos STIHL Sr 340. Le volume de bouille est fixé à 150 L/ha, pour l'ensemble de la saison. En connaissant la quantité de bouillie à appliquer, la surface à traiter ainsi que le débit du pulvérisateur (0.54L/min), la personne qui effectue le traitement se chronomètre pour appliquer la bonne dose de traitement à chaque modalité (le détail du calcul est expliqué en tableau 2 ci-contre).

Pour chaque modalité, le nombre de traitement est décidé en fonction de la pression de la maladie et de la quantité d'eau apportée par la brumisation ou les précipitations (la pluviométrie entraine le lessivage des produits). Les modalités à traiter sont traitées le même jour. Les doses à appliquer sont décidées en fonction du stade phénologique (et donc de la hauteur de feuillage et de la sensibilité de la vigne). La même stratégie de traitement est utilisée en 2016 et 2017. De T1 à T3, la vigne n'est pas dans sa période de plus grande sensibilité et la hauteur de feuillage n'est pas à son maximum, les traitements ne sont donc pas réalisés à pleine dose. De T4 à T7, la vigne est dans sa période de plus grande sensibilité, le feuillage est établi, les traitements sont donc réalisés à pleine dose. De T8 à T10, la sensibilité de la grappe diminue, les doses de traitement sont abaissées.

Les caractéristiques des fongicides utilisés sont disponibles en tableau 3 ci-contre, le récapitulatif des traitements en 2017 est disponible en tableau 4 ci-après.

2.5. Déroulement des notations

Chaque parcelle élémentaire témoin est observée deux fois par semaine, afin de déterminer les sorties de tâches qui indiquent la présence de black rot. Les premières tâches étant sorties le 13 mai, les notations ont commencé le 16 mai. Les feuilles touchées par une ou plusieurs tâches de black rot sont repérées au marqueur et comptabilisées. Une feuille marquée est comptée une unique fois. Pour les modalités M2 à M8, seuls deux comptages sont réalisés sur feuille, afin d'observer le développement de la maladie. Pour les notations sur feuille, on obtient donc un nombre de feuilles touchées par le black rot/ceps.

Les notations sur grappe se font dès le stade baie de 10-11mm, avant fermeture de la grappe. Ensuite elles se font aux moments stratégiques, après fermeture de la frappe, au début véraison et à mi-véraison. Pour chaque parcelle élémentaire, 25 grappes sont observées sur lesquelles seront évaluées la fréquence d'attaque (nombre de grappes atteintes par le black rot/25 grappes observées) et l'intensité d'attaque (sommes des intensités d'attaque de chaque grappe/25 grappes observées). Les dates des notations en 2017 sont disponibles dans le tableau 5 ci-après.

A chaque notation, les autres maladies telles que l'oïdium et le mildiou sont observées et comptabilisées. En cas de forte attaque de mildiou ou d'oïdium, il aurait en effet été nécessaire de traiter l'essai pour éviter de fausser les résultats. L'année 2017 n'a pas été une

Tableau 4 : détail des traitements pour chaque modalité en 2017

	Traitement	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
	date	24-avr	02-mai	10-mai	16-mai	01-juin	12-juin	21-juin	30-juin	11-juil	20-juil
Modalité	stade phénologique	5-6 FE	7-8 FE	8-10 FE	10-12 FE	fin flo nouaison	7-10 mm	11-12 mm	fermeture	fermeture	debut véraison
M2	Produit	Microthiol Special Disperss; Eqal Dg NC	Microthiol Special Disperss; Eqal Dg NC	Microthiol Special Disperss; Eqal Dg NC	Microthiol Special Disperss; Eqal Dg NC	Microthiol Special Disperss; Eqal Dg NC	Microthiol Special Disperss; Eqal Dg NC	Microthiol Special Disperss; Eqal Dg NC			
	Pourcentage de la dose	25% Cu 40% S	25% Cu 40% S	25% Cu 40% S	50% Cu 100% S	50% Cu 100% S	50% Cu 100% S	50% Cu 100% S			
	Dose appliquée/ha	Cu 200g/ha S 4kg/ha	Cu 200g/ha S 4kg/ha	Cu 200g/ha S 4kg/ha	Cu 400g/ha S 10 kg/ha	Cu 400g/ha S 10 kg/ha	Cu 400g/ha S 10 kg/ha	Cu 400g/ha S 10 kg/ha			
M3	Produit				Microthiol Special Disperss; Eqal Dg NC	Microthiol Special Disperss; Eqal Dg NC	Microthiol Special Disperss; Eqal Dg NC	Microthiol Special Disperss; Eqal Dg NC	Microthiol Special Disperss; Eqal Dg NC	Microthiol Special Disperss; Eqal Dg NC	Microthiol Special Disperss; Eqal Dg NC
	Pourcentage de la dose				50% Cu 100% S	50% Cu 100% S	50% Cu 100% S	50% Cu 100% S	50% Cu 80% S	50% Cu 80% S	50% Cu 80% S
	Dose appliquée/ha				Cu 400g/ha S 10 kg/ha	Cu 400g/ha S 10 kg/ha	Cu 400g/ha S 10 kg/ha	Cu 400g/ha S 10 kg/ha	Cu 400g/ha S 8 kg/ha	Cu 400g/ha S 8 kg/ha	Cu 400g/ha S 8 kg/ha
M4	Produit				Microthiol Special Disperss; Eqal Dg NC	Microthiol Special Disperss; Eqal Dg NC	Microthiol Special Disperss; Eqal Dg NC	Microthiol Special Disperss; Eqal Dg NC			
	Pourcentage de la dose				50% Cu 100% S	50% Cu 100% S	50% Cu 100% S	50% Cu 100% S			
	Dose appliquée/ha				Cu 400g/ha S 10 kg/ha	Cu 400g/ha S 10 kg/ha	Cu 400g/ha S 10 kg/ha	Cu 400g/ha S 10 kg/ha			
M5	Produit	Microthiol Special Disperss; Eqal Dg NC	Microthiol Special Disperss; Eqal Dg NC	Microthiol Special Disperss; Eqal Dg NC	Microthiol Special Disperss; Eqal Dg NC	Microthiol Special Disperss; Eqal Dg NC	Microthiol Special Disperss; Eqal Dg NC	Microthiol Special Disperss; Eqal Dg NC	Microthiol Special Disperss; Eqal Dg NC	Microthiol Special Disperss; Eqal Dg NC	Microthiol Special Disperss; Eqal Dg NC
	Pourcentage de la dose	25% Cu 40% S	25% Cu 40% S	25% Cu 40% S	50% Cu 100% S	50% Cu 100% S	50% Cu 100% S	50% Cu 100% S	50% Cu 80% S	50% Cu 80% S	50% Cu 80% S
	Dose appliquée/ha	Cu 200g/ha S 4kg/ha	Cu 200g/ha S 4kg/ha	Cu 200g/ha S 4kg/ha	Cu 400g/ha S 10 kg/ha	Cu 400g/ha S 10 kg/ha	Cu 400g/ha S 10 kg/ha	Cu 400g/ha S 10 kg/ha	Cu 400g/ha S 8 kg/ha	Cu 400g/ha S 8 kg/ha	Cu 400g/ha S 8 kg/ha
M6	Produit				Dynali	Luna Sensation					
	Pourcentage de la dose				100%	100%					
	Dose appliquée/ha				0,5	0,2					
M7	Produit	Polyram DF	Polyram DF	Polyram DF	Polyram DF	Milcozèbe DG	Milcozèbe DG	Milcozèbe DG	Polyram DF	Milcozèbe DG	Milcozèbe DG
	Pourcentage de la dose	30%	50%	80%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	Dose appliquée/ha	0,6	1	1,6	2	2	2	2	2	2	2
M8	Produit	Polyram DF	Polyram DF	Polyram DF	Polyram DF	Milcozèbe DG	Milcozèbe DG	Milcozèbe DG			
	Pourcentage de la dose	30%	50%	80%	100%	100%	100%	100%			
	Dose appliquée/ha	0,6	1	1,6	2	2	2	2			

Tableau 5: notations en 2017

Témoin FEUILLE	M2 M3 M4 M5 FEUILLE	M6 M7 M8 FEUILLE	GRAPPE toutes les modalités
16-mai			
02-mai			
29-mai	29-mai	29-mai	
06-juin			
12-juin			
20-juin	20-juin	20-juin	
			23-juin
			06-juil
			19-juil
			02-août

année à forte pression au niveau des maladies cryptogamiques : absence d'attaque d'oïdium et faible attaque de mildiou (fréquence sur feuille<0.42%, fréquence sur grappe<10%, intensité sur grappe<2%). Il n'a pas été nécessaire de traiter ces maladies.

2.6. Traitement des données

Pour chaque modalité, les résultats sont exprimés en :

-nombre de feuilles touchées par le black rot/cep

-fréquence d'attaque sur grappe : nombre de grappes touchées/25 grappes

-intensité d'attaque sur grappe : somme des intensités d'attaque des 25 grappes/25

La formule de Abbott (Abbott, 1925) ci-après permet de mesurer l'efficacité en fréquence et intensité des différentes modalités, en comparant chaque modalité au témoin :

% efficacité = ((n dans la population témoin non traitée- n dans la population traitée)/ n dans la population témoin non traitée)*100, où n représente le nombre de feuilles touchées/cep, la fréquence d'attaque et l'intensité d'attaque sur grappe.

A l'aide du logiciel de traitement statistique XLSTAT, une analyse statistique va être effectuée afin de comparer les différentes modalités au témoin et entre elles. Pour chaque date, seulement 4 données par modalité sont disponibles puisqu'une modalité est répétée 4 fois. Un minimum de 30 données par modalité est nécessaire pour réaliser un test paramétrique. Ce sont donc des tests non paramétriques qui seront utilisés pour comparer les modalités.

-test de Kruskal-Wallis : en présence de plusieurs échantillons indépendants (ici les différentes modalités), il permet de déterminer si les échantillons proviennent d'une même population ou si au moins un échantillon provient d'une population différente des autres. On pose donc l'hypothèse nulle H0 : les différents échantillons proviennent de la même population

-test de Dunn : est un test de comparaisons multiples par paires pour des données quantitatives. Il permet d'identifier et de classer différents types en différents groupes en fonction d'une variable. Ce test va manquer de puissance puisque la population de chaque modalité est seulement composée de 4 individus. De ce fait, si un test est significatif, cela signifie que l'effet est fort. Si un test n'est pas significatif, cela ne signifie pas qu'il n'y a pas d'effet, mais que soit il n'y a pas d'effet, soit il y a un effet mais le test n'est pas assez puissant pour le mettre en évidence.

III. Résultats

1. Dynamique de la maladie en Vaucluse depuis 2014

1.1. Piolenc, de 2014 à 2017

- Piolenc en 2014

Le millésime 2014 est plutôt un millésime tardif en Vaucluse, avec un départ de la végétation le 26 mars. L'hiver 2014 est très pluvieux, le printemps et sec et la période estivale est fraîche et humide. Cette année-là le black rot commence à être visible dans le vignoble de Piolenc. Les données météorologiques ainsi que les calculs sont disponibles en annexe 1. De la période du 20/03/2014 au 10/09/2014, 55 épisodes pluvieux ont eu lieu.

Tableau 6: stade phénologique du grenache de 2014 à 2017 à Piolenc (F=feuille étalée)

Stade phénologique	2014	2015	2016	2017
Pointe verte	26-mars	04-avr	30-mars	21-mars
débourrement	02-avr	08-avr	06-avr	28-mars
4-5F	16-avr	22-avr	20-avr	11-avr
7-8F	30-avr	06-mai	11-mai	02-mai
10-11F	07-mai	13-mai	19-mai	16-mai
1ères fleurs	21-mai	20-mai	01-juin	23-mai
début nouaison	04-juin	01-juin	10-juin	30-mai
8 mm	20-juin	17-juin	26-juin	13-juin
10-11 mm	30-juin	24-juin	01-juil	20-juin
fermeture	09-juil	01-juil	06-juil	27-juin
début véraison	21-juil	14-juil	25-juil	18-juil
mi véraison	04-août	28-juil	08-août	01-août
pleine véraison	18-août	12-août	22-août	13-août

Tableau 7: évènements infectieux et dates de sorties de tâches réelles et modélisées en 2014 (FE= feuille étalée)

2014									
Date évènement infectieux	Stade phénologique	Précipitations (mm)	Température moyenne (°C)	Durée humectation (h)	Indice infectieux		Date de sortie des 1ères tâches FEUILLE (modèle)	Date de sortie des 1ères tâches GRAPPE (modèle)	Date de sortie de tâche réelle
22/04	4-5 FE	5,8	14,9	15,6	154,44	2	9/05 au 21/05		12/05
23/04		3	17,3	11,8	145,14	1	10/05 au 21/06		12/05
22/05	1ères fleurs	8,6	22,2	7	105	1	5/06 au 13/06		
23/05		6,2	17,3	10	123	1	6/06 au 14/06		
25/06	8-10 mm	2	23,7	7,9	118,5	1	6/07 au 15/07	11/07 au 22/07	
28/06		11,6	22	8,5	127,5	1	9/07 au 17/07	16/07 au 27/07	
04/07		7	23,6	10,9	163,5	2	16/07 au 23/07	25/07 au 8/08	21/07
06/07		14,4	23,8	11,7	175,5	2	18/07 au 25/07	27/07 au 11/08	21/07
07/07	fermeture	19	19,6	18,5	270,1	2	18/07 au 26/07	28/07 au 12/08	28/07
20/07	début véraison	18,8	23,7	8,2	123	1	31/07 au 7/08	10/08 au 27/08	
25/07		2,8	21,5	14,5	217,5	2	5/08 au 12/08	15/08 au 31/08	
29/07		1,4	18,3	10,6	140,98	1	8/08 au 17/08	19/08 au 4/09	
02/08		18,4	23,6	13,3	199,5	2	12/08 au 21/08	24/08 au 8/09	
03/08	mi véraison	1,4	23,5	13,2	198	2	13/08 au 22/08	25/08	
13/08		1,6	22,2	12	180	2	25/08 au 2/09	05/09	
18/08	pleine véraison	2	19,7	11,2	167,44	2	29/08 au 6/09	09/09	

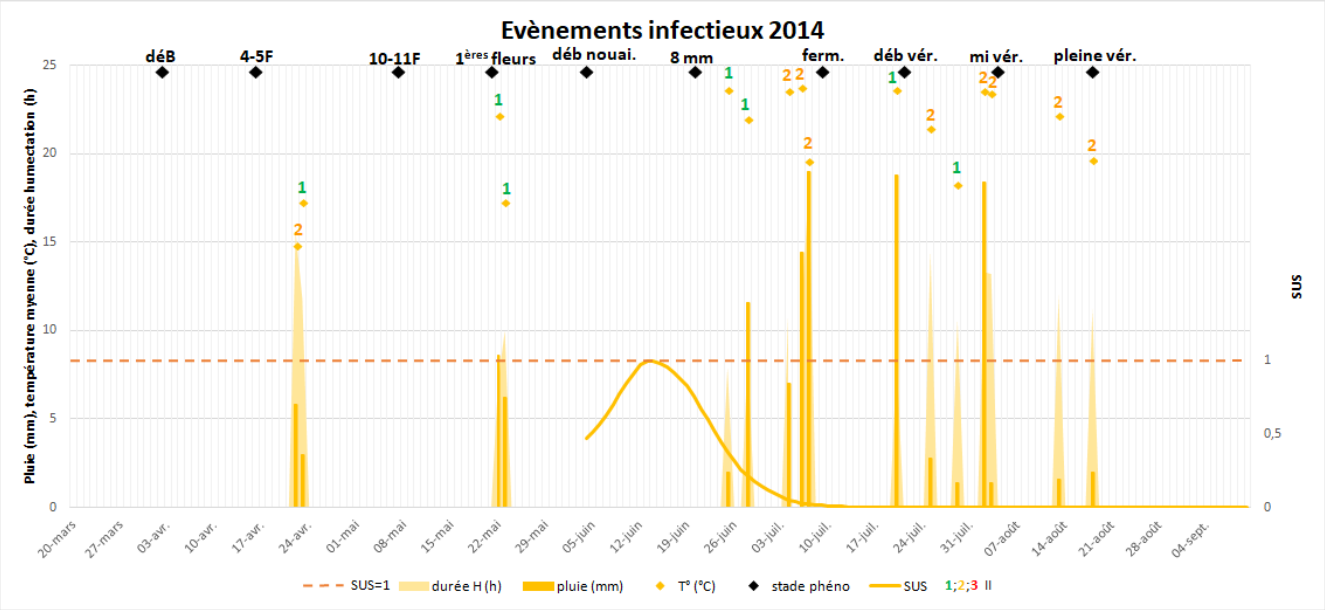


Figure 3: évènements infectieux en 2014 à Piolenc (déB=débourrement ; F=feuille étalée, durée H= durée d'humectation ; vér.=véraison ; T°=température)

Etude de la maturité des spores : la somme des degrés jours depuis le 26/03 (stade pointe verte, voir tableau 6), permet d'indiquer qu'au 11/04, 10% des ascospores sont mûres. Au 1/05, 50% des ascospores sont mûres et au 24/05, 90% des ascospores de la saison sont mûres. En ce qui concerne les conidies, 10% sont mûres au 10/06, 50% sont mûres au 1/07.

Détermination des évènements infectieux : de la période du 20/03/2014 au 10/09/2014, 55 épisodes pluvieux ont eu lieu. Selon les conditions décrites en II.1.3., 16 pluies sont des évènements infectieux et entraînent une infection (ils sont répertoriés dans le tableau 7).

Détermination de la force des évènements infectieux : pour chaque évènement infectieux, une estimation de la force de l'évènement est calculée. Les résultats sont disponibles dans le tableau 7 ci-après. L'intensité de la pluie est catégorisée comme suit : 1 pour une infection légère, 2 pour une infection moyenne, 3 pour une infection sévère.

Calcul de la période d'incubation sur feuille : pour chaque évènement infectieux, une somme des températures moyennes journalières entre 6 et 24°C est effectuée pour déterminer les dates de sortie de tâches. En annexe, le calcul pour la pluie du 7/07 est détaillé. Toutes les dates de sortie de tâches données par le modèle sont disponibles en tableau 7.

Calcul de la période d'incubation sur grappe : à partir du stade début véraison, le calcul de f(GS) est réalisé afin de déterminer les nouvelles bornes entre lesquelles les tâches seront visibles sur grappe. Les résultats du modèle sont visibles en tableau 7.

Détermination de la sensibilité des grappes : SUS est calculé dès le stade début floraison (voir annexe 1).

Les caractéristiques des évènements infectieux, la force des évènements infectieux et la sensibilité relative de la grappe sont représentés sur la figure 3 ci-contre. Sur 55 pluies qui ont eu lieu du 20/03/14 au 10/09/14, 16 sont déterminées comme étant des évènements infectieux. 56.2% de ces évènements sont de force 2 (infection moyenne), 43.8% sont de force 1 (infection légère). La sensibilité de la grappe commence au début de la véraison, elle est maximale au moment du grossissement de la baie (entre 5 et 7 mm), et est proche de 1% à fermeture.

Il y a donc 5 évènements infectieux qui ont lieu au moment où la grappe est sensible (25/06 ; 28/06 ; 4/07 ; 6/07 ; 7/07). Ils ont lieu lorsque la sensibilité de la grappe est entre 1 et 40%. Il y a 3 pluies de force 2 mais qui arrivent à la fin de la période de sensibilité. Les quelques tâches vues à Piolenc cette année là sur grappe sont sûrement dues aux pluies du 25/06 au 7/07. La faible fréquence et la faible intensité des dégâts peuvent être expliqués par le fait que des pluies d'intensité légère ont lieu quand la grappe est sensible, des pluies d'intensité moyenne ont lieu lorsque la grappe est de plus en plus résistante.

Les dates de sortie de tâches réelles sur feuille observées à Piolenc sont disponibles dans le tableau 7. Sur 16 évènements infectieux, 5 sorties de tâches réelles correspondantes sont observées. Si on considère qu'au 20/07 (début véraison), la grappe n'est plus sensible, 9 évènements infectieux ont lieu pendant la période de sensibilité de la vigne, dont 5 qui entrainent des dates de sortie de tâches réelles. Il n'est pas possible de distinguer les tâches qui font partie de deux évènements infectieux qui se suivent dans le temps, puisque que les périodes d'incubation se recoupent. En 2014, sur 55 pluies, il y a donc :

-4 vrais positifs (correspondant aux pluies du 22/04 ; 23/04 ; 4/07 ; 6/07)

-4 faux positifs (correspondant aux pluies du 22/05 ; 23/05 ; 25/06 ; 28/06)

-1 faux négatif (correspondant aux tâches vues le 28/07)

-46 vrais négatifs

Tableau 8: évènements infectieux et dates de sorties de tâches modélisées et observées en 2015 (FE=feuille étalée)

2015									
Date évènement infectieux	Stade phénologique	Précipitations (mm)	Température moyenne (°C)	Durée humectation (h)	Indice infectieux		Date de sortie des tâches FEUILLE (modèle)	Date de sortie des tâches GRAPPE (modèle)	Date de sortie de tâche réelle
24/03		10	12,5	18,9	141,75	1	17/04 au 1/05		
17/04	débourrement	2,4	17,6	17,1	215,46	2	4/05 au 14/05		04/05
26/04	4-5 FE	21,2	18,3	14,6	194,18	2	12/05 au 23/05		
27/04		34,6	13,9	22,4	199,36	2	12/05 au 23/06		
01/05		2,6	14,6	10,3	98,88	1	15/05 au 25/05		25/05
08/05	7-8 FE	1	16	14,3	157,3	2	23/05 au 1/06		25/05
10/06	6-7 mm	2	22,8	14,1	211,5	2	21/06 au 29/06	22/06 au 29/06	22/06
11/06		1	23,1	9,5	142,5	1	22/06 au 30/06	23/06 au 30/06	22/06
12/06		33	19,6	21,7	316,82	3	23/06 au 1/07	24/06 au 1/07	
13/06		35,2	21,1	14,9	223,5	2	24/06 au 2/07	25/06 au 2/07	
14/06		2,8	22,1	13,6	204	2	25/06 au 2/07	26/06 au 3/07	
15/06		8,4	23,1	14,4	216	2	26/06 au 3/07	27/06 au 5/07	03/07
16/06	8 mm	2,4	21,8	13,6	204	2	27/06 au 4/07	28/06 au 6/07	03/07
01/08	mi véraison	17	22,9	11	165	2	11/08 au 19/08	22/08 au 7/09	
08/08		2,6	27,4	6,6	99	1	19/08 au 27/08	30/08	
13/08	pleine véraison	40,6	23,7	17,5	262,5	2	24/08 au 1/09	04/09	
23/08		37,8	22,3	15,7	235,5	2	3/09 au 13/09	16/09	
24/08		3,2	23,2	10,1	151,5	2	5/09 au 14/09	17/09	
31/08		6,8	22,7	11,2	168	2	non calculé	non calculé	

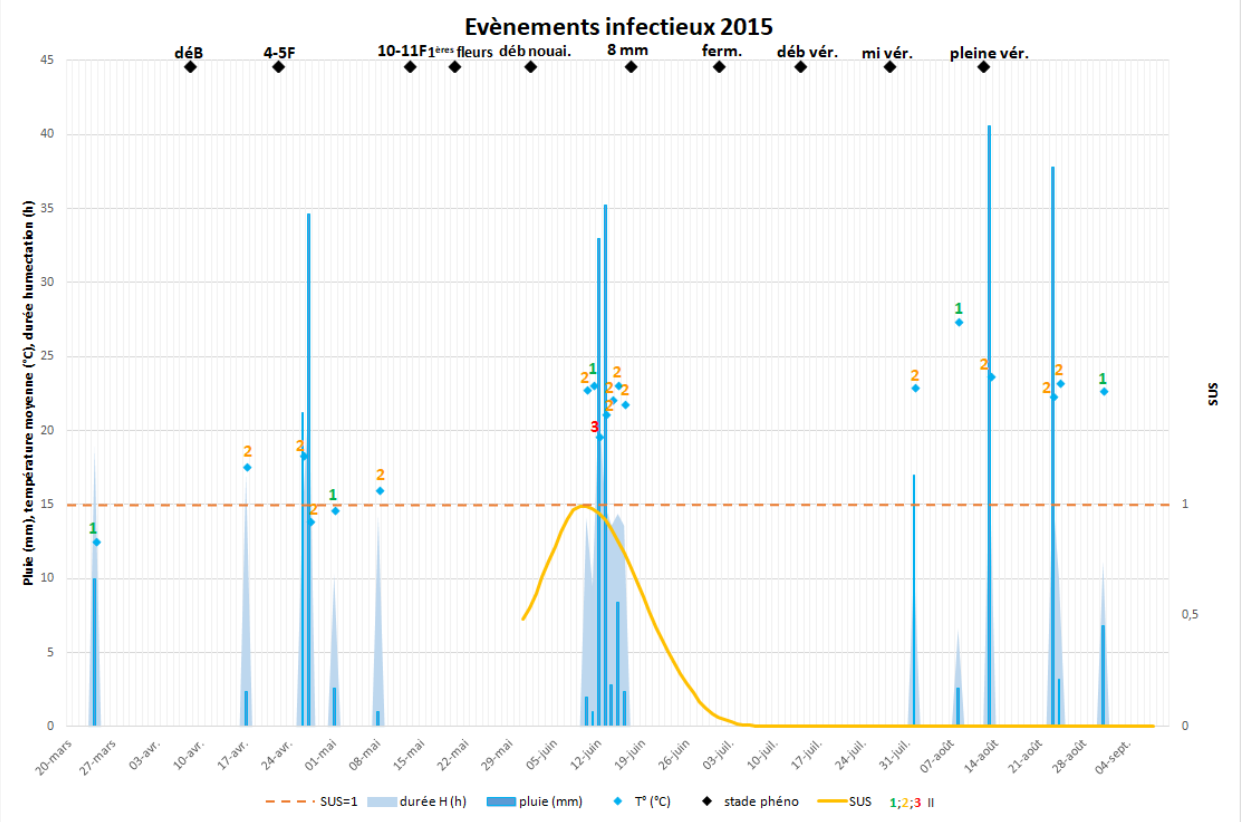


Figure 4: évènements infectieux en 2015 à Piolenc (déB=débourrement ; F=feuille étalée, durée H= durée d'humectation ; vér.=véraison ; T°=température)

En effet, des tâches ont été observées le 28/07. Cette date n'appartient à aucune période d'incubation donnée par le modèle mais se rapproche de la période d'incubation de la pluie du 7/07 ou du 31/07, à 2 jours près. Soit la détermination d'une pluie comme un évènement infectieux est fausse, soit la modélisation de la période d'incubation comporte des erreurs.

- Piolenc en 2015

En 2015, la végétation démarre le 4 avril (voir tableau 6). Une pluviométrie exceptionnellement importante est répertoriée, l'année est exceptionnellement chaude et ensoleillée. Une impressionnante présence du black rot est visible cette année-là, tant en terme de fréquence que d'intensité d'attaque (les récoltes de certains essais sont totalement détruites). Les données météorologiques ainsi que les calculs sont disponibles en annexe 2. De la période du 20/03/2015 au 10/09/2015, 33 épisodes pluvieux ont eu lieu.

Etude de la maturité des spores : la somme des degrés jours depuis le 4/04 (stade pointe verte), permet d'indiquer qu'au 21/04, 10% des ascospores sont mûres. Au 6/05, 50% des ascospores sont mûres et au 27/05, 90% des ascospores de la saison sont mûres. En ce qui concerne les conidies, 10% sont mûres au 9/06, 50% sont mûres au 2/07.

Détermination des évènements infectieux : de la période du 20/03/2015 au 10/09/2015, 33 épisodes pluvieux ont eu lieu. Selon les conditions décrites en II.1.3., 19 pluies sont des évènements infectieux et entraînent une infection (ils sont répertoriés dans le tableau 8).

Détermination de la force des évènements infectieux : pour chaque évènement infectieux, une estimation de la force de l'évènement est calculée. Les résultats sont disponibles dans le tableau 8 ci-après. L'intensité de la pluie est catégorisée comme suit : 1 pour une infection légère, 2 pour une infection moyenne, 3 pour une infection sévère.

Calcul de la période d'incubation sur feuille : pour chaque évènement infectieux, une somme des températures moyennes journalières entre 6 et 24°C est effectuée pour déterminer les dates de sortie de tâches. En annexe, le calcul pour la pluie du 16/06 est détaillé. Toutes les dates de sortie de tâches données par le modèle sont disponibles en tableau 8.

Calcul de la période d'incubation sur grappe : à partir du stade début véraison, le calcul de f(GS) est réalisé afin de déterminer les nouvelles bornes entre lesquelles les tâches seront visibles sur grappe. Les résultats du modèle sont visibles en tableau 8. Par exemple, pour la pluie du 16/06, les nouvelles bornes sont 189 et 329 $DD_{6\text{-}24}$.

Détermination de la sensibilité des grappes : SUS est calculé dès le stade début floraison (voir annexe).

Les caractéristiques des évènements infectieux, la force des évènements infectieux et la sensibilité relative de la grappe sont représentés sur la figure 4 ci-après. Sur 33 pluies qui ont eu lieu du 20/03/15 au 10/09/15, 19 sont déterminées comme étant des évènements infectieux. Cependant, le premier évènement infectieux (24/03) a eu lieu avant le débourrement de la vigne (4/04), il n'est donc as considéré comme infectieux. Il y a donc 18 évènements infectieux en 2015. 68.4% de ces évènements sont de force 2 (infection moyenne), 26.3% sont de force 1 (infection légère), et il y a un évènement de force 3 (infection sévère). La sensibilité de la grappe varie avec le stade phénologique : elle est d'environ 50% au début de la véraison, elle est maximale au moment du grossissement de la baie (entre 5 et 7 mm), et est proche de 1% à fermeture.

En 2015, il y a donc 7 évènements infectieux qui ont lieu au moment où la grappe est sensible (10/06 ; 11/06 ; 12/06 ; 13/06 ; 14/06 ; 15/06 ; 16/06). Ils ont tous lieu lorsque la sensibilité de la grappe est entre 83 et 99%, donc au moment où la sensibilité est maximale. Il y a 5 pluies de force 2, 1 pluie de force 3 et une pluie de force1. Les dégâts importants à

Tableau 9 : évènements infectieux et dates de sorties de tâches modélisées et réelles en 2016 (FE=feuille étalée)

2016									
Date évènement infectieux	Stade phénologique	Précipitations (mm)	Température moyenne (°C)	Durée humectation (h)	Indice infectieux		Date de sortie des tâches FEUILLE (modèle)	Date de sortie des tâches GRAPPE (modèle)	Date de sortie de tâche réelle
02/04		1,6	12,2	17,5	126	1	23/04 au 10/05		02/05
03/04		1,8	13,4	22,3	187,32	2	24/04 au 10/05		02/05
05/04	débourrement	4,2	14,2	23,8	218,96	2	27/04 au 12/05		02/05
13/04		7,6	14,7	13,8	133,86	1	5/05 au 18/05		17/05
17/04		1,4	17,1	9	108,9	1	9/05 au 21/05		17/05
21/04	4-5 FE	1,8	14,5	9,6	91,2	1	12/05 au 25/05		17/05
10/05		6,2	19,8	11,1	164,28	2	27/05 au 6/06		30/05
11/05	7-8 FE	2,8	16,5	18,3	210,45	2	28/05 au 6/06		30/05
13/05		1,4	14,4	16,9	158,86	2	29/05 au 7/06		30/05
22/05		8,6	16,7	12,9	150,93	2	4/06 au 13/06		
28/05		21,8	19,3	8,6	122,98	1	9/06 au 18/06		17/06
31/05	1ères fleurs	5,6	17,9	12,9	166,41	2	11/06 au 20/06		17/06
02/07	10-11 mm	1,2	24,4	7,7	115,5	1	12/07 au 21/07	17/07 au 27/07	13/07
11/07		1	27	10,8	162	2	22/07 au 30/07	1/08 au 15/08	26/07
12/07		1,8	20,7	9,7	145,5	1	23/07 au 30/07	2/08 au 17/08	26/07
22/07	début véraison	6,2	23,9	11,2	168	2	1/08 au 9/08	11/08 au 26/08	
30/07		2,2	25,6	6	90	1	9/08 au 17/08	20/08 au 3/09	
31/07		10,8	25,6	17,2	258	2	10/08 au 18/08	21/08	
04/08		3,8	25,2	8	120	1	15/08 au 23/08	25/08	
20/08	pleine véraison	5,4	22,2	18,7	280,5	2	30/08 au 7/09	09/09	

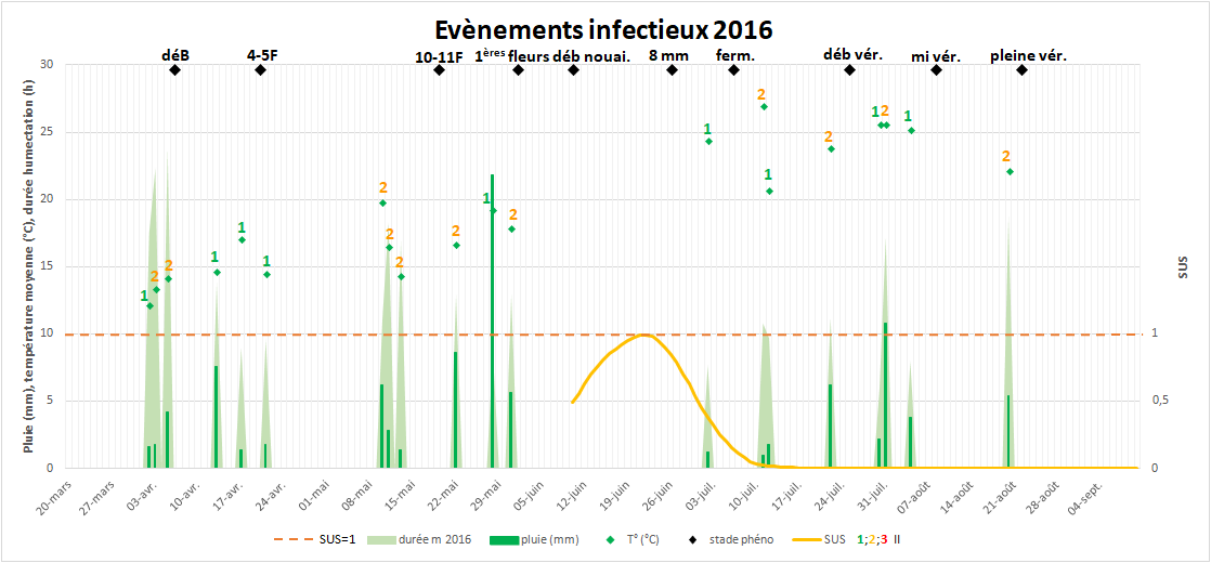


Figure 5: évènements infectieux en 2016 à Piolenc (déB=débourrement ; F=feuille étalée, durée H= durée d'humectation ; vér.=véraison ; T°=température)

Piolenc cette année là peuvent s'expliquer par cet épisode pluvieux prolongé, qui entraîne des périodes d'humectation longue à des moments où la température moyenne journalière est supérieure à 20°C.

Les dates de sortie de tâches réelles sur feuille observées à Piolenc sont disponibles dans le tableau 8. Sur 18 évènements infectieux, il y a 7 sorties de tâches réelles correspondantes. Si on considère qu'au 14/07 (début véraison), la grappe n'est plus sensible, 12 évènements infectieux ont lieu pendant la période de sensibilité de la vigne, dont 7 qui entrainent des dates de sortie de tâches réelles. Il n'est pas possible de distinguer les tâches qui font partie de plusieurs évènements infectieux qui se suivent dans le temps (comme c'est la cas pour les pluies du 10/06 au 16/06), puisque que les périodes d'incubation se recoupent. En 2015, sur 33 pluies, il y a donc :

-7 vrais positifs (correspondant aux pluies du 17/04 ; 1/05 ; 8/05; 10/06 ; 11/06 ; 15/06 ; 16/06)

-5 faux positifs (correspondant aux pluies du 26/04 ; 27/04 ; 12/06 ; 13/06 ; 14/06)

-0 faux négatif

-21 vrais négatifs

5 pluies ont été détectées par le modèle comme contaminatrices, pourtant les sorties de tâches ne sont pas observées : pour les pluies du 26 et 27/04, les périodes d'incubation se rapprochent à deux jours près des tâches observées le 25/05. Il en est de même pour les pluies du 12, 13 et 14/06, les tâches observées le 3/07 pourraient venir de ces épisodes pluvieux. Par conséquent, soit le modèle fait des erreurs en déterminant l'évènement infectieux, soit il calcule les périodes d'incubation avec une marge d'erreur de 2 jours.

- Piolenc en 2016

Le millésime 2016 est moyennement tardif, avec un départ de la végétation le 30 mars (voir tableau 6). La pluviométrie annuelle est inhabituellement faible. L'hiver est exceptionnellement doux et peu venté, le printemps est frais et une longue période de sécheresse a lieu. La présence de black rot dans le vignoble à Piolenc diminue fortement cette année-là, les vignes sont touchées mais les intensités d'attaque sont inférieures à 2015. Les données météorologiques ainsi que les calculs sont disponibles en annexe 3. De la période du 20/03/2016 au 10/09/2016, 40 épisodes pluvieux ont eu lieu.

Etude de la maturité des spores : la somme des degrés jours depuis le 30/03 (stade pointe verte), permet d'indiquer qu'au 16/04, 10% des ascospores sont mûres. Au 6/05, 50% des ascospores sont mûres et au 2/06, 90% des ascospores de la saison sont mûres. En ce qui concerne les conidies, 10% sont mûres au 17/06, 50% sont mûres au 8/07.

Détermination des évènements infectieux : de la période du 20/03/2016 au 10/09/2016, 40 épisodes pluvieux ont eu lieu. Selon les conditions décrites en II.1.3., 20 pluies sont des évènements infectieux et entraînent une infection (ils sont répertoriés dans le tableau 9).

Détermination de la force des évènements infectieux : pour chaque évènement infectieux, une estimation de la force de l'évènement est calculée. Les résultats sont disponibles dans le tableau 9 ci-après. L'intensité de la pluie est catégorisée comme suit : 1 pour une infection légère, 2 pour une infection moyenne, 3 pour une infection sévère.

Calcul de la période d'incubation sur feuille : pour chaque évènement infectieux, une somme des températures moyennes journalières entre 6 et 24°C est effectuée pour déterminer les dates de sortie de tâches. En annexe, le calcul pour la pluie du 11/07 est détaillé. Toutes les dates de sortie de tâches données par le modèle sont disponibles en tableau 9.

Calcul de la période d'incubation sur grappe : à partir du stade début véraison, le calcul de f(GS) est réalisé afin de déterminer les nouvelles bornes entre lesquelles les tâches

seront visibles sur grappe. Les résultats du modèle sont visibles en tableau 9. Par exemple, pour la pluie du 11/07, les nouvelles bornes sont 340 et 593 DD_{6-24}.

Détermination de la sensibilité des grappes : SUS est calculé dès le stade début floraison (voir annexe 3).

Les caractéristiques des évènements infectieux, la force des évènements infectieux et la sensibilité relative de la grappe sont représentés sur la figure. Sur 40 pluies qui ont eu lieu du 20/03/16 au 10/09/16, 20 sont déterminées comme étant des évènements infectieux. Les trois premiers évènements infectieux ont lieu entre le stade pointe verte et le débourrement, or des sorties de tâches correspondants aux périodes d'incubation ont été observées : dès que la vigne a une feuille étalée, elle est apparemment sensible. Sur les 20 évènements infectieux de 2016, la moitié sont de force 2 (infection moyenne), et l'autre moitié sont de force 1 (infection légère). La sensibilité de la grappe varie avec le stade phénologique : elle est d'environ 50% au début de la véraison, elle est maximale au moment du grossissement de la baie (entre 5 et 7 mm), et est proche de 1% à fermeture.

En 2016, il n'y a que 3 évènements infectieux qui ont lieu au moment où la grappe est sensible (2/07 ; 11/07 ; 12/07). Ils ont tous lieu lorsque la sensibilité de la grappe est entre 1.8 et 38%, donc au moment où la sensibilité diminue avec le développement de la baie. Il y a 1 pluies de force 2, et 2 pluies de force 1. Les quelques dégâts à Piolenc cette année là peuvent s'expliquer par ces petits épisodes pluvieux de faible intensité.

Les dates de sortie de tâches réelles sur feuille observées à Piolenc sont disponibles dans le tableau 9. Sur 20 évènements infectieux, il y a 14 sorties de tâches réelles correspondantes. Si on considère qu'au 25/07 (début véraison), la grappe n'est plus sensible, 16 évènements infectieux ont lieu pendant la période de sensibilité de la vigne, dont 14 qui entrainent des dates de sortie de tâches réelles. Il n'est pas possible de distinguer les tâches qui font partie de plusieurs évènements infectieux qui se suivent dans le temps (comme c'est la cas pour les pluies du 10/05, 11/05 et 13/05), puisque que les périodes d'incubation se recoupent. En 2016, sur 40 pluies, il y a donc :

-14 vrais positifs (correspondant aux pluies du 2/04 ; 3/04 ; 5/04 ; 13/04 ; 17/04 ; 21/04 ; 10/05 ; 11/05 ; 13/05 ; 28/05 ; 31/05 ; 2/07 ; 11/07 ; 12/07)

-2 faux positifs (correspondant aux pluies du 22/05 ; 22/07)

-0 faux négatif

-24 vrais négatifs

2 pluies ont été détectées par le modèle comme contaminatrices, pourtant les sorties de tâches ne sont pas observées : pour les pluies du 22/05, la période d'incubation se rapproche à 4 jours près des tâches observées le 17/06. Par conséquent, soit le modèle fait des erreurs en déterminant l'évènement infectieux, soit il calcule les périodes d'incubation avec une marge d'erreur de 4 jours. La pluie du 22/07 est contaminatrice mais n'entraine pas de sortie de tâches. Une des raisons les plus probables et le fait que la grappe soit sensible au moment de l'infection, vu qu'elle a lieu au tout début de la véraison. Il n'y a ainsi que 15 évènements infectieux, on considèrera donc que le modèle donne 1 faux positif et 25 vrais négatifs.

- Piolenc en 2017

Le millésime 2017est le plus précoce des 4 années d'observations, avec un départ de la végétation le 21 mars (voir tableau 6). L'hiver est doux et sec, les températures moyennes mensuelles sont supérieures à la moyenne. L'hiver, le printemps et l'été sont déficitaires en eau. Le black rot est présent dans le vignoble de Piolenc, toutefois à des fréquences et intensités d'attaque toujours bien inférieures à 2015. Les données météorologiques ainsi que les calculs sont disponibles en annexe 4. De la période du 20/03/2017 au 10/09/2017, 28 épisodes pluvieux ont eu lieu.

Tableau 10 : évènements infectieux et des sorties de tâches modélisées et réelles en 2017 (FE=feuille étalée)

2017									
Date évènement infectieux	Stade phénologique	Précipitations (mm)	Température moyenne (°C)	Durée humectation (h)	Indice infectieux		Date de sortie des tâches FEUILLE (modèle)	Date de sortie des tâches GRAPPE (modèle)	Date de sortie de tâche réelle
24/03	pointe verte	8,6	11,1	24	146,4	1	13/04 au 1/05		
25/04	6-7 FE	30	14	12,7	114,3	1	16/05 au 26/05		
02/05	7-8 FE	10	11,7	20,9	140	1	19/05 au 28/05		27/05
04/05		1	13,8	16,2	142,6	1	21/05 au 29/05		27/05
06/05		12	12,9	20,1	158,8	2	22/05 au 30/05		27/05
11/05		9	13,5	17,8	151	2	25/05 au 2/06		27/05
01/06	début nouaison	1,2	21,1	15,1	226,5	2	13/06 au 20/06	13/06 au 20/06	20/06
03/06		7,6	21,8	13,1	196,5	2	14/06 au 22/06	14/06 au 22/06	20/06
27/06	fermeture	4,6	25,1	9,9	148,5	1	8/07 au 16/07	17/07 au 31/07	06/07
28/06		7	20,6	14,6	219	2	9/07 au 16/07	18/07 au 1/08	19/07
29/06		1,2	20,3	9	135	1	10/07 au 17/07	19/07 au 2/08	19/07
08/08	mi véraison	2,6	22,1	8,1	179	2			

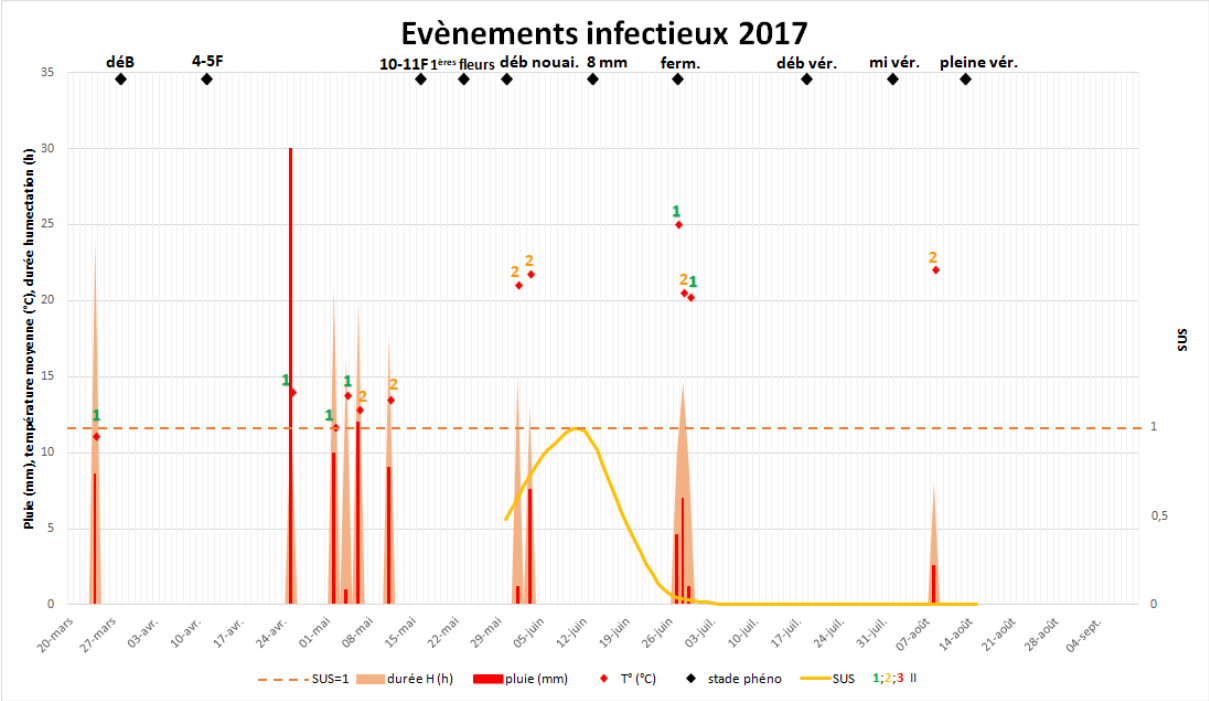


Figure 6 : évènements infectieux en 2017 à Piolenc (déB=débourrement ; F=feuille étalée, durée H= durée d'humectation ; vér.=véraison ; T°=température)

Etude de la maturité des spores : la somme des degrés jours depuis le 21/03 (stade pointe verte), permet d'indiquer qu'au 7/04, 10% des ascospores sont mûres. Au 29/04, 50% des ascospores sont mûres et au 26/05, 90% des ascospores de la saison sont mûres. En ce qui concerne les conidies, 10% sont mûres au 12/06, 50% sont mûres au 29/06.

Détermination des évènements infectieux : de la période du 20/03/2017 au 10/09/2017, 28 épisodes pluvieux ont eu lieu. Selon les conditions décrites en II.1.3., 12 pluies sont des évènements infectieux et entraînent une infection (ils sont répertoriés dans le tableau 10).

Détermination de la force des évènements infectieux : pour chaque évènement infectieux, une estimation de la force de l'évènement est calculée. Les résultats sont disponibles dans le tableau 10 ci-contre. L'intensité de la pluie est catégorisée comme suit : 1 pour une infection légère, 2 pour une infection moyenne, 3 pour une infection sévère.

Calcul de la période d'incubation sur feuille : pour chaque évènement infectieux, une somme des températures moyennes journalières entre 6 et 24°C est effectuée pour déterminer les dates de sortie de tâches. En annexe, le calcul pour la pluie du 27/06 est détaillé. Toutes les dates de sortie de tâches données par le modèle sont disponibles en tableau 10.

Calcul de la période d'incubation sur grappe : à partir du stade début véraison, le calcul de f(GS) est réalisé afin de déterminer les nouvelles bornes entre lesquelles les tâches seront visibles sur grappe. Les résultats du modèle sont visibles en tableau 10. Par exemple, pour la pluie du 27/06, les nouvelles bornes sont 334 et 582 $DD_{6\text{-}24}$.

Détermination de la sensibilité des grappes : SUS est calculé dès le stade début floraison (voir annexe 4).

Les caractéristiques des évènements infectieux, la force des évènements infectieux et la sensibilité relative de la grappe sont représentés sur la figure 6 ci-après. Sur 28 pluies qui ont eu lieu du 20/03/17 au 10/09/17, 12 sont déterminées comme étant des évènements infectieux. Le premier évènement infectieux a lieu au stade pointe verte, mais au vu des résultats de 2016 une infection peut avoir lieu. Sur les 12 évènements infectieux de 2017, la moitié sont de force 2 (infection moyenne), et l'autre moitié sont de force 1 (infection légère). La sensibilité de la grappe varie avec le stade phénologique : elle est d'environ 50% au début de la véraison, elle est maximale au moment du grossissement de la baie (entre 5 et 7 mm), et est proche de 1% à fermeture.

En 2017, il y a 5 évènements infectieux qui ont lieu au moment où la grappe est sensible (1/06 ; 3/06 ; 27/06 ; 28/06 ; 29/06). Ils ont lieu lorsque la sensibilité de la grappe est entre 2.6 et 73%, donc au moment où la vigne est sensible (après nouaison), et au moment où elle est de plus e plus résistante (fermeture de la grappe). Il y a 3 pluies de force 2, et 2 pluies de force 1. Les dégâts à Piolenc cette année-là peuvent s'expliquer par ces épisodes pluvieux.

Les dates de sortie de tâches réelles sur feuille observées à Piolenc sont disponibles dans le tableau 10. Sur 12 évènements infectieux, il y a 8 sorties de tâches réelles correspondantes. Si on considère qu'au 18/07 (début véraison), la grappe n'est plus sensible, 11 évènements infectieux ont lieu pendant la période de sensibilité de la vigne, dont 8 qui entrainent des dates de sortie de tâches réelles. Il n'est pas possible de distinguer les tâches qui font partie de plusieurs évènements infectieux qui se suivent dans le temps (comme c'est le cas pour les pluies du 1/06 et 3/06), puisque que les périodes d'incubation se recoupent. En 2017, sur 28 pluies, il y a donc :

-6 vrais positifs (correspondant aux pluies du 2/05 ; 4/05 ; 5/05 ; 11/05 ; 1/06 ; 3/06)

-3 faux positifs (correspondant aux pluies du 24/03 ; 25/04 ; 28/06)

-2 faux négatifs (correspondant aux tâches vues le 6/07 et 19/07)

Tableau 11: comparaison des évènements infectieux à Piolenc et Serres en 2014

	Piolenc	Serres
Pluies entre le 20/03 et le 10/09	55	42
Nombre évènements infectieux	16	17
Proportion d'évènement de force 1	43,8	70,5
Proportion d'évènement de force 2	56,2	29,5
Proportion d'évènement de force 3	0	0
Evènements infectieux qui ont lieu pendant la période de sensibilité de la grappe	5	6
SUS pendant ces évènements infectieux	2,1 à 37,4%	7,3 à 99%

Tableau 12 : évènements infectieux à Serres en 2014 (F=feuille étalée)

SERRES 2014						
Date évènement infectieux	Stade phénologique	Précipitations (mm)	Température moyenne (°C)	Durée humectation (h)	Indice infectieux	
22/04	6-7F	5	14,1	15,4	140,14	1
22/05	1ères fleurs	7,2	20,6	8,1	121,5	1
23/05		9,6	17,4	8,1	100,44	1
15/06	6 mm	3,8	20,2	12,2	183	2
18/06		17,8	18,1	8,3	108,73	1
24/06		35,4	24,4	6,1	91,5	1
04/07		11,4	22,8	6,3	94,5	1
06/07		4,6	22,8	8,6	129	1
07/07	fermeture	21,4	18,9	13,1	182,09	2
20/07	début véraison	13	23,6	8,1	121,5	1
25/07		3,6	20,7	13,5	202,5	2
28/07		1,4	21	8,4	126	1
01/08		2,6	22,7	10,8	162	2
02/08	mi véraison	40,6	22,6	12,1	181,5	2
08/08		7	23,2	9,8	147	1
19/08	pleine véraison	1	22,6	8,1	121,5	1
08/09		2,6	24,3	8,4	126	1

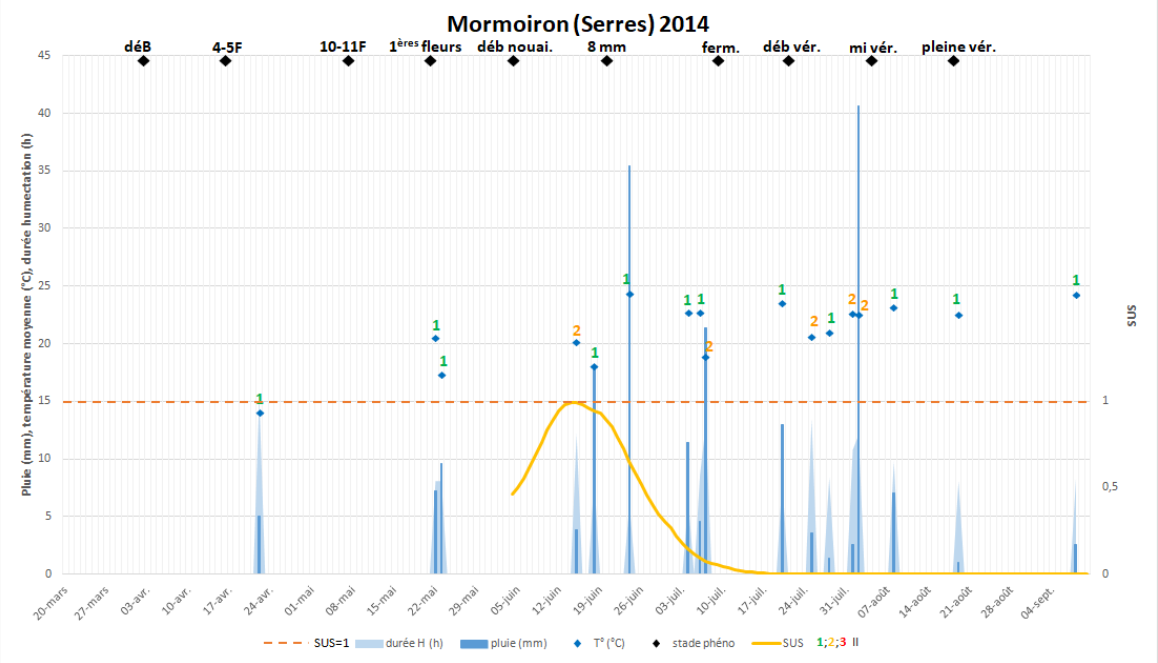


Figure 7: évènements infectieux en 2014 à Serres (déB=débourrement ; F=feuille étalée, durée H= durée d'humectation ; vér.=véraison ; T°=température)

-17 vrais négatifs

3 pluies ont été détectées par le modèle comme contaminatrices, pourtant les sorties de tâches ne sont pas observées : pour les pluies du 25/04, la période d'incubation se rapproche à 3 jours près des tâches observées le 27/05. Par conséquent, l'observateur a pu manquer les tâches, ou alors le modèle fait des erreurs en déterminant l'évènement infectieux, ou encore il calcule les périodes d'incubation avec une marge d'erreur de 3 jours. Le même raisonnement s'applique pour la pluie du 28/06. Par deux fois, des tâches ont été observées mais elles ne correspondent à aucune période d'incubation donnée par le modèle (tâches du 6/07 et 19/07). Elles sont proches à deux jours près des périodes d'incubation des pluies du 27/06 et 29/06 : soit le modèle fait une erreur dans la détermination de l'évènement infectieux, soit il fait une erreur dans le calcul de la période d'incubation, à deux jours près.

1.2. Comparaison de Piolenc et Mormoiron, 2014

Les communes de Piolenc, Serres et Mormoiron sont situées sur la même zone de précocité, leur stade phénologique sont donc équivalents (voir tableau 6). En 2014, la végétation démarre le 26 mars. Le black rot est énormément présent dans les vignes du côté de Mormoiron, les récoltes sont détruites. A Piolenc la même année, l'attaque est faible. Les données météorologiques ainsi que les calculs sont disponibles en annexe 1 (pour Piolenc) et 5 (pour Serres). De la période du 20/03/2014 au 10/09/2014, 55 épisodes pluvieux ont eu lieu pour Piolenc, 42 pour Serres. Le modèle permet de déterminer lesquelles de ces pluies sont des évènements infectieux, et de déterminer leur force, en lien avec la sensibilité des grappes : le détail des évènements infectieux est présenté dans les tableaux 12 (pour Serres) et 7 (pour Piolenc). La sensibilité relative de la grappe est représentée dans les figures 7 (pour Serres) et 3 (pour Piolenc). Le tableau comparatif des deux vignobles est le tableau 11.

Le nombre d'épisodes pluvieux est plus important pour Piolenc que pour Serres durant la période de végétation de la vigne. Cependant, on constate que le nombre d'évènements infectieux est plus grand pour Serres que pour Piolenc : ce vignoble a donc subi de nombreuses pluies non contaminatrices. Bien que Serres soit le vignoble le plus touché, 70.5% des évènements infectieux sont seulement de force 1 (contre 43.8% pour Piolenc). Les attaques à Piolenc sont donc plus sévères qu'à Serres.

Le fait que le vignoble de Serres soit plus touché peut s'expliquer par le moment où les évènements infectieux ont eu lieu. En effet, le 15/06/2014, ce vignoble subit un évènement infectieux de force 2 et qui a lieu lorsque les baies sont à 99% de sensibilité. Au contraire, le premier évènement infectieux qui touche la grappe à Piolenc a lieu le 26/06/2014, il est de force 1 et les grappes ne sont qu'à 37.4% de leur sensibilité relative. Ce qui semble donc jouer son importance dans la sévérité de l'infection est le moment où les grappes vont subir un évènement infectieux, plutôt que le nombre d'évènements infectieux.

1.3. Synthèse

- Evaluation du modèle

La qualité de la prédiction donnée par le modèle est évaluée par 3 indicateurs :

-la précision du modèle = nombre de vrai positif/(nombre de vrai positif + nombre de faux positif)

-la sensibilité du modèle = nombre de vrai positif/(nombre de vrai positif + nombre de faux négatif)

Tableau 13: bilan des sorties données par le modèle de 2014 à 2017

	2014	2015	2016	2017
Nombre de pluie	55	33	40	28
Nombre d'évènements infectieux	9	12	15	11
Nombre de vrai positif	4	7	14	6
Nombre de vrai négatif	46	21	24	17
Nombre de faux positif	4	5	1	3
Nombre de faux négatif	1	0	0	2
Précision du modèle	0,50	0,58	0,93	0,67
Sensibilité du modèle	0,8	1	1	0,75
Exactitude du modèle	0,909	0,848	0,974	0,821

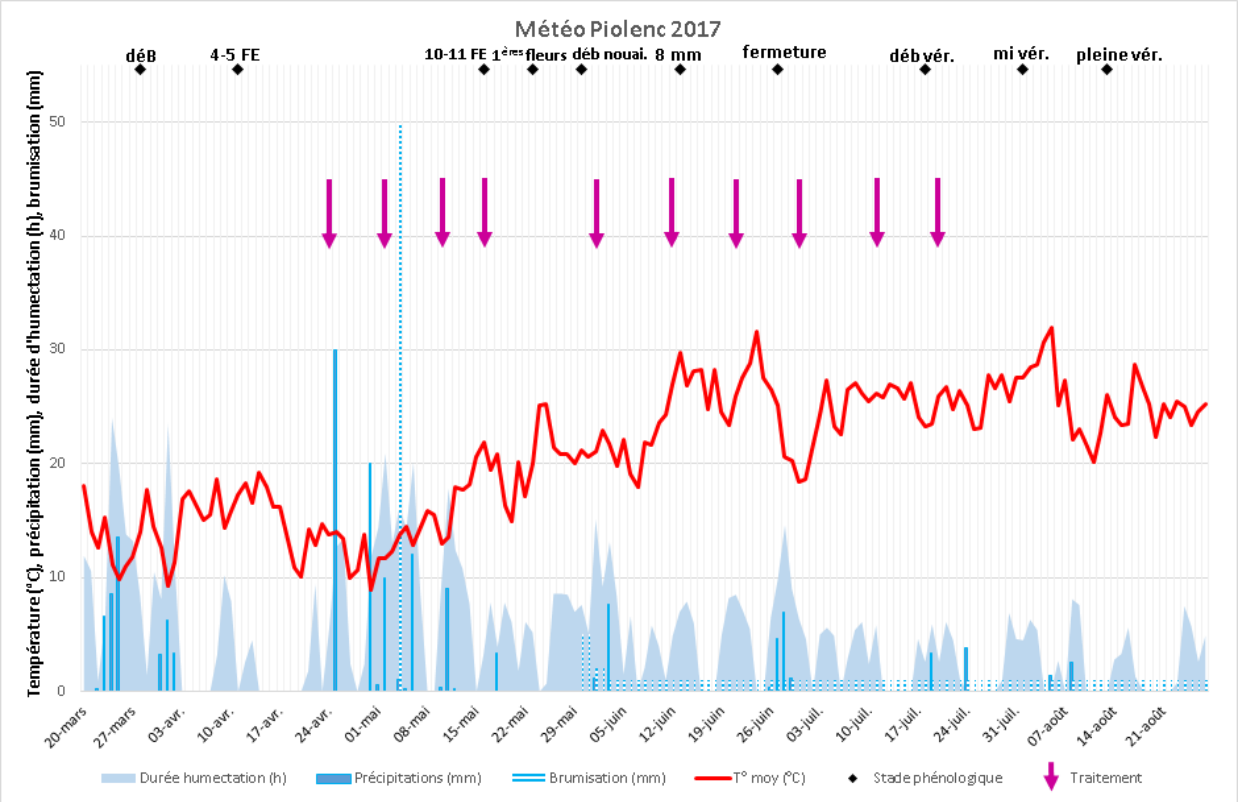


Figure 8 : détail de la météorologie à Piolenc en 2017, de la brumisation et des traitements phytosanitaires (déB=débourrement ; FE=feuille étalée ; vér.=véraison ; T°=température)

-l'exactitude du modèle = (nombre de vrai positif + nombre de vrai négatif)/(nombre de vrai positif + nombre de vrai négatif + nombre de faux positif + nombre de faux négatif)

La synthèse des résultats est disponible dans le tableau 13. La précision du modèle donne le pourcentage de vrai positif par rapport au pourcentage de faux positif, donc indique le nombre de fois où le modèle valide avec exactitude une pluie comme évènement infectieux. La précision du modèle est la plus basse en 2014 (50%), en effet 4 pluies sont détectées comme contaminatrices mais les tâches ne sont pas observées. Le modèle est le plus précis en 2016, où la précision est de 93%. Ce défaut peut être dû au fait que le modèle fait des erreurs dans la détermination des évènements infectieux ou dans le calcul de la période d'incubation. Il est d'ailleurs souvent remarqué que les tâches observées réellement sont, à trois jours près, dans les périodes d'incubation des évènements faux positifs. Pour les 4 années d'études, la moyenne de la précision du modèle est de 67%.

La sensibilité du modèle permet d'évaluer le modèle en termes de praticité. Elle est en effet inversement proportionnelle aux faux négatifs donnés par le modèle, c'est-à-dire aux pluies qui n'ont pas été jugées contaminatrices par le modèle mais qui ont entrainé une infection. Ces faux négatifs sont dangereux puisque le viticulteur n'a pas su donc n'a pas pu protéger la vigne contre l'attaque. C'est en 2017 que cette sensibilité est la plus basse (75%), Il y a en effet 2 faux négatifs : ils peuvent être dus à une erreur du modèle dans la détermination des évènements infectieux, ou dans la détermination de la période d'incubation. Pour les 4 années d'étude, la sensibilité moyenne du modèle est d'environ 88.8%.

L'exactitude du modèle permet d'évaluer le taux de prédiction juste (que ce soit les vrais positifs ou les vrais négatifs) pour l'ensemble des pluies. Elle est la plus basse en 2017 (82.1%) et la plus haute en 2016 (97.4%). Pour l'ensemble des 4 années d'études, l'exactitude de modèle est de 88.8%.

- Correspondance entre le modèle est la réalité

La précision, la sensibilité et l'exactitude du modèle étant de 67%, 88.8% et 88.8%, les sorties permettent donc de prévoir quelles pluies vont être contaminatrices et quand les tâches seront visibles, en lien avec la sensibilité de la grappe. Les importantes sorties de black rot à Serres en 2014 et Piolenc en 2015 s'expliquent bien par le modèle.

2. Gestion raisonnée du black rot en agriculture biologique et conventionnelle

2.1. Contamination et dynamique du black rot en 2017

La météorologie a été suivie consciencieusement pour déterminer le moment idéal pour réussir la contamination de la parcelle par le black rot, afin de pouvoir tester les différentes stratégies de traitement. Grâce à la station de brumisation, il est possible de contrôler à la parcelle la quantité de pluie apportée ainsi que la durée d'humectation. Le paramètre non contrôlable est la température. Au vu des prévisions météorologiques, il n'a pas été possible de tenter une contamination dès le stade 1-2 feuilles étalées, les températures étant trop froides pour qu'une infection ait lieu. Le détail de la météo est disponible dans la figure 8 ci-contre. Le retour de la hausse des températures a donc été attendu pour lancer la contamination. Les pompons ont été posés le 3/05/2017, la brumisation a fonctionné 12h, dans la nuit du 3/05 au 4/05. 50 mm de pluie est tombé, la température moyenne était de

Tableau 14 : comptage témoin sur feuille le 29/05/17

témoin	nombre de nouvelles feuilles touchées	nombre de ceps	nombre de feuilles/cep
B1	22	5	4,4
B2	27	5	5,4
B3	10	4	2,5
B4	1	3	0,333333333

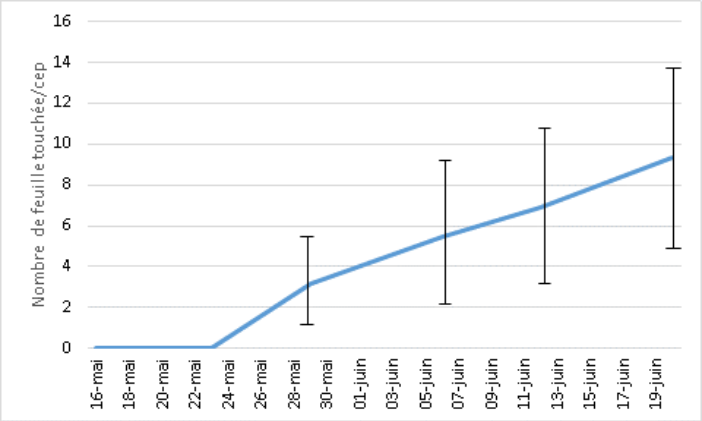


Figure 9: évolution du nombre de feuilles touchées sur le témoin en 2017

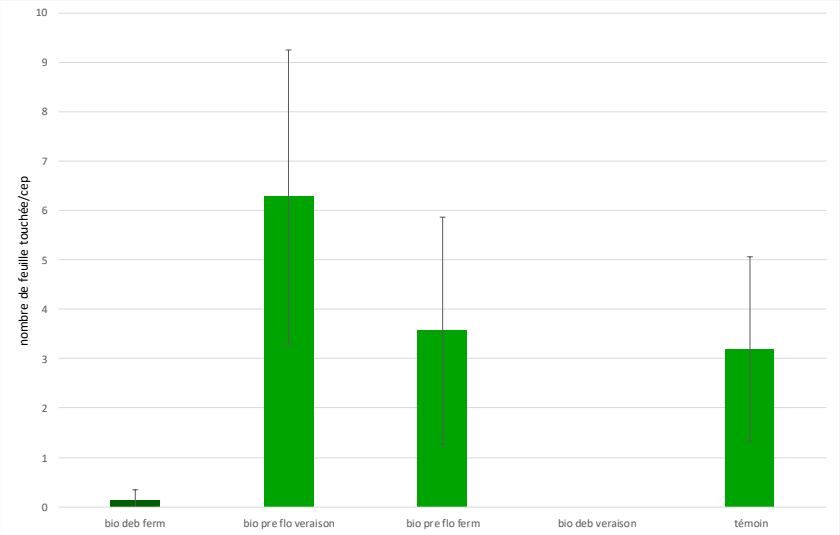


Figure 10 : comptage du 29 mai 2017 sur les modalités biologiques (deb=débourrement ; pre flo=pré floraison ; ferm=fermeture)

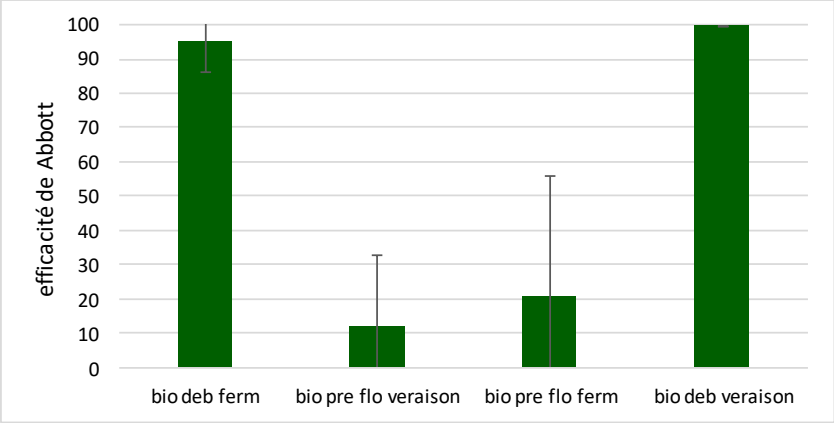


Figure 11: efficacité de Abbott au 29 mai 2017(deb=débourrement ; pre flo=pré floraison ; ferm=fermeture)

13°C, la durée d'humectation était de 12h. On obtient donc un indice infectieux de 96, l'infection générée est donc légère.

A l'aide des températures moyennes journalières, il a été possible de calculer la période d'incubation pour cet évènement pluvieux, afin d'évaluer la sortie des tâches sur le témoin : elle commence le 20 mai et se termine le 29 mai. Les tâches sur feuilles ont été visibles le 25/05/2017, 254 degrés jour environ ce sont donc écoulés avant leur apparition. Le premier comptage des tâches sur feuille a été réalisé le 29/05/2017. Les résultats sont disponibles dans le tableau 14 ci-contre.

B1, B2, B3 et B4 représentent les 4 parcelles élémentaires de la modalité témoin. Le comptage du témoin permet de vérifier le bon fonctionnement des pompons et donc la présence d'une infection par le black rot. On constate que le taux de contamination des témoins n'atteint pas 100%. Dans la parcelle B4, seul 1 pied sur 3 montre des tâches. Le taux de réussite de la contamination est de 88.2% sur la modalité témoin. Il est possible de faire l'hypothèse que pour les autres modalités, la contamination ne sera pas également de 100%, ce qui faussera en partie les résultats (il n'est pas possible de différencier une absence de symptômes due à l'utilisation d'un produit ou à un défaut de contamination).

L'évolution du nombre de feuille touchée par cep sur le témoin est représentée en figure 9. L'infection du black rot est tardive, elle a lieu au stade 7-8 feuilles étalées. La quantité de feuille touchée avec le temps augmente mais n'est pas explosive. On multiplie par 3 le nombre de feuille touchée par cep entre le 29 mai et le 20 juin.

Pour favoriser l'expansion de la maladie, la brumisation a été relancée à partir du 29 mai (au début de la nouaison et donc de la sensibilité de la baie) à raison de 5 puis 1 mm de pluie apportée la nuit jusqu'au 30 août. Le but est d'augmenter la durée d'humectation la nuit et de déclencher la libération des spores. Il est impossible de brumiser plus de 10 mm d'eau par semaine, en effet les produits phytosanitaires appliqués dans le cadre de l'essai seraient entièrement et trop rapidement lessivés.

2.2. Analyse des résultats en agriculture biologique en 2017

Le premier comptage sur feuille est réalisé le 29 mai sur l'ensemble des modalités biologiques. Le résultat du test statistique de Kruskal-Wallis nous montre que les différentes modalités ne font pas partie d'une même population (comme p-value<alpha, l'hypothèse HO est rejetée), l'expérimentation a donc un sens (voit tableau 15 ci-après). On constate que le nombre de feuille touchée/cep est très faible pour les modalités traitées dès le débourrement (voir figure 10). Les modalités traitées plus tardivement, ainsi que le témoin, montrent des symptômes plus importants, malgré de grands écart-types. Le calcul de l'efficacité de Abbott (voir figure 11) permet de voir que l'efficacité des traitements est la plus importante pour les modalités traitées dès le débourrement (M2 et M5). Le résultat du test de Dunn (voir tableau 16 ci-après) montre que les modalités M2 et M5 sont significativement différentes de la modalité M3 (traitement de pré-floraison à début véraison). On n'observe pas de différences significatives entre le témoin et les modalités traitées tardivement (M3 et M4). La stratégie de traitement est donc plus efficace si les traitements débutent au stade débourrement.

Le comptage du 20 juin permet de constater un développement lent du champignon sur la modalité témoin (voir tableau 17 ci-après). Pour les autres modalités, le nombre de feuille touchée/cep n'augmente pas mais régresse plutôt. Il n'y a donc pas eu de nouvelles sorties sur feuille sur les modalités traitées entre le 29 mai et le 20 juin. Les anciennes tâches de black rot se nécrosent, se sèchent et finissent pas créer des trous dans les feuilles. Ces symptômes ne sont donc plus comptabilisés, le nombre de feuille touchée semble donc diminuer. Le test de Kruskal-Wallis (voir annexe 6) confirme que les modalités ne font pas partie d'une même population. Avec le calcul des efficacités de Abbott, on constate que les

Tableau 15 : résultat du test de Kruskal-Wallis pour les modalités biologiques le 29 mai 2017

K (Valeur observée)	14,993
K (Valeur critique)	9,488
DDL	4
p-value (bilatérale)	0,005
alpha	0,05

Tableau 16 : résultat du test de Dunn le 29 mai 2017 (deb=débourrement ; ferm=fermeture ; flo=floraison)

Echantillon	Effectif	Somme des rangs	Moyenne des rangs	Groupes	
bio deb veraison	4	16,000	4,000	A	
bio deb ferm	4	20,500	5,125	A	
témoin	4	52,000	13,000	A	B
bio pre flo ferm	4	55,000	13,750	A	B
bio pre flo veraison	4	66,500	16,625		B

Tableau 17: comptage du 20 juin 2017 sur les modalités biologiques (deb=débourrement ; ferm=fermeture ; flo=floraison)

	nombre feuilles/cep	écart type
bio débourrement ferm	0,225	0,22776084
bio pre flo veraison	5,56666667	2,58134332
bio pre flo ferm	2,5625	0,46820802
bio débourrement veraison	0	0
témoin	9,1375	4,46953227

Tableau 18 : résultat du comptage sur grappe des modalités biologiques le 23 juin 2017 (deb=débourrement ; ferm=fermeture ; flo=floraison)

	fréquence	**intensité**	**écart type fréquence**	**écart type intensité**
M2 BIO deb ferm	1	0,05	1,732050808	0,08660254
M3 BIO pre flo veraison	9	0,35	5,196152423	0,21424285
M4 BIO pre flo ferm	9	0,21	5,916079783	0,17748239
M5 BIO deb veraison	1	0,01	1,732050808	0,01732051
témoin	42	3,025	10,77032961	1,8833149

Tableau 19 : comptage des modalités biologiques sur grappe le 6 juillet 2017 (deb=débourrement ; ferm=fermeture ; flo=floraison)

	fréquence	**intensité**	**écart type fréquence**	**écart type intensité**
M2 BIO deb ferm	32	1,1	16,4924225	0,48207883
M3 BIO pre flo veraison	42	1,32	11,48912529	0,5083306
M4 BIO pre flo ferm	27	0,79	14,52583905	0,41701319
M5 BIO deb veraison	24	0,775	17,20465053	0,66533826
témoin	64	2,42	13,26649916	0,81657823

Tableau 20: comptage des modalités biologiques sur grappe le 19 juillet 2017 (deb=débourrement ; ferm=fermeture ; flo=floraison)

	fréquence	**intensité**	**écart type fréquence**	**écart type intensité**
M2 BIO deb ferm	56	4,24	11,66190379	2,39783235
M3 BIO pre flo veraison	68	3,52	21,3541565	2,30008695
M4 BIO pre flo ferm	64	1,97	21,72556098	0,62185207
M5 BIO deb veraison	39	0,86	5,196152423	0,23748684
témoin	73	4,75	5,916079783	2,35819846

efficacités les plus grandes sont obtenues pour les modalités M2 et M5, bien que les écarts types se recoupent avec M4. La modalité M5 (de débourrement à véraison) reste significativement différente du témoin et de la modalité M3 (pré floraison à véraison). Il n'y a pas de différences significatives entre les modalités traitées depuis la pré floraison (M3 et M4) et le témoin.

Le comptage des symptômes sur grappe débute le 23 juin. Les résultats sont disponibles en tableau 18. Les dégâts les plus importants en termes de fréquence sur grappe ont été constatés sur les modalités traitées tardivement (elles sont 9 fois plus importantes que les modalités traitées précocement, dès débourrement). De la même façon, les intensités les plus fortes correspondent aux modalités M3 et M4, traitées tardivement. Les intensités sur grappe sont pour le moment relativement faibles. L'efficacité de Abbott (annexe 15) confirme cette tendance. Les efficacités les plus élevées sont obtenues pour les modalités M2 et M5, bien que les écart-types se recoupent. Le traitement statistique de ces données est disponible en annexe 7. Que ce soit en termes d'intensité ou de fréquence, il n'y a pas de différence significative entre le témoin et les modalités biologiques. Les modalités sont faiblement touchées par le black rot, cependant les traitements au soufre et cuivre n'empêchent pas un léger développement de la maladie.

Le comptage réalisé le 6 juillet montre une progression importante de la maladie sur le témoin et surtout sur les autres modalités (voir tableau 19). On constate que les vignes les plus touchées en fréquence et intensité sont M2 et M3. Le calcul de l'efficacité de Abbott (annexe 15) montre que l'efficacité est la plus grande pour les vignes traitées de débourrement à véraison (M5). L'efficacité la plus faible correspond à la modalité M3, où les vignes sont traitées seulement à partir de la pré floraison. Les traitements statistiques sont disponibles en annexe 8. En termes de fréquence et d'intensité, il n'y a pas de différences significatives entre les modalités. Le fait de traiter tôt (dès débourrement) n'améliore pas significativement la qualité sanitaire du vignoble.

Au 19 juillet, l'infection par le black rot a légèrement augmenté (voir tableau 20). Les dégâts les plus importants en termes de fréquence sont visibles sur les modalités M3 et M4, le plus faible est M5. En termes d'intensité, les dégâts les plus forts sont observés sur les modalités M2 et M3, les plus faibles sur les modalités M4 et M5. Le calcul de l'efficacité de Abbott (annexe 15) montre que les efficacités ont diminué avec le temps. L'efficacité la plus grande est obtenue pour la modalité M5 (débourrement à véraison). Les résultats statistiques sont disponibles en annexe 9. Il n'y a pas de différence significative entre les différentes modalités.

Le dernier comptage est réalisé le 2 août. Les fréquences et intensités sont présentées dans le tableau 21 ci-après. On constate que les modalités se ressemblent et sont touchées de la même façon (autour de 44% en fréquence et autour de 2% en intensité). L'efficacité de Abbott (annexe 15) confirme cette tendance : l'ensemble des modalités montrent des efficacités inférieures à 60%. L'analyse statistique (annexe 10) montre qu'il n'y a pas de différence significative entre les modalités biologiques et le témoin : le cuivre et le souffre ne permettent pas un contrôle complet de la maladie. La meilleure gestion du black rot semble être obtenue avec la modalité M5 : lorsque les vignes sont traitées tôt (dès débourrement).

2.3. Analyse des résultats en agriculture conventionnelle en 2017

Les premiers comptages des modalités conventionnelles sont réalisés le 20 juin. Aucune tâche sur feuille n'est observée. Le comptage suivant est réalisé le 23 juin, sur grappe

Tableau 21 : comptage sur grappe des modalités biologiques au 2 août 2017 (deb=débourrement ; ferm=fermeture ; flo=floraison)

	fréquence	intensité	écart type fréquence	écart type intensité
M2 BIO deb ferm	45	3,15	6,557438524	3,14456674
M3 BIO pre flo veraison	40,5	1,8	19,81792118	0,79145436
M4 BIO pre flo ferm	48	1,33	8,94427191	0,24718414
M5 BIO deb veraison	44	1,81	12	0,67253253
témoin	70,25	3,98	10,63896142	1,79187053

Tableau 22: fréquences et intensités des grappes des modalités conventionnelles le 23 juin 2017 (deb=débourrement ; ferm=fermeture ; flo=floraison)

	fréquence	intensité	écart type fréquence	écart type intensité
M6 pre flo 2 traitements	0	0	0	0
M7 déb /véraison	0	0	0	0
M8 déb/fermeture	1	0,01	1,732050808	0,01732051
témoin	42	3,025	10,77032961	1,8833149

Tableau 23: fréquences et intensités d'attaque des grappes des modalités conventionnelles au 6 juillet 2017 (deb=débourrement ; ferm=fermeture ; flo=floraison)

	fréquence	intensité	écart type fréquence	écart type intensité
M6 pre flo 2 traitements	16	0,09	19,59591794	0,13379088
M7 déb /véraison	16	0,33	18,11077028	0,46335731
M8 déb/fermeture	5	0,13	6,557438524	0,13674794
témoin	64	2,42	13,26649916	0,81657823

Tableau 24 : fréquences et intensités des modalités conventionnelles au 19 juillet 2017 (deb=débourrement ; ferm=fermeture ; flo=floraison)

	fréquence	intensité	écart type fréquence	écart type intensité
M6 pre flo 2 traitements	35	0,72	14,52583905	0,41279535
M7 déb /véraison	46	1,28	10	0,25612497
M8 déb/fermeture	39	1,27	16,09347694	0,95932268
témoin	73	4,75	5,916079783	2,35819846

Tableau 25: fréquence et intensité des modalités conventionnelles le 2 août 2017 (deb=débourrement ; ferm=fermeture ; flo=floraison)

	fréquence	intensité	écart type fréquence	écart type intensité
M6 pre flo 2 traitements	32,5	0,92	13,88344338	0,43543082
M7 déb /véraison	14	0,48	11,83215957	0,5396295
M8 déb/fermeture	32	0,76	9,38083152	0,1979899
témoin	70,25	3,98	10,63896142	1,79187053

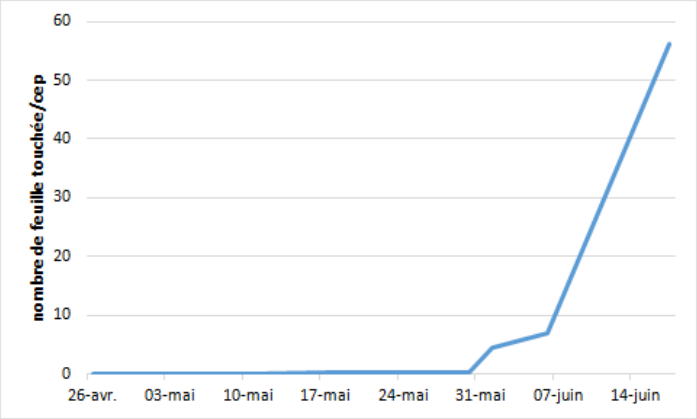


Figure 12: nombre de feuille touchée/cep sur le témoin en 2016

(tableau 22). Seule la modalité M8 est légèrement touchée, à une intensité faible. L'efficacité de Abbott pour la modalité M8 est de 97.22% en fréquence et de 99.09% en intensité. Les tests statistiques sont disponibles en annexe 7. En termes de fréquence et d'intensité, les modalités M6 et M7 sont significativement différentes du témoin.

Au 6 juillet, le black rot se développe sur l'ensemble des modalités (voir tableau 23). C'est la modalité M8 qui est la moins touchées en fréquence, et la modalité M6 qui est la moins touchée en intensité. L'efficacité de Abbott est disponible en annexe 16. En ce qui concerne la fréquence, les efficacités sont supérieures à 74.74%, avec un maximum atteint par la modalité M8. Dans le cas de l'intensité, les efficacités sont supérieures à 85.20%, avec un maximum atteint par la modalité M6. Les résultats des tests statistiques sont disponibles en annexe 8. En termes de fréquence, seule la modalité M8 est significativement différente du témoin. En termes d'intensité, les modalités M6 et M8 sont significativement différentes du témoin.

Au 19 juillet, le black rot a continué à progresser. La modalité la plus touchée en fréquence et intensité est M7 (voir tableau 24). La moins touchée des modalités est M6. Les efficacités de Abbott sont disponibles en annexe 16. Même si M6 paraît plus efficace, les écart types de recoupent avec les autres modalités. Que ce soit en termes de fréquence ou d'intensité, les modalités ne sont pas significativement différentes entre elles ou au témoin (annexe 9). A travers ces résultats, on voit qu'il n'est pas nécessaire d'ajouter des traitements supplémentaires après fermeture puisqu'il n'y a pas un contrôle supplémentaire de la maladie.

Les résultats du comptage du 2 août sont présentés dans le tableau 25. La modalité M7 semble être la moins touchée en fréquence et intensité. Les baies momifiées sèchent et finissent par tomber au sol, ce qui peut modifier les résultats puisqu'elles ne seront pas comptabilisées. Les efficacités de Abbott sont données dans l'annexe 16. M7 semble être la modalité avec les efficacités les plus grandes. Les résultats des tests statistiques sont disponibles en annexe 10. En termes de fréquence, la modalité M7 est significativement différente de la modalité témoin. En termes d'intensité, il n'y a pas de différences significatives entre les modalités.

2.4. Synthèse de l'année 2016

L'année 2016 est marquée par une plus forte pression du black rot sur la vigne expérimentale. Au 14 juin 2016 le témoin atteint plus de 55 feuilles touchées/cep (voir figure 12). Le 19 juin 2017, la modalité témoin porte moins de 10 feuilles touchées/cep. Les comptages réalisés sur feuille le 1er et le 17 juin sont représentés dans les figures 13 et 14 ci-après. Au 1er juin, les modalités biologiques les plus touchées sont les modalités M3 et M4 (traitées seulement à la pré floraison). La modalité M5 (traitée dès débourrement) est très peu touchée par le black rot, au même titre que les modalités conventionnelles M7 et M8, où le nombre de symptôme ne dépasse pas 1 feuille touchée/cep. La situation a bien évolué au 17 juin sur feuille : les modalités biologiques montrent des dégâts importants (autour de 40 feuilles touchées/cep). Etant donné que les écart types se recoupent, il n'est plus possible de différencier les modalités biologiques. La modalité biologique M2 est cependant différente du témoin : il semble donc plus efficace de traiter au cuivre et au soufre dès débourrement. Les modalités conventionnelles M7 et M8 sont moitié moins touchées que le témoin et légèrement inférieures aux modalités biologiques, même si les écart types se recoupent. Vis-à-vis du témoin, la meilleure gestion de la maladie est obtenue en utilisant des produits de synthèse.

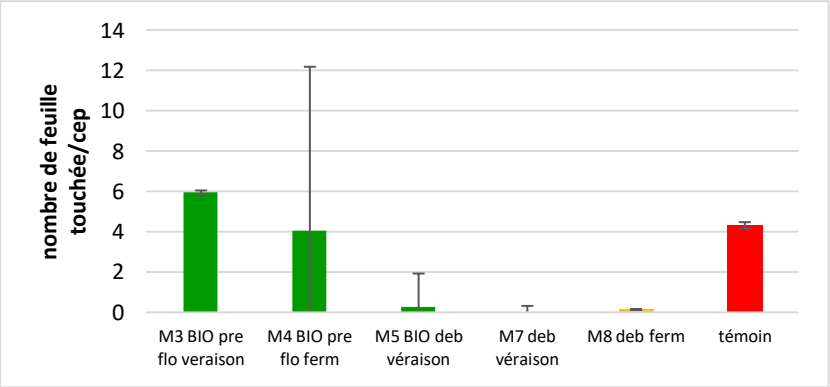


Figure 13 : nombre de feuille touchée/cep au 1er juin 2016 (deb=débourrement ; ferm=fermeture ; flo=floraison)

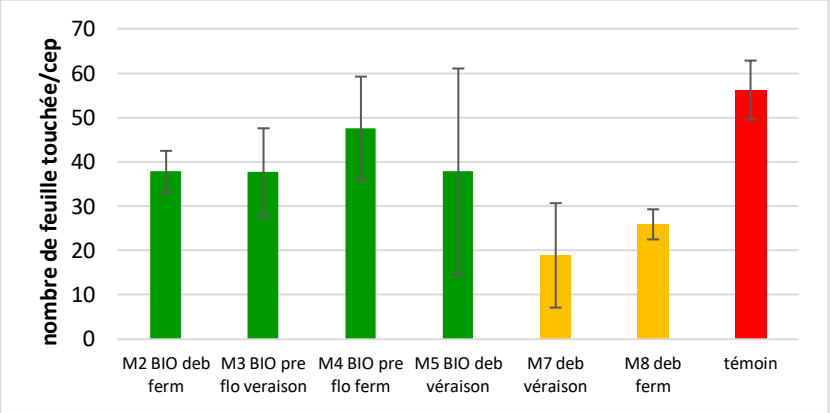


Figure 14 : nombre de feuille touchée/cep le 17 juin 2016 (deb=débourrement ; ferm=fermeture ; flo=floraison)

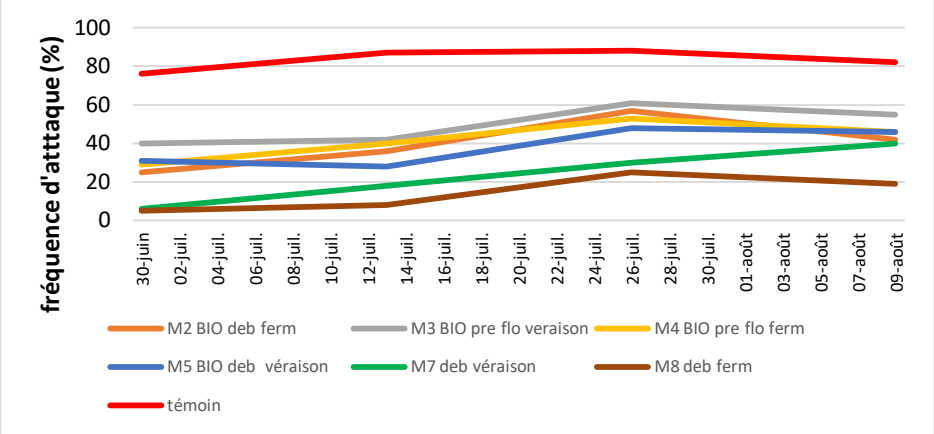


Figure 15: fréquence d'attaque sur grappe en 2016 (deb=débourrement ; ferm=fermeture ; flo=floraison)

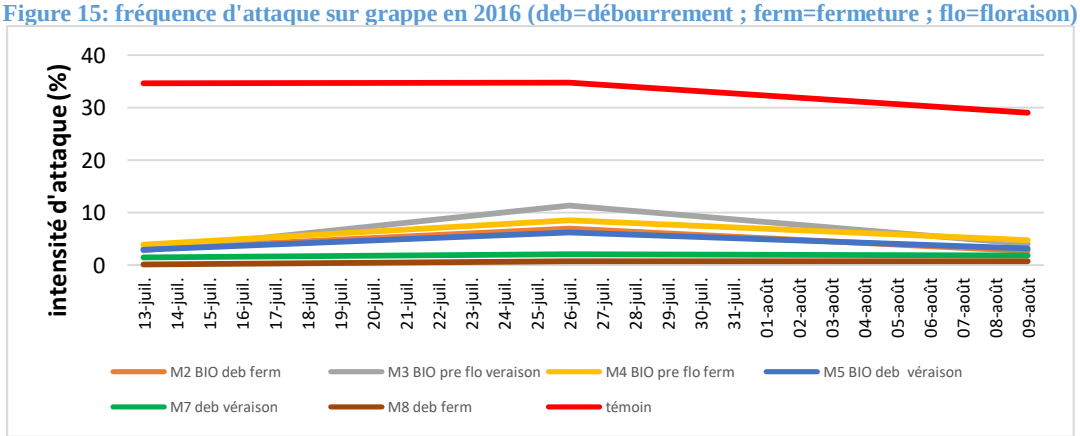


Figure 16: intensité d'attaque en 2016 (deb=débourrement ; ferm=fermeture ; flo=floraison)

Les résultats des fréquences et intensités sur grappe sont présentées en figure 15 et 17. Les efficacités de Abbott sur les fréquences et intensités sont disponibles en figure 16 et 18 ci-après. En ce qui concerne les fréquences d'attaque, les modalités biologiques sont touchées entre 28 et 62%, le témoin entre 75 et 90%. En moyenne, la modalité la moins touchée est M5, la plus touchée est M3 : on montre ici l'intérêt en agriculture biologique, de traiter dès débourrement plutôt qu'en pré floraison. Pour les modalités conventionnelles, les fréquences d'attaque se situent entre 15 et 40%. La modalité la moins touchée en fréquence est M8, on montre ici le peu d'intérêt de continuer les traitements entre fermeture de la grappe et véraison. L'efficacité de Abbott sur les fréquences confirme ces résultats : pour les modalités biologiques, les stratégies de traitements utilisées sur M2 et M5 semblent être les plus efficaces. Pour les modalités conventionnelles, la stratégie de traitement pour M8 est la plus efficace.

Les différences remarquées sur les fréquences sont moins nettes si l'on étudie les intensités d'attaque, les courbes sont très proches. On constate que les intensités d'attaque sont très faibles : entre 2 et 12% pour les modalités biologiques, moins de 3% pour les modalités conventionnelles. En agriculture biologique, M5 semble toujours être la modalité la moins touchée, et M3 semble être la plus touchée. En agriculture conventionnelle, M7 et M8 se superposent presque, bien que M8 soit légèrement moins touchée que M7. Le calcul de l'efficacité de Abbott confirme ces résultats.

Les résultats des tests statistiques sont disponibles en annexe 11 à 14. Concernant les modalités biologiques, pour chaque comptage, les tests ne prouvent pas que les modalités sont significativement différentes entre elles et au témoin. En 2016, il est encore constaté que les traitements de soufre et de cuivre permettent de traiter légèrement le black rot, mais pas de façon significativement efficace. Concernant les modalités conventionnelles, les modalités M7 et M8 sont significativement différentes du témoin en moyenne, que ce soit en termes de fréquence ou d'intensité. On montre ici la plus grande efficacité des produits de synthèse vis à vis des produits de l'agriculture biologique. Le 9 août, M8 est significativement différent du témoin, mais ce n'est pas le cas de la modalité M7. Traiter pendant la période de la fermeture de la grappe à véraison ne semble pas utile en agriculture conventionnelle.

IV. Discussion

1. Conception et évaluation du modèle

Le modèle permet de déterminer le taux de spores mûres au cours du temps. Bien que des évènements infectieux aient eu lieu tôt dans la saison, ils ont généralement eu pour conséquence une sortie de tâche. En cas de non sortie de tâche, c'est dû au fait que la végétation n'avait pas encore démarré, et non au fait que les spores ne sont pas mûres. Les équations développées par Onesti (2015) semblent donc coïncider avec la réalité.

En moyenne, l'exactitude du modèle est de 88.8% pour les 4 années d'études. Les erreurs peuvent venir lors de la mauvaise évaluation d'une pluie comme un évènement infectieux ou de la période d'incubation. Il n'est apparemment pas nécessaire de prendre 0.3 mm de pluie pour les ascospores (comme le conseillait Ferrin et Ramsdell, 1977) et 0.5 mm de pluie pour les conidies (Maurin *et al.*, 1990) pour déclencher la libération des spores. En effet, si ces dernières conditions devaient être respectées, de nombreuses pluies auraient été évaluées comme contaminatrice sans sortie de tâche : l'exactitude du modèle aurait été plus faible. Une première erreur dans le modèle apparaît lors de la vérification de la bonne durée

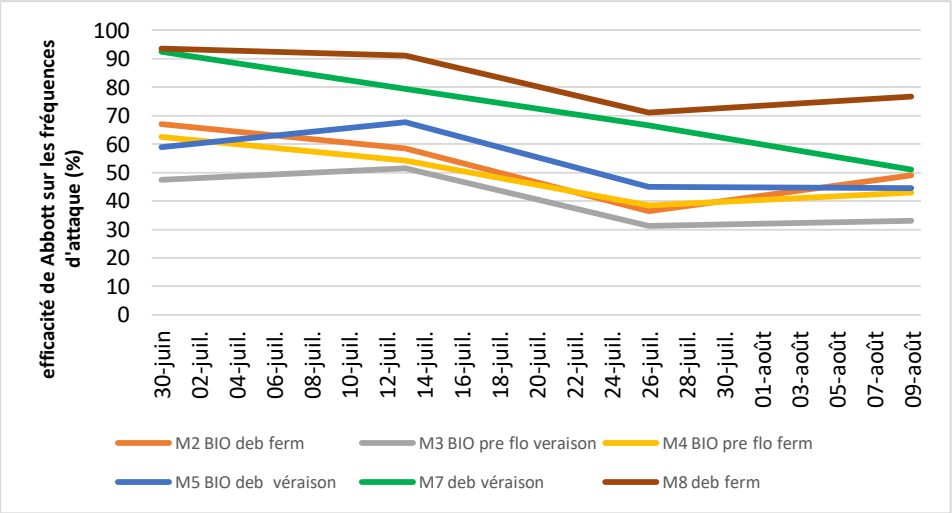


Figure 17: efficacité de Abbott sur les fréquences en 2016 (deb=débourrement ; ferm=fermeture ; flo=floraison)

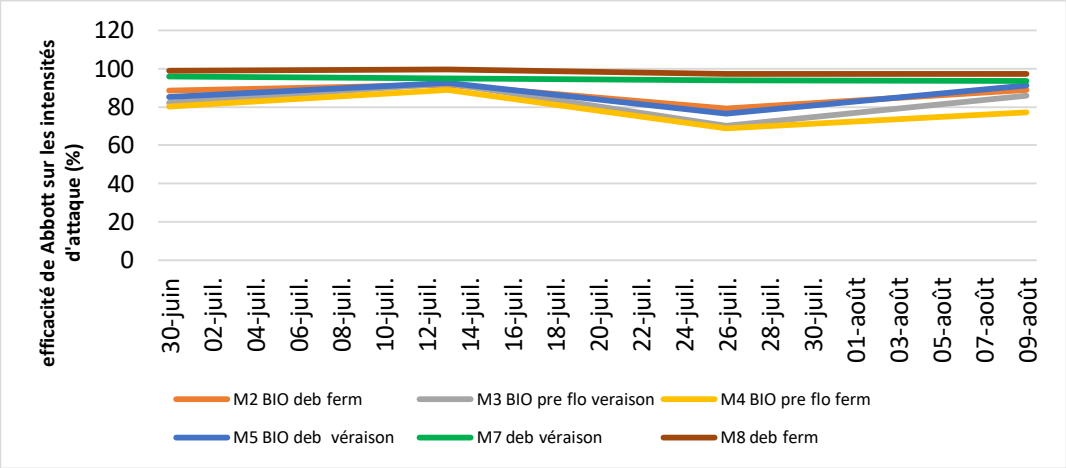


Figure 18: efficacité de Abbott sur les intensités en 2016 (deb=débourrement ; ferm=fermeture ; flo=floraison)

d'humectation définie par Spotts (1977) à la suite d'un évènement infectieux. Les données disponibles sont en effet des données journalières et non horaires : 10h d'humectation sur une journée peuvent très bien être réparties en deux fois, par conséquence une pluie serait caractérisée comme infectieuse alors qu'elle n'en est pas une. A l'inverse, deux périodes humides peuvent avoir lieu sur deux jours consécutifs : prises séparément, elles n'entrainent pas une infection. Si dans la réalité, ces deux périodes d'humectation n'en forment qu'une (soirée du jour 1 et matin du jour 2), les conditions peuvent être réunies pour créer une infection.

Une autre erreur apparaît lors du calcul de l'indice infectieux défini par Molitor (2009). Ce calcul prend en compte le nombre d'heures humides et la température pendant cette période humide. Une approximation est faite en utilisant la température moyenne journalière multipliée par le nombre d'heures humides, plutôt qu'en sommant les températures moyennes horaires pendant la période humide. Cet indice infectieux calculé ainsi ne peut pas être exact. Il peut donner tout de même une information sur la pluie. Il a l'air d'être assez représentatif puisqu'en 2015 par exemple, les pluies qui ont lieu pendant la période de sensibilité de la vigne sont de force 2 et3, elles coïncident avec la forte pression de black rot qui a suivi.

Le calcul de la période d'incubation se fait à l'aide des données journalières (Molitor *et al*., 2012), ce qui est le cas ici. Des erreurs dans les résultats sont visibles : comme expliqué précédemment, les tâches observées appartiennent généralement à 2 jours près à une période d'incubation déterminée par le modèle. Il est possible que les observations effectuées sur le terrain n'aient pas été faites assez régulièrement, dans ce cas les sorties de tâches observées sont fausses à quelques jours près. Une autre explication possible est le fait que le modèle réalise des erreurs dans le calcul de la période d'incubation, les températures seuils doivent peut-être être réévaluées. C'est cette explication que met également en avant Molitor *et al.* (2015) lorsqu'il évalue son modèle, pour lui il n'y a pas d'erreur dans la détermination de la pluie comme un évènement infectieux.

Selon Ullrich *et al*. (2008), seules les jeunes feuilles (de rang 1 à 3 depuis l'apex) peuvent être touchées par le black rot. Dans le cadre de cet essai, les tâches de black rot étaient observées sur des feuilles de rangs 1 à 6, sachant que les feuilles de rang 5 et 6 étaient des feuilles de rang 2 et 3 pendant l'infection. Le calcul de la sensibilité relative de la grappe SUS permet de voir une bonne coïncidence entre le stade phénologique et la sensibilité de la grappe. Pour chaque évènement infectieux qui a eu lieu une semaine après la fermeture, aucun symptôme n'a été observé. Ces résultats sont en accord avec ceux de Jermini et Gessler (1996) et Gadoury *et al*. (1997).

2. Gestion du black rot et préconisations en agriculture conventionnelle et biologique

Comme constaté par Travis (227) et Harms *et al.* (2005), l'efficacité du soufre et du cuivre est bien inférieure à celle des produits de synthèse utilisés en agriculture conventionnelle. Sur les deux années d'essais, le contrôle de la maladie n'est pas total, quelle que soit la stratégie employée. Le Roux, ainsi que Hed et Travis, conseillent de commencer les traitements dès le débourrement, surtout si le millésime est humide au printemps. Dans le cadre des essais de 2016 et 2017, les différentes modalités biologiques ne sont pas significativement différentes entre elles ou au témoin. Seules les modalités qui sont traitées dès le débourrement semblent légèrement moins touchées que celles traitées avant floraison. Pour gérer le black rot en agriculture biologique, il semble primordial de prévoir de traiter dès qu'une pluie infectieuse a lieu entre débourrement et début floraison. Le cuivre et le soufre

doivent être appliqués dès leur lessivage. Il faut traiter à pleine dose dès la période de plus forte sensibilité de la vigne et lorsque la hauteur de feuillage est maximale : de la pré floraison à la fermeture. Il ne semble pas pertinent de traiter après la fermeture de la grappe, le contrôle de la maladie ne semble pas s'améliorer avec ces traitements supplémentaires.

L'efficacité des produits de synthèse est supérieure au soufre et au cuivre. Les modalités traitées de débourrement à fermeture sont significativement différentes au témoin. En agriculture conventionnelle, ile ne semble pas pertinent de traiter dès débourrement. Le contrôle de la maladie n'est en effet pas supérieur, comme le montre Wilcox *et al*. (2000) et Hoffman *et al.* (2014). De même, il ne semble pas pertinent de traiter après fermeture, la grappe n'est plus sensible au champignon. Ces résultats sont en accord avec Gadoury *et al.* (1997). L'utilisation de deux produits systémiques autour de la floraison n'est pas significativement plus efficace mais semble permettre une bonne gestion de la maladie sur un millésime peu humide.

V. Conclusions et perspectives

Le modèle mis en place grâce aux équations déterminées par Onesti (2015), Molitor (2009) et Spotts (1977) semble fonctionner correctement pour le vignoble vauclusien. Il commet tout de même des erreurs qui sont soit une mauvaise interprétation d'une pluie comme un évènement infectieux, soit un mauvais calcul de la période d'incubation. En ce qui concerne la période d'incubation, il semble pertinent de prévoir une marge d'erreur de 2 jours pour confirmer ou non la date de sortie des tâches. L'indice infectieux est indicatif mais non exact, il est donc à manier avec précaution. En ce qui concerne la détermination de la sensibilité de la grappe SUS, elle est précise et permet d'indiquer aux viticulteurs la fin de la période de traitement, afin d'éviter des applications et des coûts supplémentaires. Pour remédier à ces imprécisions, il semble nécessaire d'avoir accès aux données horaires et journalières des différentes stations météorologiques, afin de pouvoir prévenir les viticulteurs pour qu'ils effectuent correctement leur traitement. Il serait intéressant de mettre en place une expérimentation sur une vigne à fort historique et inoculum black rot, afin de suivre tous les jours et de façon précise les sorties de tâches sur feuille et grappe, pour confirmer les périodes d'incubation sur grappe et la détermination des évènements infectieux.

L'expérimentation montre que l'efficacité du soufre et du cuivre est inférieure à celle des produits homologués en agriculture conventionnelle contre le black rot. Le nombre de mesure par modalité testée étant limité, il faudrait mettre en place une plus grande expérimentation pour tenter de tirer plus de conclusions. Il est cependant possible de mettre en avant le fait que les grappes ne sont plus sensibles au champignon après fermeture, rendant inutile les traitements postérieurs à cette période. Dans le cas des vignes conduites en agriculture biologique, elles doivent être traitées dès débourrement pour améliorer le contrôle de la maladie. En agriculture conventionnelle, pour un millésime peu humide, les traitements de débourrement à la pré floraison ne sont pas obligatoires puisqu'ils n'augmentent pas le contrôle de la maladie. Il est judicieux d'utiliser des produits actifs également sur les autres maladies fongiques comme le mildiou et l'oïdium, pour limiter le passage des engins agricoles dans les vignes. Tant en agriculture conventionnelle que biologique, un bon réglage du pulvérisateur est indispensable pour réaliser les traitements efficacement.

Références bibliographiques

Abbott, W.S., 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. J. Econ. Entomol.; ***18*** : 265-267.

Agrios G. N., 2005. Parasitism and disease development. Ch. 2. In : Plant pathology.Elsevier academic press, 77-104.

Bartlett DW, Clough JM, Godwin JR, Hall AA, Hamer M & Parr-Dobrzanski B, 2002. The strobilurin fungicides. Pest Manag Sci 58, 649-662.

Becker, C. M., and Pearson, R. C. 1996. Black rot lesions on overwintered canes of Euvitis supply conidia of Guignardia bidwellii for primary inoculum in the spring. Plant Dis. 80:24-27.

Besselat, B. et Bouchet J., 1984: black-rot: a cause for concern in some vineyards. phytoma 356, 33-35.

Boyle, C., Aust, H.J., 1997. Ontogenetically determined resistance (adult plant resistance). In: Hartleb, H., Heitefuss, R., Hoppe, H.-H. (Eds.), Resistance of Crop Plants Against Fungi. Verlag Gustav Fischer, Luebeck/Jena/Stuttgart, pp. 254e271.

Caltrider, P. G. 1961. Growth and sporulation of followed by the requisite leaf-wetness period (3), which is Guigna~rdia bidwellii. Proc. W. Va. Acad. Sci. 30:142

Campbell, C.L., Madden, L.V., 1990. Introduction to plant disease epidemiology. Wiley, New York, NY, USA

Ellis, M. A., Madden, L. V., and Wilson, L. L. 1986. Electronic grape black rot predictor for scheduling fungicides with curative activity. Plant Dis. 70:938-940.

Ferrin, D.M., Ramsdell, D.C., 1977. Ascospore dispersal and infection of grapes by Guignardia bidwellii, the causal agent of grape black-rot disease. Phytopathology 67, 1501-1505.

Ferrin, D.M., Ramsdell, D.C., 1978. Influence of conidia dispersal and environment on infection of grape by Guignardia bidwellii. Phytopathology 68, 892-895.

Gadoury, D. M., Pearson, R. C., Seem, R. C., and Park, E. W., 1997. Integrating the control programs for fungal diseases of grapevine in the Northeastern United States. Vitic. Enol. Sci. 52:140-147

Galet, P., 1977. Black-rot. In: Les Maladies et les Parasites de la vigne: Les Champignons et les Virus. Vol 1. (pp. 223-260). Montpellier, France: Paysan du Midi.

Harms M., Holz B., Hoffmann P.G., Lipps H.P., Silvanus W., 2005. Occurrence of Guignardia bidwellii, the causal fungus of black rot on grapevine, in the vine growing areas of Rhineland-Palatinate, Germany. In BCPC Symposium Proceedings No. 81. BCPC, Alton, UK, pp. 127–132.

Hed B. et Travis J. (NC). Disease Management Guidelines for Organic Grape Production in the Lake Erie Region. Penn State University.

Hoffman, L. E., and Wilcox, W. F. 2003. Factors influencing the efficacy of myclobutanil and azoxystrobin for control of grape black rot. Plant Dis. 87:273-281.

Hoffman, L.E., Wilcox, W.F., Gadoury, D.M., Seem, R.C., 2002. Influence of grape berry age on susceptibility to Guignardia bidwellii and its incubation period length. Phytopathology 92, 1068-1076.

Hoffman, L. E., and Wilcox, W. F. 2002. Utilizing epidemiological investigations to optimize management of grape black rot. Phytopathology 92:676-680.

Hoffman, L.E., Wilcox, W.F., Gadoury, D.M., Seem, R.C., Riegel, D.G., 2004. Integrated control of grape black-rot: Influence of host phenology, inoculum availability, sanitation, and spray timing. Phytopathology 94, 641-650.

Jailloux, F., 1992. In-vitro production of the teleomorph of Guignardia bidwellii, causal agent of black rot of grapevine. Can. J. Bot. 70, 254e257.

Janex-Favre, M.C., Parguey-Leduc, A., Jailloux, F., 1993. The ontogeny of pycnidia of Guignardia bidwellii in culture. Mycological Research 97, 1333–1339.

Jermini M., Gessler C., 1996. Epidemiology and control of grape black rot in southern Switzerland. Plant Disease, 80, 322–325.

Kuo K.C., Hoch H.C., 1996. The parasitic relationship between Phyllosticta ampelicida and Vitis vinifera. Mycologia, 88, 626–634.

Le Roux C. (NC). Comment aborder la lutte contre le black rot de la vigne en agriculture biologique ?

Lorenz, D.H., Eichhorn, K.W., Bleiholder, H., Klose, R., Meier U., Weber E., 1995. Phenological growth stages of the grapevine, Vitis vinifera L. ssp. vinifera. Codes and descriptions according to the extended BBCH scale. Australian Journal of Grape and Wine Research 1, 100-103.

Loskill B., Molitor D., Koch E., Harms M., Berkelmann- Löhnertz B., Hoffmann C., Kortekamp A., Porten M., Louis F., Maixner M. (2009) Strategien zur Regulation der Schwarzfäule (Guignardia bidwellii) im ökologischenWeinbau. Schlussbericht. http://orgprints.org/17072/1/17072-04OE032-jki-maixner-2009-schwarzfaeule.pdf.

Luttrell, E.S., 1946. Black-rot of muscadine grapes. Phytopathology 36, 905-924.

Mauri, G., Kobel U., 1988: Black rot – a new severe grape disease in Ticino. Schweiz. Z. Obst- Weinbau, Wädenswil 124, 473-475.

Maurin, G., Cartolaro, P., Clerjeau, M., Benac, G., 1991. Black-rot: vers une méthode de prévisions des risques. Phytoma - La Défence. des Végétaux. 433, 39–42.

Molitor, D., 2009. Biologie und Bekämpfung der Schwarzfäule (Guignardia bidwellii) an Weinreben. Geisenheimer Berichte Bd. 65. Gesellschaft zur Förderung der Forschungsanstalt Geisenheim, Geisenheim, Germany.

Molitor, D., Augenstein, B., Mugnai, L., Rinaldi, P. A., Sofia, J., Hed, B., et al., 2015. Composition and evaluation of a novel web-based decision support system for grape black rot control. *European Journal of Plant Pathology, 124*(4), 1–14.

Molitor D., Baus O. et Berkelmann-Löhnertz B. 2011. Protective and curative grape black rot control potential of pyraclostrobin and myclobutanil

Molitor D., Beyer M., 2014. Epidemiology, identification and disease management of grape black rot and potentially useful metabolites of black rot pathogens for industrial applications - a review. Annals of Applied Biology, 165, 305–317.

Molitor, D., Berkelmann-Loehnertz, B., 2011. Simulating the susceptibility of clusters to grape black-rot infections depending on their phenological development. Crop Protection 30, 1649–1654.

Molitor, D., Fruehauf, C., Baus, O., Berkelmann-Loehnertz, B., 2012. A Cumulative Degree-Day-Based Model to Calculate the Duration of the Incubation Period of Guignardia bidwellii. Plant Disease 96, 1054–1059.

Molitor D., Heibertshausen D., Baus O., Loskill B., Maixner M., Berkelmann-Löhnertz B., 2010. Einsatz eines Sapindus mukorossi -Extraktes zur Regulierung von pilzlichen Pathogenen an Weinreben – eine Alternative für den ökologischen Rebschutz? Journal für Kulturpflanzen, 62, 444–450.

Nita M., Rebollar-Alviter A., Wilson L. L. and ELLIS M. A., 2005. Evaluation of fungicides for control of grape black rot and powdery mildew, 2004. Plant Disease Management Reports.

Northover P.R., 1998. The relationship of the number of wetting periods and accumulated degree-days to sporulation of Guignardia bidwellii (Ellis) Viala & Ravaz in vineyards.Master Thesis. Pennsylvania State University.

Northover P. R., 2008. Factors influencing the infection of cultivated grape (vitis spp. section euvitis) shoot tissue by Guignardia bidwellii (ellis) viala & ravaz. Pennsylvania State University thesis, 228 p.

Onesti G., 2015. Studies on inoculum dynamics of Guignardia bidwellii, causal agent of grape black-rot. Doctoral School on the Agro-Food System, 170 p.

Prunet A., 1898: Observations et expériences sur le black rot II. Con-ditions internes du développement du black rot. Rev. Vit. 9 ,601-603

Ramsdell, D. C., and Milholland, R. D. 1988. Black rot. Pages 15-17 in: Compendium of Grape Diseases. R. C. Pearson and A. C. Goheen, eds. The American Phytopathological Society, St. Paul, MN.

Schultz, H.R., 1992. An empirical model for the simulation of leaf appearance and leaf-area development of primary shoots of several grapevine (Vitis vinifera L) canopy-systems. Sci. Hortic. 52, 179e200.

Scribner , F.L., P. Viala , 1888: Black rot (Laestadia bidwellii). US Dept. Agr. Botan. Div. Sec. Vegetable Pathol. Bull. 7, 1-29.

Shaw B.D., Carroll G.C., Hoch H.C., 2006. Generality of the prerequisite of conidium attachment to a hydrophobic substratum as a signal for germination among Phyllosticta species. Mycologia, 98, 186–194.

Shaw B.D., Hoch H.C., 2000. Ca2+ regulation of Phyllosticta ampelicida pycnidiospore germination and appressorium formation. Fungal Genetics and Biology, 31, 43–53.

Spotts, R.A., 1977. Effect of Leaf wetness duration and temperature on the infectivity of Guignardia bidwellii on grape leaves. Phytopathology 77, 1378-1381.

Spotts, R. A., 1980. Infection of grape by Guignardia bidwellii - Factors affecting lesion development, conidial dispersal, and conidial populations on leaves. Phytopathology 70,: 252-55.

Stef C., 2015. L'alarme du black-rot est lancée dans le Sud-Est. Vitisphère.

Travis J.W., Saunders M., Hed B., Muza A., Timer J., Wilcox W.F., 2007. Integrated Management of Organic Concord Grape Production in the Lake Erie region. Final Report to the New York Wine/Grape Foundation.

Ullrich C. I., Kleespies R. G., Enders M. et Koch E., 2008. Biology of the black rot pathogen, Guignardia bidwellii, its development in susceptible leaves of grapevine Vitis vinifera. J. Kulturpfl. 61, 82 – 90

van der Aa HA. 1973. Studies in Phyllosticta I. Stud Mycol 5:1–110.

Viala, P., Pacottet, P., 1904. Recherches sue les maldies de la vigne: "Black-rot II, Sur le développment du Black-rot", réceptivité des fruits, influence de la temperature, de l'humidité et des milieux toxique. Bordeaux de la "Revue de viticulture", Paris.

Wicht B, Petrini O, Jermini M, Gessler C, Broggini GAL, 2012. Molecular, proteomic and morphological characterization of the ascomycete Guignardia bidwellii , agent of grape black rot: a polyphasic approach to fungal identification. Mycologia 104 : 1036-1045

Wilcox W.F., Riegel D.G., Hoffman L.E., 2000. Evaluation of fungicide programs for control of grape black rot, 1999. Fungicide and Nematicide Tests, 55, 118.

WilcoxW.F., Riegel D.G., 1996. Evaluation of fungicides and spray timings for control of black rot and downy mildew of grapes, 1995. Fungicide and Nematicide Tests, 51, 74.

Annexes

Annexe 1: détails de la météorologie et des calculs du modèle en 2014 à Piolenc (t°=température, AP=ascospore, CON=conidie)

Date	T°moy (°C)	Pluie (mm)	Durée humectation (h)	Somme des t° entre 9 et 19°C	%APmat	Somme des t°>10°C	%CONmat	Température entre 6 et 24°C	Sommes des t° entre 6 et 24°C	175*f(GS)	305*f(GS)	Sommes des t°>10°C depuis BBCH 68	SUS
20/03/2014	11,7	0	12,9					5,7					
21/03/2014	12	0	10,6					6					
22/03/2014	11,5	15,8	18,6					5,5					
23/03/2014	9,2	1,4	15					3,2					
24/03/2014	7,7	0	7,1					1,7					
25/03/2014	9,4	0	8,9					3,4					
26/03/2014	9,4	0	7,6	0,4	0,00504673	0	0,00219363	3,4					
27/03/2014	10,9	0	0,8	1,2	0,00556946	0,9	0,00220866	4,9					
28/03/2014	8,9	0	11,8	2,3	0,00556946	0,9	0,00220866	2,9					
29/03/2014	12,6	0	7,7	10	0,0066794	3,5	0,00225263	6,6					
30/03/2014	12,5	0	9,2	19,2	0,00792172	6	0,00229574	6,5					
31/03/2014	11,2	0	12,6	31,8	0,00879201	7,2	0,00231673	5,2					
01/04/2014	11,3	0	10,7	42,5	0,00978076	8,5	0,00233968	5,3					
02/04/2014	13,8	0	8,1	50,6	0,01212374	12,3	0,00240807	7,8					
03/04/2014	15,5	0	4,9	55,5	0,01596138	17,8	0,0025106	9,5					
04/04/2014	14,8	0	3,5	59	0,02010684	22,6	0,00260363	8,8					
05/04/2014	16,6	0	0	59	0,026688	29,2	0,0027372	10,6					
06/04/2014	17,8	0	0	59	0,03610879	37	0,00290388	11,8					
07/04/2014	16,2	0	9	68	0,04537823	43,2	0,00304356	10,2					
08/04/2014	16,7	0	8,8	76,8	0,05694176	49,9	0,00320204	10,7					
09/04/2014	15,6	0	0	76,8	0,06825763	55,5	0,0033408	9,6					
10/04/2014	18,4	0	2,8	79,6	0,08664628	63,9	0,00356024	12,4					
11/04/2014	15,1	0	12,7	92,3	0,10000014	69	0,00370043	9,1					
12/04/2014	16,6	0	9,8	102,1	0,11816251	75,6	0,00389003	10,6					
13/04/2014	17,8	0	0	102,1	0,14120999	83,4	0,00412663	11,8					
14/04/2014	18	0	0	102,1	0,16685373	91,4	0,00438417	12					
15/04/2014	15,2	0	0	102,1	0,18562374	96,6	0,0045601	9,2					
16/04/2014	15,2	0	0,4	102,5	0,20519881	101,8	0,00474305	9,2					
17/04/2014	12,6	0	6,8	109,3	0,21689884	104,4	0,00483725	6,6					
18/04/2014	13,7	0	0	109,3	0,23250575	108,1	0,00497452	7,7					
19/04/2014	12,8	0	0	109,3	0,24537239	110,9	0,00508097	6,8					
20/04/2014	7,1	6,8	17,8	127,1	0,23891295	110,9	0,00508097	1,1					
21/04/2014	14,6	0	11,7	138,8	0,25809047	115,5	0,00526079	8,6					
22/04/2014	14,9	5,8	15,6	154,4	0,27870592	120,4	0,0054593	8,9					
23/04/2014	17,3	3	11,8	166,2	0,30825891	127,7	0,00576895	11,3					
24/04/2014	17,7	0,6	6,8	173	0,33969793	135,4	0,00611449	11,7					
25/04/2014	16,7	3,8	6,9	179,9	0,36771322	142,1	0,00643185	10,7					
26/04/2014	18	4,6	6,2	186,1	0,40044954	150,1	0,00683229	12					
27/04/2014	14,4	0	7	193,1	0,41998872	154,5	0,00706298	8,4					
28/04/2014	13,6	0	6,1	199,2	0,43652646	158,1	0,00725747	7,6					
29/04/2014	16,9	0	0	199,2	0,46461422	165	0,00764522	10,9					
30/04/2014	14,9	0	5,1	204,3	0,48526686	169,9	0,007933	8,9					
01/05/2014	17,8	0	0	204,3	0,51544244	177,7	0,00841341	11,8					
02/05/2014	14,4	0	2,3	206,6	0,53353506	182,1	0,00869702	8,4					
03/05/2014	15,2	0	0	206,6	0,55386778	187,3	0,00904444	9,2					
04/05/2014	13,6	0	0	206,6	0,5686294	190,9	0,00929298	7,6					
05/05/2014	16,5	0	2,5	209,1	0,59207106	197,4	0,00975898	10,5					
06/05/2014	13,4	0,2	7,7	216,8	0,60544734	200,8	0,01001189	7,4					
07/05/2014	18,4	0,2	9,7	226,5	0,63305482	209,2	0,01066485	12,4					
08/05/2014	18,1	0	7,8	234,3	0,65848724	217,3	0,01133433	12,1					
09/05/2014	19,8	0	6,8	241,1	0,68698476	227,1	0,01220005	13,8					
10/05/2014	21,6	2	4,3	245,4	0,71790819	238,7	0,01330948	15,6					
11/05/2014	19,7	0,6	10,9	256,3	0,74222532	248,4	0,01431315	13,7					
12/05/2014	16,8	0	0	256,3	0,75885141	255,2	0,01506087	10,8					
13/05/2014	14,9	0	0	256,3	0,77082586	260,1	0,01562338	8,9					
14/05/2014	15,2	0	0	256,3	0,78286386	265,3	0,01624295	9,2					
15/05/2014	15,8	0	0	256,3	0,7954405	271,1	0,01696254	9,8					
16/05/2014	15,3	0	0	256,3	0,80652426	276,4	0,01764743	9,3					
17/05/2014	19,6	0	0	256,3	0,82398696	286	0,0189578	13,6					
18/05/2014	16,4	1,2	7,8	264,1	0,83533331	292,4	0,01988391	10,4					
19/05/2014	15,2	0,6	11,1	275,2	0,84432921	297,6	0,02066889	9,2					
20/05/2014	20,7	0,2	0	275,2	0,86010102	308,3	0,02238073	14,7					
21/05/2014	23,1	0,2	3,3	278,5	0,87715573	321,4	0,02466586	17,1					
22/05/2014	22,2	8,6	7	285,5	0,89135333	333,6	0,02699756	16,2					
23/05/2014	17,3	6,2	10	295,5	0,89947726	340,9	0,02849383	11,3					
24/05/2014	15,7	0	9,5	305	0,90561375	346,6	0,02971782	9,7					
25/05/2014	17,2	0,4	14,2			353,8	0,03133692	11,2					
26/05/2014	18,1	0,4	10,9			361,9	0,03326045	12,1					
27/05/2014	16,5	0	0			368,4	0,03488602	10,5					
28/05/2014	17,1	0	3,7			375,5	0,03674911	11,1					
29/05/2014	19,4	0	0			384,9	0,03936339	13,4					
30/05/2014	20,9	0	1,9			395,8	0,04261824	14,9					
31/05/2014	20,5	0	0			406,3	0,04599571	14,5					
01/06/2014	19,9	0	0			416,2	0,04941235	13,9					
02/06/2014	20,8	0	0			427	0,05341344	14,8					
03/06/2014	22,4	0	0,2			439,4	0,05838376	16,4					

04/06/2014	18,4	0,6	12,1			447,8	0,06199393	12,4		175,173967	305,3032	8,4	0,46781858
05/06/2014	18,2	0	8,4			456	0,06571834	12,2		175,208831	305,363963	16,6	0,51098512
06/06/2014	19,6	0	6,2			465,6	0,0703425	13,6		175,25861	305,450721	26,2	0,56267207
07/06/2014	21,5	0	7,2			477,1	0,07627706	15,5		175,334067	305,58223	37,7	0,62529504
08/06/2014	22,9	0	6			490	0,08347823	16,9		175,445134	305,775804	50,6	0,69489053
09/06/2014	24,3	0	3,1			504,3	0,09217857	18		175,611741	306,066178	64,9	0,76882845
10/06/2014	25,5	0	3,4			519,8	0,10252119	18		175,863088	306,50424	80,4	0,84186555
11/06/2014	26,8	0	0			536,6	0,1148795	18		176,252527	307,182975	97,2	0,90854445
12/06/2014	30,5	0	0			557,1	0,13169665	18		176,970276	308,433909	117,7	0,9664754
13/06/2014	29,8	0	0			576,9	0,14987778	18		178,044946	310,306906	137,5	0,99306904
14/06/2014	26,4	0	0			593,3	0,16646092	18		179,35598	312,591851	153,9	0,99134283
15/06/2014	20,5	0,4	7,3			603,8	0,17782988	14,5		180,469318	314,53224	164,4	0,97889285
16/06/2014	22,9	0	2,6			616,7	0,19261924	16,9		182,217153	317,578467	177,3	0,95201322
17/06/2014	23,5	2,2	5,6			630,2	0,20907998	17,5		184,613108	321,754273	190,8	0,91132448
18/06/2014	20,1	0,2	7,2			640,3	0,22205685	14,1		186,876676	325,69935	200,9	0,87348815
19/06/2014	20,5	0	6,8			650,8	0,23614716	14,5		189,746111	330,700364	211,4	0,82847394
20/06/2014	24,8	0	0			665,6	0,25703437	18		194,857892	339,609469	226,2	0,75727841
21/06/2014	26,6	0	2,3			682,2	0,28185475	18		202,363111	352,689994	242,8	0,67027026
22/06/2014	23,2	0	6			695,4	0,30259733	17,2		209,862844	365,760957	256	0,59859163
23/06/2014	23,4	0	0,8			708,8	0,32451044	17,4		218,954815	381,606964	269,4	0,52595797
24/06/2014	26	5	3,7			724,8	0,35171254	18		231,695	403,811287	285,4	0,44211528
25/06/2014	23,7	0,6	7,9			738,5	0,37580322	17,7		243,969183	425,203433	299,1	0,37475806
26/06/2014	25,4	0	0			753,9	0,40363064	18		258,711433	450,897068	314,5	0,30557506
27/06/2014	22,8	0	2,6			766,7	0,42725	16,8		271,168535	472,608018	327,3	0,25412811
28/06/2014	22	11,6	8,5			778,7	0,44970072	16		282,542568	492,431334	339,3	0,2112118
29/06/2014	22,1	0,2	8			790,8	0,47254764	16,1		293,329526	511,23146	351,4	0,17319961
30/06/2014	19,6	0	3,9			800,4	0,49076105	13,6		301,205714	524,958529	361	0,14671964
01/07/2014	21,4	0,2	2,2			811,8	0,51241745	15,4		309,632381	539,645007	372,4	0,11930989
02/07/2014	23,9	0	2,4			825,7	0,53875213	17,9		318,451993	555,01633	386,3	0,09139818
03/07/2014	23,9	0	6			839,6	0,56487227	17,9		325,692576	567,635632	400,2	0,06892097
04/07/2014	23,6	7	10,9			853,2	0,59008578	17,6		331,374797	577,538932	413,8	0,05149721
05/07/2014	23,2	0	7,7			866,4	0,61411433	17,2		335,736991	585,141612	427	0,03825341
06/07/2014	23,8	14,4	11,7			880,2	0,63865241	17,8		339,283812	591,323215	440,8	0,0276112
07/07/2014	19,6	19	18,5			889,8	0,65531385	13,6		341,245685	594,74248	450,4	0,02180775
08/07/2014	19,9	0	6,3			899,7	0,67210475	13,9	13,9	342,909641	597,642517	460,3	0,01696342
09/07/2014	19	0	3					13	26,9	344,15591	599,814587	469,3	0,01340663
10/07/2014	19	0	0					13	39,9	345,189399	601,61581	478,3	0,01052581
11/07/2014	20,7	0	0					14,7	54,6	346,188342	603,356824	489	0,00782727
12/07/2014	21,8	0	0					15,8	70,4	347,05539	604,867965	500,8	0,00558516
13/07/2014	23,2	7	5,1					17,2	87,6	347,796788	606,160116	514	0,00377766
14/07/2014	22,6	0	7,2					16,6	104,2	348,331333	607,091752	526,6	0,00256666
15/07/2014	24,5	0	0					18	122,2	348,789162	607,889682	541,1	0,00161898
16/07/2014	26	0	1,9					18	140,2	349,150756	608,519889	557,1	0,00095447
17/07/2014	25,2	0	10,7					18	158,2	349,394059	608,943931	572,3	0,0005667
18/07/2014	24,3	0	11,6					18	176,2	349,559091	609,231559	586,6	0,0003411
19/07/2014	25,6	0	4,7					18	194,2	349,688407	609,456937	602,2	0,00019235
20/07/2014	23,7	18,8	8,2					17,7	211,9	349,770327	609,599712	615,9	0,00011442
21/07/2014	21,3	0	5,8					15,3	227,2	349,821434	609,688784	627,2	7,369E-05
22/07/2014	21,7	0	5,3					15,7	242,9	349,862409	609,760199	638,9	4,6216E-05
23/07/2014	26,4	0,4	12					18	260,9	349,904531	609,833611	655,3	2,3584E-05
24/07/2014	25,6	0	7,5					18	278,9	349,93257	609,88248	670,9	1,2186E-05
25/07/2014	21,5	2,8	14,5					15,5	294,4	349,947819	609,909056	682,4	7,3949E-06
26/07/2014	24,1	0,4	8,2					18	312,4	349,961894	609,933587	696,5	3,9497E-06
27/07/2014	25	0	0					18	330,4	349,972726	609,952465	711,5	1,9911E-06
28/07/2014	23,2	5,4	2,9					17,2	347,6	349,97968	609,964585	724,7	1,0733E-06
29/07/2014	18,3	1,4	10,6					12,3	359,9	349,983113	609,970568	733	7,2243E-07
30/07/2014	22,2	0	0					16,2	376,1	349,987135	609,977578	745,2	3,9964E-07
31/07/2014	25,6	0	0					18	394,1	349,990915	609,984166	760,8	1,8416E-07
01/08/2014	24,7	4,4	3,2					18	412,1	349,993454	609,988591	775,5	8,7146E-08
02/08/2014	23,6	18,4	13,3					17,6	429,7	349,995166	609,991576	789,1	4,2933E-08
03/08/2014	23,5	1,4	13,2					17,5	447,2	349,996423	609,993766	802,6	2,0947E-08
04/08/2014	23,2	0,2	7,2					17,2	464,4	349,997335	609,995355	815,8	1,0236E-08
05/08/2014	23,2	0	0					17,2	481,6	349,998015	609,99654	829	4,9312E-09
06/08/2014	24,2	0	0					18	499,6	349,998553	609,997479	843,2	2,2124E-09
07/08/2014	25,8	0	0					18	517,6	349,998983	609,998228	859	8,895E-10
08/08/2014	24,9	5	4,3					18	535,6	349,999271	609,998729	873,9	3,6972E-10
09/08/2014	23,7	0	10,5					17,7	553,3	349,999463	609,999063	887,6	1,6231E-10
10/08/2014	24,7	0,6	8,5					18	571,3	349,999613	609,999325	902,3	6,597E-11
11/08/2014	26	0	6,7					18	589,3	349,999729	609,999528	918,3	2,4269E-11
12/08/2014	22,4	6,6	0					16,4	605,7	349,999794	609,999642	930,7	1,1021E-11
13/08/2014	22,2	1,6	12					16,2		349,999843	609,999727	942,9	5,0076E-12
14/08/2014	19,1	0	7,6					13,1		349,999872	609,999777	952	2,7583E-12
15/08/2014	20,1	0	6,5					14,1		349,999898	609,999822	962,1	1,4118E-12
16/08/2014	20,3	0	0					14,3		349,999919	609,999859	972,4	7,0698E-13
17/08/2014	21,8	0	1,2					15,8		349,999938	609,999891	984,2	3,1672E-13
18/08/2014	19,7	2	11,2					13,7		349,99995	609,999912	993,9	1,623E-13
19/08/2014	23,1	0	8,4					17,1		349,999963	609,999935	1007	6,4996E-14
20/08/2014	22,9	0,2	1,9					16,9		349,999972	609,999951	1019,9	2,6037E-14
21/08/2014	21,7	0	0					15,7		349,999978	609,999962	1031,6	1,1224E-14
22/08/2014	18,5	0,6	12,2					12,5		349,999982	609,999969	1040,1	6,0478E-15
23/08/2014	22	0	4,8					16		349,999986	609,999976	1052,1	2,5011E-15
24/08/2014	20,1	0	0					14,1		349,999989	609,999981	1062,2	1,1787E-15
25/08/2014	21	0	0					15		349,999991	609,999985	1073,2	5,1462E-16
26/08/2014	23,9	0,6	6,2					17,9		349,999994	609,999989	1087,1	1,7804E-16
27/08/2014	22,9	0	7,5					16,9		349,999995	609,999992	1100	6,5554E-17
28/08/2014	26,1	0	0					18		349,999997	609,999994	1116,1	1,8483E-17
29/08/2014	25,7	0	3,6					18		349,999998	609,999996	1131,8	5,2691E-18
30/08/2014	25	0	0					18		349,999998	609,999997	1146,8	1,559E-18
31/08/2014	24,2	0	0					18		349,999999	609,999998	1161	4,8399E-19
01/09/2014	21,3	0	0					15,3		349,999999	609,999998	1172,3	1,8856E-19
02/09/2014	21,5	0	0					15,5		349,999999	609,999999	1183,8	7,148E-20
03/09/2014	23,1	0	0					17,1		349,999999	609,999999	1196,9	2,3366E-20
04/09/2014	20,2	1	4,9					14,2		350	609,999999	1207,1	9,6892E-21
05/09/2014	23	0,6	7,5					17		350	609,999999	1220,1	3,1167E-21
06/09/2014	23,8	0	10,1					17,8		350	610	1233,9	9,2093E-22
07/09/2014	23,3	0	12,4					17,3		350	610	1247,2	2,8026E-22
08/09/2014	26,2	1,4	13					18		350	610	1263,4	6,4531E-23
09/09/2014	23,1	1,2	15					17,1		350	610	1276,5	1,9374E-23
10/09/2014	24,3	0	6,1					18		350	610	1276,5	1,9374E-23

Annexe 2: détails de la météorologie et des calculs du modèle en 2015 à Piolenc (t°=température, AP=ascospore, CON=conidie)

Date	T°moy (°C)	Pluie (mm)	Durée humectation (h)	Somme t° entre 9 et 19°C	%APmat	Somme t°>10°C	%CONmat	Température entre 6 et 24°C	Somme des t° entre 6 et 24°C	175*f(GS)	305*f(GS)	Somme des t°>10°C depuis BBCH 68	SUS
20/03/2015	13,1	0	12,3										
21/03/2015	11,3	4	18,4										
22/03/2015	7,7	0,2	18,1					1,7					
23/03/2015	12,8	0,2	2,9					6,8					
24/03/2015	12,5	10	18,9					6,5					
25/03/2015	7,3	6,8	12,2					1,3					
26/03/2015	10,5	0	0					4,5					
27/03/2015	12,3	0	0					6,3					
28/03/2015	13,8	0	2,4					7,8					
29/03/2015	15,2	0	5,6					9,2					
30/03/2015	16,8	0	5,7					10,8					
31/03/2015	16,3	0	7,1					10,3					
01/04/2015	12,7	0	0,2					6,7					
02/04/2015	12,8	0	0,1					6,8					
03/04/2015	14,9	0	7,2					8,9					
04/04/2015	13,1	0	3,1	4,1	0,00610417	3,1	0,00224581	7,1					
05/04/2015	10,6	0	0	5,7	0,00661342	3,7	0,00225605	4,6					
06/04/2015	10,1	0	0	6,8	0,00698285	3,8	0,00225776	4,1					
07/04/2015	11,8	0	2,8	9,6	0,00799789	5,6	0,00228879	5,8					
08/04/2015	10,1	0	10	10,7	0,0084273	5,7	0,00229053	4,1					
09/04/2015	10,1	0	11,1	11,8	0,00887473	5,8	0,00229226	4,1					
10/04/2015	9,9	0	11	12,7	0,00925456	5,8	0,00229226	3,9					
11/04/2015	12,2	0	9,5	15,9	0,01070956	8	0,00233082	6,2					
12/04/2015	14,1	0	12,1	21	0,01338995	12,1	0,00240442	8,1					
13/04/2015	16	0	8,1	28	0,01787299	18,1	0,00251632	10					
14/04/2015	20,5	0	2,1	39,5	0,02755975	28,6	0,00272478	14,5					
15/04/2015	14,8	0	10,7	45,3	0,03367533	33,4	0,00282573	8,8					
16/04/2015	14,7	6	12,6	51	0,04056153	38,1	0,00292819	8,7					
17/04/2015	17,6	2,4	17,1	59,6	0,05268839	45,7	0,00310176	11,6					
18/04/2015	15,4	0,2	9,1	66	0,06312401	51,1	0,00323128	9,4					
19/04/2015	12,4	2,4	11,3	69,4	0,06916843	53,5	0,00329057	6,4					
20/04/2015	17,2	0	7,5	77,6	0,08518496	60,7	0,003475	11,2					
21/04/2015	16,8	0	5,5	85,4	0,10229438	67,5	0,00365863	10,8					
22/04/2015	15,1	0	8,2	91,5	0,11691685	72,6	0,00380268	9,1					
23/04/2015	18,5	0	4,3	101	0,14175782	81,1	0,00405541	12,5					
24/04/2015	19,4	0,2	3,2	111,4	0,17161572	90,5	0,00435442	13,4					
25/04/2015	16,4	0,4	8,3	118,8	0,19436971	96,9	0,00457046	10,4					
26/04/2015	18,3	21,2	14,6	128,1	0,2244915	105,2	0,00486661	12,3					
27/04/2015	13,9	34,6	22,4	133	0,24094726	109,1	0,00501228	7,9					
28/04/2015	13,2	0	4,1	137,2	0,25532581	112,3	0,00513504	7,2					
29/04/2015	14,3	0	3,9	142,5	0,27378042	116,6	0,00530472	8,3					
30/04/2015	13,9	0	7,9	147,4	0,29110027	120,5	0,00546343	7,9					
01/05/2015	14,6	2,6	10,3	153	0,31113398	125,1	0,00565671	8,6					
02/05/2015	18	0	9,4	162	0,34369372	133,1	0,00600918	12					
03/05/2015	20	0,8	10,3	173	0,38373319	143,1	0,0064806	14					
04/05/2015	20,3	0	14,1	184,3	0,42467382	153,4	0,00700459	14,3					
05/05/2015	19,4	0	8,1	194,7	0,46179094	162,8	0,00751941	13,4					
06/05/2015	20,9	0	0,8	206,6	0,50319613	173,7	0,00816354	14,9					
07/05/2015	19,1	0	3,5	216,7	0,53717778	182,8	0,008743	13,1					
08/05/2015	16	1	14,3	223,7	0,55999935	188,8	0,00914718	10					
09/05/2015	19,3	0	5,9	234	0,5923782	198,1	0,00981053	13,3					
10/05/2015	22,4	0	3,3	247,4	0,63219452	210,5	0,0107696	16,4					
11/05/2015	18,8	0	11,9	257,2	0,65957547	219,3	0,01150593	12,8					
12/05/2015	17,2	0	10,8	265,4	0,68132897	226,5	0,01214522	11,2					
13/05/2015	17,5	0	11,8	273,9	0,70275843	234	0,01284845	11,5					
14/05/2015	22,6	0	8,4	287,5	0,73468949	246,6	0,01412143	16,6					
15/05/2015	14,6	0	5,4	293,1	0,74700758	251,2	0,0146165	8,6					
16/05/2015	16,5	0	2,2	300,6	0,76276355	257,7	0,01534533	10,5					
17/05/2015	20,1	0	0	311,7	0,78456566	267,8	0,01654936	14,1					
18/05/2015	21,3	0	3,1	324	0,80669588	279,1	0,01800671	15,3					
19/05/2015	16,7	0,2	7,8	331,7	0,81951527	285,8	0,01892955	10,7					
20/05/2015	15,9	0	0	338,6	0,8303569	291,7	0,0197805	9,9					
21/05/2015	14,7	0	0	344,3	0,83886974	296,4	0,02048509	8,7					
22/05/2015	17,6	0	0	352,9	0,85098577	304	0,02167675	11,6					
23/05/2015	19	0	0	362,9	0,86402763	313	0,02317576	13					
24/05/2015	20,6	0	0	374,5	0,87783689	323,6	0,02507131	14,6					
25/05/2015	19,5	0	0,7	385	0,88920226	333,1	0,02689792	13,5					
26/05/2015	19,1	0	0	395,1	0,89919387	342,2	0,02876861	13,1					
27/05/2015	18	0	0	404,1	0,90737571	350,2	0,03051697	12					
28/05/2015	21,9	0	1,3		1	362,1	0,03330936	15,9					
29/05/2015	17,6	1,4	7,5			369,7	0,0352202	11,6					
30/05/2015	22,4	0	9,2			382,1	0,03856655	16,4					
31/05/2015	21,8	0	0,3			393,9	0,04203293	15,8					

01/06/2015	19,6	0	7,7			403,5	0,04507091	13,6		175,178681	305,311415	9,6	0,4740626
02/06/2015	21,7	0	7,4			415,2	0,04905659	15,7		175,231877	305,404128	21,3	0,53617182
03/06/2015	23,7	0	8,7			428,9	0,05414826	17,7		175,314581	305,54827	35	0,61058483
04/06/2015	23,2	0	8,1			442,1	0,05952213	17,2		175,421992	305,735472	48,2	0,68208132
05/06/2015	24,2	0	6,7			456,3	0,06585846	18		175,57868	306,008556	62,4	0,75626687
06/06/2015	24,9	0	5,1			471,2	0,0731771	18		175,805704	306,404227	77,3	0,82802077
07/06/2015	26,8	0	0			488	0,08232262	18		176,169424	307,038139	94,1	0,89740889
08/06/2015	26,8	0	0			504,8	0,09249706	18		176,695739	307,955431	110,9	0,95046696
09/06/2015	24,9	0	0			519,7	0,10245128	18		177,355085	309,104577	125,8	0,9810536
10/06/2015	22,8	2	14,1			532,5	0,11174891	16,8		178,119214	310,436345	138,6	0,99363524
11/06/2015	23,1	1	9,5			545,6	0,12201988	17,1		179,152382	312,237008	151,7	0,99283892
12/06/2015	19,6	33	21,7			555,2	0,13005416	13,6		180,114674	313,914146	161,3	0,98347228
13/06/2015	21,1	35,2	14,9			566,3	0,13990009	15,1		181,497832	316,324793	172,4	0,96367535
14/06/2015	22,1	2,8	13,6			578,4	0,15133611	16,1		183,413717	319,663907	184,5	0,93181447
15/06/2015	23,1	8,4	14,4			591,5	0,16457145	17,1		186,087442	324,323827	197,6	0,88648576
16/06/2015	21,8	2,4	13,6			603,3	0,17727497	15,8		189,154912	329,66999	209,4	0,83744613
17/06/2015	21,6	0	2,8			614,9	0,19050071	15,6	15,6	192,906137	336,207838	221	0,78316096
18/06/2015	23	0	0			627,9	0,20620409	17	32,6	198,131895	345,315589	234	0,71707669
19/06/2015	22,8	0	0			640,7	0,22258245	16,8	49,4	204,48592	356,389746	246,8	0,64866042
20/06/2015	22,3	0	0			653	0,23917643	16,3	65,7	211,832968	369,194602	259,1	0,5817008
21/06/2015	22,9	0	0			665,9	0,25747001	16,9	82,6	220,890593	384,980748	272	0,51205119
22/06/2015	22,2	0	5,6			678,1	0,27559065	16,2	98,8	230,674227	402,032225	284,2	0,44823565
23/06/2015	21	0	6,2			689,1	0,29258961	15	113,8	240,370312	418,931115	295,2	0,39342617
24/06/2015	22,8	0	0			701,9	0,31312282	16,8	130,6	252,412549	439,919015	308	0,33385129
25/06/2015	21,6	0	5,6			713,5	0,33238893	15,6	146,2	263,684678	459,564724	319,6	0,284389
26/06/2015	23,7	0	3,3			727,2	0,35588262	17,7	163,9	276,91815	482,628776	333,3	0,2320189
27/06/2015	24,3	0	4,3			741,5	0,38116649	18	181,9	290,035182	505,489889	347,6	0,18457286
28/06/2015	26,7	0	0			758,2	0,41152129	18	199,9	303,752685	529,397538	364,3	0,13834509
29/06/2015	26,6	0	0			774,8		18	217,9	315,21721	549,378566	380,9	0,10155802
30/06/2015	24,5	0	6,3			789,3		18	235,9	323,364338	563,577846	395,4	0,07611273
01/07/2015	24,3	0	7,9			803,6		18	253,9	329,797474	574,789883	409,7	0,05631581
02/07/2015	24,7	0	5,6			818,3		18	271,9	334,958756	583,785261	424,4	0,04060597
03/07/2015	27,2	0	2,9			835,5		18	289,9	339,461883	591,633568	441,6	0,02708136
04/07/2015	26,9	0	3,4			852,4		18	307,9	342,631472	597,157708	458,5	0,01776674
05/07/2015	25,9	0	5,4			868,3		18	325,9	344,765364	600,876778	474,4	0,01169865
06/07/2015	27,6	0	6,9			885,9		18	343,9	346,429967	603,777943	492	0,0071914
07/07/2015	27,1	0	8,8			903		18		347,545965	605,722967	509,1	0,00437502
08/07/2015	25,9	0	5,5			918,9		18		348,271319	606,987156	525	0,00269771
09/07/2015	24,6	0	0			933,5		18		348,748269	607,818411	539,6	0,00169937
10/07/2015	26,7	0	2,1			950,2		18		349,135545	608,493378	556,3	0,00098051
11/07/2015	27	0	6,1			967,2		18		349,407377	608,967142	573,3	0,00054723
12/07/2015	29,8	0	0,1			987		18		349,618455	609,335022	593,1	0,00026932
13/07/2015	28,2	0	0			1005,2		18		349,745552	609,556534	611,3	0,00013645
14/07/2015	29,8	0	0			1025		18		349,836293	609,714683	631,1	6,3155E-05
15/07/2015	30,3	0	0,3			1045,3		18		349,895861	609,818501	651,4	2,7731E-05
16/07/2015	26	0	7,3			1061,3		18		349,927099	609,872944	667,4	1,4156E-05
17/07/2015	26,3	0	6,3			1077,6		18		349,949309	609,911653	683,7	6,9842E-06
18/07/2015	27	0	5			1094,6		18		349,9653	609,939523	700,7	3,2665E-06
19/07/2015	26,6	0	5,1			1111,2		18		349,976035	609,958232	717,3	1,5203E-06
20/07/2015	30,6	0	0			1131,8		18		349,984861	609,973615	737,9	5,7037E-07
21/07/2015	32,1	0	0,6			1153,9		18		349,990751	609,983881	760	1,9172E-07
22/07/2015	29,3	0	5,3			1173,2		18		349,993986	609,989518	779,3	7,1615E-08
23/07/2015	28,7	0	0			1191,9		18		349,996037	609,993092	798	2,6794E-08
24/07/2015	28,9	0	0			1210,8		18		349,9974	609,995468	816,9	9,6367E-09
25/07/2015	24,8	0	3,6			1225,6		18		349,998131	609,996742	831,7	4,2395E-09
26/07/2015	25,7	0	0			1241,3		18		349,998683	609,997704	847,4	1,7399E-09
27/07/2015	25,1	0	0			1256,4		18		349,999059	609,998361	862,5	7,2492E-10
28/07/2015	24,8	0	0			1271,2		18		349,999324	609,998821	877,3	3,0183E-10
29/07/2015	24,7	0	0,1			1285,9		18		349,999513	609,999151	892	1,242E-10
30/07/2015	21,9	0	0,1			1297,8		15,9		349,999626	609,999349	903,9	5,9748E-11
31/07/2015	24,7	17,2	4,7			1312,5		18		349,999731	609,999531	918,6	2,3813E-11
01/08/2015	22,9	0,4	10,6			1325,4		16,9		349,999798	609,999648	931,5	1,047E-11
02/08/2015	25,8	0	1,3					18		349,999858	609,999753	947,3	3,7564E-12
03/08/2015	25,3	0	8,9					18		349,999899	609,999824	962,6	1,3654E-12
04/08/2015	28,1	0,4	4,1					18		349,999933	609,999883	980,7	4,0237E-13
05/08/2015	28,7	0	1,1					18		349,999956	609,999923	999,4	1,1071E-13
06/08/2015	27	0	8,2					18		349,99997	609,999947	1016,4	3,3417E-14
07/08/2015	27,2	0	6,6					18		349,999979	609,999964	1033,6	9,7092E-15
08/08/2015	27,4	2,6	6,6					18		349,999986	609,999976	1051	2,7133E-15
09/08/2015	24,9	0	7,8					18		349,99999	609,999982	1065,9	8,9295E-16
10/08/2015	25,1	0	0					18		349,999993	609,999987	1081	2,8422E-16
11/08/2015	27,4	0	0					18		349,999995	609,999991	1098,4	7,4257E-17
12/08/2015	26,5	0	4,3					18		349,999997	609,999994	1114,9	2,0326E-17
13/08/2015	23,7	40,6	17,5					17,7		349,999998	609,999996	1128,6	6,8161E-18
14/08/2015	23,6	0	8,4					17,6		349,999998	609,999997	1142,2	2,2693E-18
15/08/2015	21,5	0	0					15,5		349,999999	609,999998	1153,7	8,8489E-19
16/08/2015	21,3	0	0					15,3		349,999999	609,999998	1165	3,4709E-19
17/08/2015	22,6	0	0					16,6		349,999999	609,999999	1177,6	1,2075E-19
18/08/2015	22,4	0	1					16,4		349,999999	609,999999	1190	4,2181E-20
19/08/2015	22	0	0					16		350	609,999999	1202	1,5063E-20
20/08/2015	23,7	0	0					17,7		350	609,999999	1215,7	4,5823E-21
21/08/2015	25,7	0	0					18		350	610	1231,4	1,1499E-21
22/08/2015	22,1	0	3,9					16,1		350	610	1243,5	3,9077E-22
23/08/2015	22,3	37,8	15,7					16,3		350	610	1255,8	1,2887E-22
24/08/2015	23,2	3,2	10,1					17,2		350	610	1269	3,8649E-23
25/08/2015	20	0	2,3					14		350	610	1279	1,5375E-23
26/08/2015	19,9	0	11,1					13,9		350	610	1288,9	6,1234E-24
27/08/2015	21,3	0	12,1					15,3		350	610	1300,2	2,1203E-24
28/08/2015	22,1	0	11,5					16,1		350	610	1312,3	6,7324E-25
29/08/2015	23	0	12,2					17		350	610	1325,3	1,9369E-25
30/08/2015	22,6	0	12,9					16,6		350	610	1337,9	5,7145E-26
31/08/2015	22,7	6,8	11,2					16,7		350	610	1350,6	1,6479E-26
01/09/2015	24,2	0,2	7,8					18		350	610	1364,8	4,0398E-27
02/09/2015	22,1	0	0					16,1		350	610	1376,9	1,2035E-27
03/09/2015	21	0	0					15		350	610	1387,9	3,9611E-28
04/09/2015	20	0	0,2					14		350	610	1397,9	1,4301E-28
05/09/2015	18,5	0	0					12,5		350	610	1406,4	5,9769E-29
06/09/2015	19,3	0	0					13,3		350	610	1415,7	2,2856E-29
07/09/2015	18,6	0	0					12,6		350	610	1424,3	9,3373E-30
08/09/2015	20,6	0	1,2					14,6		350	610	1434,9	3,072E-30
09/09/2015	19,5	0	9,4					13,5		350	610	1444,4	1,1255E-30
10/09/2015	18,2	0	12,1					12,2		350	610	1452,6	4,7029E-31

Annexe 3: détails de la météorologie et des calculs du modèle en 2016 à Piolenc (t°=température, AP=ascospore, CON=conidie)

Date	T°moy (°C)	Précipitation (mm)	Durée humectation (h)	Somme t° entre 9 et 19°C	%APmat	Somme t°>10°C	%CONmat	Température entre 6 et 24°C	Somme des t° entre 6 et 24°C	175*f(GS)	305*f(GS)	Somme des t°>10°C depuis BBCH 68	SUS
20/03/2016	10,9	0	10					4,9					
21/03/2016	12,8	0	2,1					6,8					
22/03/2016	11	0	0					5					
23/03/2016	11,4	0	0					5,4					
24/03/2016	12,4	0	0					6,4					
25/03/2016	12,7	0	0					6,7					
26/03/2016	14,5	0	2,6					8,5					
27/03/2016	8,7	7,8	21,1					2,7					
28/03/2016	9,4	0	14,1					3,4					
29/03/2016	12,9	0	11					6,9					
30/03/2016	14,2	0	10,3	5,2	0,00645075	4,2	0,00226462	8,2					
31/03/2016	15,5	0	10	11,7	0,00883329	9,7	0,00236106	9,5					
01/04/2016	9,1	6,6	17,9	11,8	0,00887473	9,7	0,00236106	3,1					
02/04/2016	12,2	1,6	17,5	15	0,01028344	11,9	0,00240078	6,2					
03/04/2016	13,4	1,8	22,3	19,4	0,01249888	15,3	0,00246346	7,4					
04/04/2016	14,7	3,6	2	25,1	0,0158961	20	0,00255282	8,7					
05/04/2016	14,2	4,2	23,8	30,3	0,01956794	24,2	0,0026354	8,2					
06/04/2016	16,5	0	6,6	37,8	0,02593002	30,7	0,00276849	10,5					
07/04/2016	14,7	0	0	43,5	0,03168351	35,4	0,00286888	8,7					
08/04/2016	11,7	0	0	46,2	0,03470366	37,1	0,00290608	5,7					
09/04/2016	12,8	0	0	50	0,03928857	39,9	0,0029684	6,8					
10/04/2016	13,5	0	0	54,5	0,04523944	43,4	0,00304817	7,5					
11/04/2016	15,6	0	2	61,1	0,05502464	49	0,00318028	9,6					
12/04/2016	13,2	0	6	65,3	0,06192287	52,2	0,00325832	7,2					
13/04/2016	14,7	7,6	13,8	71	0,07213383	56,9	0,00337641	8,7					
14/04/2016	13	0	15	75	0,07988644	59,9	0,00345401	7					
15/04/2016	13,3	0	6,7	79,3	0,08875939	63,2	0,00354142	7,3					
16/04/2016	15,4	0	0	85,7	0,10298836	68,6	0,00368924	9,4					
17/04/2016	17,1	1,4	9	93,8	0,12270485	75,7	0,00389298	11,1					
18/04/2016	12,2	0	6	97	0,13100086	77,9	0,00395836	6,2					
19/04/2016	15,2	0	0	103,2	0,14785177	83,1	0,00411727	9,2					
20/04/2016	15,2	0	2,2	109,4	0,16567244	88,3	0,00428253	9,2					
21/04/2016	14,5	1,8	9,6	114,9	0,18223233	92,8	0,00443086	8,5					
22/04/2016	16,7	0,2	11,6	122,6	0,20648725	99,5	0,00466125	10,7					
23/04/2016	16,5	0	7,3	130,1	0,23116378	106	0,00489614	10,5					
24/04/2016	11,5	0	0	132,6	0,23959048	107,5	0,004952	5,5					
25/04/2016	11,2	0	0	134,8	0,24708057	108,7	0,00499714	5,2					
26/04/2016	10,2	0	4,3	136	0,25119384	108,9	0,0050047	4,2					
27/04/2016	11,6	0	0	138,6	0,26016909	110,5	0,00506562	5,6					
28/04/2016	13,2	0	0	142,8	0,27483422	113,7	0,00518968	7,2					
29/04/2016	14,1	0	0	147,9	0,29287954	117,8	0,00535306	8,1					
30/04/2016	9,5	7,2	17,1	148,4	0,29466083	117,8	0,00535306	3,5					
01/05/2016	9,3	0,4	11,8	148,7	0,29573054	117,8	0,00535306	3,3					
02/05/2016	14,4	0	0	154,1	0,31509338	122,2	0,00553408	8,4					
03/05/2016	17,1	0	0	162,2	0,34442056	129,3	0,00583911	11,1					
04/05/2016	16,7	0	0	169,9	0,37244771	136	0,00614227	10,7					
05/05/2016	18,1	0	0	179	0,4055258	144,1	0,00652972	12,1					
06/05/2016	14,6	0	0,2	184,6	0,4257538	148,7	0,00676047	8,6					
07/05/2016	15,6	0	0,2	191,2	0,44938095	154,3	0,00705233	9,6					
08/05/2016	14,3	1,2	0,4	196,5	0,46813598	158,6	0,0072849	8,3					
09/05/2016	18,2	7,8	6,7	205,7	0,50011272	166,8	0,00774971	12,2					
10/05/2016	19,8	6,2	11,1	215,7	0,53386683	176,6	0,00834395	13,8					
11/05/2016	16,5	2,8	18,3	223,2	0,55839042	183,1	0,00876279	10,5					
12/05/2016	15	0	3,8	229,2	0,57747357	188,1	0,00909909	9					
13/05/2016	14,4	1,4	16,9	234,6	0,59421803	192,5	0,0094056	8,4					
14/05/2016	18,5	0,2	1,7	244,1	0,62264008	201	0,01002696	12,5					
15/05/2016	15,1	0	0	250,2	0,64017002	206,1	0,01041911	9,1					
16/05/2016	15,6	0	0	256,8	0,65848724	211,7	0,01086719	9,6					
17/05/2016	17,8	0	0,2	265,6	0,68184629	219,5	0,01152323	11,8					
18/05/2016	15,1	0	8,3	271,7	0,69732125	224,6	0,01197319	9,1					
19/05/2016	16,9	0	4,6	279,6	0,71649211	231,5	0,01260969	10,9					
20/05/2016	18	0	0	288,6	0,7371469	239,5	0,01338956	12					
21/05/2016	18,2	0	4,2	297,8	0,75697959	247,7	0,01423829	12,2					
22/05/2016	16,7	8,6	12,9	305,5	0,77260768	254,4	0,01497094	10,7					
23/05/2016	13,7	0,2	8,3	310,2	0,78172295	258,1	0,01539133	7,7					
24/05/2016	16	0	0,1	317,2	0,7947185	264,1	0,01609786	10					
25/05/2016	16,1	0	8	324,3	0,80720993	270,2	0,01684886	10,1					
26/05/2016	18	0	8,6	333,3	0,82208272	278,2	0,01788616	12					
27/05/2016	20,1	0	8,3	343,3	0,83740462	288,3	0,01928565	14,1					
28/05/2016	19,3	21,8	8,6	353,3	0,85152863	297,6	0,02066889	13,3					
29/05/2016	18,8	0	13,4	363,1	0,86427745	306,4	0,02206695	12,8					
30/05/2016	18,1	0	7,9	372,2	0,87520659	314,5	0,02343524	12,1					
31/05/2016	17,9	5,6	12,9	381,1	0,88510127	322,4	0,02484936	11,9					
01/06/2016	17,1	0,4	11,1	389,2	0,89346518	329,5	0,02619098	11,1					
02/06/2016	18,8	0	9,3	399	0,90281985	338,3	0,0279519	12,8					
03/06/2016	20,7	1,2	1,9	409	0,9115616	349	0,0302483	14,7					
05/06/2016	22	0	4,8	419	0,9195524	361	0,03304122	16					
04/06/2016	21,9	0,2	7,8			372,9	0,036056	15,9					
06/06/2016	22,9	1	2,7			385,8	0,03962285	16,9					
07/06/2016	23,7	0	7,7			399,5	0,04378046	17,7					
08/06/2016	23,8	0	1,5			413,3	0,04838733	17,8					
09/06/2016	23,7	0	0,1			427	0,05341344	17,7					

10/06/2016	23,2	0	3,3			440,2	0,05871891	17,2		175,1936	305,337417	13,2	0,49295149
11/06/2016	22,2	0	5,8			452,4	0,06405827	16,2		175,254044	305,442763	25,4	0,55833242
12/06/2016	23	0	0			465,4	0,07024317	17		175,339312	305,591373	38,4	0,62910522
13/06/2016	23,4	0,4	2,7			478,8	0,07719238	17,4		175,457175	305,79679	51,8	0,70126144
14/06/2016	20,2	0,2	2,9			489	0,08289859	14,2		175,573558	305,999629	62	0,75424045
15/06/2016	21,2	29	6,3			500,2	0,08960398	15,2		175,735602	306,282049	73,2	0,80908391
16/06/2016	20,1	0	7,4			510,3	0,09606608	14,1		175,920445	306,604205	83,3	0,85441981
17/06/2016	18,2	2,8	3,6			518,5	0,10161569	12,2		176,103964	306,924052	91,5	0,88763779
18/06/2016	19	0,8	14,9			527,5	0,10803227	13		176,34744	307,348395	100,5	0,91975739
19/06/2016	19,6	0	0			537,1	0,11526646	13,6		176,666041	307,903671	110,1	0,94836584
20/06/2016	21,6	0	0			548,7	0,12456644	15,6		177,15184	308,750351	121,7	0,97429896
21/06/2016	25,7	0	0,3			564,4	0,13817157	18		178,038281	310,29529	137,4	0,99301272
22/06/2016	23,4	0	5,1			577,8	0,15075138	17,4		179,071794	312,096555	150,8	0,99333852
23/06/2016	23,4	0	6,4			591,2	0,16425822	17,4		180,445737	314,491141	164,2	0,97921083
24/06/2016	24,1	0	5,9					18		182,373047	317,850167	178,3	0,94942201
25/06/2016	25,9	0	2,7					18		185,325638	322,996112	194,2	0,89924336
26/06/2016	23,9	0	0					17,9		188,782306	329,02059	208,1	0,8431825
27/06/2016	22,4	0	0					16,4		192,727705	335,896857	220,5	0,78560445
28/06/2016	26,3	0	0,1					18		199,41437	347,550759	236,8	0,7023209
29/06/2016	24,1	0	6,1					18		206,795992	360,415872	250,9	0,62638386
30/06/2016	25,8	0	5,5					18		217,002857	378,20498	266,7	0,54048387
01/07/2016	26,4	0	5					18		229,747199	400,416546	283,1	0,45387353
02/07/2016	24,4	1,2	7,7					18		242,483964	422,614909	297,5	0,38236456
03/07/2016	23,6	0	0					17,6		255,407532	445,138841	311,1	0,32019107
04/07/2016	26,8	0	0					18		271,747772	473,617545	327,9	0,25185884
05/07/2016	25,4	0	0,3					18		286,200519	498,806619	343,3	0,19806418
06/07/2016	26,2	0	0					18		300,019971	522,89195	359,5	0,15064777
07/07/2016	27,5	0	0					18		312,729808	545,04338	377	0,109429
08/07/2016	27,4	0	0,8					18		322,856853	562,693373	394,4	0,0776846
09/07/2016	28,8	0	0					18		331,150939	577,148779	413,2	0,05218021
10/07/2016	26,6	0	3,2					18		336,533905	586,53052	429,8	0,03584995
11/07/2016	27	1	10,8					18		340,55341	593,535943	446,8	0,02384633
12/07/2016	20,7	1,8	9,7					14,7	14,7	342,472456	596,880565	457,5	0,01822727
13/07/2016	20,3	0	2,5					14,3	29	343,963976	599,480072	467,8	0,01394927
14/07/2016	19,7	0	0					13,7	42,7	345,10523	601,469115	477,5	0,01075748
15/07/2016	20,2	0	0					14,2	56,9	346,078737	603,165798	487,7	0,00811814
16/07/2016	22,2	0	0					16,2	73,1	346,996719	604,76571	499,9	0,00573309
17/07/2016	26,6	0	0,1					18	91,1	347,914833	606,365851	516,5	0,0035024
18/07/2016	22,7	0	5,3					16,7	107,8	348,424485	607,254102	529,2	0,0023661
19/07/2016	22,6	0	4,3					16,6	124,4	348,807788	607,922146	541,8	0,00158267
20/07/2016	22,1	0	4,3					16,1	140,5	349,088267	608,410979	553,9	0,00106263
21/07/2016	27,7	6,4	3,3					18	158,5	349,38456	608,927375	571,6	0,00058071
22/07/2016	23,9	6,2	11,2					17,9	176,4	349,54817	609,212525	585,5	0,00035489
23/07/2016	24,7	0	0,5					18	194,4	349,674221	609,432214	600,2	0,00020724
24/07/2016	25,8	0	0					18	212,4	349,770838	609,600603	616	0,00011398
25/07/2016	27,4	0	0					18	230,4	349,844471	609,728935	633,4	5,7629E-05
26/07/2016	28,8	0	0,1					18	248,4	349,897701	609,821708	652,2	2,6827E-05
27/07/2016	27,6	0	0					18	266,4	349,930896	609,879562	669,8	1,2775E-05
28/07/2016	26,4	0	0					18	284,4	349,952057	609,916443	686,2	6,2549E-06
29/07/2016	29,2	0	0					18	302,4	349,968752	609,94554	705,4	2,6365E-06
30/07/2016	25,6	2,2	6					18	320,4	349,977932	609,961539	721	1,2781E-06
31/07/2016	25,6	10,8	17,2					18	338,4	349,984416	609,972839	736,6	6,0739E-07
01/08/2016	23,5	0	5,2					17,5	355,9	349,988467	609,979899	750,1	3,1399E-07
02/08/2016	25,9	0	0					18	373,9	349,991909	609,985899	766	1,4162E-07
03/08/2016	28,6	0	0					18	391,9	349,994656	609,990687	784,6	5,4357E-08
04/08/2016	25,2	3,8	8					18	409,9	349,996192	609,993364	799,8	2,4338E-08
05/08/2016	22	0	6,6					16	425,9	349,997086	609,994922	811,8	1,2736E-08
06/08/2016	23,4	0	0					17,4	443,3	349,997839	609,996234	825,2	6,0939E-09
07/08/2016	25	0	0					18	461,3	349,998453	609,997304	840,2	2,6242E-09
08/08/2016	27,1	0	0					18	479,3	349,998944	609,998159	857,3	9,8208E-10
09/08/2016	25,3	0	0,1					18	497,3	349,999249	609,998691	872,6	3,9944E-10
10/08/2016	21,7	0	0					15,7	513	349,999422	609,998992	884,3	1,9819E-10
11/08/2016	21	0	0					15	528	349,999547	609,999211	895,3	1,0151E-10
12/08/2016	23,8	0	0					17,8	545,8	349,999667	609,99942	909,1	4,3239E-11
13/08/2016	22,8	0	0,6					16,8	562,6	349,99975	609,999564	921,9	1,9324E-11
14/08/2016	22,1	0	2,9					16,1	578,7	349,999809	609,999667	934	8,9143E-12
15/08/2016	21,9	0	3,6					15,9	594,6	349,999854	609,999745	945,9	4,117E-12
16/08/2016	22	0	6,3					16	610,6	349,999888	609,999805	957,9	1,8671E-12
17/08/2016	24,3	0	5,2					18		349,999919	609,999858	972,2	7,1659E-13
18/08/2016	24,4	0	2,2					18		349,999941	609,999897	986,6	2,6863E-13
19/08/2016	27,2	0	0					18		349,99996	609,99993	1003,8	8,1383E-14
20/08/2016	22,2	5,4	18,7					16,2		349,999969	609,999947	1016	3,4381E-14
21/08/2016	21,9	0	4,9					15,9		349,999976	609,999959	1027,9	1,4663E-14
22/08/2016	23,8	0	0					17,8		349,999983	609,99997	1041,7	5,3798E-15
23/08/2016	25,9	0	0					18		349,999988	609,999979	1057,6	1,6621E-15
24/08/2016	23,5	0	3					17,5		349,999991	609,999984	1071,1	6,033E-16
25/08/2016	24	0	1,6					18		349,999993	609,999989	1085,1	2,0762E-16
26/08/2016	24,8	0	3,1					18		349,999995	609,999992	1099,9	6,6067E-17
27/08/2016	25	0	3					18		349,999997	609,999994	1114,9	2,0326E-17
28/08/2016	23,9	0	8,3					17,9		349,999998	609,999996	1128,8	6,7075E-18
29/08/2016	26,6	0	3,9					18		349,999998	609,999997	1145,4	1,7481E-18
30/08/2016	26,1	0	0,1					18		349,999999	609,999998	1161,5	4,6432E-19
31/08/2016	25,5	0	6,2					18		349,999999	609,999999	1177	1,2701E-19
01/09/2016	26,7	0	4,7					18		349,999999	609,999999	1193,7	3,0745E-20
02/09/2016	26,9	0	0					18		350	609,999999	1210,6	7,1491E-21
03/09/2016	25	0	1,5					18		350	610	1225,6	1,9208E-21
04/09/2016	25,5	0	2					18		350	610	1241,1	4,8451E-22
05/09/2016	26,3	0	0					18		350	610	1257,4	1,1145E-22
06/09/2016	26,2	0	0					18		350	610	1273,6	2,5318E-23
07/09/2016	22,6	0	2,8					16,6		350	610	1286,2	7,8773E-24
08/09/2016	23,1	0	6,5					17,1		350	610	1299,3	2,3081E-24
09/09/2016	26,8	0	0					18		350	610	1316,1	4,6842E-25
10/09/2016	26,9	0	0,1					18		0	0	1333	9,2004E-26

Annexe 4: détails de la météorologie et des calculs en 2017 à Piolenc (t°=température, AP=ascospore, CON=conidie)

Date	T°moy (°C)	Pluie (mm)	Durée humectation (h)	Somme des t° entre 9 et 19°C	%APmat	Somme des t°>10°C	%CONmat	Somme des t° entre 6 et 24°C	175*f(GS)	305*f(GS)	Somme des t°>10°C BBCH 68	SUS
20/03/2017	18,1	0	11,9									
21/03/2017	14	0	10,6	5	0,00638659	4	0,00226119					
22/03/2017	12,6	0,2	0,9	8,6	0,00762275	6,6	0,00230621					
23/03/2017	15,3	6,6	6	14,9	0,01023693	11,9	0,00240078					
24/03/2017	11,1	8,6	24	17	0,01124893	13	0,00242088					
25/03/2017	9,8	13,6	19,6	17,8	0,01165428	13	0,00242088					
26/03/2017	11	0	13,8	19,8	0,01271723	14	0,0024393					
27/03/2017	11,8	0	13,2	22,6	0,01432904	15,8	0,00247282					
28/03/2017	14	0	8,4	27,6	0,01758986	19,8	0,00254895					
29/03/2017	17,7	0	1,4	36,3	0,02455117	27,5	0,00270215					
30/03/2017	14,5	0	10,5	41,8	0,02988057	32	0,0027959					
31/03/2017	12,6	3,2	8,1	45,4	0,03378852	34,6	0,00285154					
01/04/2017	9,3	6,2	23,5	45,7	0,03412968	34,6	0,00285154					
02/04/2017	11,4	3,4	10,6	48,1	0,03694657	36	0,00288196					
03/04/2017	16,9	0	0	56	0,04735167	42,9	0,00303665					
04/04/2017	17,6	0	0	64,6	0,06073646	50,5	0,00321663					
05/04/2017	16,4	0	0	72	0,07402657	56,9	0,00337641					
06/04/2017	15,1	0	0	78,1	0,08622726	62	0,00350938					
07/04/2017	15,5	0	0	84,6	0,10045664	67,5	0,00365863					
08/04/2017	18,6	0	3,2	94,2	0,12372649	76,1	0,00390479					
09/04/2017	14,4	0	10,2	99,6	0,13794488	80,5	0,00403703					
10/04/2017	15,9	0	7,9	106,5	0,15722082	86,4	0,00422139					
11/04/2017	17,3	0	0	114,8	0,18192529	93,7	0,00446114					
12/04/2017	18,3	0	2,6	124,1	0,21134497	102	0,00475023					
13/04/2017	16,6	0	4,5	131,7	0,23654617	108,6	0,00499336					
14/04/2017	19,2	0	0	141,7	0,27097481	117,8	0,00535306					
15/04/2017	17,9	0	0	150,6	0,30252105	125,7	0,00568242					
16/04/2017	16,2	0	0	157,8	0,32845739	125,7	0,00568242					
17/04/2017	16,2	0	0	165	0,35460491	125,7	0,00568242					
18/04/2017	13,3	0	0	169,3	0,37026261	125,7	0,00568242					
19/04/2017	10,9	0	0	171,2	0,37718145	125,7	0,00568242					
20/04/2017	10,1	0	0	172,3	0,38118577	125,7	0,00568242					
21/04/2017	14,2	0	1,8	177,5	0,40008671	125,7	0,00568242					
22/04/2017	12,8	0	9,4	181,3	0,4138501	128,5	0,00580393					
23/04/2017	14,7	0	0	187	0,43437605	133,2	0,00601372					
24/04/2017	13,8	0	5,6	191,8	0,45151482	137	0,00618884					
25/04/2017	14	30	12,7	196,8	0,46919089	141	0,00637865					
26/04/2017	13,4	0	13,4	201,2	0,48457193	144,4	0,00654453					
27/04/2017	10	0	2,4	202,2	0,48804272	144,4	0,00654453					
28/04/2017	10,7	0	0	203,9	0,49392069	145,1	0,00657921					
29/04/2017	13,8	0	2,4	208,7	0,5103571	148,9	0,00677068					
30/04/2017	8,9	20	11,9	208,7	0,5103571	148,9	0,00677068					
01/05/2017	11,7	0,6	14,4	211,4	0,51949246	150,6	0,00685812					
02/05/2017	11,7	10	20,9	214,1	0,52854395	152,3	0,00694668					
03/05/2017	12,3	0	13	217,4	0,53948809	154,6	0,00706831					
04/05/2017	13,8	1	16,2	222,2	0,55516261	158,4	0,00727392					
05/05/2017	14,5	0,2	14,3	227,7	0,57274913	162,9	0,00752508					
06/05/2017	12,9	12	20,1	231,6	0,58496694	165,8	0,00769149					
07/05/2017	14,5	0	8,5	237,1	0,60182746	170,3	0,00795696					
08/05/2017	15,9	0	0	244	0,62234795	176,2	0,00831883					
09/05/2017	15,5	0	0	250,5	0,64101735	181,7	0,00867085					
10/05/2017	13	0,4	9,5	254,5	0,65218122	184,7	0,00886904					
11/05/2017	13,5	9	17,8	259	0,66444138	188,2	0,00910595					
12/05/2017	17,9	0,2	12,4	267,9	0,68775008	196,1	0,00966397					
13/05/2017	17,7	0	10,8	276,6	0,70932733	203,8	0,01024041					
14/05/2017	18,2	0	7,7	285,8	0,73085511	212	0,01089173					
15/05/2017	20,6	0	0	295,8	0,75277672	222,6	0,0117947					
16/05/2017	21,9	0	3,2	305,8	0,77319901	234,5	0,01289674					
17/05/2017	19,4	0	7,8	315,8	0,79217412	243,9	0,01383858					
18/05/2017	20,8	3,4	3,9	325,8	0,80976228	254,7	0,0150046					
19/05/2017	16,3	0	7,8	333,1	0,82176357	261	0,01572892					
20/05/2017	14,9	0	6,1	339	0,83096719	265,9	0,01631598					
21/05/2017	20,2	0	1,8	349	0,84559749	276,1	0,01760795					
22/05/2017	17,1	0	6,1	357,1	0,85659667	283,2	0,01856605					
23/05/2017	20	0	5,2	368,1	0,87038722	293,2	0,02000275					
24/05/2017	25,1	0	0	378,1	0,88185066	308,3	0,02238073					
25/05/2017	25,3	0	0,7	388,1	0,89236383	323,6	0,02507131					
26/05/2017	21,4	0	8,6	398,1	0,90199419	335	0,02727847					
27/05/2017	20,8	0	8,6	408,1	0,91080648	345,8	0,02954301					
28/05/2017	20,9	0	8,5	418,1	0,91886244	356,7	0,03201289					
29/05/2017	20	0	7	428,1	0,92622054	366,7	0,03445362					

30/05/2017	21,2	0	7,6	438,1	0,93293592	377,9	0,03740026		175,185164	305,322715	11,2	0,4824296
31/05/2017	20,6	0	5,1	448,1	0,93906035	388,5	0,04041112		175,234473	305,408653	21,8	0,5388661
01/06/2017	21,1	1,2	15,1	458,1	0,94464219	399,6	0,04381228		175,300214	305,523229	32,9	0,59913676
02/06/2017	22,9	0	9,2	468,1	0,94972654	412,5	0,04810814		175,400051	305,697232	45,8	0,66919362
03/06/2017	21,8	7,6	13,1	478,1	0,95435526	424,3	0,0523854		175,520112	305,906481	57,6	0,73167426
04/06/2017	19,8	0	8,4	488,1	0,95856716	434,1	0,05620836		175,646685	306,127079	67,4	0,78120016
05/06/2017	22,1	0	1,5	498,1	0,96239809	446,2	0,06129057		175,846022	306,474495	79,5	0,8378901
06/06/2017	19,1	0	6,6			455,3	0,06539244		176,035239	306,804274	88,6	0,87629427
07/06/2017	17,9	0	0			463,2	0,06915902		176,233263	307,149402	96,5	0,90608005
08/06/2017	21,9	0	2,1			475,1	0,07521295		176,604632	307,796644	108,4	0,9437527
09/06/2017	21,7	0	5,8			486,8	0,08163626		177,077312	308,620458	120,1	0,97131414
10/06/2017	23,6	0	4			500,4	0,08972805		177,801508	309,882628	133,7	0,99036285
11/06/2017	24,3	0	1			514,7	0,0990094		178,830721	311,676399	148	0,994474
12/06/2017	27	0	4,9			531,7	0,11114682		180,540657	314,656573	165	0,97792039
13/06/2017	29,7	0	0,7			551,4	0,12682144		183,44951	319,72629	184,7	0,93120332
14/06/2017	26,9	0	7,9			568,3	0,14173911		187,050659	326,002577	201,6	0,8706562
15/06/2017	28,1	0	6			586,4	0,15931147		192,445495	335,405006	219,7	0,78949641
16/06/2017	28,3	0	0			604,7	0,17883213		199,981994	348,540047	238	0,69595399
17/06/2017	24,8	0	0			619,5	0,1959503		207,913316	362,363208	252,8	0,616035
18/06/2017	28,2	0	0			637,7	0,21866212		220,139604	383,671881	271	0,51738967
19/06/2017	24,6	0	5			652,3	0,23820969		231,866075	404,109445	285,6	0,44109834
20/06/2017	23,4	0	8,2			665,7	0,25717953		243,876018	425,04106	299	0,3752313
21/06/2017	25,9	0	8,5			681,6	0,28093266		259,101024	451,57607	314,9	0,30388115
22/06/2017	27,5	0	7,1			699,1	0,30856428		276,062543	481,137575	332,4	0,23525242
23/06/2017	28,8	0	5,5			717,9	0,33985061		293,15849	510,933369	351,2	0,17378545
24/06/2017	31,6	0	0			739,5	0,37758767		309,908734	540,126651	372,8	0,11842449
25/06/2017	27,5	0	0			757	0,40931448		320,693359	558,922712	390,3	0,08440393
26/06/2017	26,5	0,4	6,5			773,5	0,43994137		328,612752	572,725083	406,8	0,05994425
27/06/2017	25,1	4,6	9,9			788,6	0,46838225		334,174377	582,418201	421,9	0,04298203
28/06/2017	20,6	7	14,6			799,2	0,48848204	14,6	337,263504	587,802107	432,5	0,03365505
29/06/2017	20,3	1,2	9			809,5	0,5080493	28,9	339,723804	592,090058	442,8	0,02630303
30/06/2017	18,4	0	6,4			817,9	0,52399156	41,3	341,392864	594,998991	451,2	0,02137588
01/07/2017	18,7	0	4,6			826,6		54	342,848708	597,53632	459,9	0,01713913
02/07/2017	21,8	0	0			838,4		69,8	344,450806	600,328548	471,7	0,01257718
03/07/2017	24,3	0	0			852,7		87,8	345,930751	602,90788	486	0,00851311
04/07/2017	27,3	0	5			870		105,8	347,212516	605,141814	503,3	0,00519216
05/07/2017	23,3	0	5,6			883,3		123,1	347,919422	606,37385	516,6	0,00349178
06/07/2017	22,6	0	4,9			895,9		139,7	348,424485	607,254102	529,2	0,0023661
07/07/2017	26,5	0	0			912,4		157,7	348,906474	608,09414	545,7	0,00139378
08/07/2017	27,1	0	3			929,5		175,7	349,251691	608,695804	562,8	0,00078672
09/07/2017	26,2	0	5,4			945,7		193,7	349,477903	609,09006	579	0,00044767
10/07/2017	25,5	0	6,1			961,2		211,7	349,630158	609,355418	594,5	0,00025584
11/07/2017	26,2	0	2,4			977,4		229,7	349,74213	609,550569	610,7	0,00013961
12/07/2017	25,8	0	5,8			993,2		247,7	349,818627	609,683893	626,5	7,5749E-05
13/07/2017	27	0	0					265,7	349,875814	609,783561	643,5	3,8353E-05
14/07/2017	26,6	0	0					283,7	349,914217	609,850492	660,1	1,9289E-05
15/07/2017	25,7	0	0					301,7	349,939548	609,89464	675,8	9,8627E-06
16/07/2017	27,1	0	0					319,7	349,958709	609,928036	692,9	4,6428E-06
17/07/2017	24,1	0	0					337,7	349,969847	609,947448	707	2,45E-06
18/07/2017	23,3	0	4,6					355,7	349,977585	609,960934	720,3	1,3209E-06
19/07/2017	23,5	3,4	2,6					373,7	349,983412	609,971089	733,8	6,9518E-07
20/07/2017	25,9	0	5,9					391,7	349,988363	609,979719	749,7	3,2025E-07
21/07/2017	26,7	0	2,6					409,7	349,991981	609,986025	766,4	1,3878E-07
22/07/2017	24,8	0	6,1					427,7	349,994235	609,989953	781,2	6,4891E-08
23/07/2017	26,4	0	4,5					445,7	349,996001	609,99303	797,6	2,7372E-08
24/07/2017	25,1	3,8	1					463,7	349,997144	609,995023	812,7	1,2126E-08
25/07/2017	23	0	0					480,7	349,997863	609,996275	825,7	5,9269E-09
26/07/2017	23,2	0	0					497,9	349,998408	609,997225	838,9	2,825E-09
27/07/2017	27,8	0	0					515,9	349,99893	609,998134	856,7	1,017E-09
28/07/2017	26,6	0	0					533,9	349,999261	609,998712	873,3	3,8315E-10
29/07/2017	27,8	0	1					551,9	349,999503	609,999134	891,1	1,312E-10
30/07/2017	25,5	0	6,9					569,9	349,999648	609,999387	906,6	5,0527E-11
31/07/2017	27,6	0	4,6					587,9	349,999762	609,999586	924,2	1,6696E-11
01/08/2017	27,6	0	4,5					605,9	349,99984	609,99972	941,8	5,3795E-12
02/08/2017	28,5	0	6,3						349,999894	609,999815	960,3	1,5917E-12
03/08/2017	28,7	0	5,4						349,99993	609,999878	979	4,5182E-13
04/08/2017	30,7	0	0						349,999956	609,999923	999,7	1,0842E-13
05/08/2017	32	1,4	0						349,999973	609,999953	1021,7	2,2892E-14
06/08/2017	25,1	0	2,7						349,999981	609,999966	1036,8	7,6941E-15
07/08/2017	27,3	0	0						349,999987	609,999977	1054,1	2,1564E-15
08/08/2017	22,1	2,6	8,1						349,99999	609,999983	1066,2	8,7303E-16
09/08/2017	23,1	0	7,6						349,999993	609,999987	1079,3	3,2362E-16
10/08/2017	21,8	0	0						349,999994	609,99999	1091,1	1,308E-16
11/08/2017	20,1	0	0						349,999995	609,999992	1101,2	5,9695E-17
12/08/2017	22,7	0	0						349,999997	609,999994	1113,9	2,2001E-17
13/08/2017	26,1	0	0						349,999998	609,999996	1130	6,0907E-18
14/08/2017	24,1	0	2,8						349,999998	609,999997	1144,1	1,9438E-18
15/08/2017	23,4	0	3,3						349,999999	609,999998	1157,5	6,4671E-19
16/08/2017	23,5	0	5,6						349,999999	609,999998	1171	2,1027E-19
17/08/2017	28,7	0	1,3						349,999999	609,999999	1189,7	4,3275E-20
18/08/2017	26,8	0	0,2						350	609,999999	1206,5	1,0207E-20
19/08/2017	25,3	0	0						350	609,999999	1221,8	2,6843E-21
20/08/2017	22,3	0	0						350	610	1234,1	9,047E-22
21/08/2017	25,3	0	0						350	610	1249,4	2,2987E-22
22/08/2017	24,1	0	0						350	610	1263,5	6,3944E-23
23/08/2017	25,5	0	0,8						350	610	1279	1,5375E-23
24/08/2017	25	0	7,5						350	610	1294	3,799E-24
25/08/2017	23,4	0	5,7						350	610	1307,4	1,0729E-24
26/08/2017	24,5	0	2,6						350	610	1321,9	2,6866E-25
27/08/2017	25,3	0	4,9						350	610	1337,2	6,1175E-26

Annexe 5: détails météorologiques et calculs de SUS pour Serres en 2014 (t°=température)

Date	T°moy (°C)	Pluie (mm)	Durée humectation (h)	Somme t°>10°C depuis BBCH 68	SUS
20/03/2014	11,8	0	13,4		
21/03/2014	11,9	0	11,8		
22/03/2014	11,8	22,4	12,4		
23/03/2014	9,1	0,8	0,7		
24/03/2014	8,2	0	0		
25/03/2014	9,5	0	0		
26/03/2014	8,8	0	6,7		
27/03/2014	8,7	0	7,5		
28/03/2014	8,9	0	9,1		
29/03/2014	13	0	6		
30/03/2014	12,6	0	4,9		
31/03/2014	11,4	0	11,6		
01/04/2014	12,3	0	10,2		
02/04/2014	14,2	0	7,9		
03/04/2014	17,7	0	1,3		
04/04/2014	14,6	0	1		
05/04/2014	16,4	0	0		
06/04/2014	15,2	0	2,2		
07/04/2014	15,4	0	10,3		
08/04/2014	15,4	0	8		
09/04/2014	16,1	0	0		
10/04/2014	13,8	0	10,1		
11/04/2014	13,8	0	12,2		
12/04/2014	15,7	0	9,9		
13/04/2014	16,6	0	1,8		
14/04/2014	14,1	0	5,4		
15/04/2014	14,7	0	0		
16/04/2014	11,1	0	1,6		
17/04/2014	13,1	0	6,6		
18/04/2014	13	0	7		
19/04/2014	12,2	0	0		
20/04/2014	7	8,8	10,6		
21/04/2014	13,5	0	9,3		
22/04/2014	14,1	5	15,4		
23/04/2014	16,1	1	6,9		
24/04/2014	15,9	0	7,4		
25/04/2014	15,8	0,6	2,1		
26/04/2014	14,7	3,4	5,1		
27/04/2014	14,4	0	0		
28/04/2014	13,4	0	0		
29/04/2014	16,2	0	0		
30/04/2014	14,5	0	0,7		
01/05/2014	16,5	0	0		
02/05/2014	13,9	0	0		
03/05/2014	15,4	0	0		
04/05/2014	14,6	0	0		
05/05/2014	13,9	0	5,7		
06/05/2014	13,5	0	3,5		
07/05/2014	17,4	0	3,6		
08/05/2014	16,1	0	7		
09/05/2014	17,9	0	4,6		
10/05/2014	19	2	0		
11/05/2014	17,4	1,6	6,1		
12/05/2014	16,6	0	0		
13/05/2014	14,7	0	0		
14/05/2014	14,7	0	0		
15/05/2014	15,5	0	0		
16/05/2014	14,2	0	0		
17/05/2014	15,4	0	0		
18/05/2014	16	1	5,5		
19/05/2014	15,1	0	2,3		
20/05/2014	19,6	1,8	0		
21/05/2014	22	0	2		
22/05/2014	20,6	7,2	8,1		
23/05/2014	17,4	9,6	8,1		
24/05/2014	15	0	5,5		
25/05/2014	16,7	1	3,2		
26/05/2014	17,2	0	5,8		
27/05/2014	15,5	0	0		
28/05/2014	14,7	0	5,9		
29/05/2014	15,6	0	5,7		
30/05/2014	19,3	0	0		
31/05/2014	18	0	0,3		
01/06/2014	17,8	0	4,5		
02/06/2014	17,3	0	0		
03/06/2014	18,8	0	0		

04/06/2014	17,8	1	5,2	7,8	0,464707
05/06/2014	17	0	5,4	14,8	0,50141614
06/06/2014	19,5	0	1,4	24,3	0,55237289
07/06/2014	21,5	0	2,9	35,8	0,6149451
08/06/2014	23,4	0	0	49,2	0,68742881
09/06/2014	24,2	0	0	63,4	0,76131328
10/06/2014	25,3	0	0,2	78,7	0,83432584
11/06/2014	24,2	0	1	92,9	0,89294706
12/06/2014	26,4	0	0	109,3	0,94621994
13/06/2014	25,4	0	1,1	124,7	0,97936865
14/06/2014	25,5	0	0	140,2	0,99428412
15/06/2014	20,2	3,8	12,2	150,4	0,99353957
16/06/2014	21,7	0	5,4	162,1	0,9823622
17/06/2014	20	0	5,2	172,1	0,9643326
18/06/2014	18,1	17,8	8,3	180,2	0,94430581
19/06/2014	13,6	0	6,5	183,8	0,93393264
20/06/2014	21,1	0	1,6	194,9	0,89667102
21/06/2014	21,7	0	0,1	206,6	0,8497046
22/06/2014	22,4	0	5,4	219	0,79288372
23/06/2014	23,1	0	2,2	232,1	0,72700078
24/06/2014	24,4	35,4	6,1	246,5	0,65028616
25/06/2014	22,4	0,8	5,8	258,9	0,58278979
26/06/2014	21,8	0	0	270,7	0,51899378
27/06/2014	21,6	0	1,8	282,3	0,4579899
28/06/2014	21,9	7,4	2,3	294,2	0,39828122
29/06/2014	21,3	0,2	3,6	305,5	0,34509377
30/06/2014	19,2	0	0	314,7	0,30472742
01/07/2014	19	0,8	6,7	323,7	0,26801428
02/07/2014	22,9	0	1,1	336,6	0,2204136
03/07/2014	22,6	0	6	349,2	0,17972163
04/07/2014	22,8	11,4	6,3	362	0,14414325
05/07/2014	23,1	0	9,3	375,1	0,11343071
06/07/2014	22,8	4,6	8,6	387,9	0,08854737
07/07/2014	18,9	21,4	13,1	396,8	0,07395526
08/07/2014	18,6	0	0	405,4	0,0617635
09/07/2014	17,7	0	2,7	413,1	0,05229477
10/07/2014	17,8	0	0	420,9	0,04396466
11/07/2014	20,1	0	0	431	0,03485986
12/07/2014	21	0	0	442	0,02681974
13/07/2014	22	3,2	2,2	454	0,01992237
14/07/2014	22,1	0	3,7	466,1	0,01458761
15/07/2014	21,8	0	1,1	477,9	0,01064108
16/07/2014	22,7	0	6,4	490,6	0,00748213
17/07/2014	24,4	0	7,6	505	0,0049394
18/07/2014	24,1	0	9,9	519,1	0,00323564
19/07/2014	25,2	0,2	2,4	534,3	0,00201383
20/07/2014	23,6	13	8,1	547,9	0,00129664
21/07/2014	19,6	0	4,9	557,5	0,00094169
22/07/2014	22,7	0	0	570,2	0,00060971
23/07/2014	23	0	2,5	583,2	0,00038544
24/07/2014	25,3	0	6,3	598,5	0,00022074
25/07/2014	20,7	3,6	13,5	609,2	0,00014779
26/07/2014	22,2	0	7,2	621,4	9,2481E-05
27/07/2014	24,3	0	0	635,7	5,2564E-05
28/07/2014	21	1,4	8,4	646,7	3,3653E-05
29/07/2014	17,8	1	5,3	654,5	2,4383E-05
30/07/2014	21,2	0	0	665,7	1,5219E-05
31/07/2014	24,9	0	2,2	680,6	8,0019E-06
01/08/2014	22,7	2,6	10,8	693,3	4,5604E-06
02/08/2014	22,6	40,6	12,1	705,9	2,5768E-06
03/08/2014	22,6	0	8,3	718,5	1,4373E-06
04/08/2014	23,2	0	9,5	731,7	7,6892E-07
05/08/2014	20,4	0	7,3	742,1	4,6505E-07
06/08/2014	20,8	0	2,3	752,9	2,7332E-07
07/08/2014	23,2	0	0,6	766,1	1,409E-07
08/08/2014	23,2	7	9,8	779,3	7,1615E-08
09/08/2014	23,3	0	8,1	792,6	3,5695E-08
10/08/2014	24	0	10,3	806,6	1,6886E-08
11/08/2014	25,1	0	5,7	821,7	7,3981E-09
12/08/2014	21,1	8,8	4,7	832,8	3,9857E-09
13/08/2014	21	1	5	843,8	2,1379E-09
14/08/2014	19	0	1,2	852,8	1,2749E-09
15/08/2014	18,1	0	6,8	860,9	7,9609E-10
16/08/2014	19,5	0	0	870,4	4,5513E-10
17/08/2014	18,3	0	4,9	878,7	2,7756E-10
18/08/2014	19,3	5,4	5	888	1,5842E-10
19/08/2014	22,6	1	8,1	900,6	7,3275E-11
20/08/2014	19,7	0	9,1	910,3	4,0117E-11
21/08/2014	17,9	0	7,2	918,2	2,4423E-11
22/08/2014	17,6	0,6	8,3	925,8	1,5078E-11
23/08/2014	20,6	0	3	936,4	7,6353E-12
24/08/2014	19,1	0	0	945,5	4,2261E-12
25/08/2014	18	0	0	953,5	2,4985E-12
26/08/2014	21,7	0,6	3,9	965,2	1,1475E-12
27/08/2014	22,7	0	6,1	977,9	4,8694E-13
28/08/2014	22,8	0	0	990,7	2,0252E-13
29/08/2014	24,2	0	0	1004,9	7,5337E-14
30/08/2014	22,3	0	6,8	1017,2	3,1567E-14
31/08/2014	20,1	0	3,7	1027,3	1,5311E-14
01/09/2014	20,1	0	0	1037,4	7,3651E-15
02/09/2014	19,8	0	0	1047,2	3,5919E-15
03/09/2014	18,7	0	0,3	1055,9	1,8864E-15
04/09/2014	19,8	0	0,4	1065,7	9,0648E-16
05/09/2014	21,7	0,4	1,2	1077,4	3,7404E-16
06/09/2014	22,3	0	3,8	1089,7	1,4573E-16
07/09/2014	22,6	0	0,2	1102,3	5,4779E-17
08/09/2014	24,3	2,6	8,4	1116,6	1,7764E-17
09/09/2014	23,3	0	8,7	1129,9	6,1399E-18
10/09/2014	21,9	0	7,6	1141,8	2,3444E-18

Annexe 6 : résultats des tests statistiques pour les modalités biologiques le 20 juin 2017

Test de Kruskal-Wallis :

K (Valeur observée)	16,074
K (Valeur critique)	9,488
DDL	4
p-value (bilatérale)	0,003
alpha	0,05

Comparaisons multiples par paires suivant la procédure de Dunn / Test bilatéral :

Echantillon	Effectif	Somme des rangs	Moyenne des rangs	Groupes	
bio deb veraison	4	14,000	3,500	A	
bio deb ferm	4	22,000	5,500	A	B
bio pre flo ferm	4	45,500	11,375	A	B
bio pre flo veraison	4	63,000	15,750		B
témoin	4	65,500	16,375		B

deb = débourrement, ferm = fermeture, flo = floraison

Annexe 7: tests statistiques pour l'ensemble des modalités le 23 juin 2017

Test sur les fréquences :

Test de Kruskal-Wallis :

K (Valeur observée)	23,543
K (Valeur critique)	14,067
DDL	7
p-value (bilatérale)	0,001
alpha	0,05

Comparaisons multiples par paires suivant la procédure de Dunn / Test bilatéral :

Echantillon	Effectif	Somme des rangs	Moyenne des rangs	Groupes	
M6 pre flo 2 traitements	4	38,000	9,500	A	
M7 déb/véraison	4	38,000	9,500	A	
M2 BIO deb ferm	4	49,500	12,375	A	B
M5 BIO deb veraison	4	49,500	12,375	A	B
M8 deb/fermeture	4	49,500	12,375	A	B
M4 BIO pre flo ferm	4	86,500	21,625	A	B
M3 BIO pre flo veraison	4	95,000	23,750	A	B
témoin	4	122,000	30,500		B

deb = débourrement, ferm = fermeture, flo = floraison

Test sur les intensités :

Test de Kruskal-Wallis :

K (Valeur observée)	23,765
K (Valeur critique)	14,067
DDL	7
p-value (bilatérale)	0,001
alpha	0,05

Comparaisons multiples par paires suivant la procédure de Dunn / Test bilatéral :

Echantillon	Effectif	Somme des rangs	Moyenne des rangs	Groupes	
M6 pre flo 2 traitements	4	38,000	9,500	A	
M7 déb/véraison	4	38,000	9,500	A	
M5 BIO deb veraison	4	48,500	12,125	A	B
M8 déb/fermeture	4	48,500	12,125	A	B
M2 BIO deb ferm	4	51,500	12,875	A	B
M4 BIO pre flo ferm	4	83,000	20,750	A	B
M3 BIO pre flo veraison	4	98,500	24,625	A	B
témoin	4	122,000	30,500		B

deb = débourrement, ferm = fermeture, flo = floraison

Annexe 8 : traitements statistiques pour l'ensemble des données du 6 juillet 2017

Test sur les fréquences :

Test de Kruskal-Wallis :

K (Valeur observée)	16,443
K (Valeur critique)	14,067
DDL	7
p-value (bilatérale)	0,021
alpha	0,05

Comparaisons multiples par paires suivant la procédure de Dunn / Test bilatéral :

Echantillon	Effectif	Somme des rangs	Moyenne des rangs	Groupes	
M8 déb/fermeture	4	27,000	6,750	A	
M6 pre flo 2 traitements	4	44,000	11,000	A	B
M7 déb/véraison	4	44,500	11,125	A	B
M5 BIO deb veraison	4	61,000	15,250	A	B
M4 BIO pre flo ferm	4	69,500	17,375	A	B
M2 BIO deb ferm	4	74,500	18,625	A	B
M3 BIO pre flo veraison	4	92,000	23,000	A	B
témoin	4	115,500	28,875		B

deb = débourrement, ferm = fermeture, flo = floraison

Test sur les intensités :

Test de Kruskal-Wallis :

K (Valeur observée)	16,443
K (Valeur critique)	14,067
DDL	7
p-value (bilatérale)	0,021
alpha	0,05

Comparaisons multiples par paires suivant la procédure de Dunn / Test bilatéral :

Echantillon	Effectif	Somme des rangs	Moyenne des rangs	Groupes	
M6 pre flo 2 traitements	4	28,500	7,125	A	
M8 déb/fermeture	4	30,500	7,625	A	
M7 déb/véraison	4	41,500	10,375	A	B
M5 BIO deb veraison	4	62,000	15,500	A	B
M4 BIO pre flo ferm	4	73,500	18,375	A	B
M2 BIO deb ferm	4	81,000	20,250	A	B
M3 BIO pre flo veraison	4	93,000	23,250	A	B
témoin	4	118,000	29,500		B

deb = débourrement, ferm = fermeture, flo = floraison

Annexe 9 : traitements statistiques pour l'ensemble des données du 19 juillet 2017

Test sur les fréquences :

Test de Kruskal-Wallis :

K (Valeur observée)	15,153
K (Valeur critique)	14,067
DDL	7
p-value (bilatérale)	0,034
alpha	0,05

Comparaisons multiples par paires suivant la procédure de Dunn / Test bilatéral :

Echantillon	Effectif	Somme des rangs	Moyenne des rangs	Groupes
M6 pre flo 2 traitements	4	35,500	8,875	A
M5 BIO deb veraison	4	38,000	9,500	A
M8 déb/fermeture	4	42,500	10,625	A
M7 déb/véraison	4	53,500	13,375	A
M2 BIO deb ferm	4	75,000	18,750	A
M4 BIO pre flo ferm	4	83,500	20,875	A
M3 BIO pre flo veraison	4	90,500	22,625	A
témoin	4	109,500	27,375	A

deb = débourrement, ferm = fermeture, flo = floraison

Test sur les intensités :

Test de Kruskal-Wallis :

K (Valeur observée)	20,174
K (Valeur critique)	14,067
DDL	7
p-value (bilatérale)	0,005
alpha	0,05

Comparaisons multiples par paires suivant la procédure de Dunn / Test bilatéral :

Echantillon	Effectif	Somme des rangs	Moyenne des rangs	Groupes
M6 pre flo 2 traitements	4	27,000	6,750	A
M5 BIO deb veraison	4	28,500	7,125	A
M8 déb/fermeture	4	48,000	12,000	A
M7 déb/véraison	4	53,500	13,375	A
M4 BIO pre flo ferm	4	69,500	17,375	A
M3 BIO pre flo veraison	4	93,500	23,375	A
M2 BIO deb ferm	4	100,000	25,000	A
témoin	4	108,000	27,000	A

deb = débourrement, ferm = fermeture, flo = floraison

Annexe 10: résultats statistiques des modalités biologiques au 2 août 2017

Test sur les fréquences :

Test de Kruskal-Wallis :

K (Valeur observée)	18,331
K (Valeur critique)	14,067
DDL	7
p-value (bilatérale)	0,011
alpha	0,05

Comparaisons multiples par paires suivant la procédure de Dunn / Test bilatéral :

Echantillon	Effectif	Somme des rangs	Moyenne des rangs	Groupes	
M7 déb/véraison	4	17,000	4,250	A	
M8 déb/fermeture	4	46,500	11,625	A	B
M6 pre flo 2 traitements	4	51,000	12,750	A	B
M5 BIO deb veraison	4	66,000	16,500	A	B
M3 BIO pre flo veraison	4	68,500	17,125	A	B
M2 BIO deb ferm	4	76,000	19,000	A	B
M4 BIO pre flo ferm	4	82,000	20,500	A	B
témoin	4	121,000	30,250		B

deb = débourrement, ferm = fermeture, flo = floraison

Test sur les intensités :

Test de Kruskal-Wallis :

K (Valeur observée)	16,138
K (Valeur critique)	14,067
DDL	7
p-value (bilatérale)	0,024
alpha	0,05

Comparaisons multiples par paires suivant la procédure de Dunn / Test bilatéral :

Echantillon	Effectif	Somme des rangs	Moyenne des rangs	Groupes
M7 déb/véraison	4	26,000	6,500	A
M8 déb/fermeture	4	32,000	8,000	A
M6 pre flo 2 traitements	4	44,500	11,125	A
M4 BIO pre flo ferm	4	71,500	17,875	A
M3 BIO pre flo veraison	4	78,000	19,500	A
M7 déb/véraison	4	85,000	21,250	A
M2 BIO deb ferm	4	86,000	21,500	A
témoin	4	105,000	26,250	A

déb = débourrement, ferm = fermeture, flo = floraison

Annexe 11 : test statistique pour l'ensemble des modalités au 30 juin 2016

Test sur les fréquences :

Test de Kruskal-Wallis :

K (Valeur observée)	20,237
K (Valeur critique)	12,592
DDL	6
p-value (bilatérale)	0,003
alpha	0,05

Comparaisons multiples par paires suivant la procédure de Dunn / Test bilatéral :

Echantillon	Effectif	Somme des rangs	Moyenne des rangs	Groupes	
M8 deb ferm	4	20,000	5,000	A	
M7 deb véraison	4	21,500	5,375	A	
M2 BIO deb ferm	4	56,500	14,125	A	B
M4 BIO pre flo ferm	4	61,000	15,250	A	B
M5 BIO deb véraison	4	66,000	16,500	A	B
M3 BIO pre flo veraison	4	75,000	18,750	A	B
témoin	4	106,000	26,500		B

deb = débourrement, ferm = fermeture, flo = floraison

Test sur les intensités :

Test de Kruskal-Wallis :

K (Valeur observée)	18,136
K (Valeur critique)	12,592
DDL	6
p-value (bilatérale)	0,006
alpha	0,05

Comparaisons multiples par paires suivant la procédure de Dunn / Test bilatéral :

Echantillon	Effectif	Somme des rangs	Moyenne des rangs	Groupes	
M8 deb ferm	4	19,500	4,875	A	
M7 deb véraison	4	28,000	7,000	A	
M2 BIO deb ferm	4	55,500	13,875	A	B
M5 BIO deb véraison	4	63,500	15,875	A	B
M4 BIO pre flo ferm	4	64,500	16,125	A	B
M5 BIO deb véraison	4	69,000	17,250	A	B
témoin	4	106,000	26,500		B

deb = débourrement, ferm = fermeture, flo = floraison

Annexe 12 : test statistique pour l'ensemble des modalités le 13 juillet 2016

Test sur les fréquences :

Test de Kruskal-Wallis :

K (Valeur observée)	20,215
K (Valeur critique)	12,592
DDL	6
p-value (bilatérale)	0,003
alpha	0,05

Comparaisons multiples par paires suivant la procédure de Dunn / Test bilatéral :

Echantillon	Effectif	Somme des rangs	Moyenne des rangs	Groupes	
M8 deb ferm	4	14,000	3,500	A	
M7 deb véraison	4	31,000	7,750	A	
M5 BIO deb véraison	4	49,500	12,375	A	B
M2 BIO deb ferm	4	63,500	15,875	A	B
M3 BIO pre flo veraison	4	67,500	16,875	A	B
M4 BIO pre flo ferm	4	74,500	18,625	A	B
témoin	4	106,000	26,500		B

deb = débourrement, ferm = fermeture, flo = floraison

Test sur les intensités :

Test de Kruskal-Wallis :

K (Valeur observée)	17,717
K (Valeur critique)	12,592
DDL	6
p-value (bilatérale)	0,007
alpha	0,05

Comparaisons multiples par paires suivant la procédure de Dunn / Test bilatéral :

Echantillon	Effectif	Somme des rangs	Moyenne des rangs	Groupes	
M8 deb ferm	4	12,000	3,000	A	
M7 deb véraison	4	44,000	11,000	A	B
M5 BIO deb véraison	4	56,000	14,000	A	B
M3 BIO pre flo veraison	4	57,000	14,250	A	B
M2 BIO deb ferm	4	60,000	15,000	A	B
M4 BIO pre flo ferm	4	71,000	17,750	A	B
témoin	4	106,000	26,500		B

deb = débourrement, ferm = fermeture, flo = floraison

Annexe 13: test statistique de l'ensemble des modalités au 26 juillet 2016

Test sur les fréquences :

Test de Kruskal-Wallis :

K (Valeur observée)	16,791
K (Valeur critique)	12,592
DDL	6
p-value (bilatérale)	0,010
alpha	0,05

Comparaisons multiples par paires suivant la procédure de Dunn / Test bilatéral :

Echantillon	Effectif	Somme des rangs	Moyenne des rangs	Groupes	
M8 deb ferm	4	19,500	4,875	A	
M7 deb véraison	4	30,000	7,500	A	
M5 BIO deb véraison	4	55,000	13,750	A	B
M4 BIO pre flo ferm	4	60,500	15,125	A	B
M2 BIO deb ferm	4	65,000	16,250	A	B
M3 BIO pre flo veraison	4	74,500	18,625	A	B
témoin	4	101,500	25,375		B

deb = débourrement, ferm = fermeture, flo = floraison

Test sur les intensités :

Test de Kruskal-Wallis :

K (Valeur observée)	19,322
K (Valeur critique)	12,592
DDL	6
p-value (bilatérale)	0,004
alpha	0,05

Comparaisons multiples par paires suivant la procédure de Dunn / Test bilatéral :

Echantillon	Effectif	Somme des rangs	Moyenne des rangs	Groupes	
M8 deb ferm	4	11,000	2,750	A	
M7 deb véraison	4	31,000	7,750	A	
M5 BIO deb véraison	4	59,000	14,750	A	B
M2 BIO deb ferm	4	61,000	15,250	A	B
M3 BIO pre flo veraison	4	70,000	17,500	A	B
M4 BIO pre flo ferm	4	72,000	18,000	A	B
témoin	4	102,000	25,500		B

deb = débourrement, ferm = fermeture, flo = floraison

Annexe 14: test statistique pour l'ensemble des modalités au 9 août 2016

Test sur les fréquences :

Test de Kruskal-Wallis :

K (Valeur observée)	18,888
K (Valeur critique)	12,592
DDL	6
p-value (bilatérale)	0,004
alpha	0,05

Comparaisons multiples par paires suivant la procédure de Dunn / Test bilatéral :

Echantillon	Effectif	Somme des rangs	Moyenne des rangs	Groupes	
M8 deb ferm	4	10,000	2,500	A	
M7 deb véraison	4	49,000	12,250	A	B
M2 BIO deb ferm	4	50,500	12,625	A	B
M5 BIO deb véraison	4	56,000	14,000	A	B
M4 BIO pre flo ferm	4	58,000	14,500	A	B
M3 BIO pre flo veraison	4	76,500	19,125	A	B
témoin	4	106,000	26,500		B

deb = débourrement, ferm = fermeture, flo = floraison

Test sur les intensités :

Test de Kruskal-Wallis :

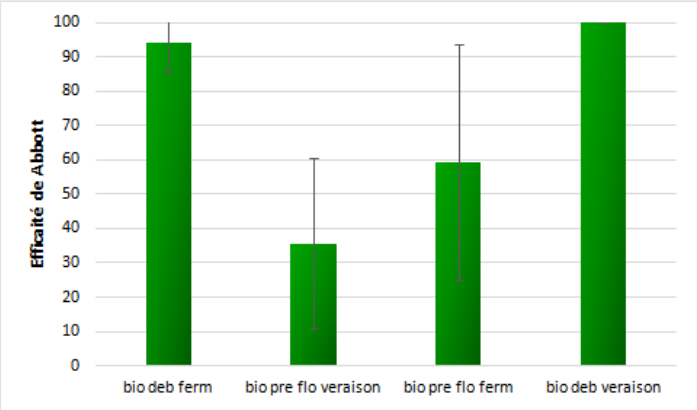
K (Valeur observée)	17,992
K (Valeur critique)	12,592
DDL	6
p-value (bilatérale)	0,006
alpha	0,05

Comparaisons multiples par paires suivant la procédure de Dunn / Test bilatéral :

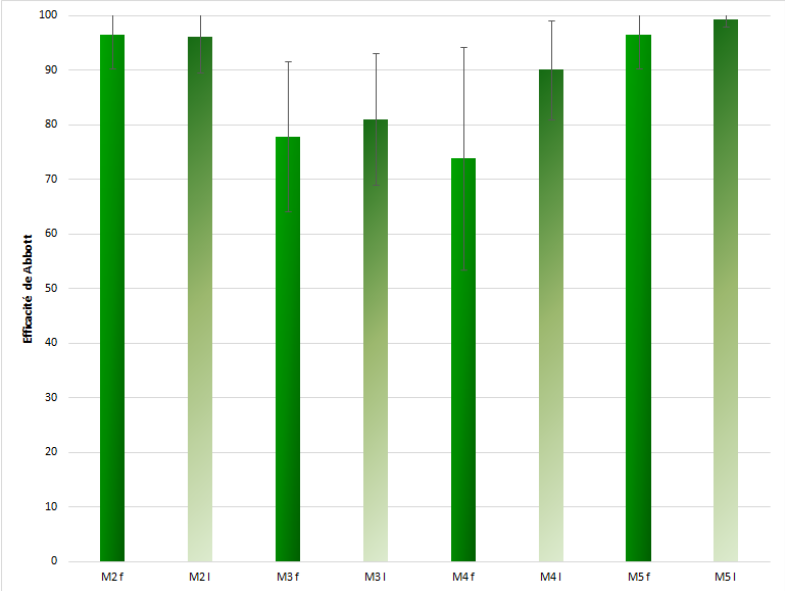
Echantillon	Effectif	Somme des rangs	Moyenne des rangs	Groupes	
M8 deb ferm	4	13,500	3,375	A	
M5 BIO deb véraison	4	45,000	11,250	A	B
M7 deb véraison	4	46,000	11,500	A	B
M2 BIO deb ferm	4	56,500	14,125	A	B
M4 BIO pre flo ferm	4	68,000	17,000	A	B
M3 BIO pre flo veraison	4	71,000	17,750	A	B
témoin	4	106,000	26,500		B

deb = débourrement, ferm = fermeture, flo = floraison

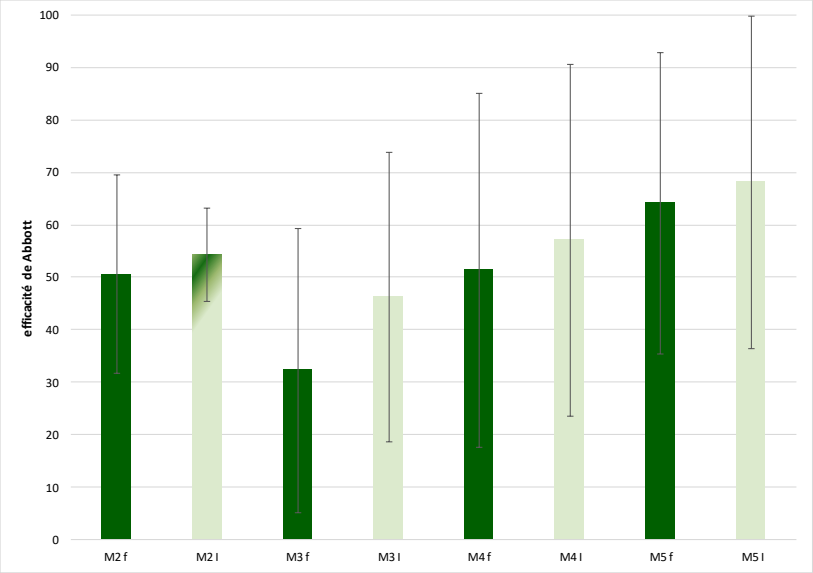
Annexe 15 : efficacité de Abbott pour les modalités biologiques



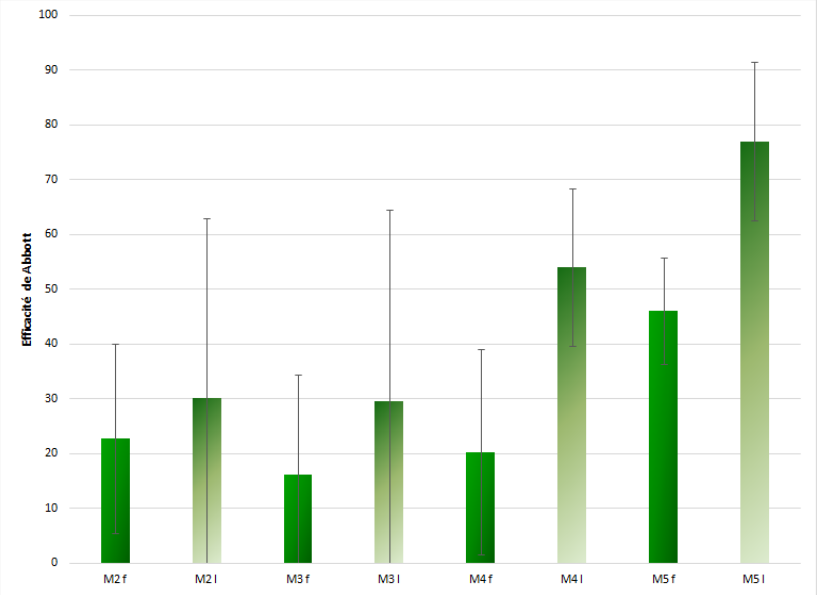
Efficacités de Abbott pour les modalités biologiques le 20 juin 2017 (deb = débourrement, ferm = fermeture, flo = floraison)



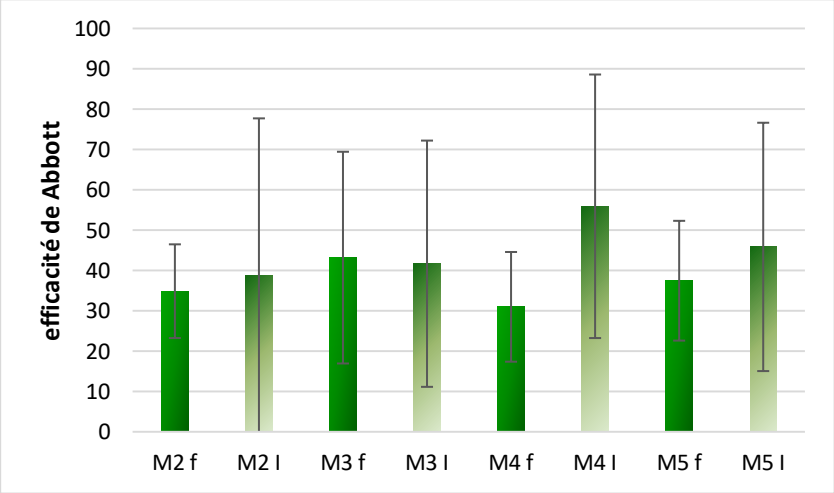
Efficacités de Abbott sur les fréquences (notées f) et intensités (notées I) des modalités biologiques le 23 juin 2017



Efficacités de Abbott sur les fréquences (notées f) et intensités (notées I) des modalités biologiques le 6 juillet 2017

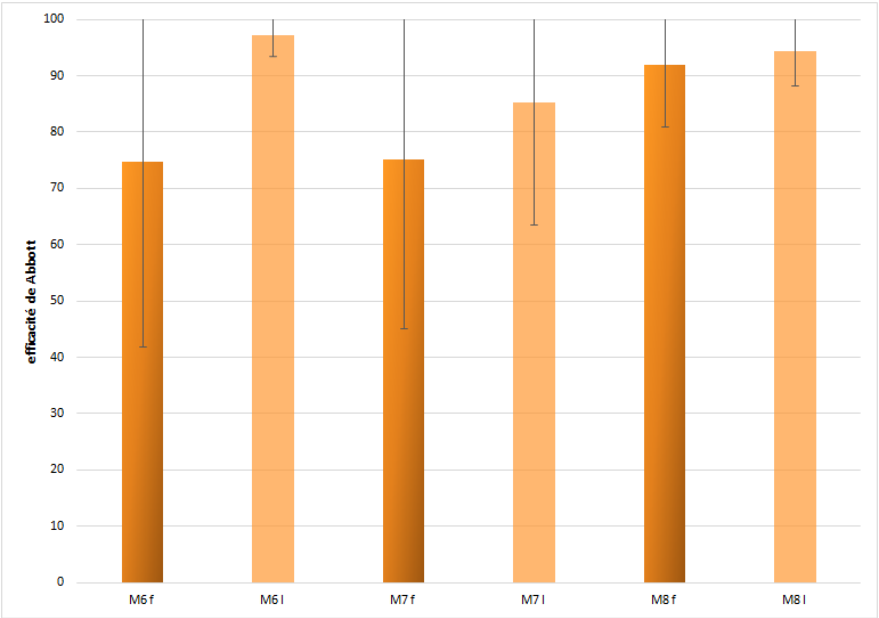


Efficacités de Abbott sur les fréquences (notées f) et intensités (notées I) des modalités biologiques le 19 juillet 2017

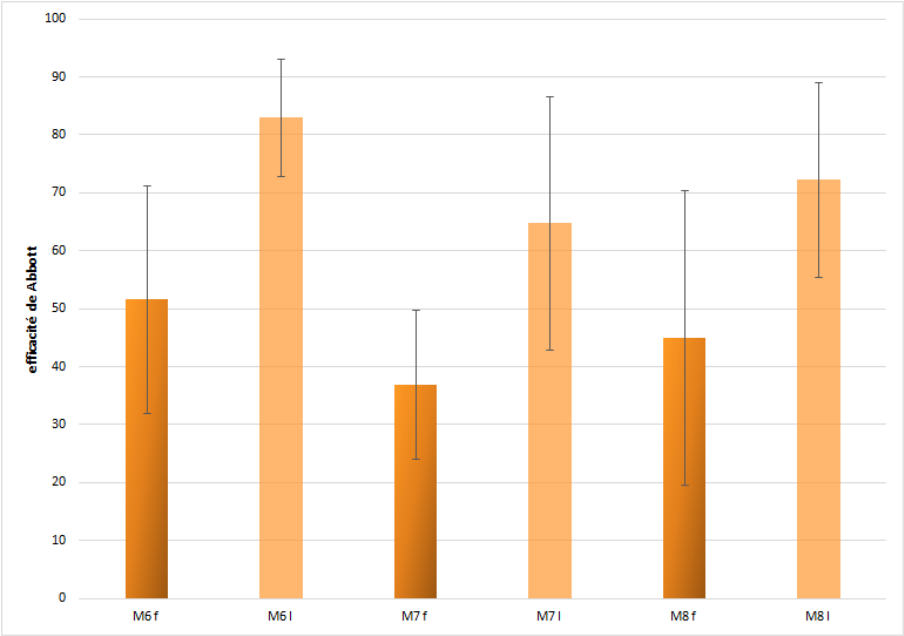


Efficacités de Abbott sur les fréquences (notées f) et intensités (notées I) des modalités biologiques le 2 août 2017

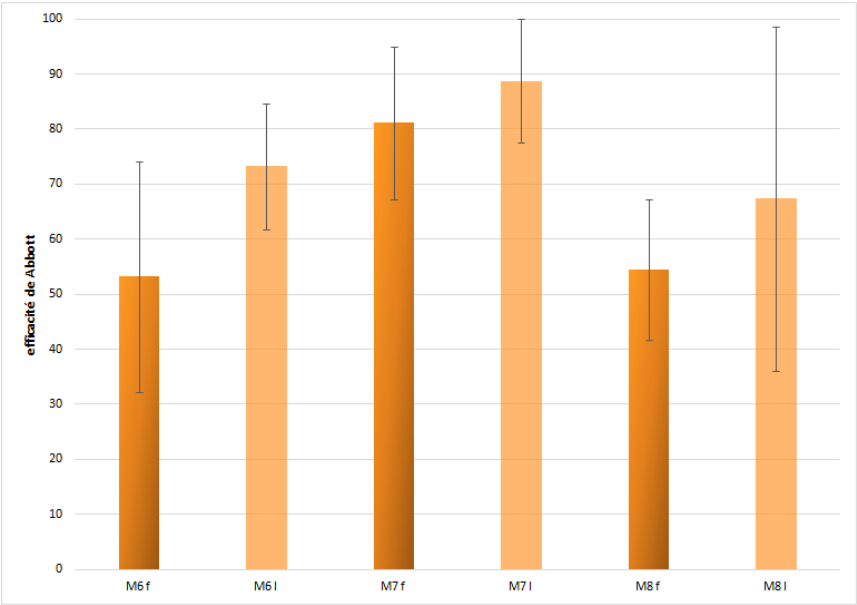
Annexe 16: efficacités de Abbott pour les modalités conventionnelles



Efficacités de Abbott sur les fréquences (notées f) et intensités (notées I) des modalités conventionnelles le 6 juillet 2017



Efficacités de Abbott sur les fréquences (notées f) et intensités (notées I) des modalités biologiques le 19 juillet 2017



Efficacités de Abbott sur les fréquences (notées f) et intensités (notées I) des modalités biologiques le 2 août 2017

Le black rot en Vaucluse : modélisation de la dynamique de la maladie et essai sur la gestion raisonnée en agriculture biologique et conventionnelle

Résumé : Guignardia bidwellii est un champignon pathogène des plantes responsable du black rot sur la vigne. Le champignon est natif du nord de l'Amérique, il est apparu en France à la fin du 19ème siècle. Il est capable d'infecter tous les tissus verts en croissance, devenant une menace pour à la fois le rendement et la qualité du vin. La croissance du champignon dépend des conditions climatiques. Un outil d'aide à la décision a été établi avec les données météorologiques, puis testé pendant 4 ans, de 2014 à 2017. Il permet d'estimer la sensibilité relative des grappes, de déterminer l'apparition et la sévérité des évènements infectieux ainsi que la durée de la période d'incubation. La précision, la sensibilité et l'exactitude du modèle sont de 67%, 88.8% et 88.8% en moyenne. Un deuxième essai a été mis en place pour développer un calendrier de traitement efficace en viticulture « bio » et conventionnelle. Entre la floraison et la fermeture de la grappe, les baies sont les plus sensibles à l'infection. Les essais montrent que traiter entre la fermeture de la grappe et la véraison n'apporte pas un meilleur contrôle du black rot sur grappe. En viticulture conventionnelle, dans le cas d'années peu humides, il n'est pas nécessaire de commencer les applications de fongicide au débourrement, mais plutôt en pré floraison. En viticulture « bio », le cuivre et le soufre sont moins efficaces que les fongicides utilisés en agriculture conventionnelle. Traiter dès débourrement permet un meilleur contrôle du black rot sur grappe.

Mots-clés : black rot, Guignardia bidwellii, sévérité sur grappe, gestion du black rot, viticulture « bio », viticulture conventionnelle, évènements pluvieux, modèle de la maladie sur vigne, outil d'aide à la décision, calendrier de traitement

Grape black rot in Vaucluse : disease dynamics modeling and trial on balanced management in organic and conventional production

Abstract: Guignardia bidwellii is a fungal plant pathogen that causes black rot on grapevine. The fungus is native from North America, it appeared in France at the end of the 19th century. It is able to infect all green expanding tissues, becoming a threat to both yield and wine quality. The expansion of the fungus depends on weather conditions. A decision support system was established with weather data, and then tested during 4 years, from 2014 to 2017. It allows to estimate the relative sensitivity of grape clusters, to determine the occurrence and severity of infection events as well as the duration of incubation periods. Model precision, sensitivity and accuracy were on average 67%, 88.8% and 88.8%. A second trial was set in order to develop effective spray timing in organic and conventional viticulture. Between flowering and bunch closure, berries are more sensible to infections. The trials show that spray between bunch closure and ripening does not provide a better control of black rot on grape. In conventional agriculture, in case of a few wet years, it is not necessary to begin the fungicide applications at budburst, but rather before flowering. In organic viticulture, copper and sulfur are less efficient than fungicides used in conventional agriculture. Spraying at budburst allows a better control of black rot on grape.

Keywords : grape black rot, Guignardia bidwellii, cluster severity, black rot management, organic viticulture, conventional viticulture, washing events, vine disease model, decision support system, spray timing

2 place Pierre Viala F 34060 MONTPELLIER cedex 2
tel; 33(0)4 99 61 22 00