

Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie
et des Industries Alimentaires

Mémoire de fin d'étude d'ingénieur

Identification des facteurs intervenant dans le développement du Monilia sur fleurs et rameaux d'abricotiers et recherche de résistances génétiques



Doriane Dam
Agronomie « Protection des cultures »
2014 - 2017

Maitre de stage : BRUN Laurent
Co – encadrants : PARVEAUD Claude – Éric
ROCH Guillaume
Tuteur de stage : BENIZRI Emile

Remerciements

En premier lieu, je remercie mon maître de stage, Laurent Brun, pour ses connaissances, ses conseils et son aide. Sa gentillesse et sa disponibilité ont fait de ce stage une expérience très enrichissante.

Je tiens à remercier les nombreux acteurs de ce projet qui m'ont permis d'avoir une vue d'ensemble sur les monilioses de l'abricotier. Je remercie Jean Marc Audergon pour ses connaissances sur le *Monilia* et en génétique ainsi que pour son investissement dans le projet, Joël Chadoeuf pour son aide dans l'analyse statistique et Marie Launay pour ses conseils dans l'étude des paramètres climatiques. Mes remerciements vont à Guillaume Roch pour ses connaissances en amélioration végétale et à Claude – Éric Parveaud et Johanna Brenner pour leurs expériences en agriculture biologique. Je remercie le GIS Fruit pour son soutien financier.

Je remercie l'équipe abricot pour son accueil, ses connaissances et son aide. Tout particulièrement, je remercie Freddy Combes pour son aide lors des expérimentations sur le terrain, ses réponses à mes questions et les connaissances qu'il m'a apportées sur les organismes nuisibles en arboriculture. Je remercie, par ailleurs, Hélène Chenevotot et Vincent Mercier pour leur expertise dans l'identification des *Monilia* spp. J'adresse un grand merci à Paola et Armand pour leur investissement et le temps qu'ils ont consacré au comptage des spores au microscope. Je tiens à remercier Christophe Gros et Simon Ruzand pour leurs conseils et aide. Je remercie Guy Clauzel pour sa disponibilité et les nombreuses connaissances qu'il m'a apporté sur la sélection variétale en abricotier entre autres.

Enfin, je remercie l'équipe de l'INRA de Gotheron pour leur accueil et leur sympathie. J'adresse un merci particulier aux stagiaires, Céline, Claire, Blandine, Youna, Joséphine et Nicolas de l'unité pour leur amitié, leur soutien et leur bonne humeur.

Table des matières

Introduction générale	1
------------------------------------	---

Bibliographie : l'épidémiologie des monilioses

1. La plante hôte : l'abricotier	2
1.1. Généralités	2
1.2. Cycle de l'abricotier.....	2
1.3. Création et sélection variétale	3
2. Les monilioses.....	3
2.1. Généralités sur la pathologie et les agents pathogènes responsables	3
2.2. Cycle infectieux et symptômes de la maladie	4
2.3. L'environnement favorable au développement des monilioses	6
2.4. L'identification du monilia	7
2.5. Les méthodes de lutte contre les monilioses	8

Partie 1 : Identification des facteurs favorables aux contaminations sur fleurs par les monilioses

1. Matériel et méthode	10
1.1. Matériel végétal : arbres en pot et verger	10
1.2. Installation d'un inoculum de <i>Monilia</i> spp. dans le verger expérimental	10
1.3. Données météorologiques	11
1.4. Conduite de l'expérimentation et évaluation de l'infection	12
1.5. Identification du pathogène responsable de l'attaque	12
1.6. Analyses statistiques	13
2. Résultats et discussion	13
2.1. Pourcentage de fleurs symptomatiques et sensibilité selon le stade phénologique	13
2.2. Détermination des agents pathogènes responsables	14
2.3. Effet de la position de l'arbre en pot	14
2.4. Lien entre le taux de fleurs symptomatiques et les conditions climatiques	14
2.5. Inoculum mesuré par les capteurs aériens de spores	16
2.5.1. Présentation des données recueillies.....	16
2.5.2. Lien entre la concentration aérienne en spores de <i>Monilia</i> spp. et les conditions climatiques	17
2.5.3. Lien entre la concentration aérienne en spores de <i>Monilia</i> spp. et le pourcentage de fleurs symptomatiques	17
2.6. Inoculum mesuré par les lames vaselinées	18
2.6.1. Etude des données recueillies	18
2.6.2. Lien entre les comptages de spores de <i>Monilia</i> spp. sur les lames vaselinées et les conditions climatiques	18

2.6.3. Lien entre les comptages de spores de <i>Monilia</i> spp. sur les lames vaselinées et le pourcentage de fleurs symptomatiques	19
2.7. Comparaison des inocula mesurés par les burkard et les lames vaselinées	19
2.8. Comparaison aux courbes de risque créées par Tamm <i>et al</i>	20
3. Conclusions de l'expérimentation en pot piège	21

Partie 2 : Etude des facteurs influant sur l'épidémiologie des monilioses en vergers d'abricotiers

1. Matériel et méthode	22
1.1. Le réseau de parcelles	22
1.2. Les données météorologiques	22
1.3. Etude de la phénologie et de la floribondité	23
1.4. Estimation de l'inoculum présent à la parcelle	23
1.5. Etude des monilioses	23
1.5.1. Evaluation des dégâts sur rameaux	23
1.5.2. Détermination du champignon pathogène responsable	24
1.6. Calcul du risque de contamination sur fleur d'après le modèle de Tamm <i>et al</i>	24
2. Résultats et discussion	25
2.1. Intensité et fréquence des monilioses sur rameaux	25
2.2. Détermination des agents pathogènes responsables	25
2.3. Lien entre les dégâts de monilioses sur rameaux et les conditions climatiques	26
2.4. Influence de la floribondité sur les dégâts de monilioses sur rameaux	27
2.5. Lien entre l'infection de l'année précédente et les dégâts sur rameaux	27
2.6. Lien entre les caractéristiques du verger et les dégâts sur rameaux	27
2.7. Comparaison entre les dégâts observés sur rameaux et les risques de monilioses sur fleur calculés selon le modèle de Tamm <i>et al</i>	28
3. Conclusions sur le suivi du réseau de parcelle	29

Partie 3 : Recherche de résistances génétiques au monilia par l'étude de la population d'abricotiers hybrides « Berba »

1. Matériel et méthode	30
1.1. Matériel végétal	30
1.2. Stades phénologiques, floribondité et évaluation du monilia	30
1.3. Données météorologiques	30
1.4. Evaluation du risque de contaminations sur fleurs avec le modèle de Tamm <i>et al</i>	31
2. Résultats et discussion	31
2.1. Etude des notes monilia obtenues	31
2.2. Etude des risques établis grâce au modèle de Tamm <i>et al</i>	31

2.3. Evaluation de l'influence des facteurs environnementaux et de la floribondité sur les contaminations pas les monilioses	32
2.3.1. Comparaison entre la note monilia et les risques de contaminations sur fleurs	32
2.3.2. Influence de la floribondité sur les dégâts causés par les monilioses	33
2.4. Recherche et identification d'hybrides d'intérêt	33
2.5. Etude des hybrides utilisés dans des programmes de sélection	34
2.5.1. Présentation des notes monilia obtenues	34
2.5.2. Comparaison entre la note monilia et les risques de contaminations sur fleurs	34
3. Conclusions sur l'étude de la population d'hybrides « Berba »	35
Discussion générale et perspectives	36
Conclusion générale	37
Références bibliographiques	38

Annexes

Annexe 1 : Cycle de l'abricotier	I
Annexe 2 : Stades phénologiques de l'abricotier	I
Annexe 3 : Schéma de lecture d'une lame vaselinée	II
Annexe 4 : Tableau récapitulatif des mouvements des arbres en pot en fonction de leur série ..	II
Annexe 5 : Graphiques représentant le pourcentage de fleurs symptomatiques en fonction des différents paramètres climatiques étudiés	II
Annexe 6 : Valeurs de l'inoculum mesuré par les appareils burkard et les lames vaselinées	III
Annexe 7 : tableau récapitulatif des dégâts sur rameaux par parcelle	IV

Table des figures et des tableaux

Figure 1 : Cycle des <i>Monilia</i> spp.	4
Figure 2 : Symptômes causés par les monilioses	5
Figure 3 : Courbes de risque du monilia sur fleurs de cerisiers en fonction de la durée d'humectation et de la température	7
Figure 4 : Un abricotier en pot installé dans le verger	10
Figure 5 : Plan du verger Bergeval	10
Figure 6 : Installations permettant la mesure de l'inoculum et la station météorologique au verger	12
Figure 7 : Symptômes de monilia sur pétale	12
Figure 8 : Pourcentage de fleurs symptomatiques en fonction des précipitations et de la durée d'humectation	15
Figure 9 : Inoculum aérien quotidien mesuré grâce aux burkard	16
Figure 10 : Evolution du nombre de spores par cm ² de lames vaselinées en fonction du temps et de la momie	18
Figure 11 : Pourcentage de fleurs symptomatiques en fonction de l'inoculum total mesuré par comptage des spores sur les lames vaselinées	19
Figure 12 : Comparaison des pourcentages de fleurs symptomatiques observés aux courbes de risque établies par Tamm <i>et al</i>	20
Figure 13 : Carte représentant la répartition des parcelles du réseau	22
Figure 14 : Graphiques représentant l'influence des paramètres étudiés sur les dégâts sur rameaux	(verso) 27
Figure 15 : Comparaison pour l'année 2011 des notes monilia avec les risques de contaminations sur fleurs	32
Figure 16 : Hybride C92 : note monilia en fonction des risques de contaminations	(verso) 34
Tableau 1 : Résultats de l'expérimentation en pot piège	(verso) 13
Tableau 2 : Pourcentages moyens de fleurs symptomatiques à 5 jours et données climatiques par série	14
Tableau 3 : Qualité et significativité des relations entre l'infection des fleurs par le monilia et les paramètres climatiques	16
Tableau 4 : Inoculum par série mesuré au verger	17
Tableau 5 : Description des parcelles du réseau	23
Tableau 6 : Dégâts causés par les monilioses sur les rameaux	25
Tableau 7 : Facteurs non climatiques pouvant influencer sur le monilia sur rameaux	(verso) 27
Tableau 8 : Récapitulatif par années des paramètres d'intérêt	31
Tableau 9 : Données de dégâts et de risques des hybrides d'intérêt selon l'année	(verso) 34

Introduction générale

Au niveau mondial, 3,99 millions de tonnes d'abricots ont été produits en 2012 (Alain, E., 2015). En 2016, la production française s'élevait à 111 700 T et était issue de ses principaux bassins de production : Rhône-Alpes (45%), Languedoc Roussillon (35%) et Provence-Alpes-Côte-D'azur (19%). Malgré une baisse de près de 30% de la quantité produite par rapport à l'année 2015, la France est le deuxième pays producteur européen (Guyon, S., 2016).

Actuellement, un des enjeux en arboriculture et notamment en production d'abricots est la gestion des bio-agresseurs. En effet, de nombreuses pathologies végétales altèrent la qualité et la quantité de la production et peuvent entraîner la mort de l'arbre. Le monilia sur fleurs est une de ces maladies, il est causé par *M. laxa* et *M. fructicola*. Ces champignons pathogènes sont peu décrits en ce qui concerne leurs distributions géographique et temporelle, leurs cycles épidémiologiques et leurs comportements en verger. Toutefois, il semble que leurs développements soient conditionnés par les conditions climatiques. Cette pathologie est particulièrement problématique car même si elle est responsable de dégâts importants en agriculture conventionnelle et représente un verrou technique en agriculture biologique, elle est mal caractérisée (Stévenin, S., 2011). Les solutions, basées sur des fongicides chimiques, ne sont pas toujours suffisamment efficaces pour contrôler la maladie lorsque les conditions climatiques lui sont très favorables. N'étant pas durables, elles ne répondent pas aux attentes sociétales et gouvernementales (Plan Ecophyto). Un besoin de méthodes de prophylaxie et de lutte à l'échelle du verger a émergé en Rhône-Alpes, région où les producteurs d'abricots sont très nombreux.

Le projet partenariat européen pour l'innovation (PEI) ClimArbo « Changement climatique et maladies cryptogamiques émergentes en arboriculture en Rhône-Alpes » s'inscrit dans ce contexte et associe des acteurs du territoire Rhône alpin : l'INRA (Institut National de Recherche Agronomique), le GRAB (Groupement de Recherche en Agriculture Biologique) et la SEFRA (Station d'Expérimentation Fruitière de Rhône-Alpes). Ce projet cherche à développer des solutions adaptées à la lutte contre le monilia sur fruits à noyaux et le *Colletotrichum* de la noix. Il porte sur la caractérisation aux niveaux moléculaire et phénotypique de ces maladies, l'étude des périodes de contamination au verger et l'identification des facteurs de risque. La connaissance du climat du territoire et de son évolution au cours des prochaines décennies fait partie entière du projet afin de proposer des solutions durables permettant d'anticiper les problématiques d'avenir liées aux maladies cryptogamiques.

Au sein du projet ClimArbo, ce stage s'inscrit dans la compréhension des effets du changement climatique sur les risques du monilia sur fleurs d'abricotier. Ainsi le stage s'articule autour d'une question centrale : quels sont les facteurs influençant le développement des monilioses sur fleurs. Pour y répondre, les contaminations sur fleurs en vergers ont été étudiées grâce à une expérimentation en pot piège et le suivi d'un réseau de parcelles réparties sur les départements de la Drôme et de l'Ardèche. Les conditions climatiques, l'inoculum de *Monilia* spp., les paramètres agronomiques tels que la variété ainsi que les caractéristiques du verger telles que la floribondité ont été analysés afin de mesurer leur influence sur la sévérité des monilioses sur fleur. Ayant pour but une estimation des risques, les données recueillies ont été comparées à un modèle de contamination des fleurs de cerisier existant pour vérifier son adaptabilité aux monilioses en verger d'abricotiers.

Une seconde partie du stage, en association avec CEP innovations, vise à établir quelles parts occupent les facteurs génétiques et environnementaux dans la résistance au monilia. Pour ce faire, le comportement d'une population d'abricotiers hybrides face aux monilioses sur fleur est étudié en fonction des conditions climatiques durant la floraison de chaque individu. Ceci a pour but d'identifier des géniteurs élités dans un contexte d'amélioration variétale.

Bibliographie : L'épidémiologie des monilioses

1. La plante hôte : l'abricotier

1.1. Généralités

L'abricotier est un arbre fruitier appartenant à la famille des Rosacées, à la sous famille des Prunoïdés et au genre *Prunus*. L'appellation « abricotier » regroupe sept espèces dont *Prunus armeniaca* Linné le plus commun. Il est originaire de l'ouest de l'Asie et notamment de Chine. Ayant une forte adaptabilité aux conditions climatiques, il est présent dans de nombreuses aires géographiques. En France, où il aurait été introduit au XV^{ème} siècle, il est cultivé principalement dans les régions Rhône Alpes, Provence Alpes Côte d'Azur et Languedoc Roussillon (Lichou, J., Jay, M., 2012).

L'abricotier est un arbre caduc présentant un développement sympodial et différents types de ports, de dressé à étalé ou pleureur. Pouvant atteindre 15 mètres en hauteur, il mesure généralement 3 à 4 mètres en verger cultivé afin de simplifier la récolte des fruits et l'entretien de l'arbre (Bedrane, M. A., 2016). La production de plants fruitiers se fait principalement par greffage sur un porte greffe d'abricotier, de pêcher, de prunier ou d'hybride interspécifique. Les feuilles de l'abricotier sont simples et alternes, elles ont une stipule et leur bordure est légèrement crénelée. Les fleurs sont de couleur blanche, elles possèdent 5 sépales, 5 pétales et de nombreuses étamines. Elles sont hermaphrodites ainsi l'abricotier peut être autogame ou allogame. Pour que la fécondation soit effective, il est nécessaire que le grain de pollen et l'ovule soient compatibles génétiquement. Pour assurer l'autogamie, la variété doit donc être auto-fertile et avoir des organes mâle et femelle synchrones. L'allogamie est favorisée par la production de nectar des glandes nectarifères situées dans le calice qui attirent les insectes pour assurer la pollinisation des fleurs. Ici aussi la compatibilité génétique est indispensable à la fécondation (Lichou, J., Jay, M., 2012). L'ovaire contient deux ovules infères mais généralement, un seul se développe pour donner naissance à un fruit. Les fruits produits sont des drupes charnues de forme arrondie avec un noyau dur qui contient une seule amande. Leur couleur varie de jaune à rouge avec pour certains une pigmentation plus rouge par endroits (Lichou, J., Jay, M., 2012).

1.2. Cycle de l'abricotier

L'abricotier entre en production à partir de la 3^{ème} année avec les premières fleurs mais les abricotiers n'atteignent leur potentiel maximal de production qu'après 3 ans. La croissance végétative de l'abricotier est qualifiée de polycyclique car en une année il y a une succession de phases de croissance ponctuée d'arrêts. L'induction florale, l'évolution d'un bourgeon à feuille en bourgeon à fleur, dure de juin jusqu'à la fin de l'été ainsi, les fleurs se situent uniquement sur le bois ayant poussé l'année qui les précède (Lichou, J., Jay, M., 2012). La différenciation a lieu jusqu'en octobre pour permettre la formation progressive de la fleur. Les bourgeons végétatifs et floraux entrent en dormance l'hiver jusqu'à ce que leur besoin en froid ait été comblé. Une période de températures moyennes leur permet d'évoluer. En février le débourrement végétatif débute. La floraison est étalonnée sur l'arbre selon le type de rameaux, elle dure environs 2 semaines entre mi-février et fin mars. Après les fleurs, les premiers rameaux feuillés apparaissent. La croissance et la maturation des fruits à lieu de la fécondation des fleurs à la récolte qui se déroule de début à juin à fin août selon la variété. La croissance des rameaux dure presque toute l'année même si elle est régulée par les réserves de l'arbre et les priorités dans leur utilisation (*Annexe 1*) (Lichou, J., Jay, M., 2012).

1.3. Création et sélection variétale

La création et l'amélioration variétales sont très dynamiques dans la culture d'abricots depuis la fin des années 1970. En France, elle est réalisée par des sélectionneurs publics et privés. Dans un premier temps, la sélection était orientée sur l'extension de la gamme variétale, l'auto-fertilité des variétés, la régularité de production et les qualités gustatives des fruits. Les nouvelles variétés proposées sont issues de pollinisation contrôlée ou de l'introduction de variétés d'autres zones géographiques (Lichou, J., Jay, M., 2012).

Avec l'émergence de problématiques comme celle de la sharka, l'INRA a adapté ses objectifs d'amélioration. Grâce au développement des techniques moléculaires, les gènes de résistance ont été identifiés. Une gamme d'abricotiers résistants Aramis® a été développée en collaboration avec CEP Innovations. La résistance totale des plants est assurée par une analyse moléculaire confirmant la présence des gènes de résistances et un test de phénotypage sous serre en conditions contrôlées. Depuis 2013, les objectifs de l'INRA ont été largement modifiés : les programmes de recherche sont basés sur l'identification de marqueurs génétiques d'intérêt afin de définir des géniteurs élités. Tous les hybrides identifiés sont impérativement résistants à la sharka et auto-fertiles, en complément ils présentent une faible sensibilité à d'autres maladies telles que le chancre bactérien ou le monilia. Les géniteurs sélectionnés sont confiés à CEP innovations qui est en charge de l'amélioration et la création variétales (Guy Clauzel, sélectionneur à l'INRA. Communication personnelle).

Un des axes de recherche actuel est la sélection de variétés résistantes aux bio-agresseurs afin de développer la culture des abricotiers en agriculture biologique et limiter l'utilisation de produits phytosanitaires en production conventionnelle (Lichou, J., Jay, M., 2012).

2. Les monilioses

2.1. Généralités sur la pathologie et agents pathogènes responsables

Le monilia est une maladie des plantes présente sur tous les continents et connue aussi sous le nom de dessèchement des fleurs et des rameaux ou pourriture brune des fruits selon les organes qu'elle touche. Au niveau mondial, il cause d'importantes pertes économiques aux producteurs fruitiers. Cette maladie cryptogamique s'attaque principalement aux arbres de la famille des Rosacées produisant des fruits à noyau ou à pépins tels que les pommiers, les poiriers, les cerisiers, les abricotiers, les pêchers, etc. (Hrustic et al., 2012). La maladie peut infecter les fleurs, les rameaux et les fruits en cours de végétation mais c'est aussi une maladie de conservation, c'est-à-dire qui se développe lors du stockage des fruits. L'abricotier est particulièrement sensible aux attaques sur fleurs et rameaux (Hrustic et al., 2012).

Les monilioses sont causées par de nombreux champignons pathogènes mais seulement trois causent des pertes importantes : *Monilinia laxa* (Aderhold and Ruhland) Honey, *Monilinia fructicola* (Winter) Honey et *Monilinia fructigena* (Aderhold & Ruhland) Honey ex Whetzel. Ces pathogènes appartiennent au règne des champignons, à l'embranchement des Ascomycètes, à la classe des Pézizomycètes, à l'ordre des Hélotiales et à la famille des Sclérotiniacées. Sous leur forme asexuée, la plus commune, ils sont appelés respectivement *Monilia laxa* (Ehrenb.) Sacc. & Vogliano, *Monilia fructicola* L. R. Batra et *Monilia fructigena* (Pers. Ex Pers.) Eaton (Hrustic et al., 2012).

Monilia laxa est un pathogène très important en production fruitière car il est présent dans toutes les zones de production. De plus, il est responsable des monilioses sur fleurs, rameaux et fruits sur un large éventail de plantes hôtes. En France, il est présent seulement sous sa forme asexuée (Hrustic et al., 2012).

Monilia fructicola est reconnu pour s'attaquer principalement aux espèces de Prunoïdés produisant des fruits à noyau tels que l'abricotier et le pêcher. Une de ses particularités est qu'il s'attaque aux fleurs, aux rameaux, aux fruits. Des symptômes sur feuille ont été observés en verger de pruniers (Hrustic et al., 2012). Longtemps considéré comme organisme de

quarantaine absent de l'Union Européenne, ce pathogène a été identifié en France pour la première fois en 2001 (Baayen, R. P. et al., 2009). S'étant largement répandu en Europe notamment grâce à des fruits frais ou des plants infectés, il a été retiré de la liste des organismes de quarantaine en 2014 (Oliveira Lino et al., 2016). *M. fructicola* est le seul des 3 pathogènes décrits dont la reproduction sexuée est fréquente au cours du cycle épidémiologique néanmoins elle n'a jamais été observée en Europe (Hrustic et al., 2012). La phase sexuée permet un brassage génétique plus important au sein de la population engendrant la sélection de gènes de résistances à certains fongicides tels que les benzimidazoles (BMC), un fongicide systémique. Cette résistance a déjà été identifiée aux Etats Unis, en Australie et en France (Lichou, J. et al., 2002).

Monilia fructigena présente une large aire de répartition comprenant l'Europe, l'Asie, le Nord de l'Afrique et l'Amérique du Sud. Ce pathogène s'attaque principalement aux fruits. Il est connu pour les pertes qu'il cause sur pommier et poirier mais les fruits à noyau sont aussi touchés. Sa forme asexuée est majoritairement retrouvée en France (Hrustic et al., 2012).

2.2. Cycle infectieux et symptômes de la maladie.

Durant l'hiver, *M. laxa*, *M. fructicola* et *M. fructigena* sont conservés sous forme de mycéliums dans des chancres sur les branches infectées l'année précédente et sur des fruits momifiés suspendus aux branches ou tombés au sol. Ces champignons pathogènes produisent des conidies en conditions humides (Hrustic et al., 2012). Pour *M. fructicola*, la reproduction sexuée est une phase importante de son cycle de développement. Ainsi, sur les fruits momifiés, il y a développement de pseudosclérotés sur lesquels des apothécies contenant des ascospores se forment. Les conidies et les ascospores constituent l'inoculum primaire pour infecter les fleurs (Figure 1) (Hrustic et al., 2012). Les conidies sont transportées par le vent, les insectes et les précipitations (phénomène de splashing) (Hrustic et al., 2012).

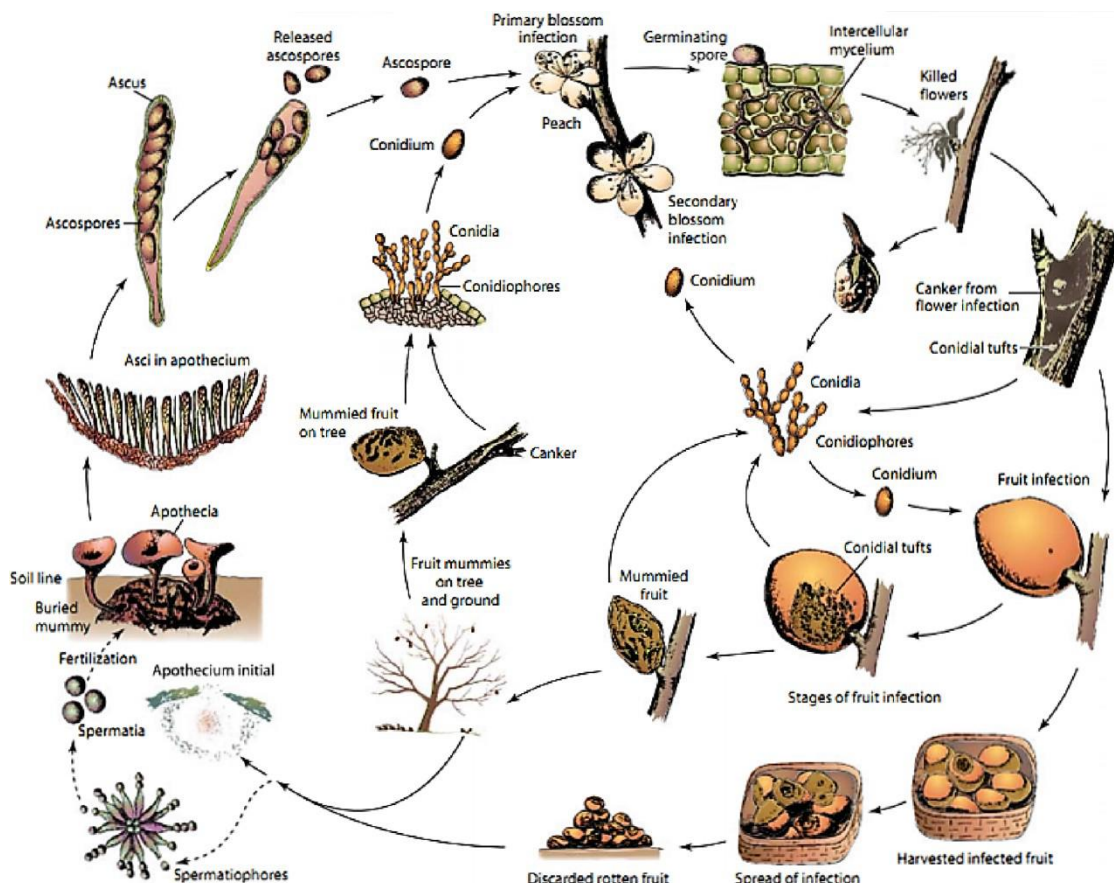


Figure 1 : Cycle des *Monilia* spp. (Oliveira Lino et al., 2016).

Les fleurs d'abricotiers peuvent être infectées par le monilia du gonflement des bourgeons à la chute des pétales (stades B à G de la phénologie établie par Baggionili) et présentent une sensibilité maximale à la maladie lors de leur pleine ouverture (stade F) (*Annexe 2*) (Lichou, J., Jay, M., 2012 ; Hrustic et al., 2012). Les premiers symptômes sont observés lors de la floraison c'est-à-dire en février ou mars. Tous les organes de la fleur peuvent être infectés. Une fois qu'une conidie atteint une fleur, dans des conditions favorables c'est-à-dire en présence d'un film d'eau ou d'une importante humidité et de températures correctes, elle germe (Hrustic et al., 2012). Une fois que le champignon a pénétré les tissus, il sporule abondamment recouvrant les organes floraux de conidies formant des amas gris. En 3 à 6 jours, les premiers symptômes sont visibles : les étamines se dessèchent et des nécroses apparaissent sur le pistil, les sépales et les pétales (*Figure 2a*) (Lichou, J., Jay, M., 2012 ; Hrustic et al., 2012). La sévérité de l'attaque dépend fortement des conditions climatiques : un climat chaud et sec durant la floraison va engendrer une courte phase d'infection et ainsi un faible taux d'infection. Au contraire, des conditions climatiques froides avec des précipitations fréquentes vont rallonger la durée de floraison et favoriser l'infection (Hrustic et al., 2012). *M. fructicola* présente une spécificité : une fois que le mycélium s'est établi sur les fleurs, si les conditions ne sont pas favorables au développement de la maladie, le champignon se met en latence le temps que les conditions lui permettent de reprendre son développement dans les tissus floraux (Hrustic et al., 2012). Lorsque les fleurs ont été infectées par *M. laxa* ou *M. fructicola*, une majorité reste sur l'arbre et permet au champignon d'atteindre les rameaux en passant par le pédoncule. Ceci entraîne l'apparition de chancres sur le bois avec des écoulements de gomme, le dessèchement des branches infectées et le flétrissement des feuilles qu'elles portent (*Figures 1 et 2b*) (Lichou, J., Jay, M., 2012 ; Hrustic et al., 2012 ; Oliveira Lino et al., 2016). Le champignon peut ensuite continuer à se développer, il se propage dans l'arbre et infecte d'autres rameaux. Si les fleurs sont attaquées par *M. fructigena*, le pathogène n'est pas en mesure d'atteindre les rameaux et provoquer leur dessèchement (Hrustic et al., 2012).

Les organes floraux infectés au printemps et les fruits momifiés de l'année précédente assurent la production de nouvelles conidies pour les 3 champignons pathogènes. Pour *M. laxa* et *M. fructicola*, s'ajoutent les chancres qui se sont développés suite à l'attaque sur fleurs. Cet inoculum assure la contamination des fruits (*Figure 1*) (Hrustic et al., 2012 ; Oliveira Lino et al., 2016).

Les fruits peuvent être infectés par ces pathogènes à tous les stades de leur développement (*Annexe 2*) avec une sensibilité maximale à l'approche de la récolte, c'est à ce stade que les pertes sont les plus importantes. L'infection peut aussi se propager après la récolte lors du transport, du stockage ou de la vente (Hrustic et al., 2012). La pénétration du pathogène est facilitée si le fruit est blessé (pique d'insecte, fissure, ...) mais l'infection peut aussi se



Figure 2 : a. Nécroses sur pétales ; b et c. Rameaux moniliés avec sporulation sur les fleurs restées accrochées ; d. Fruits attaqués par *M. laxa* au verger. Photographies personnelles

transférer d'un fruit infecté à un fruit sain s'ils sont en contact (Lichou, J., Jay, M., 2012 ; Hrustic et al., 2012). Le premier symptôme est la formation d'une tache de couleur brune et de forme circulaire autour du point d'entrée du pathogène ou de la blessure. Au fur et à mesure la tache s'agrandit traduisant le développement de la maladie. Quand le champignon commence à sporuler, de nombreuses ruptures sur l'épiderme du fruit permettent l'apparition de sporodochies sous la forme de coussinets gris pour *M. laxa* et *M. fructicola* et de couleur beige pour *M. fructigena* (Figure 2c) (Hrustic et al., 2012 ; Oliveira Lino et al., 2016). En conditions humides, 8 à 10 jours suffisent au mycélium pour coloniser tout le fruit qui se flétrit et se dessèche. Il durcit et devient une momie qui reste suspendue dans l'arbre ou tombe au sol (Hrustic et al., 2012). Les conidies produites sur les fruits infectés permettent aux pathogènes d'engendrer de nombreux cycles d'infection secondaire. De même que sur fleurs, *M. fructicola* peut créer des infections latentes sur fruit. En effet, ce champignon pathogène est en mesure de pénétrer le fruit précocement, la maladie est indécélable visuellement jusqu'à ce que les conditions climatiques permettent son développement (Hrustic et al., 2012 ; Michailides, T. J. et al., 2007). Lors de la conservation, *M. fructigena* peut engendrer un autre type de maladie appelée pourriture noire sur fruits si ces derniers sont stockés en absence de lumière. Ainsi les parties infectées du fruit deviennent sombres à noires sur lesquelles aucune sporulation n'est observée (Hrustic et al., 2012).

2.3. L'environnement favorable au développement des monilioses

Les attaques de monilioses sont dépendantes de conditions climatiques. La température et l'humidité relative influencent la sporulation et la germination des conidies ainsi que la sévérité de la maladie.

La production de conidies est conditionnée par les conditions climatiques. En conditions contrôlées, l'optimum de température pour la sporulation de *M. laxa* se situe entre 10 et 15°C, au-dessus de 20°C, le nombre de conidies produites est plus faible (Tamm, L., Flückiger, W., 1993). Chez *M. fructicola*, les conditions favorables à la maturation des apothécies sont les mêmes que celles favorables à la levée de dormance des bourgeons floraux créant ainsi un synchronisme entre la présence d'ascospores et celle d'un hôte sensible (Michailides, T. J. et al., 2007). La libération des ascospores est activée par une modification de l'humidité dans l'air et la durée de la décharge de spores est conditionnée par la température avec une moyenne de 4 jours à 15°C (Michailides, T. J. et al., 2007).

La germination des conidies est une étape indispensable à l'infection. Les températures optimales pour *M. laxa* se situent entre 15°C et 25°C (Tamm, L., Flückiger, W., 1993). *M. fructicola* est en mesure de germer entre 0 et 35°C avec un optimum se situant entre 15°C et 30°C (Hrustic et al., 2012). Une étude sur milieu de culture a été menée afin de comprendre l'influence de la température et de l'humidité sur la germination du champignon, elle montre qu'en présence d'eau libre la germination est beaucoup plus rapide et importante qu'en milieu sec. En milieu humide, si l'humidité relative diminue, la vitesse d'émission du tube germinatif n'est pas affectée par contre un nombre plus faible de conidies germeront. En milieu sec, une humidité relative supérieure à 98% aurait le même effet que la présence d'eau libre sur la germination (Tamm, L., Flückiger, W., 1993). Ainsi, selon cette étude, la présence d'eau libre serait un facteur favorisant l'infection par les monilioses mais pas indispensable (Tamm, L., Flückiger, W., 1993), ce constat est contraire à celui émis par de nombreux autres auteurs (Hrustic et al., 2012 ; Oliveira Lino et al., 2016 ; Biggs, A. R., Northover, J., 1988). Ainsi à température optimale et en présence d'eau, une conidie peut germer en 1h et une ascospore en 4 à 6h (Oliveira Lino et al., 2016).

Le développement mycélien de *M. laxa* a été étudié en milieu de culture il est effectif entre 2,5°C et 31°C avec un optimum à 25°C (Biggs, A. R., Northover, J., 1988). En verger, le développement de l'infection et des symptômes a été observé sur les mêmes plages de température (Hrustic et al., 2012). Sur cerisier, une expérimentation en conditions contrôlée a été menée afin de comprendre l'influence de la combinaison de la température et de l'humectation sur l'incidence des monilioses sur fleurs causées par *M. laxa* (Tamm et al., 1995). Ainsi, il a été montré qu'à de faibles températures, une longue période d'humectation était nécessaire pour assurer l'infection, plus les températures augmentent plus la durée humectée est faible. Cette expérience a permis le développement d'un modèle mathématique traduisant le risque d'infection et de courbes associées (Figure 3). Cependant les prédictions données par ce modèle sont souvent supérieures à celles observées en verger car le dépôt d'une conidie sur un organe floral est plus aléatoire en conditions réelles (Tamm et al., 1995).

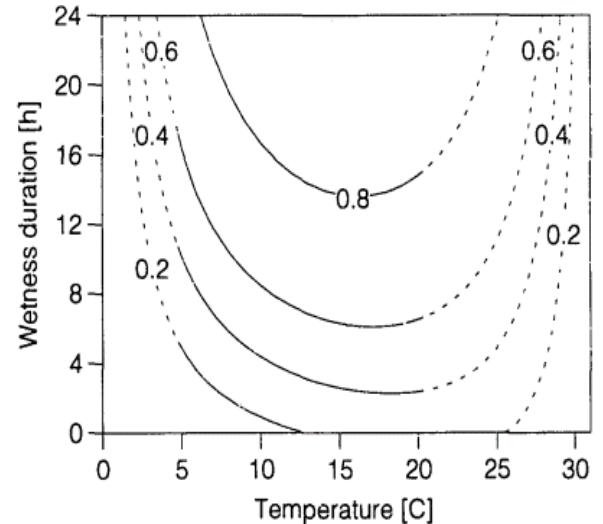


Figure 3 : Courbes de risque du *Monilia* sur fleur de cerisier (% de fleurs infectées) en fonction de la durée d'humectation et de la température (Tamm, Minder and Flückiger 1995)

L'inoculum est un facteur important dans les épidémies de monilioses mais il est difficile à évaluer. Les conidies présentes sur les fruits momifiés suspendus dans les arbres ou présents au sol servent d'inoculum au printemps mais la survie de *M. fructicola* sur ces organes est très faible, estimée entre 5 à 10% selon les conditions climatiques durant l'hiver (Michailides, T. J. et al., 2007). De plus, la dispersion de spores de *M. laxa* et de *M. fructicola* sur de longues distances notamment par le vent n'a pas encore été prouvée. Toutefois, l'utilisation d'un burkard qui mesure les spores présentes dans l'air a permis de montrer l'évolution de l'inoculum au cours de la saison : la densité de spores est très forte durant la floraison puis elle diminue progressivement sauf si des fruits contaminés et tombés au sol assurent une nouvelle production de conidies (Michailides, T. J. et al., 2007).

Au verger, certaines conduites sont favorables à des attaques de monilioses notamment celles qui assurent une humidité importante telles que l'installation dans un bas-fond ou dans une zone de brouillards ou d'orages réguliers (Lichou, J., Jay, M., 2012). Il est important que les arbres soient suffisamment aérés afin que la circulation de l'air permette aux fleurs de sécher plus rapidement. La gestion de l'irrigation est importante, il ne faut pas qu'elle soit trop importante à l'approche de la maturité des fruits. Enfin les pratiques doivent limiter les risques de blessures et microfissures sur les fruits (Lichou, J., Jay, M., 2012).

2.4. L'identification du monilia

Les symptômes de la maladie sur fleurs, rameaux et fruits sont caractéristiques et permettent ainsi de facilement l'identifier. Néanmoins, définir quelle espèce de *Monilia* est responsable de l'attaque est difficile. Les coussinets émis par les champignons lors d'une attaque sur fruits sont caractéristiques et ont été décrits sur pêche (Mercier, V. et al., 2009). Ainsi, 3 critères sont retenus : la couleur beige spécifique de *M. fructigena*, gris vert pour *M. laxa* et un mélange de gris et marron pour *M. fructicola*. La taille et la disposition des coussinets permettent de compléter l'identification. Pour *M. fructigena*, ce sont des boules compactes dispersées en cercles concentriques. Pour *M. fructicola*, ils sont petits épars sur l'épiderme du

fruit. Les coussinets les plus fins sont ceux de *M. laxa* mais leur densité est telle qu'ils recouvrent toute la surface infectée (Mercier, V. et al., 2009).

L'identification sur fruits pouvant être complexe et comme elle n'est pas réalisable à l'œil nu sur fleurs, il existe une méthode sur boîte de Pétri basée sur les caractères morphologiques et des techniques moléculaires telles que la PCR (Hrustic et al., 2012). Pour la première méthode, une clé synoptique a été créée sur milieu de culture de PDA (Potato Dextrose Agar à 4%), elle est basée sur la couleur de la colonie, la vitesse de croissance, la sporulation, la présence de cercles concentriques de spores, le contour de la colonie, les lobes et la présence de zones ou de marges noires. Ainsi *M. laxa* se caractérise par une colonie de couleur blanche à grise formant des lobes qui semblent se superposer. Pour *M. fructicola*, la colonie grise est surtout identifiable à une importante sporulation en cercles concentriques. *M. fructigena* se distingue par la couleur crème jaune de son mycélium (Lane, 2002). L'utilisation de la PCR pour l'identification des *Monilia* spp. permet d'obtenir un résultat fiable en peu de temps. Ainsi, les protocoles et les amorces ont été développés et cette méthode fait aujourd'hui partie des méthodes d'analyses normées par l'ANSES (Guinet, C. et al., 2016).

2.5. Les méthodes de lutte contre les monilioses

Au vu des dégâts causés par les monilioses sur la production d'abricots au niveau mondial, des méthodes de lutte ont été développées, elles peuvent être prophylactiques, chimiques, biologiques ou génétiques.

Les mesures de prophylaxie concernent notamment la diminution de l'inoculum au verger en retirant les organes infectés tels que les rameaux desséchés ou les fruits momifiés. Elles s'appliquent aussi avant la plantation des arbres avec le respect des distances de plantation et l'orientation des rangs dans le sens du vent dominant pour améliorer la ventilation. Pour diminuer la pression du pathogène, il est nécessaire d'avoir des arbres vigoureux et sains, ainsi le verger doit être régulièrement irrigué, fertilisé et taillé (Hrustic et al., 2012).

Le choix d'une variété peu sensible fait partie des mesures prophylactiques importantes sachant que l'abricotier est une espèce particulièrement sensible au monilia sur fleurs. La sensibilité des variétés est difficile à établir au vu de l'importance du climat et de l'inoculum dans les attaques néanmoins, une étude a permis de définir des groupes de sensibilité. Ainsi, aucune variété ne présente de résistance totale mais Bakour a une faible sensibilité au monilia alors que des variétés comme Bergarouge® ou Frisson y sont très sensibles (Parveaud, C.-E. et al., 2016).

Les années où la pression monilieuse est forte, des fongicides sont utilisés en complément des mesures prophylactiques. En ce qui concerne les attaques sur fleurs, de nombreuses substances actives sont employées notamment celles qui affectent la sporulation du champignon telles que les dicarboximides, les benzimidazoles ou les triazoles. Plus récemment, des fongicides inhibant la respiration (strobilurines, carboxamides) ou le développement mycélien (fenhexamid) ont été utilisés pour lutter contre les monilioses (Hrustic et al., 2012). Ces traitements visent à réduire la pression de *M. laxa* et *M. fructicola* au verger. En France, les préconisations sont de trois traitements lors de la floraison selon sa longueur et les conditions climatiques : en cas de pluie il faut renouveler le traitement. Les molécules actives sont le cyprodinil, la fluoxidinil ou le tébuconazole qui inhibent la synthèse des acides aminés ou la sporulation. Les fongicides à base de thiophanate méthyl sont fortement déconseillés car *M. fructicola* a développé une résistance à cette molécule (Bouilloux, M. et al., 2017a). En agriculture biologique, des traitements au cuivre sont préconisés de l'éclatement des bourgeons à la chute des pétales (stade C à G). Le cuivre n'est pas homologué dans la lutte contre les monilioses, il est donc appliqué dans le cadre de la lutte contre la bactériose. La réalisation d'un traitement à base de bouillie sulfo-calcique contre l'oïdium peut apporter une protection

supplémentaire contre le monilia en fin de floraison même s'il n'est pas homologué pour cet usage (Bouilloux, M. et al., 2017a ; Warlop, F., 2003). Une étude a été menée pour connaître l'efficacité de ces traitements contre les monilioses sur fleur. Un produit à base de cuivre et deux à base de polysulfures de calcium ont été testés. Le cuivre présente 60% d'efficacité, une des bouillies sulfo-calciq 47% et la seconde 25%. En agriculture biologique, il n'y a pas de traitement totalement efficace contre les monilioses des fleurs (Warlop, F., 2003).

La lutte contre les monilioses sur fruits est basée dans un premier temps sur le contrôle des insectes pouvant blesser les fruits et ainsi créer des portes d'entrée au champignon (Hrustic et al., 2012). Selon la sensibilité de la variété, le risque d'attaque et la durée de stockage prévue, un à plusieurs traitements peuvent être réalisés avec des fongicides de la famille des strobilurines (inhibent la respiration) ou des triazoles (Bouilloux, M. et al., 2017b). En agriculture biologique, il n'y a pas de traitement préconisé mis à part les mesures prophylactiques (Bouilloux, M. et al., 2017b). En Europe, l'utilisation de fongicides après récolte ou durant le stockage est interdite (Hrustic et al., 2012).

Des solutions de contrôle biologique, basées sur l'utilisation de microorganismes, sont en cours d'étude. *Bacillus subtilis*, *Aspergillus flavus*, *Penicillium frequentans* entre autres présentent des activités antifongiques efficaces contre *M. laxa*. Cependant le prix de ces produits est un frein à leur utilisation (Hrustic et al., 2012).

Partie 1 : Identification des facteurs favorables aux contaminations sur fleurs par les monilioses

L'expérimentation en pot piège est basée sur l'installation d'abricotiers en pot dans un verger (*Figure 4*). Ici, elle a pour but d'étudier l'influence des conditions climatiques, de l'inoculum et du stade phénologique de l'arbre sur l'infection des fleurs par le monilia. Les pots sont installés dans une serre avant et après leur passage à l'extérieur. Cette serre est divisée en deux : une partie pour conserver les pots qui n'ont pas encore été installés en verger et une partie pour les pots qui l'ont déjà été.

1. Matériel et méthode

1.1. Matériel végétal : arbres en pot et verger

72 arbres de la variété Bergarouge, très sensible au monilioses sur fleur (Parveaud, C.-E. et al., 2016), ont été utilisés. Ils sont cultivés en pots de 72L dans du terreau horticoles. Durant l'hiver 2016/2017, ces arbres ont été placés en chambre froide à $4^{\circ}\text{C} \pm 2$ avec un cycle d'éclairage 8h jour/16h nuit afin de combler rapidement leur besoin en froid. Puis des séries de 6 arbres ont été sorties du frigo à intervalle régulier et installées en serre (tunnel) pour bénéficier de températures supérieures à celles en extérieur et donc accélérer le développement des bourgeons floraux. Il faut en moyenne 3 semaines pour atteindre la pleine floraison. A leur installation en verger, les bourgeons floraux des arbres en pot étaient majoritairement au stade F mais il y en avait aussi aux stades B à E (*Annexe 2*). Ces arbres étaient en 2^{ème} feuille.

Les abricotiers en pot ont été installés dans un verger de la variété Bergeval. Ce verger est constitué de 3 lignes de 25 arbres chacune (*Figures 4 et 5*). Il a été installé en 2001 mais des arbres ont été remplacés (pour cause de mortalité) jusqu'en 2011. La densité de plantation est de 5 mètres par 3,75.



Figure 4 : Un abricotier en pot installé dans le verger Bergeval. Photographie personnelle.

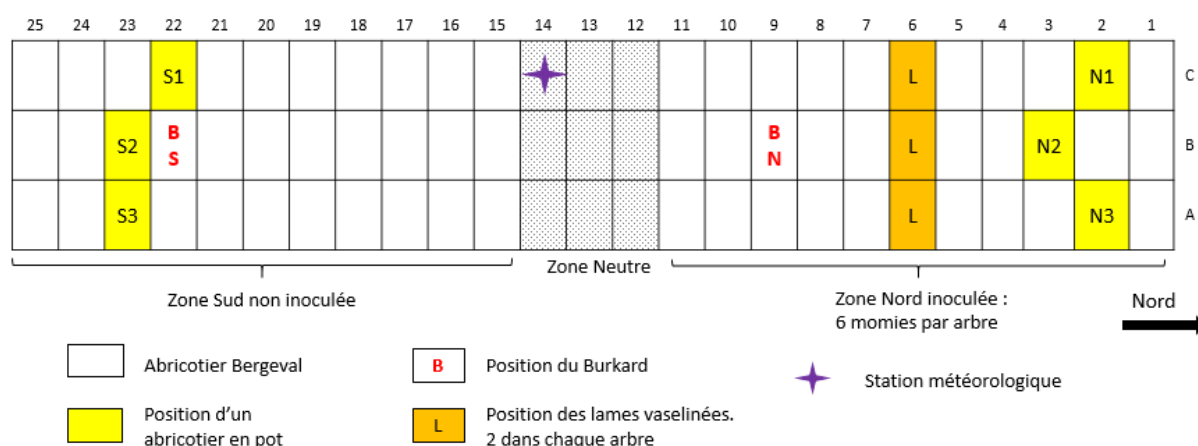


Figure 5 : Plan du verger Bergeval

1.2. Installation d'un inoculum de *Monilia* spp. dans le verger expérimental

Afin de déterminer l'influence d'un inoculum sur l'infection, le verger a été découpé en 2 parties : la zone nord inoculée et la zone sud non inoculée. Elles sont séparées par une zone

de 9 arbres neutres (*Figure 5*). Pour la zone nord inoculée, le nombre de momies naturelles était très faible, elles ont donc été retirées. L'inoculum a été constitué à partir de momies prélevées sur des vergers d'abricotiers voisins. Ces momies ont été mises dans des filets (1 à 2 momies par filet), ainsi 6 momies réparties dans 4 filets ont été installées aux points cardinaux de 10 arbres par ligne, soit sur 30 arbres (*Figure 6a*). Un total de 180 momies se trouvait donc en zone nord. Les filets ont été suspendus dans les arbres le 12 janvier 2017. Parmi les momies installées au verger, 69% portaient du *M. laxa*, 3% du *M. fructicola*. Pour les 28% restants, l'isolement n'a pas permis d'identifier le *Monilia* spp. Dans la zone non inoculée, les momies naturelles ont été enlevées des arbres. Il est possible que, dans les zones nord et sud du verger, il y ait des chancres non visibles à l'œil nu sur les rameaux.

Deux systèmes ont été mis en place pour estimer l'inoculum à la parcelle : un capteur aérien de spores (Burkard 7-days recording volumetric spore traps, Burkard Manufacturing Co. Ltd., Rickmansworth, Angleterre) dans chaque zone et des lames vaselinées (placées sous 6 filets de momies) en zone inoculée (*Figure 5*). L'inoculum a été évalué quotidiennement à partir du moment où le verger Bergeval a atteint le stade C et jusqu'à ce que la floraison soit terminée.

Le burkard est un appareil qui aspire l'air en continu. Dans l'expérimentation, ils ont été surélevés de sorte que la bouche d'aspiration se situe à 1 mètre de hauteur (*Figure 6b*). L'aspiration est fixée à 14,4 m³ d'air par jour et a été vérifiée quotidiennement. Les particules présentes dans l'air telles que les spores ou les grains de pollen se déposent sur une bande collante placée sur un tambour réglé pour réaliser un tour en une semaine. La bande collante a ensuite été découpée par jour (de 11h le jour J à 11h le jour J+1) et montée sur lame pour coloration au bleu de coton lactique (30g d'eau bidistillée, 20g d'acide lactique, 50g de glycérine et 0,5g de bleu de méthyle). Au microscope (grossissement 250), les spores sont comptées sur 3 passages, les 1, 2 et 4 de la lame (*Annexe 3*). L'inoculum est obtenu en spores/m³ d'air aspiré grâce à la formule suivante.

$$\text{Nombre de spores par m}^3 \text{ d'air aspiré} = \frac{\text{nombre de spores comptées} * \frac{5}{3} * 4}{14,4}$$

Les lames vaselinées ont été préparées en laboratoire, un cadre correspondant à la surface de lecture d'une bande de burkard a été dessiné sur la lame (*Annexe 3*) et une fine couche de vaseline a été étalée à l'aide d'un couteau. Les lames ont été installées sous les filets nord et sud de 3 arbres grâce à un système de balancelle (*Figures 5 et 6a*). Les momies sous lesquelles les lames ont été installées présentaient toutes du *M. laxa*. Les lames vaselinées ont été remplacées quotidiennement s'il y avait un épisode pluvieux ou tous les 2 à 3 jours en période sèche. Le comptage des spores est réalisé au microscope (grossissement 250) après coloration au bleu de coton lactique, seul le passage 1 de la lame est lu soit 0,384 cm² (*Annexe 3*). L'inoculum est obtenu en spores/cm² d'après la formule suivante :

$$\text{Nombre de spores par cm}^2 \text{ de lame} = \frac{\text{nombre de spores comptées}}{0,384}$$

1.3. Données météorologiques

Une station météorologique iMETOS modèle IMT 200 (Pessl Instruments, Weiz, Autriche) a été installée, sur un mât sur le rang de plantation à 1,80 mètre de hauteur, au centre de la parcelle (*Figure 5 et 6c*). Elle mesure, toutes les 5 minutes, la pluviométrie (à partir de 0,2 mm), la température, l'hygrométrie et l'humectation foliaire. Ce dernier paramètre étant non normé, ici, la mesure est basée sur la conductivité électrique d'un papier buvard maintenu contre deux électrodes. La vitesse et la direction du vent (capteur situé à une hauteur de 2 mètres) sont issues de la station météorologique de l'INRA installée sur une pelouse à un peu plus de 700 m du verger.

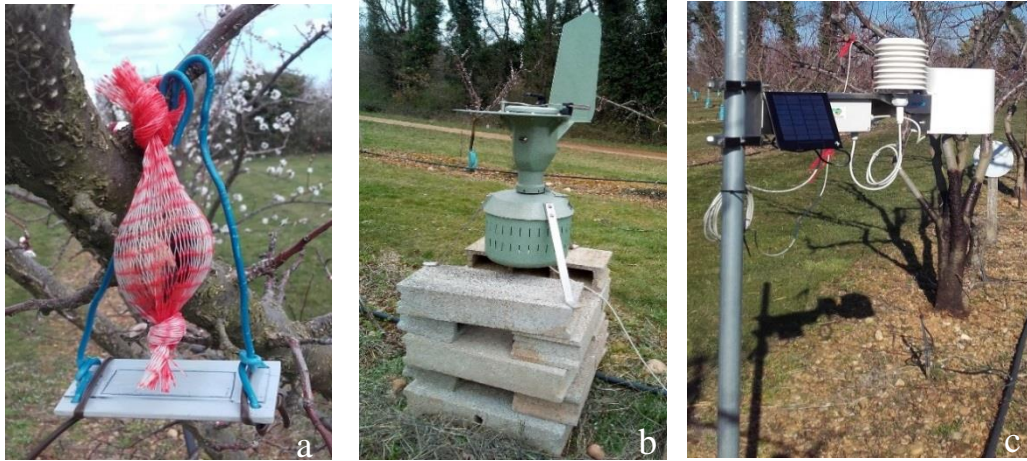


Figure 6 : a. Lame vaselinée sous un filet contenant des momies ; b. Appareil burkard ; c. Station météorologique iMETOS. Photographies personnelles.

1.4. Conduite de l'expérimentation et évaluation de l'infection

Quand les abricotiers Bergeval ont été au stade C, éclatement des bourgeons floraux, la première série de 6 arbres en pots a été sortie, 3 ont été installés dans la zone nord du verger et 3 dans la zone sud (Figure 5). Pour chaque série, les arbres en pots sont restés au verger de 24 à 48h puis réinstallés en serre dans la zone « retour terrain ». La sortie des pots est en phase avec les lectures de spores (environs de 11h à 11h). A leur entrée en serre, une étiquette de bijoutier a été placée sur chaque bourgeon afin d'identifier le stade phénologique auquel il était lors de l'exposition au monilia en verger. 10 séries (A à J) ont été installées au verger entre les stades C et H, éclatement des bourgeons à la fin de la floraison (Annexes 2 et 4).

Les conditions de température et d'humidité ont été mesurées et enregistrées en continu dans la serre grâce à un Tinytag View 2 modèle TV-4505 (Gemini Data Loggers, Chichester, Angleterre). En cours d'expérimentation, la température à l'intérieur de la serre a dépassé les 30°C, conditions qui ne permettent plus le développement des *Monilia* spp. (Hrustic et al., 2012 ; Tamm, L., Fluckite, W., 1993 ; Biggs, A. R., Northover, J., 1988). Les séries H à J ont donc été installés dans un laboratoire d'été dont la température était comprise entre 10 et 15°C.

La notation est basée sur les comptages du nombre total de fleurs et de celles présentant des symptômes de moniliose (des taches de couleur brune sur les pétales) afin d'obtenir le pourcentage de fleurs symptomatiques (Figures 2a et 7). Les bourgeons ont été évalués séparément en fonction de leur stade phénologique au retour en serre. Les notations commencent 3 jours après l'entrée en serre des pots et sont répétées 3 fois (tous les 2 jours).

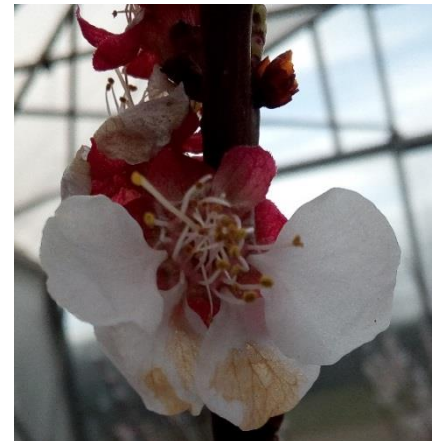


Figure 7 : symptômes de monilia sur pétale. Photographie personnelle.

$$\% \text{ de fleurs symptomatiques} = \frac{\text{nombre de fleurs présentant des symptômes}}{\text{nombre de fleurs total}} * 100$$

Pour confirmer l'hypothèse qu'il n'y a pas de contamination par le monilia dans la serre ou dans le laboratoire d'été, 1 série de 3 témoins a été installée dans chaque lieu d'observation (Annexe 4).

1.5. Identification du pathogène responsable de l'attaque

A chaque notation, 8 fleurs moniliées sont prélevées par arbre. Elles sont mises en boîte de pétri contenant du milieu PDA (Potato Dextrose Agar (laboratoire Conda, Espagne) – 9,75g de milieu en poudre dans 250 ml d'eau dé-ionisée et stérilisation 20mn à l'autoclave à 121°C).

La culture est à température ambiante. L'identification est réalisée selon les caractères morphologiques du mycélium définis par la clé synoptique de Lane (Lane, 2002). Dans le cas d'identifications pas claires, des purifications par ré-isolement ont été réalisées. Pour confirmer que les identifications sont correctes, des échantillons représentatifs des phénotypes classiques et particuliers de *M. laxa* et *M. fructicola* ont été testés par PCR dans un laboratoire spécialisé (Labocea, Ploufragan, France).

1.6. Analyses statistiques

Les analyses statistiques sont réalisées à l'aide du logiciel R Studio associé à R version i386 3.3.3. L'analyse est basée sur des comparaisons de moyenne (Test de Student), des analyses de variance (ANOVA) et des régressions linéaires. Les conditions d'applications des tests sont vérifiées : le test de Shapiro pour la normalité, les tests de Fisher ou de Bartlett pour l'égalité des variances. La significativité statistique des régressions linéaires est mesurée grâce à un test de Pearson.

2. Résultats et discussion

Les séries E, F et G ne seront pas prises en compte dans l'analyse, en effet, les conditions dans la serre avec des températures dépassant 30°C en journée risquaient de limiter le développement du champignon. Les pétales chutaient ou devenaient sénescents précocement.

Dans l'analyse, les valeurs utilisées sont celles de la notation 5 jours après le retour en serre des arbres en pots. Ce choix est basé sur l'observation des témoins en serre et au laboratoire d'été. Lors de la notation à 5 jours, les arbres en pot présentaient un début de chute de pétales et quelques fleurs fanées. L'évaluation à 7 jours montrait une importante augmentation du nombre de fleurs fanées.

2.1. Pourcentage de fleurs symptomatiques et sensibilité selon le stade phénologique

Les témoins en serre et au laboratoire d'été ne présentent aucun symptôme du monilia ainsi les contaminations ne se déroulent que lors de l'exposition au verger des arbres en pots.

Les arbres en pot présentaient peu de bourgeons au stade C, un seul a développé les symptômes du monilia. La présence de symptômes sur des bourgeons au stade D a été plus fréquente, notamment pour la série A où 3 arbres avaient un tiers de ces bourgeons atteints par les monilioses (*Tableau 1*). En ce qui concerne les bourgeons au stade E, une grande variabilité du taux de bourgeons symptomatiques est observée entre et au sein des séries, par exemple la série A présente des variations entre 0% et 75% et la C entre 14,3% et 50%. Une absence de symptômes a été observée pour les séries B et J (*Tableau 1*). Ces résultats restent néanmoins à nuancer au vu du faible nombre de bourgeons aux stades C, D et E. En ce qui concerne les bourgeons pleinement ouverts (stade F), les valeurs sont très variables d'une série à l'autre, allant d'une absence de symptômes (Séries H et I) à plus de 86% (série A). Certaines séries présentent une faible variabilité entre les 6 arbres qui la compose : les séries A, B, H et I (*Tableau 1*). Ces résultats indiquent des différences dans la sensibilité au monilia sur fleur en fonction du stade phénologique du bourgeon lors de l'exposition. Ainsi, le stade C « éclatement des bourgeons » semble le moins sensible suivi par le stade D « ouverture des sépales » et le stade E « ballonnets ». La pleine floraison (stade F) est la période où l'abricotier est le plus sensible. Ces différences de sensibilité sont similaires à celles déjà décrites (Lichou, J., Jay, M., 2012 ; Hrustic et al., 2012).

Au vu du faible nombre de bourgeons aux stades C, D et E (*Tableau 1*), les analyses suivantes ont été réalisées sur les bourgeons pleinement ouverts (stade F).

Tableau 1 : résultats de l'expérimentation en pot piège. Nb bour. = nombre de bourgeons ;
% mon. = % de fleurs présentant des symptômes

Série	Pot	Stade C		Stade D		stade E		Stade F	
		Nb bour.	% mon.	Nb bour.	% mon.	Nb bour.	% mon.	Nb bour.	% mon.
Série A	N1	7	0%	7	0%	4	75%	36	80,56%
	N2	1	0%	6	33,3%	3	33,3%	58	65,52%
	N3	1	0%	3	33,3%	1	0%	23	82,61%
	S1	9	0%	3	0%	9	33,3%	27	77,78%
	S2	4	0%	12	33,3%	13	38,5%	97	72,16%
	S3	5	0%	4	0%	9	44,4%	38	86,84%
Série B	N1	5	0%	6	0%	8	0%	72	0%
	N2	6	0%	12	0%	7	0%	94	1,06%
	N3	25	0%	28	0%	12	0%	264	0%
	S1	2	0%	1	0%	1	0%	28	10,71%
	S2	0	-	2	0%	2	0%	16	0%
	S3	11	0%	7	0%	1	0%	75	0%
Série C	N1	3	0%	12	8,3%	4	0%	119	30,25%
	N2	2	0%	3	0%	1	0%	50	50%
	N3	4	25%	3	0%	7	14,3%	169	42,60%
	S1	10	0%	4	0%	0	0%	24	37,5%
	S2	3	0%	0	-	4	50,0%	36	58,33%
	S3	10	0%	5	0%	0	0%	18	61,11%
Série D	N1	0	-	1	0%	0	-	45	42,86%
	N2	0	-	2	0%	0	-	43	33,33%
	N3	1	0%	0	-	1	0%	37	34,62%
	S1	4	0%	2	0%	1	100%	25	53,19%
	S2	8	0%	0	-	0	-	11	50%
	S3	2	0%	0	-	1	0%	10	26,67%
Témoin serre	T1	0	-	0	-	0	-	3	0%
	T2	0	-	0	-	0	-	8	0%
	T3	0	-	0	-	0	-	7	0%
Série H	N1	0	-	0	-	2	0%	65	0%
	N2	0	-	0	-	0	-	62	1,23%
	N3	9	0%	3	0%	0	-	79	0,95%
	S1	0	-	4	0%	1	0%	48	0,0%
	S2	1	0%	0	-	0	-	36	0,0%
	S3	0	-	0	-	0	-	50	0,0%
Série I	N1	1	0%	4	0%	2	0%	76	0%
	N2	2	0%	0	-	0	-	142	0%
	N3	0	-	6	0%	1	0%	73	0%
	S1	2	0%	0	-	0	-	64	0%
	S2	4	0%	2	0%	1	0%	59	0%
	S3	0	-	0	-	0	-	49	0%
Témoin labo. d'été	T1	0	-	0	-	0	-	40	0%
	T2	0	-	0	-	0	-	34	0%
	T3	0	-	0	-	0	-	29	0%
Série J	N1	7	0%	1	0%	0	-	20	58,49%
	N2	12	0%	1	0%	0	-	20	33,33%
	N3	2	0%	0	-	1	0%	31	28,57%
	S1	0	-	1	0%	0	-	15	22,22%
	S2	0	-	0	-	0	-	6	46,67%
	S3	0	-	0	-	0	-	14	63,64%

2.2. Détermination des agents pathogènes responsables

Sur l'ensemble des fleurs présentant des symptômes prélevées, *M. laxa* a été identifié sur 25% des fleurs, et *M. fructicola* sur 0,1% des fleurs. Sur près de 75% des fleurs symptomatiques, le pathogène responsable n'a pas pu être identifié à cause du développement d'un champignon saprophyte qui colonise le milieu de culture plus rapidement.

2.3. Effet de la position de l'arbre en pot

L'effet de la position de l'arbre en pot sur le pourcentage de fleurs moniliées a été étudié grâce à une ANOVA (Analyse de Variance) à 2 facteurs : la position (Nord ou Sud de la parcelle) et la série (A à D et H à J). La position a une p-value de 0,22, elle n'a donc pas d'effet. La série a une p-value inférieure à 0,05 elle influence donc le taux de fleurs présentant des symptômes de monilia. Il n'y a pas d'interactions entre les deux facteurs (p-value = 0,95). Ainsi, en zones inoculées et non inoculées, l'incidence des monilioses sur fleur est la même. Il se peut donc que l'inoculum ne soit pas un facteur limitant dans l'infection par les *Monilia* spp. ou que les spores se soient propagées à l'échelle de la parcelle. Une autre possibilité est la présence de chancres non visibles à l'œil nu, sur les rameaux des zones nord et sud, créant une nouvelle source d'inoculum.

La position n'ayant pas d'influence sur l'infection des fleurs, chaque série sera caractérisée par la moyenne d'infection observée sur les 6 arbres. Chaque série présentant des conditions particulières en termes de climat ou d'inoculum, leur étude peut permettre l'identification des facteurs favorisant l'infection.

2.4. Lien entre le taux de fleurs symptomatiques et les conditions météorologiques

Différents types de régression ont été effectués afin de comprendre l'influence des paramètres climatiques sur le pourcentage de fleurs présentant des symptômes de monilioses (Tableaux 1 et 2). Seules les régressions linéaires sont présentées, les autres types de régression n'étant pas concluants.

Tableau 2 : Pourcentage moyen de fleurs symptomatiques à 5 jours et données climatiques par série

Série	% moyen de fleurs symptomatiques	Intervalle de confiance à 95%	Cumul des précipitations (mm)	Intensité moyenne des précipitations (mm/h)	Intensité maximale des précipitations (mm/h)	Durée d'humectation totale (mn)	Hygrométrie moyenne (%)	Température moyenne (°C)	Vent moyen (km/h)	Direction principale du vent
A	77,58%	6,14	32	3,875	8,6	1990	83,6	7,8	11,0	S
B	1,96%	3,45	0	0	0	70	78,0	8,1	8,9	S
C	46,63%	9,64	13,8	1,38	8	1120	71,4	9,9	16,7	S
D	40,11%	8,26	7,2	0,541	2,2	1330	78,8	7,5	13,1	S
H	0,36%	0,46	0	0	0	0	65,7	13,3	11,6	N
I	0,00%	0	0	0	0	0	69,2	11,0	9,7	N
J	42,15%	13,43	4	1	3,2	760	73,4	11,8	8,4	S

Le cumul des précipitations présente une forte corrélation avec le pourcentage de fleurs ayant des symptômes de monilia ($R^2=0,81$) (Figure 8a et tableau 3). Ainsi plus les précipitations sont importantes, plus l'incidence de la maladie est forte. Une relation est observée entre le taux de fleurs symptomatiques et les intensités moyenne et maximale des précipitations ($R^2=0,82$ pour les deux régressions) (Tableau 3 et annexe 5). Cependant, il est difficile d'affirmer que l'intensité des précipitations est un facteur d'influence dans l'incidence du monilia car les séries présentant les intensités moyenne ou maximales les plus importantes sont aussi celles où le cumul de précipitation est le plus élevé.

La durée totale d'humectation durant la série est très fortement corrélée au pourcentage de fleurs symptomatiques ($R^2=0,945$) (Figure 8b et tableau 3). Ainsi, une augmentation de l'humectation entraîne une augmentation du pourcentage de fleurs moniliées.

Le cumul des précipitations et la durée d'humectation étant corrélés ($R^2=0,83$ avec $p\text{-value}=0,005$ au test de Pearson) (Annexe 5), il est difficile de savoir si une pluie est nécessaire à l'infection par les *Monilia* spp. ou si une rosée peut entraîner des contaminations. Toutefois, cette étude confirme que les monilioses sont largement favorisées par une pluie ou une période humectée comme l'affirment de nombreuses publications (Lichou, J., Jay, M., 2012 ; Hrustic et al., 2012 ; Oliveira Lino et al., 2016 ; Michailides, T. J. et al., 2007 ; Biggs, A. R., Northover, J., 1988).

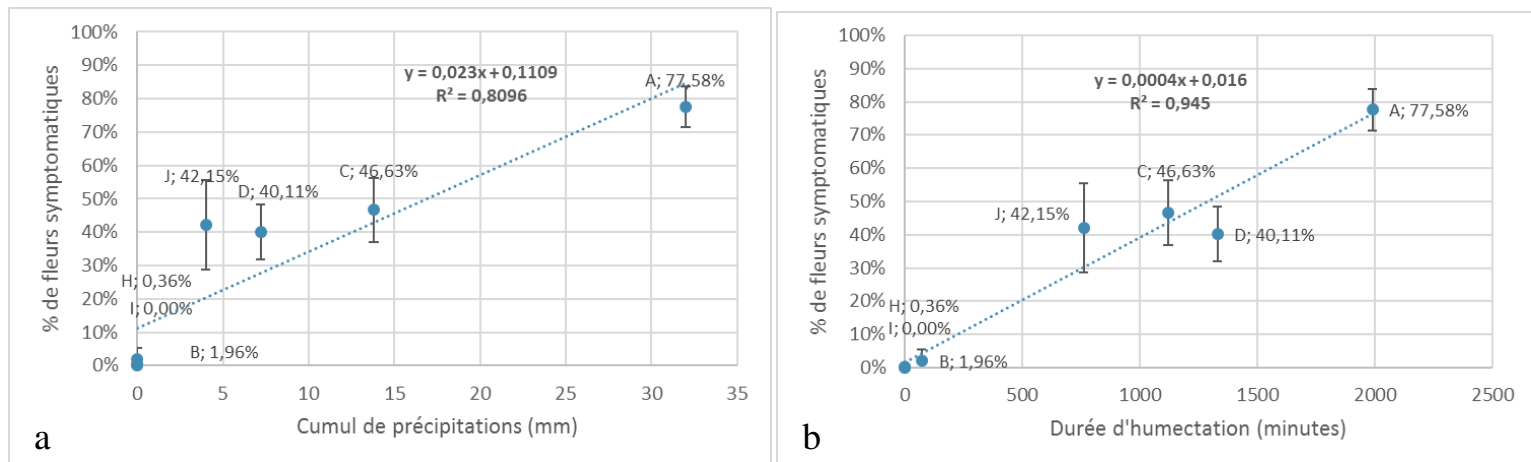


Figure 8 : le pourcentage de fleurs symptomatiques en fonction de a. le cumul des précipitations et b. la durée d'humectation. Les barres d'erreur correspondent à l'intervalle de confiance à 95%.

Le pourcentage d'hygrométrie ne présente pas une relation statistiquement significative avec le pourcentage de fleurs symptomatiques malgré un R^2 de 0,44 (Tableau 3 et annexe 5). Selon une étude (Tamm, L., Flückiger, W., 1993), en absence d'eau libre, les infections par les *Monilia* spp. sont possibles si l'hygrométrie est supérieure à 98 %. La seule série présentant des valeurs si élevées est la série B et ce durant 2 heures seulement. Cependant, cette série a une période d'humectation, il n'est donc pas possible de savoir si cette forte hygrométrie a participé à l'infection des fleurs et dans quelle proportion.

En ce qui concerne la température, son influence sur le taux de fleurs présentant des symptômes est faible ($R^2=0,21$) et non significative (Tableau 3 et annexe 5). Comme précédemment il a été montré que des précipitations ou une période humectée favorisent les monilioses, le lien entre l'incidence de la maladie et la température en période humectée a été recherché. Ces deux paramètres ne sont pas liés ($R^2=0,04$) et la relation n'est pas significative d'un point de vue statistique (Tableau 3 et annexe 5).

La direction du vent peut avoir une influence dans cette expérimentation dans la mesure où le vent peut participer à la dispersion des spores dans l'environnement et qu'il y a une zone inoculée (nord) une zone saine (sud). Lorsque qu'une série a eu majoritairement du vent venant du sud, elle présente des pourcentages d'infection plus importants (sauf la série B) que lorsque soufflait le vent du nord ($R^2=0,46$). La relation n'est toutefois pas significative statistiquement (Tableau 3 et annexe 5). Par ailleurs, il est intéressant de remarquer que les séries H et I où le vent venait du nord n'ont pas eu de précipitations ou de période humectée, facteurs favorisant les monilioses. Pour confirmer l'effet de la direction du vent sur l'infection, il faudrait des pluies lorsque le vent vient du nord. La vitesse moyenne horaire n'a pas d'influence sur l'infection par les monilioses ($R^2=0,11$) (Tableau 3 et annexe 5).

L'influence d'autres paramètres climatiques (hygrométrie moyenne diurne ou nocturne, hygrométrie en période humectée, température moyenne en journée ou la nuit, amplitude

thermique) sur le pourcentage de fleurs présentant des symptômes de monilia a été étudiée. Aucune relation statistiquement significative n'a été définie (Données non présentées).

Tableau 3 : tableau récapitulatif de la qualité et la significativité des relations entre l'infection des fleurs par le monilia et les paramètres climatiques

Variable testée	R ²	p-value (test de Pearson)
Cumul des précipitations	0,8096	0,0058
Intensité moyenne des précipitations	0,8220	0,0049
Intensité maximale des précipitations	0,8206	0,0050
Durée totale d'humectation	0,9450	0,0002
Hygrométrie moyenne	0,4382	0,1053
Température moyenne	0,2121	0,2984
Température moyenne en période humectée	0,0418	0,7416
Vent moyen horaire	0,1058	0,4766
Direction du vent	0,4597	0,0942

2.5. Inoculum mesuré par les capteurs aériens de spores

2.5.1. Présentation des données recueillies

L'inoculum mesuré par les appareils burkard varie au cours du temps. La moyenne journalière est comprise entre 25 et 162 spores/m³ d'air aspiré pour l'appareil situé au nord de la parcelle et entre 38 et 243 spores/m³ d'air aspiré pour celui au sud de la parcelle (Figure 9 et annexe 6). Visuellement, des différences sont observées entre les concentrations aériennes quotidiennes de *Monilia* spp. des zones nord et sud notamment le 27/02, le 09/03, le 12/03 et le 17/03. Une comparaison de moyennes a été réalisée et d'un point de vue statistique, il n'y a pas de différences significatives entre les appareils burkard situés au nord et sud de la parcelle. Ainsi, l'inoculum apporté en zone nord était en quantité négligeable par rapport à l'inoculum déjà présent dans l'air ou il a été dispersé à l'échelle du verger.

La moyenne des concentrations aériennes en spores mesurées par les burkard a été faite afin d'obtenir l'inoculum aérien moyen à la parcelle.

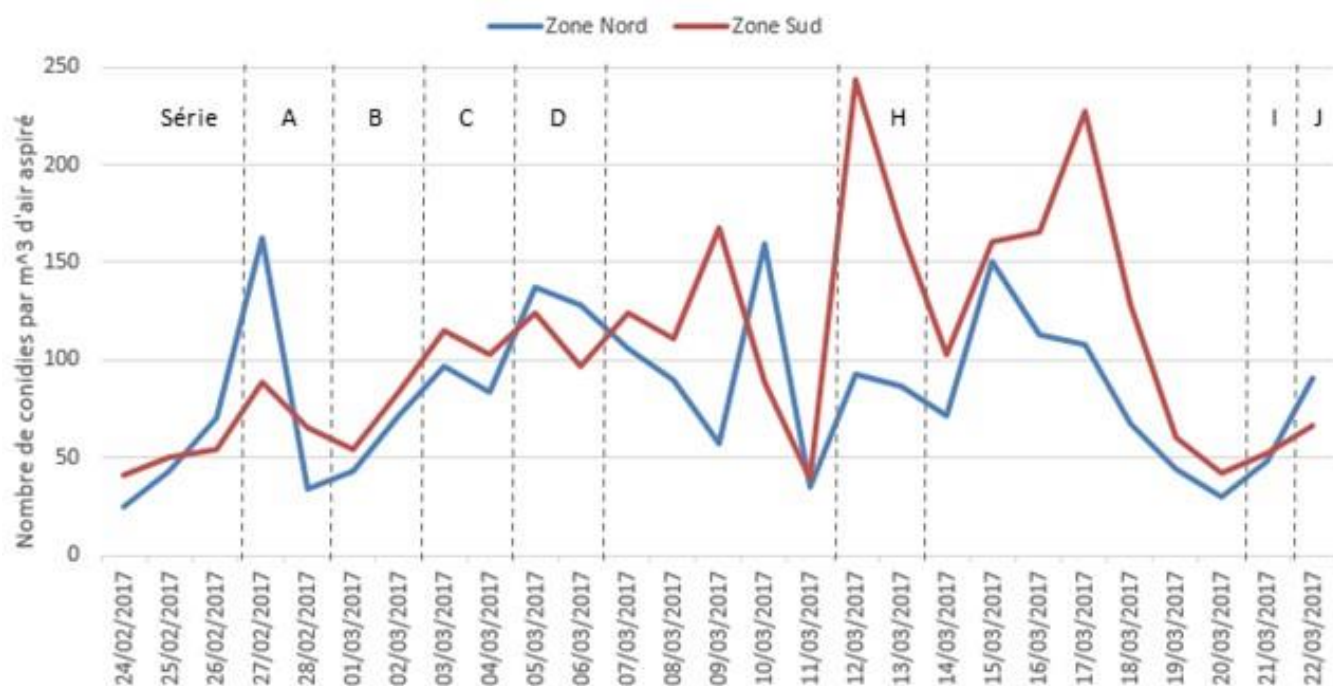


Figure 9 : inoculum aérien quotidien mesuré grâce aux burkard Nord et Sud. Les dates correspondant au jour J ainsi au 24/02/2017 sont indiquées les spores comptabilisées du 24/02 11h au 25/02 11h.

2.5.2. Liens entre la concentration aérienne en spores de *Monilia* spp. et les conditions climatiques

Les précipitations ont un faible effet sur la concentration aérienne en spores de *Monilia* spp. pour le burkard nord ($R^2=0,15$) avec une relation linéaire statistiquement significative. Ainsi plus les précipitations sont importantes plus l'inoculum aérien est élevé. Cependant, cette relation n'est pas observée pour le burkard sud ($R^2=0,0009$) ou l'inoculum moyen ($R^2=0,02$).

La durée d'humectation et le pourcentage d'hygrométrie n'influent pas sur le nombre de spores aériennes que ce soit pour le burkard nord (respectivement $R^2=0,04$ et $R^2=0,06$), le burkard sud (respectivement $R^2=0,02$ et $R^2=0,01$) ou l'inoculum moyen (respectivement $R^2=0,00001$ et $R^2=0,002$).

La température moyenne journalière a une faible influence sur la concentration en spores dans l'air mesuré par le burkard sud ($R^2=0,16$) cependant cet effet n'est pas observé par le burkard nord ($R^2=0,004$) ou l'inoculum moyen ($R^2=0,09$).

La direction du vent a une très faible influence sur la concentration aérienne en spores de *Monilia* spp. mesurée par le burkard nord ($R^2=0,08$), le burkard sud ($R^2=0,05$) ou sur l'inoculum moyen ($R^2=0,08$). La vitesse moyenne du vent n'a pas d'influence sur l'inoculum aérien moyen ou celui mesuré en zones nord et sud du verger.

De manière générale, les conditions climatiques étudiées n'ont pas d'influence sur la concentration aérienne en spores. Toutefois, la relation significative entre les précipitations et la concentration aérienne en zone nord indique une influence des pluies sur la production de spores par les momies installées dans cette zone du verger. Certaines publications ont déjà montré l'effet de l'humidité ou de la température sur la production ou la libération de spores (Michailides, T. J. et al., 2007 ; Tamm, L., Flückiger, W., 1993).

2.5.3. Lien entre la concentration aérienne en spores de *Monilia* spp. et le pourcentage de fleurs symptomatiques

Les séries présentent une concentration aérienne en spores différente. La série I a l'inoculum aérien le plus faible avec 50 spores/m³ d'air aspiré et la série H le plus élevé avec 300 spores/m³ d'air aspiré (tableau 4).

L'inoculum mesuré par le burkard nord est faiblement lié au pourcentage de fleurs symptomatiques ($R^2=0,12$) mais cette relation n'est pas significativement significative. La concentration aérienne en spores de *Monilia* spp. mesurée par le burkard sud et l'inoculum aérien moyen à la parcelle ne sont pas liés au taux de fleur présentant des symptômes ($R^2=0,05$ et $R^2=0,0001$ respectivement).

Tableau 4 : Inoculum par série mesuré au verger. L'inoculum aérien correspond à celui mesuré grâce aux capteurs aériens de spores (spores/m³ d'air aspiré). L'inoculum total est la somme des spores comptées sur les lames vaselinées (spores/cm² de lame)

Série	% de fleurs symptomatiques	Inoculum zone nord	Inoculum zone sud	Inoculum moyen du verger	Inoculum total mesuré par comptage sur lames vaselinées
A	77,58%	197,97	149,91	173,94	5684,90
B	1,96%	161,81	190,82	176,31	205,73
C	46,63%	179,15	217,23	198,19	4390,63
D	40,11%	279,92	235,66	257,79	3184,90
H	0,36%	182,83	417,89	300,36	380,21
I	0,00%	50,06	51,33	50,69	114,58
J	42,15%	75,23	55,56	65,39	3304,69

2.6. Inoculum mesuré sur les lames vaselinées

2.6.1. Etude des données recueillies

Le nombre de spores dénombrées sur les lames vaselinées varie au cours du temps. Il y a des différences entre les lames vaselinées : toutes présentent la même valeur minimale de 2,6 spores/cm² mais la valeur maximale de spores sur la lame varie entre 166 spores/cm² pour la lame B-Nord (rangée B- sous la momie Nord) et 2617 spores/cm² pour la lame A- Sud (Figures 5 et 10, annexe 6). Comme chaque momie étudiée présentait du *M. laxa*, les différences dans la production de spores peuvent s'expliquer par la qualité hétérogène des momies et notamment la surface recouverte par du mycélium. La momie A-sud qui a produit le plus de conidies est recouverte à plus de 80% par des coussinets de *M. laxa*. Les momies B-Sud, C-Sud et C-Nord présentent 20 à 50% de surface avec mycélium, leur production de spores est moyenne. Enfin, les momies A-Nord et B-Nord ont 10% de leur surface recouverte par du mycélium, ce sont les momies présentant la plus faible production de spores. La somme des spores comptabilisées sur les momies constitue une estimation de l'inoculum produit et dispersé à l'échelle de la parcelle. Elle sera donc étudiée par la suite.

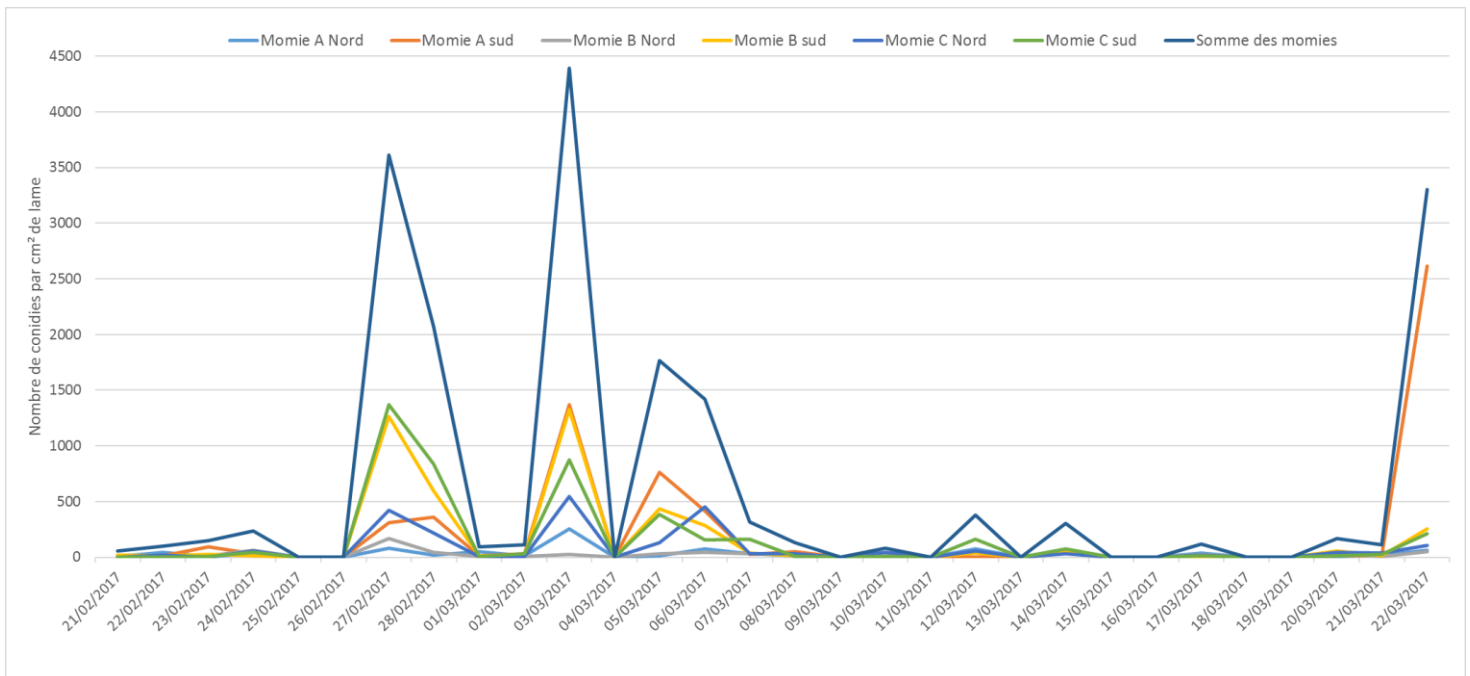


Figure 10 : évolution du nombre de spores par cm² de lame vaselinée en fonction du temps et de la momie

2.6.2. Lien entre les comptages de spores de *Monilia* spp. sur les lames vaselinées et les conditions climatiques

Le cumul de précipitations et la durée d'humectation sont significativement liés à la somme de spores dénombrées sur les lames vaselinées (respectivement $R^2=0,72$ et $R^2=0,80$ avec une p -value $< 0,001$). Ainsi plus le cumul de pluies ou la durée d'humectation sont importants, plus le nombre de spores comptées par centimètre carré de lame sera élevé. Comme précédemment, il a une relation de proportionnalité entre ces deux paramètres climatiques ($R^2=0,55$).

L'hygrométrie présente le même type de relation avec la somme des spores comptées sur les lames vaselinées seulement, elle est moins forte ($R^2=0,17$). Toutefois, elle n'est pas statistiquement significative.

La température moyenne durant la présence des lames vaselinées au verger n'a pas d'influence sur le cumul des comptages de spores ($R^2=0,03$).

La direction du vent a une influence sur le cumul de spores comptées ($R^2=0,29$). Ainsi, le nombre de spores comptées est plus faible lorsque le vent vient du nord que lorsqu'il vient du sud-ouest ou du sud. Cette relation est statistiquement significative mais elle n'est pas forcément directe. En effet, les jours où il y a des précipitations ou une période d'humectation correspondent majoritairement à ceux où le vent vient du sud ou du sud-ouest. La force du vent présente une faible influence sur la somme de spores de *Monilia* spp. décomptées ($R^2=0,16$) mais elle n'est pas significative.

2.6.3. Lien entre les comptages de spores de *Monilia* spp. sur les lames vaselinées et le pourcentage de fleurs symptomatiques

Les séries présentent un inoculum mesuré grâce aux comptages des spores de *Monilia* spp. sur les lames vaselinées très différent. Il varie entre 115 spores par cm^2 pour la série I à 5685 pour la série A, soit un inoculum presque 50 fois supérieur (tableau 4).

Le cumul des spores dénombrées sur les lames vaselinées présente une relation de proportionnalité très forte avec le pourcentage de fleurs symptomatiques ($R^2=0,98$) (Figure 11). Cette relation est statistiquement significative (p-value = 0,00002). Ainsi plus la somme de spores dénombrées est élevée, plus le pourcentage de fleurs ayant des symptômes est important. Il est toutefois difficile de savoir si cette relation est directe ou indirecte dans la mesure où le pourcentage de fleurs symptomatiques et la somme des spores de *Monilia* spp. comptées sur les lames vaselinées sont deux variables très liées à la durée d'humectation.

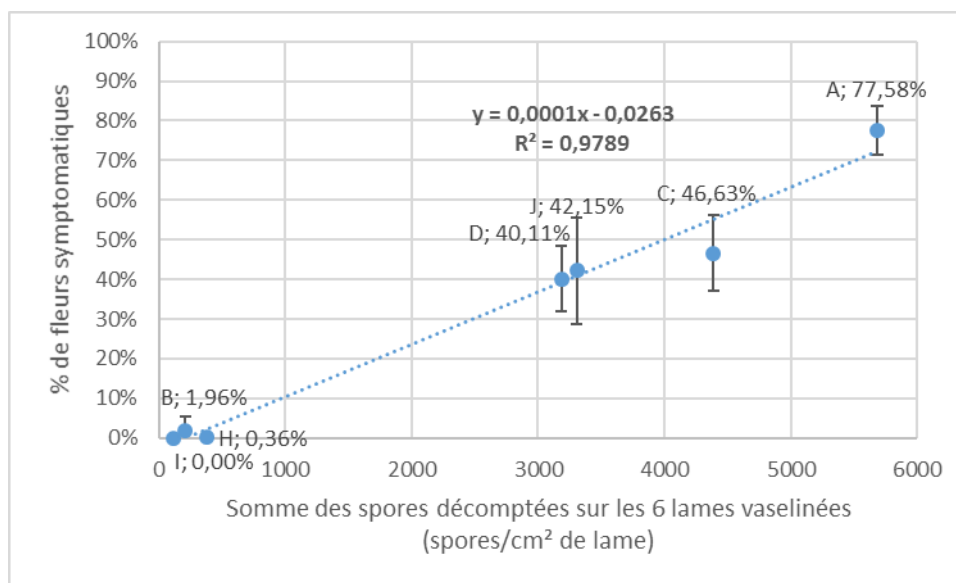


Figure 11 : le pourcentage de fleurs symptomatiques en fonction de l'inoculum total mesuré au verger par comptage des spores de *Monilia* spp. sur les lames vaselinées.

2.7. Comparaison des inocula mesurés par burkard et lames vaselinées

Une comparaison des inocula a été réalisée afin de comprendre dans quelle mesure les momies apportées au verger ont participé à l'inoculum aérien présent à l'échelle de la parcelle. Une très faible relation non significative est observée entre les deux mesures de spores de *Monilia* spp. ($R^2=0,04$). Ceci peut s'expliquer par le fait que les capteurs aériens mesurent les spores émises par les momies, celles produites par les chancres sur le bois du verger d'étude ainsi que celles issues d'autres parcelles et dispersées dans l'air. L'absence de relation serait liée à des variations journalières de production de spores par les chancres et dans les autres vergers. Ceci ne permet pas de conclure sur l'importance de l'inoculum apporté au verger dans la concentration aérienne de spores.

2.8. Comparaison aux courbes de risque créées par Tamm *et al*

Des courbes de risques de contamination par *M. laxa* sur fleurs de cerisier ont été établies suite à des expérimentations *in vitro*. Elles sont basées sur la combinaison de deux paramètres climatiques : la durée d'humectation et la température moyenne en période humectée. Les séries présentant une période d'humectation ont été placées sur les courbes établies par Tamm *et al*. La comparaison vise à déterminer si le modèle de Tamm *et al* peut être adapté aux contaminations des fleurs d'abricotier par *M. laxa* en verger. Les courbes de risque ont été rehaussées de 4h en ce qui concerne la durée d'humectation conformément aux conclusions des auteurs du modèle car *in vitro* elle avait été sous-estimée (Figure 12).

Le point correspondant à la série A avec 77,58 % de fleurs symptomatiques est positionné largement au-dessus de la courbe représentant un risque de 80 % de fleurs infectées. Les séries C, D et J qui présentent des symptômes sur respectivement 46,63% des fleurs, 40,11% et 42,15% sont toutes placées entre les courbes symbolisant des risques de 60 et 80%. En ce qui concerne la série B (1,96% de fleurs symptomatiques), elle est située largement en dessous de la courbe représentant un risque de 20% d'infection.

De manière générale, le modèle établi par Tamm *et al* surestime les contaminations sur fleurs d'abricotier en conditions réelles même si globalement la position des points correspondant aux séries réalisées cette année est cohérente. La surestimation du risque peut être liée aux différences dans les conditions entre celles de l'expérimentation en verger et celles dans lesquelles les courbes ont été établies. En ce qui concerne la température, dans l'expérimentation *in vitro*, elle était constante ce qui n'est pas le cas en verger. Précédemment, l'influence de l'inoculum a été étudiée sans pouvoir conclure. Dans l'expérimentation *in vitro*, l'inoculum était très important (100ml d'une solution à 5×10^3 spores/ml) de sorte que ce facteur ne soit pas limitant. Cet inoculum est nettement supérieur à celui observé en verger qui était au maximum de 258 spores/m³ d'air pour la série D ou de 5685 spores/cm² comptées sur les lames vaselinées exposées au verger lors de la série A.

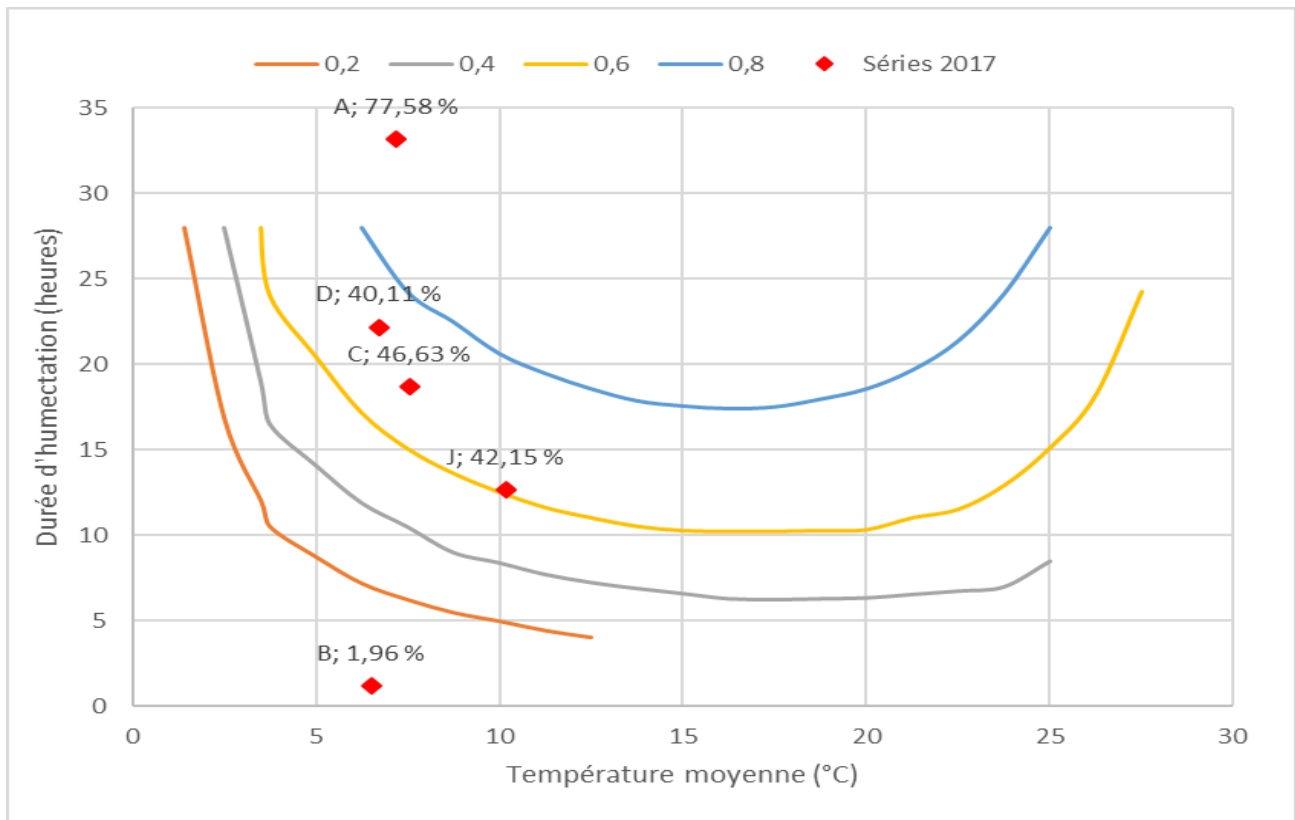


Figure 12 : Comparaison des pourcentages de fleurs symptomatiques observés lors de l'expérimentation en pot piège aux courbes de risque établies par Tamm *et al* et rehaussées de 4h d'humectation

3. Conclusions de l'expérimentation en pot piège

La sensibilité des fleurs d'abricotier aux monilioses est variable selon le stade phénologique du bourgeon. En effet, la sensibilité est croissante des stades C à F et ce dernier est le plus sensible. Installer au verger des arbres en pot présentant un nombre plus élevé de bourgeons avant leur pleine floraison permettrait de mieux comprendre la sensibilité au monilia des stades C, D et E.

L'expérimentation en pot piège a permis de mettre en évidence le besoin en eau pour assurer l'infection des fleurs par *M. laxa* mais aussi la présence de spores dans le verger. Toutefois, réitérer l'installation d'arbres en pots permettrait d'affiner l'influence de chaque facteur par l'étude d'un plus grand nombre de situations climatiques. Ainsi, il serait possible de savoir si une pluie est indispensable à la contamination ou si une rosée ou une période avec une hygrométrie supérieure à 98% peuvent être suffisantes.

L'influence de l'inoculum sur le taux de fleurs infectées n'a pas pu être démontrée. Les observations réalisées ne permettent pas de savoir si la relation est directe ou indirecte entre l'inoculum mesuré grâce aux lames vaselinées et le pourcentage de fleurs présentant des symptômes. Ainsi, il est difficile de savoir si l'inoculum est un facteur limitant ou s'il est toujours suffisant pour assurer la contamination des fleurs par le monilia.

L'inoculum aérien mesuré par les burkard en zones inoculée et non inoculée est similaire ce qui traduit la dispersion des spores de *Monilia* spp. à l'échelle du verger. L'installation d'un capteur aérien de spores en dehors d'un verger d'abricotier apporterait des informations sur la dispersion des spores dans l'air. En effet, cela permettrait de savoir si la concentration de spores dans l'air est liée à une parcelle ou à une zone géographique plus large.

La comparaison du pourcentage de fleurs symptomatiques observé grâce à l'expérimentation en pot piège avec les courbes de risque de Tamm *et al* montre l'importance de la combinaison de la durée d'humectation et de la température sur l'incidence des monilioses. De manière générale, le modèle de Tamm *et al* surestime les risques de contamination au verger. Le nombre de séries présentant une durée d'humectation n'est pas suffisant pour permettre actuellement l'adaptation du modèle à la contamination des fleurs d'abricotier par *M. laxa* en verger.

M. fructicola n'a pas pu être étudié lors de cette expérimentation en pot piège car il n'a pas causé de monilioses sur fleur. Ceci est lié à la faible présence de ce champignon pathogène au verger (seulement sur 3% des momies) et en concentration inconnue dans l'air. Afin de mieux décrire les conséquences d'une infection par *M. fructicola* et d'identifier les conditions les plus favorables aux contaminations, il serait intéressant de réitérer l'expérience en pot piège avec un inoculum majoritairement composé par cet agent pathogène. Le modèle de Tamm *et al* ayant été construit pour *M. laxa*, cela permettrait de voir si les mêmes paramètres climatiques régissent les contaminations sur fleurs par *M. fructicola* et si une adaptation du modèle est possible.

Enfin, l'expérimentation en pot piège pourrait être menée en présence d'un inoculum contenant à parts égales des spores de *M. laxa* et de *M. fructicola* afin de connaître les conséquences de cet inoculum sur les contaminations de fleurs au verger et de décrire le comportement de ces agents pathogènes.

Partie 2 : étude des facteurs influant sur l'épidémie de monilioses en vergers d'abricotiers

Sur un réseau de parcelles, les dégâts de monilioses sur rameaux ont été évalués. Cette étude a pour but de déterminer l'influence de nombreux paramètres sur le développement des monilioses. L'évolution phénologique des arbres a été datée afin de comprendre si les conditions climatiques lors des stades floraux sont liées aux dégâts sur rameaux. Les champignons pathogènes responsables des infections ont été identifiés sur fleurs et rameaux pour mieux appréhender la répartition de ces bio-agresseurs sur le territoire au cours du temps.

1. Matériel et méthode

1.1. Le réseau de parcelles

Le réseau est constitué de 14 parcelles réparties sur les départements de l'Ardèche et de la Drôme (Figure 13). Parmi ces vergers, 9 présentent un système de culture conventionnel, ils sont évalués par la SEFRA et l'INRA. Les 5 parcelles restantes sont menées en agriculture biologique et évaluées par le GRAB ou la SEFRA (SEFRA 5). Sur l'ensemble des parcelles étudiées, deux variétés d'abricotiers sont représentées : Bergeron, sensible (Parveaud, C.-E. et al., 2016), et Bergeval, légèrement plus sensible que Bergeron sur fleur (Yves Bersinger, Rhoda-coop. Com. Personnelle) (Tableau 5).

Sur chaque verger, 10 arbres groupés et représentatifs de la parcelle ont été choisis avec le producteur pour l'évaluation et le suivi des dégâts sur rameaux. Ces arbres ne reçoivent pas de traitement ciblé contre le monilia sur fleurs. Après la floraison, les producteurs sont libres de réaliser un traitement contre la rouille.

Chaque parcelle est décrite par les choix agronomiques du producteur tels que la variété et la surface par arbre. D'autres paramètres tels que l'âge du verger et sa floribondité sont aussi pris en compte.

La parcelle INRA est celle utilisée pour l'expérimentation en pot piège. Deux évaluations ont été réalisées : une pour la zone nord contaminée et une pour la zone sud saine (parcelle décrite dans le matériel et méthode de la partie 1 paragraphes 1.1 et 1.2).

1.2. Les données météorologiques

Dans chaque parcelle du réseau, une station météorologique iMETOS similaire à celle présentée dans le matériel et méthode de la partie 1 (paragraphe 1.3.) a été installée. Elle est placée à proximité des arbres sélectionnés sur le rang entre deux arbres ou à l'emplacement d'un arbre manquant. Elle mesure en continu les précipitations, la durée d'humectation foliaire, la température et le pourcentage d'hygrométrie.

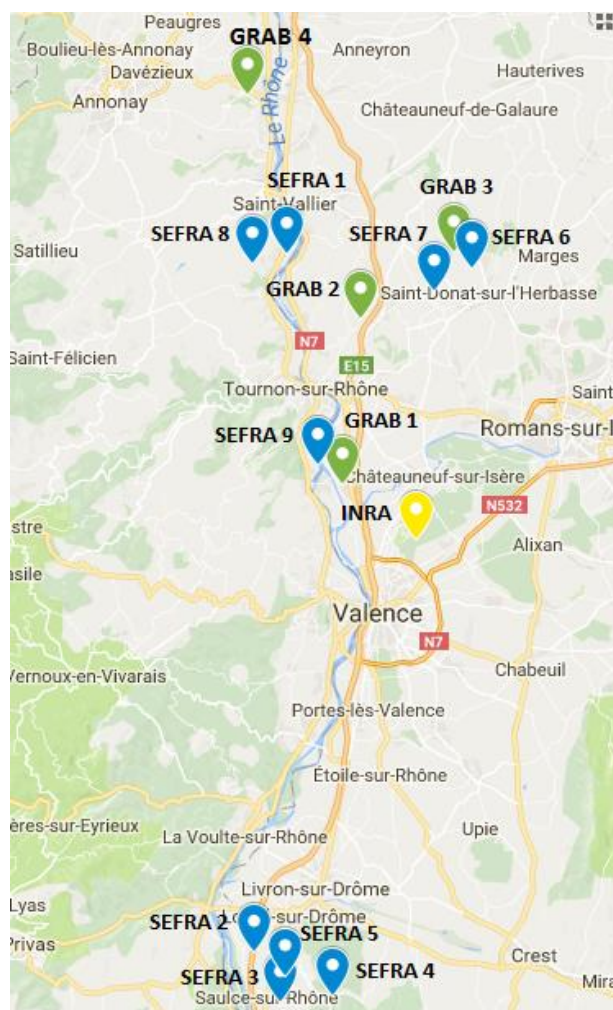


Figure 13 : carte représentant la répartition des parcelles du réseau (Vert : parcelles suivies par le GRAB, Jaune : INRA et Bleu : SEFRA)

Tableau 5 : description des parcelles du réseau

Parcelle	Nom du producteur	Variété	Localisation
GRAB 1	L. Combier	Bergeron	Pont de l'Isère (26)
GRAB 2	M. Bruyère	Bergeron	Chantemerle les blés (26)
GRAB 3	A. Leduc	Bergeron	Claveyson (26)
GRAB 4	Y. Bruyère	Bergeron	St Etienne de Valoux (07)
INRA	-	Bergeval	Gotheron (26)
SEFRA 1	P. Lionneton	Bergeron	Arras-sur-Rhône (vallée) (07)
SEFRA 2	J. Fereyre	Bergeron	Saulce-sur-Rhône (26)
SEFRA 3	J. Dorier	Bergeval	Mirmande (26)
SEFRA 4	P. Rouveyre	Bergeron	Mirmande (26)
SEFRA 5	J. Carle	Bergeval	Cliausclat (26)
SEFRA 6	T. Deygas	Bergeron	St Donat-sur-l'Herbasse (26)
SEFRA 7	Y. Gélus	Bergeron	Bren (26)
SEFRA 8	P. Lionneton	Bergeval	Arras-sur-Rhône (plateau) (07)
SEFRA 9	R. Gonnet	Bergeval	Glun (07)

1.3. Etude de la phénologie et de la floribondité

Du stade C « éclatement des bourgeons » au stade G « floraison déclinante », 2 à 3 observations par semaine ont été réalisées sur les 10 arbres choisis afin de définir précisément leur stade phénologique. Pour chaque arbre, les pourcentages de chaque stade ont été notés afin de réaliser une moyenne à la parcelle à chaque date de notation. Les abricotiers présentant des différences dans la floraison de leurs rameaux courts (longueur inférieure à 30cm) et longs, ils ont été notés séparément.

La floribondité correspond à une évaluation du nombre de fleurs par mètre linéaire de rameaux. Une échelle allant de 0 (faible nombre de fleurs : 10 par mètre linéaire de rameau) à 4 (nombre très important de fleurs : 50 par mètre linéaire de rameau) a été utilisée (document interne SEFRA).

1.4. Estimation de l'inoculum présent à la parcelle

Sur les 10 arbres sélectionnés, le nombre de momies d'abricot de l'année précédente, suspendues dans les arbres, a été comptabilisé afin d'estimer l'inoculum à la parcelle. Elles ont été retirées du verger pour que l'ensemble des parcelles présentent le même inoculum de base, c'est-à-dire celui apporté par l'air.

Pour chaque parcelle, il a été demandé aux arboriculteurs de quantifier les dégâts sur rameaux pour l'année 2016 afin d'estimer un inoculum potentiel en 2017 sous forme de chancres issus des contaminations de 2016.

1.5. Etude des monilioses

Dans cette étude, les monilioses sur fleurs sont évaluées indirectement par quantification des dégâts sur rameaux. En verger, il est particulièrement difficile d'estimer le pourcentage de fleurs présentant des symptômes de monilia. D'une part, la structure et la floribondité des arbres engendrerait une évaluation chronophage et difficile voire impossible à réaliser. D'autre part, certains facteurs notamment climatiques peuvent entraîner la chute précoce des pétales moniliés, ceci conduirait à sous-estimer les dégâts réels.

1.5.1. Evaluation des dégâts sur rameaux

Les dégâts sur rameaux ont été évalués de deux manières : une estimation visuelle de l'intensité de l'attaque correspondant au pourcentage de la longueur de rameaux desséchés et la part de rameaux courts et longs moniliés sur une charpentière. Ces évaluations ont été réalisées 1 mois après la floraison (vers mi-avril).

L'estimation visuelle de l'intensité des dégâts sur rameaux est réalisée sur les 10 arbres sélectionnés. Elle est basée sur l'estimation de la longueur des rameaux à fleur desséchés par rapport à la longueur totale des rameaux à fleur de l'arbre et ceci rapporté à un pourcentage. Pour chaque parcelle, la moyenne de l'intensité estimée sur les 10 arbres évalués est utilisée lors de l'analyse.

Le comptage des rameaux touchés a été réalisé sur une charpentière sur 5 des 10 arbres évalués. La charpentière choisie est représentative de l'arbre en ce qui concerne sa taille et les rameaux moniliés qu'elle porte. Sur chaque charpentière, tous les rameaux à fleur sont comptabilisés en distinguant rameaux courts et rameaux longs puis ce sont les rameaux desséchés qui sont comptés. Ainsi la fréquence de rameaux moniliés par charpentière est obtenu selon la formule suivante :

$$\text{Fréquence de rameaux courts desséchés} = \frac{\text{Somme de rameaux courts desséchés sur les 5 charpentières sélectionnées}}{\text{Somme de tous les rameaux courts sur les 5 charpentières sélectionnées}} * 100$$

1.5.2. Détermination du champignon pathogène responsable

Différents organes ont été prélevés afin de déterminer le champignon pathogène responsable des dégâts causés. Les fleurs moniliées restant accrochées aux rameaux, sur les 10 arbres, 32 fleurs desséchées sont prélevées au total. En conditions humides, le mycélium de *Monilia* spp. est visible, ces fleurs ont été privilégiées pour le prélèvement. Les fleurs ont été prélevées à l'aide d'une pince recourbée et mises individuellement dans un sachet plastique zippé sur lequel ont été notées la parcelle et la date. Entre chaque prélèvement, la pince a été nettoyée à l'alcool à 90°. La mise en culture des fleurs et l'identification suivent le protocole décrit dans le matériel et méthode de la partie 1 (paragraphe 1.5.).

Pour chaque parcelle étudiée, 10 rameaux moniliés ont été prélevés. De préférence, ces rameaux présentaient une zone desséchée et une zone saine. Les rameaux ont été prélevés à l'aide d'un sécateur et mis dans un sachet zippé individuel sur lequel étaient renseignées la parcelle et la date. Entre chaque rameau prélevé, le sécateur a été nettoyé à l'alcool à 90°. Deux types d'analyses ont été réalisées : 5 rameaux ont été envoyés à un laboratoire privé (Labocœa, Ploufragan (22), France) pour identification par PCR du *Monilia* spp. responsable. Les 5 restants ont été analysés au laboratoire de Gotheron. A l'interface entre les zones contaminée et saine ou à la base du rameau, l'écorce a été retirée à l'aide d'un scalpel. Une lamelle de bois peu épaisse a été découpée à la limite du vaisseau conducteur et posée sur une boîte de pétri PDA. L'identification suit le même protocole que celui utilisé sur fleurs.

1.6. Calcul du risque de contamination sur fleur d'après le modèle de Tamm *et al*

Le risque de Tamm *et al* traduit le pourcentage de fleurs maximal pouvant être atteint par les monilioses dans des conditions précises. Le risque final est la somme des risques ayant lieu durant la floraison (F10 à G) car ceci correspond aux conditions d'établissement du modèle. Si les périodes d'humectation sont séparées par moins de 4h non humectées, un seul risque est considéré, sinon plusieurs risques sont estimés puis additionnés.

La formule traduisant le modèle est issue de la publication (Tamm *et al.*, 1995).

Risque de Tamm et al =

$$0,874 * \left(1 - \left(1 - \left(1,816 * \frac{T^{1,736}}{31} * \left(1 - \frac{T}{31} \right)^{0,1} \right) * \exp \left(-0,728 * \frac{T^{0,918}}{31} * \left(1 - \frac{T}{31} \right) * DH \right) \right)^{\frac{1}{0,1}}$$

Avec T la température moyenne en période humectée et DH la durée d'humectation

La sous-estimation de la durée d'humectation, décrite dans la publication (Tamm *et al.*, 1995), entraîne une erreur dans le calcul des risques par l'algorithme. Une estimation des risques a été réalisée de manière graphique à l'aide des courbes réhaussées de 4h (*Figure 3*).

2. Résultats et discussion

2.1. Intensité et fréquence des monilioses sur rameaux

La grande majorité des parcelles présentent une intensité de rameaux desséchés inférieure à 5% (GRAB 3 et 4, INRA sud et nord, SEFRA 1 à 4 et 6 à 9). Les vergers GRAB 1 et 2 ont une intensité moyenne comprise entre 5 et 10 %. Seule la parcelle SEFRA 5 présente une sévérité de la maladie plus élevée (28%) (Tableau 6). Ainsi, à l'exception de cette dernière parcelle, de faibles différences sont observées entre les vergers du réseau. La variété ne semble pas avoir d'influence sur l'incidence de la maladie sur rameaux. De manière générale, les dégâts sur rameaux causés par les monilioses sont peu importants cette année.

Certaines parcelles présentent une fréquence de dégâts nulle pour les deux types de rameaux (SEFRA 6 et 9) ou un seul type (rameaux courts pour SEFRA 8 et rameaux longs pour SEFRA 2 et 4). De nombreuses parcelles présentent des fréquences de rameaux moniliés inférieures à 5% telles que la GRAB 3 et 4, SEFRA 2, 3, 4, 7 et 8 que ce soit pour les rameaux courts, longs ou les deux. Les parcelles GRAB 2, INRA nord et SEFRA 1 ont un pourcentage de rameaux desséchés compris entre 5 et 10%. Les parcelles GRAB 1 et SEFRA 5 présentent les taux les plus élevés de dégâts avec un minimum de 16% et un maximum de 25%. Le verger INRA sud a une particularité : malgré la faible fréquence de rameaux moniliés, la fréquence de rameaux longs desséchés est 4 fois plus importante que celle de rameaux courts, respectivement 1,9% et 8% (Tableau 6). Globalement, le type de rameau ne semble pas avoir d'influence sur la fréquence de rameaux desséchés. En effet, 6 parcelles ont un pourcentage de rameaux courts moniliés supérieur à celui des rameaux longs et 7 parcelles l'inverse. Comme pour l'intensité estimée de la maladie, la fréquence de rameaux moniliés comptées par charpentière présente peu de variation entre les parcelles (hormis GRAB 1 et SEFRA 5). Les dégâts observés traduisent une faible incidence du monilia sur rameaux.

Tableau 6 : Les dégâts causés par les monilioses sur les rameaux : intensité estimée, fréquence calculée et principal agent pathogène responsable (le majoritaire est cité en 1^{er} avec sa fréquence d'apparition)

Parcelle	Intensité estimée (% de longueur de rameaux desséchés)	Intervalle de confiance à 95 %	Fréquence de rameaux courts desséchés (%)	Fréquence de rameaux longs desséchés(%)	Agents pathogènes sur fleur	Agents pathogènes sur rameau
GRAB 1	7,50%	2,257	16,22%	22,22%	<i>M. laxa</i>	<i>M. laxa</i>
GRAB 2	8,10%	3,548	5,54%	8,10%	<i>M. laxa</i>	<i>M. laxa</i>
GRAB 3	2,00%	1,307	1,94%	0,93%	<i>M. laxa</i> (96%) / <i>M. fructicola</i>	<i>M. laxa</i>
GRAB 4	0,38%	0,275	0,43%	2,53%	<i>M. laxa</i> (81%) / <i>M. fructicola</i>	<i>M. laxa</i> (90%) / <i>M. fructicola</i>
INRA Sud	1,80%	1,045	1,92%	8,00%	<i>M. laxa</i>	<i>M. laxa</i>
INRA Nord	1,90%	1,031	6,53%	6,90%	<i>M. laxa</i> (93%) / <i>M. fructicola</i>	<i>M. laxa</i>
SEFRA 1	3,00%	0,826	8,20%	4,17%	<i>M. fructicola</i> (83%) / <i>M. laxa</i>	<i>M. fructicola</i> (67%) / <i>M. laxa</i>
SEFRA 2	1,10%	0,616	0,75%	0,00%	<i>M. fructicola</i>	<i>M. laxa</i> (60%) / <i>M. fructicola</i>
SEFRA 3	2,80%	2,123	2,98%	1,10%	<i>M. laxa</i>	<i>M. laxa</i>
SEFRA 4	0,56%	0,739	0,43%	0,00%	<i>M. laxa</i>	<i>M. laxa</i>
SEFRA 5	28,00%	9,262	22,22%	25,32%	<i>M. laxa</i>	<i>M. laxa</i> (89%) / <i>M. fructicola</i>
SEFRA 6	0,70%	0,510	0,00%	0,00%	<i>M. laxa</i> (86%) / <i>M. fructicola</i>	<i>M. laxa</i>
SEFRA 7	2,60%	1,709	3,16%	0,91%	<i>M. laxa</i>	<i>M. laxa</i> (88%) / <i>M. fructicola</i>
SEFRA 8	1,00%	0,773	0,00%	1,49%	<i>M. laxa</i>	<i>M. laxa</i>
SEFRA 9	0,60%	0,433	0,00%	0,00%	<i>M. laxa</i>	<i>M. laxa</i>

2.2. Détermination des agents pathogènes responsables

Sur les fleurs des parcelles GRAB 1 et 2, INRA sud, SEFRA 3, 4, 5 et 7 à 9, seul *M. laxa* a été identifié. Dans les vergers GRAB 3 et 4, INRA nord et SEFRA 6, *M. laxa* et *M. fructicola* ont été isolés, le premier étant majoritaire. Sur la parcelle SEFRA 1, les deux champignons pathogènes ont été identifiés sur fleur, le plus présent étant *M. fructicola*. Pour la parcelle SEFRA 2, seul *M. fructicola* a été retrouvé (Tableau 6). Ainsi, sur les fleurs prélevées, le champignon pathogène majoritairement retrouvé est *M. laxa*.

M. laxa a été retrouvé sur les rameaux des parcelles GRAB 1 à 3, INRA sud et nord, SEFRA 3, 4, 6, 8 et 9. Dans les vergers GRAB 4, SEFRA 2, SEFRA 4, 5 et 7, *M. laxa* et *M. fructicola* ont été identifiés sur les rameaux, le premier étant majoritaire. Seule la parcelle SEFRA 1 présente les deux agents pathogènes avec *M. fructicola* majoritaire (Tableau 6). Ainsi, sur les rameaux prélevés, analysés par PCR ou par isolement, *M. laxa* est retrouvé majoritairement.

La majorité des parcelles présentent le même champignon pathogène majoritaire sur fleur et sur rameaux. (GRAB 1, 2 et 4, INRA sud, SEFRA 1, 3, 4, 8 et 9). Certaines parcelles présentaient les deux agents pathogènes sur fleur et n'en présentent plus qu'un sur rameau (GRAB 3, INRA nord et SEFRA 6) pour d'autres c'est l'inverse (SEFRA 2, 5, 7) (Tableau 6).

2.3. Lien entre les dégâts de monilioses sur rameaux et les conditions climatiques lors de la floraison

Les conditions climatiques ont été étudiées durant la pleine floraison du verger. En pratique, la floraison a été considérée comme débutant lorsque 10 % des fleurs sont ouvertes (F10) et se terminant lorsque les premières fleurs perdent leur pétales (stade G) (Annexe 7). Ce choix a été fait suite aux conclusions de l'expérimentation en pot piège dans laquelle il a été montré que le stade F était celui où les fleurs présentent la sensibilité la plus forte au monilia.

Dans un premier temps, l'influence des paramètres climatiques sur l'intensité de l'attaque est étudiée (Annexe 7). Les précipitations n'ont pas d'influence sur la sévérité des dégâts sur rameaux ($R^2=0,03$). Cependant, seules les parcelles GRAB 1 et GRAB 2 présentent des précipitations durant la floraison et les cumuls sont très faibles respectivement 0,4 et 0,8 mm ce qui ne permet pas d'affirmer que ce facteur n'a pas d'importance dans l'infection. La durée d'humectation durant la floraison a une faible influence sur l'intensité estimée ($R^2=0,19$) (Figure 14a). Ainsi, plus la durée d'humectation lors de la floraison est importante, plus l'intensité de dégâts observées sur rameaux est élevée néanmoins cette relation n'est pas statistiquement significative. L'hygrométrie moyenne durant la floraison et en période humectée sont faiblement liées à l'incidence de l'attaque (respectivement $R^2=0,14$ et $R^2=0,1$). Malgré que ces relations ne soient pas statistiquement significatives, il est intéressant de noter que pour l'hygrométrie moyenne, plus elle est importante, plus l'incidence est faible alors que pour l'hygrométrie moyenne en période humectée, elle augmente parallèlement à l'intensité de la maladie. La température moyenne durant la floraison est faiblement liée à l'intensité de l'attaque ($R^2=0,09$). Il en est de même pour la température moyenne en période humectée ($R^2=0,1$) cependant ces relations ne sont pas statistiquement significatives (Annexe 7).

Dans un second temps, l'influence des paramètres climatiques sur la fréquence des monilioses sur rameaux courts et longs est étudiée (Annexe 7). Concernant les précipitations, elles ont une influence très faible sur la fréquence de l'attaque sur rameaux courts ($R^2=0,07$), cette relation n'est pas significative mais ceci peut s'expliquer par le fait que seulement les parcelles GRAB 1 et GRAB 2 ont subi des pluies durant la floraison. En ce qui concerne la fréquence de monilia sur rameaux longs, l'absence de précipitations durant leur floraison ne permet pas d'étudier l'influence de ce paramètre climatique. La durée d'humectation a un effet négligeable sur la fréquence de rameaux moniliés qu'ils soient courts ($R^2=0,03$) ou longs ($R^2=0,04$). L'hygrométrie moyenne n'a pas d'influence sur la fréquence de rameaux desséchés courts ($R^2=0,03$) mais elle en a une faible sur celle des rameaux longs ($R^2=0,15$). Ainsi plus l'hygrométrie moyenne est élevée, moins le pourcentage de rameaux longs moniliés est important toutefois cette relation n'est pas statistiquement significative. L'hygrométrie moyenne en période humectée présente une faible influence sur la fréquence de rameaux moniliés courts ($R^2=0,1$) mais pas sur celles des rameaux longs ($R^2=0,03$). Ces relations ne sont pas statistiquement significatives. La température moyenne durant la floraison a un effet très faible sur la fréquence de rameaux courts moniliés ($R^2=0,07$) mais elle a une influence

significative sur celle de rameaux longs desséchés ($R^2=0,29$ et $p\text{-value} = 0,03$) (*Figure 14b*). Ainsi, plus la température moyenne est élevée, plus la fréquence de rameaux longs moniliés est importante. La température moyenne en période humectée ne présente pas de relation avec la fréquence de rameaux moniliés courts ($R^2=0,02$) ou longs ($R^2=0,02$) (*Annexe 7*).

De manière générale, les paramètres climatiques étudiés séparément pendant la floraison n'ont pas d'influence sur la sévérité estimée des monilioses sur rameau. Il est en de même pour les fréquences de rameaux moniliés courts et longs. Seule la température moyenne durant la floraison a une influence sur le pourcentage de rameaux longs desséchés. Le mécanisme de transfert du champignon de la fleur au rameau étant méconnu, il est difficile de conclure sur ces observations.

2.4. Influence de la floribondité sur les dégâts de monilioses sur rameaux

La floribondité moyenne des parcelles va de 1,3 (faible pour les parcelles INRA sud et nord) à 3 (importante pour les parcelles SEFRA 1, 4 et 5) (*Tableau 7*). La floribondité a une faible influence sur l'intensité du monilia sur rameau ($R^2=0,11$) (*Figure 14c*) mais cette relation n'est pas statistiquement significative. En ce qui concerne les fréquences de rameaux courts et longs desséchés, le nombre de fleurs par mètre linéaire de rameau n'a pas d'influence sur les pourcentages de rameaux moniliés observés en verger.

2.5. Lien entre l'infection de l'année précédente et les dégâts sur rameaux

Concernant les momies issues de l'infection sur fruit de 2016, de nombreuses parcelles n'en avaient aucune (GRAB 1, 2 et 4, INRA sud, SEFRA 1, 4 et 6 à 9). Les vergers GRAB 3, SEFRA2, 3 et 5 présentaient respectivement 26, 1, 10 et 33 momies. En ce qui concerne la parcelle INRA nord, 180 momies ont été suspendues dans les arbres selon le protocole décrit dans le matériel et méthode de la partie 1 (paragraphe 1.2.) (*Tableau 7*). Le nombre de momies dans les arbres en février n'a pas d'influence sur l'intensité estimée des dégâts sur rameaux ($R^2=0,02$) ou sur la fréquence de rameaux courts ($R^2=0$) et longs ($R^2=0,01$) desséchés. Ces momies témoignent de la sévérité de l'infection ayant eu lieu en 2016, il est logique de supposer que même si elles ont été retirées du verger, elles traduisent un inoculum potentiel plus important pour les parcelles concernées.

Les producteurs n'ont pas tous été en mesure de quantifier l'infection sur rameaux pour l'année 2016. Les données recueillies montrent des différences dans le pourcentage de rameaux moniliés entre les parcelles, allant de 0% (INRA Sud et Nord) à 30% (GRAB 3) (*Tableau 7*). Une relation très faible existe entre l'estimation des dégâts sur rameaux en 2016 réalisée par les arboriculteurs et l'intensité estimée au verger en 2017 ($R^2=0,02$) ou la fréquence de rameaux longs desséchés ($R^2=0,04$). Il n'en existe pas avec la fréquence de rameaux courts ($R^2=0$). Ces relations ne sont pas statistiquement significatives.

2.6. Lien entre les caractéristiques du verger et les dégâts sur rameaux

La surface par arbre varie de 15 m² (GRAB 1 et SEFRA 1) à 30 (GRAB 3) (*Tableau 7*). Ce paramètre n'a pas d'influence sur l'intensité estimée des dégâts sur rameaux ($R^2=0,02$) ou sur la fréquence de rameaux courts ($R^2=0,02$) et longs ($R^2=0,03$). Cette information est contraire à celle donnée par Lichou et Jay (2012) affirmant qu'une densité faible de plantation et donc une grande surface par arbre est défavorable aux contaminations par les monilioses. Toutefois le nombre de parcelle étudié peut ne pas être suffisant pour montrer une telle relation.

L'âge des vergers varie de 5 à 32 ans pour les arbres les plus vieux (*Tableau 7*). L'âge maximal de chaque verger a une influence faible sur l'intensité estimée des dégâts sur rameaux ($R^2=0,05$). Ce paramètre n'a pas d'influence sur la fréquence de rameaux courts desséchés ($R^2=0$) ou longs ($R^2=0,004$).

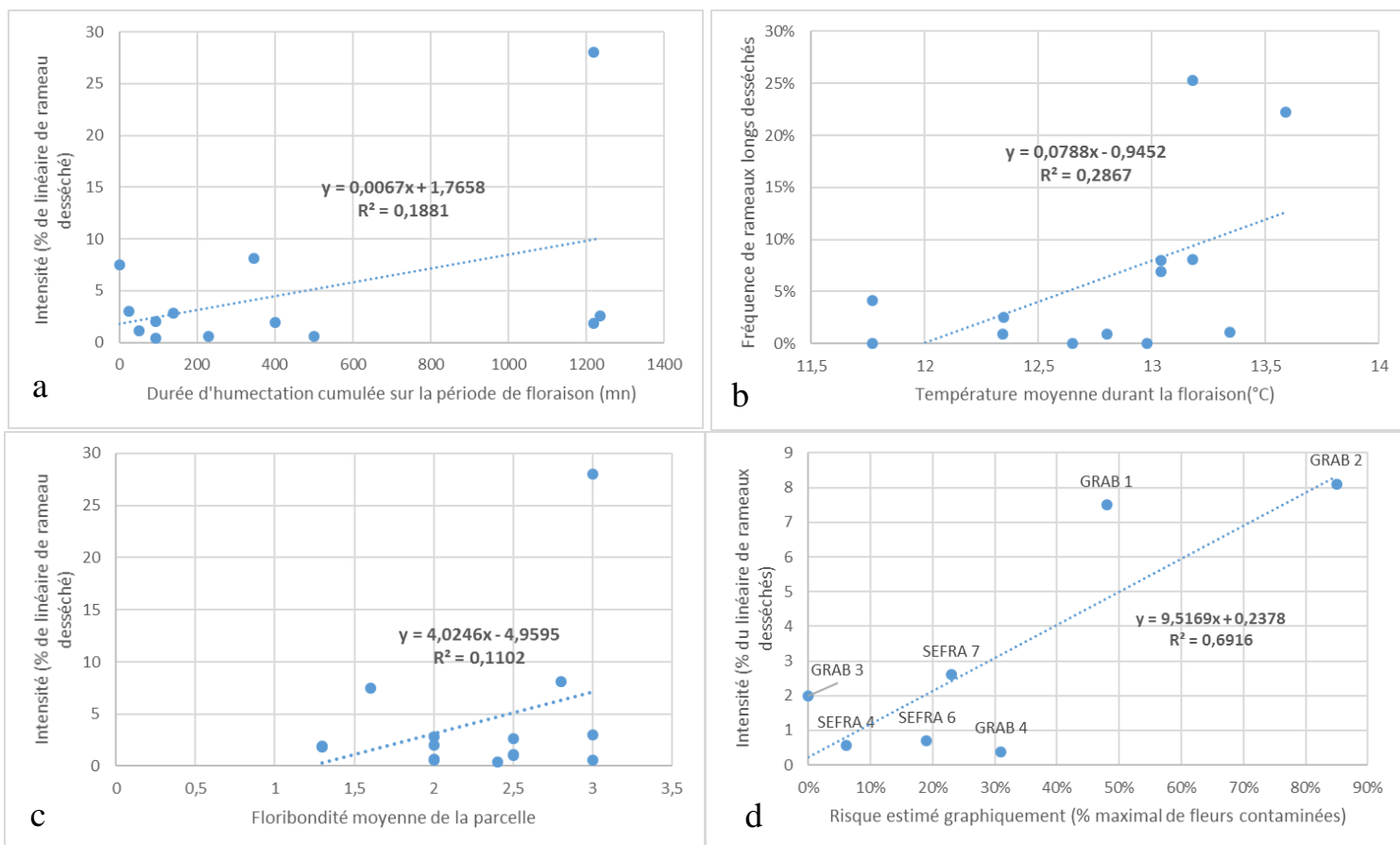


Figure 14 : a : intensité des dégâts sur rameaux en fonction de la durée d'humectation ; b : la fréquence de rameaux longs desséchés en fonction de la température moyenne ; c : intensité des dégâts sur rameaux en fonction de la floribondité moyenne des arbres de la parcelle ; d : intensité des dégâts sur rameaux causés par *M. laxa* dans les parcelles en Bergeron en fonction du risque de Tamm et al estimé graphiquement sur la période de floraison

Tableau 7 : les facteurs non climatiques pouvant influencer sur le monilia sur rameaux par parcelle

Parcelle	Floribondité	Infection précédente (nb de momies / parcelle)	Infection quantifiée par le producteur (% de rameaux moniliés)	Age du verger (années)	Surface par arbre (m ²)
GRAB 1	1,6	0	10	8	15
GRAB 2	2,8	0	10	6 à 32	20,25
GRAB 3	2	26	30	5	30
GRAB 4	2,4	0	2	10 à 20	20
INRA Sud	1,3	0	0	6 à 16	18,75
INRA Nord	1,3	180	0	6 à 16	18,75
SEFRA 1	3	0	NA	NA	15
SEFRA 2	2,5	1	NA	NA	18
SEFRA 3	2	10	NA	NA	18
SEFRA 4	3	0	NA	14	15
SEFRA 5	3	33	NA	NA	21
SEFRA 6	2	0	NA	NA	20
SEFRA 7	2,5	0	NA	NA	25
SEFRA 8	2,5	0	NA	NA	17,5
SEFRA 9	2	0	NA	4	20

2.7. Comparaison entre les dégâts observés sur rameaux et les risques de monilioses sur fleurs calculés selon le modèle de Tamm *et al*

Lorsque le risque calculé est comparé à l'intensité estimée de l'attaque sur rameaux, il est nettement supérieur allant de 8 fois à 140 fois la valeur observée au verger. Seule la parcelle SEFRA 5 présentant des dégâts plus importants sur rameaux (28%) a une estimation comparable (35%). Ainsi il n'y a pas de relation ($R^2=0$) entre le risque calculé grâce au modèle de Tamm *et al* et l'incidence du monilia sur rameaux

En ce qui concerne la fréquence de rameaux courts desséchés, le risque calculé est 3 à 125 fois supérieur aux observations en verger. Ici encore, la parcelle SEFRA 5 est celle pour laquelle l'estimation du risque est la plus proche de la valeur au verger avec un rapport de 1,6 entre les deux valeurs. La comparaison entre le risque calculé et la fréquence de rameaux longs desséchés montre aussi une nette surestimation des risques qui sont 4 à 49 fois supérieurs à la fréquence obtenue en verger. Toutefois, le risque calculé pour les parcelles GRAB 1 et SEFRA 5 est comparable aux pourcentages de rameaux longs desséchés avec respectivement un risque de 21% de fleurs moniliées pour 22% de rameaux desséchés et un risque de 36% pour 22% de rameaux desséchés. Il existe des faibles relations entre le risque sur fleur calculé grâce au modèle de Tamm *et al* et la fréquence de rameaux courts desséchés ($R^2=0,03$) ou longs ($R^2=0,04$) mais ces relations ne sont pas statistiquement significatives.

Le modèle de Tamm *et al* ayant été conçu sur l'infection par *M. laxa*, la comparaison entre les risques calculés et les dégâts sur rameaux ont été refaits en retirant les parcelles SEFRA 1 et 2 qui présentaient des contaminations par *M. fructicola*. Ici aussi, les relations observées sont nulles ou très faibles entre les risques de contamination sur fleur et l'intensité de l'attaque sur rameaux ($R^2=0$) ou la fréquence de rameaux courts et longs desséchés ($R^2=0,03$).

Globalement, le risque de contamination sur fleurs calculé selon le modèle de Tamm *et al* est largement supérieur aux dégâts réels observés sur rameaux. Ces observations sont logiques dans la mesure où une contamination sur fleur n'entraîne pas forcément une transmission du champignon jusqu'au rameau.

La sensibilité au monilia étant variétale, la distinction entre les parcelles en Bergeval et Bergeron a été faite. Pour la variété Bergeval, les dégâts sur rameaux causés par le monilia (intensité ou fréquence) ne sont pas liés au risque de contaminations sur fleurs calculé selon le modèle de Tamm *et al*. Pour la variété Bergeron, une relation existe entre le risque de contaminations sur fleurs et l'intensité de l'attaque sur rameaux ($R^2=0,33$) ou la fréquence de rameaux courts desséchés ($R^2=0,24$). Ainsi, le pourcentage théorique de fleurs infectées, issu du modèle de Tamm *et al*, est 5 fois supérieur à l'intensité de rameaux linéaires desséchés et 0,8 fois supérieur à la fréquence de rameaux courts moniliés. Ces relations ne sont toutefois pas statistiquement significatives. Aucune relation n'a pu être démontrée en ce qui concerne la fréquence de rameaux longs desséchés ($R^2=0$). Certaines parcelles (SEFRA 1 et 2) ayant été contaminées par *M. fructicola*, les analyses ont été refaites sans elles. Une relation forte existe entre le risque de Tamm *et al* et l'intensité de l'attaque sur rameaux ($R^2=0,48$) et un lien non négligeable avec la fréquence de rameaux courts desséchés ($R^2=0,24$). Ainsi, le pourcentage de fleurs contaminées est respectivement 7 fois et 0,1 fois supérieur aux dégâts sur rameaux. Une relation très faible existe avec la fréquence de rameaux longs moniliés ($R^2=0,03$). Toutefois, aucune de ces relations n'est statistiquement significative.

Selon la variété, les risques calculés grâce au modèle de Tamm *et al* sont plus ou moins liés aux dégâts observés sur rameaux. Ceci peut être lié au nombre trop faible d'observations (seulement 6) pour la variété Bergeval. Une autre explication est la différence dans la réponse de l'arbre face au passage du champignon de la fleur au rameau, mécanisme encore méconnu.

La comparaison a été réalisée entre les risques « graphique » et les dégâts observés sur rameaux. Lorsque les parcelles sont étudiées ensemble, les conclusions sont les mêmes, le risque estimé graphiquement n'est pas lié aux dégâts sur rameaux. Une relation forte et

statistiquement significative (p-value= 0,034) a été observée pour les parcelles Bergeron infectée par *M. laxa* ($R^2=0,69$) (Figure 14d). Ainsi, le risque de contamination sur fleur est 10 fois supérieur à l'intensité des dégâts sur rameaux. Ceci confirme le caractère variétal du transfert du champignon de la fleur au rameau.

3. Conclusions sur le suivi du réseau de parcelles

L'intensité des dégâts observés sur rameaux présente de faibles variations entre les vergers du réseau. La sévérité de la maladie est plutôt faible sauf pour une parcelle (SEFRA 5) dont 28% du linéaire des rameaux est desséché. Des observations comparables ont été réalisées sur les fréquences de rameaux desséchés courts ou longs. La longueur de rameau n'a pas d'influence sur le pourcentage de rameaux moniliés. De manière générale, les attaques de monilia cette saison n'ont pas été très importantes.

Les monilioses sur rameaux ont été causées principalement par *M. laxa*, champignon pathogène retrouvé majoritairement. Toutefois, *M. fructicola* a aussi été identifié dans plusieurs vergers. Généralement, sur fleur et rameau, le même *Monilia* spp. majoritaire a été identifié ce qui est logique dans la mesure où le champignon pathogène se déplace de la fleur au rameau. Poursuivre l'étude d'un réseau de parcelles permettrait d'acquérir des données sur la répartition géographique de *M. laxa* et *M. fructicola* et son évolution d'années en années.

Le suivi du réseau de parcelle a montré que les conditions climatiques étudiées séparément n'avaient pas d'influence sur l'intensité et les fréquences de dégâts sur rameaux. Il serait intéressant dans la poursuite du projet de mettre en place une expérimentation permettant une meilleure compréhension du mécanisme de transfert du champignon de la fleur vers le rameau et des conditions dans lesquelles il est possible.

Aucune différence significative n'a été observée dans les dégâts sur rameaux parcelles Bergeron et Bergeval, ainsi ces variétés présentent une sensibilité au monilia comparable dans cette étude. La surface par arbre, l'âge du verger et la floribondité sont des paramètres qui n'influencent pas les dégâts sur rameaux et donc les contaminations des fleurs par les monilioses.

Les dégâts sur rameaux de cette année ne sont pas liés aux dégâts sur rameaux de l'année précédente ou au nombre de momies suspendues dans la canopée des arbres. Ceci ne permet pas de conclure sur l'influence de l'inoculum. Il est important de trouver une méthode pour le quantifier à la parcelle notamment sur la période de pleine floraison du verger. L'utilisation de capteurs aériens de spores de type burkard ou de lames vaselinées serait une solution. Toutefois, ces méthodes sont très chronophages notamment pour la mise en œuvre, le remplacement et la lecture des bandes ou des lames, les rendant difficilement réalisables. L'emploi de la PCR quantitative ou en temps réel, une technique de diagnostic moléculaire, en remplacement de la lecture au microscope permettrait de gagner du temps. De plus, elle permettrait de distinguer les *Monilia* spp. car leurs séquences ADN sont connues. Cette méthode est déjà utilisée en pathologie végétale, notamment dans l'identification de la fusariose de l'épi de blé. Elle présente néanmoins un inconvénient : elle comptabilise les organismes vivants et morts pouvant conduire à une surestimation de l'inoculum (Toussaint - Ferreyrolle, J. et al., 2011). Dans notre cas, cette quantification de l'inoculum engendrerait des coûts importants par l'achat d'appareils burkard supplémentaires et la réalisation des PCR quantitatives dans un laboratoire spécialisé.

La comparaison entre le risque sur fleur calculé ou estimé graphiquement grâce au modèle de Tamm *et al* et les dégâts observés sur rameau met en évidence le caractère variétal du transfert du monilia de la fleur au rameau. Pour les parcelles en Bergeron, une relation de proportionnalité entre ces paramètres a été observée donnant une estimation du transfert de *M. laxa* de la fleur au rameau pour cette variété.

Partie 3 : Recherche de résistances génétiques au monilia par l'étude de la population d'abricotiers hybrides « Berba »

L'étude de la population d'abricotiers hybrides « Berba » a pour but de dissocier les facteurs environnementaux et génétiques dans la contamination des fleurs par le monilia. Les comparaisons entre l'intensité visuelle de rameaux desséchés et les risques de monilia sur fleur calculés selon l'algorithme de Tamm *et al* ou estimées graphiquement ont été réalisées. Un des objectifs de cette partie est d'étudier si les individus catégorisés comme résistants le sont grâce à leurs caractéristiques génétiques ou si leur période de floraison présentait un faible risque de contaminations sur fleurs. En effet, nous venons de montrer précédemment que l'infection est largement favorisée par une période d'humectation sur la fleur.

1. Matériel et méthode

1.1. Matériel végétal

La population d'abricotiers hybrides « Berba » a été créée afin d'étudier et identifier les marqueurs génétiques participant à la résistance ou à une moindre sensibilité au chancre bactérien. Elle est issue du croisement Bergeron x Bakour, choisis respectivement pour leur sensibilité et leur résistance à la bactériose. Cette population est initialement constituée de 336 hybrides plantés en 2004 avec une densité de plantation de 5 mètre par 1 (3 lignes (C, D et E) de 112 arbres). Chaque individu a été cartographié génétiquement. Le but final de l'étude de cette population est de trouver des géniteurs élites qui participeront à la création et l'amélioration de variétés. Au vu de l'émergence de la problématique du monilia, la réponse de ces hybrides à cette maladie a été étudiée afin de rechercher les caractères génétiques participant à la résistance aux monilioses d'autant que Bergeron est sensible au monilia sur fleurs et Bakour la variété la plus résistante (Parveaud, C.-E. et al., 2016).

Certains hybrides ont déjà été utilisés en tant que géniteurs élites notamment le C92, le C109 et le D99 pour leur bonne résistance au chancre bactérien. D'autres, le C83, le C92 et le C96, ont été sélectionnés par l'INRA et le GRAB pour leur résistance générale au monilia et à d'autres maladies. Ces 3 hybrides sont actuellement évalués par le GRAB en verger d'abricotiers conduit en agriculture biologique afin de mieux caractériser leur comportement face à ces diverses pathologies végétales et leur intérêt pour l'arboriculture biologique.

1.2. Stades phénologiques, floribondité et évaluation du monilia

Depuis 2011, la phénologie des arbres a été suivie, 2 à 3 fois par semaine, du stade B (gonflement des bourgeons) au stade G (fin de la floraison). La floribondité est évaluée au stade E (ballonnets) selon l'échelle décrite dans le matériel et méthode de la partie 2 (paragraphe 1.4.). La parcelle n'est pas traitée contre le monilia sur fleurs.

Le monilia est évalué selon l'intensité des dégâts sur rameaux. Ainsi, visuellement sont estimés les mètres linéaires de rameaux à fleur desséchés en fonction des mètres linéaires totaux de rameaux à fleurs et exprimés en pourcentage. Cette évaluation a été réalisée un mois environ après floraison. Les données ont été recueillies pour les années 2011 à 2015 et 2017, soit 6 ans. En 2016 et 2017, seul *M. laxa* a été identifiée sur des fleurs moniliées, les identifications ont été réalisées selon le protocole du matériel et méthode de la partie 1 (paragraphe 1.5.).

1.3. Données météorologiques

Les données de température et d'humectation sont issues de la station météorologique du domaine. Cette station est installée sur une pelouse et se situe à moins de 500 mètres de la parcelle d'étude. La mesure de la durée d'humectation est basée sur une résistance électrique dont la puissance varie si elle est sèche ou humectée.

1.4. Evaluation du risque de contaminations sur fleurs avec le modèle de Tamm *et al*

Les risques de contaminations sur fleurs ont été calculés selon la formule décrite dans le matériel et méthode de la partie 2 (paragraphe 1.6.). Pour chaque hybride, le risque analysé correspond à la somme des risques ayant eu lieu durant sa période de floraison (F10 à G). Une estimation graphique des risques sur la même période de floraison a aussi été réalisée afin de prendre en compte le rehaussement de 4h de la durée d'humectation décrit dans la publication (Tamm *et al.*, 1995).

2. Résultats et discussion

Tous les individus de la population présentant des données de phénologie pour les 6 années de notes monilia ont été étudiés, soit 190 individus. Lorsque les stades phénologiques n'ont pas été notés, ceci est dû à une floribondité trop faible pour permettre l'évaluation de l'arbre (inférieure à 0,2) ou à un arbre atteint d'enroulement chlorotique de l'abricotier ou mort.

2.1. Etude des notes monilia obtenues

Les notations des monioses présentent des variations plus ou moins importantes pour chaque hybride en fonction de l'année. La cartographie des notes sur le plan de la parcelle ne montre pas de foyers de contamination « stables » d'une année à l'autre sur la parcelle (Données non présentées). De manière générale, l'année 2017 est celle où les dégâts sur rameaux ont été les plus faibles et 2013 celle où ils ont été les plus importants avec respectivement des moyennes de 17 et 60 % du linéaire de rameaux desséchés (*Tableau 8*).

*Tableau 8 : récapitulatif par années des périodes de floraison, des notes monilia et des risques calculés et estimés graphiquement d'après le modèle de Tamm *et al**

Année	Période de floraison		Note monilia (% du linéaire de rameaux desséchés)			Risque calculé (% maximal de fleurs moniliées)			Risque estimé graphiquement (% maximal de fleurs moniliées)		
	Début	Fin	Minimale	Moyenne	Maximale	Minimal	Moyen	Maximal	Minimal	Moyen	Maximal
2011	27-févr	23-mars	0	34,9	90	0%	66,1%	87,4%	0%	149,8%	260%
2012	12-mars	29-mars	0	46,5	100	0%	77,1%	86,4%	0%	88%	124%
2013	21-mars	15-avr	10	59,9	100	78,1%	86,9%	87,4%	57%	223,9%	439%
2014	21-févr	22-mars	0	17,5	95	0%	34,9%	87,4%	0%	23,9%	270%
2015	13-mars	01-avr	0	38,6	100	10,3%	77,5%	87,4%	0%	136,7%	251%
2017	27-févr	19-mars	0	16,8	85	0%	43,0%	71,9%	0%	9,4%	15%

2.2. Etude des risques établis grâce au modèle de Tamm *et al*

Concernant les risques de contaminations sur fleurs calculés avec la formule, l'année 2014 est celle où ils sont les plus faibles et l'année 2013 là où ils sont les plus importants avec un risque minimal de 78% de fleurs moniliées (*Tableau 8*). De nombreuses différences dans les risques calculés sont observées entre les années d'étude. Pour les années 2011 et 2012, les risques calculés varient de 0 à 87% avec des moyennes respectives de 66 et 77%. Ceci s'explique par les conditions météorologiques lors de la floraison, en effet, une seule longue période d'humectation a eu lieu durant la période de floraison du verger. Pour l'année 2013, les risques calculés sont compris entre 78 et 87% de fleurs contaminées. La floraison ayant été plus

tardive que les années précédentes, entre fin mars et mi-avril, les périodes d'humectation ont été plus fréquentes. 2013 est la seule année où tous les hybrides présentent un risque théorique de contamination. Pour les années 2014, 2015 et 2017, les risques calculés varient respectivement de 0 à 87%, de 10 à 87% et de 0 à 72%, plusieurs courtes humectations ont été enregistrées sur la période de floraison (Tableau 8).

Concernant les risques estimés graphiquement, lorsqu'ils dépassent 100%, ceci indique que les hybrides concernés ont eu plusieurs importantes périodes de risque durant leur floraison. Ces risques présentent les mêmes variations que les risques calculés à l'aide de la formule mais amplifient les écarts entre les années. Ainsi, l'année où les risques de contamination sont les plus forts est 2013 et les plus faibles 2017, avec respectivement un risque moyen de 224% et 9% de fleurs moniliées.

2.3. Evaluation de l'influence des facteurs environnementaux et de la floribondité sur les contaminations par les monilioses

2.3.1. Comparaison entre la note monilia et les risques de contaminations sur fleurs

Pour chaque année et chaque hybride, une comparaison entre la note monilia et le risque d'infection a été réalisée afin de caractériser la relation entre les contaminations sur fleur et les dégâts sur rameau. Selon l'hybride et l'année, les notes monilia sont égales, inférieures ou supérieures aux risques de contamination sur fleur.

En ce qui concerne le risque calculé à l'aide de l'algorithme, pour l'année 2011, une relation forte existe avec les notes monilia sur rameaux ($R^2=0,29$; $p\text{-value} = 1 \times 10^{-15}$). Ainsi, plus les risques sont élevés plus les dégâts sur rameaux sont importants (Figure 15a). Pour les années 2012, 2013 et 2014, le même type de relations est observé, toutefois, leur lien est plus faible avec des R^2 respectifs de 0,05 ; 0,05 et 0,14. Ces relations sont statistiquement significatives (respectivement $p\text{-value} = 0,001$; 0,006 et 1×10^{-7}). Pour l'année 2015, un lien faible est observé entre le risque de contamination sur fleur et les dégâts sur rameaux avec respectivement $R^2=0,05$ mais il n'est pas significatif. Pour l'année 2017, il n'y a pas de relation entre les notes monilia et les risques calculés ($R^2=0$).

En ce qui concerne les risques estimés graphiquement, pour l'année 2011, une relation forte existe avec les dégâts sur rameaux ($R^2=0,35$; $p\text{-value} = 2 \times 10^{-16}$) (Figure 15b) et une relation moyennement forte en 2012 ($R^2=0,12$; $p\text{-value} = 1 \times 10^{-6}$). Plus les risques sont élevés et plus le pourcentage du linéaire de rameaux desséchés est important. En 2014, une très faible relation significative statistiquement existe ($R^2 = 0,01$; $p\text{-value} = 2 \times 10^{-7}$). Pour l'année 2015, une faible relation est observée entre la note monilia et le risque « graphique » ($R^2=0,11$) toutefois, elle n'est pas significative. Pour les années 2013 et 2017, aucune relation n'a pu être établie ($R^2=0$).

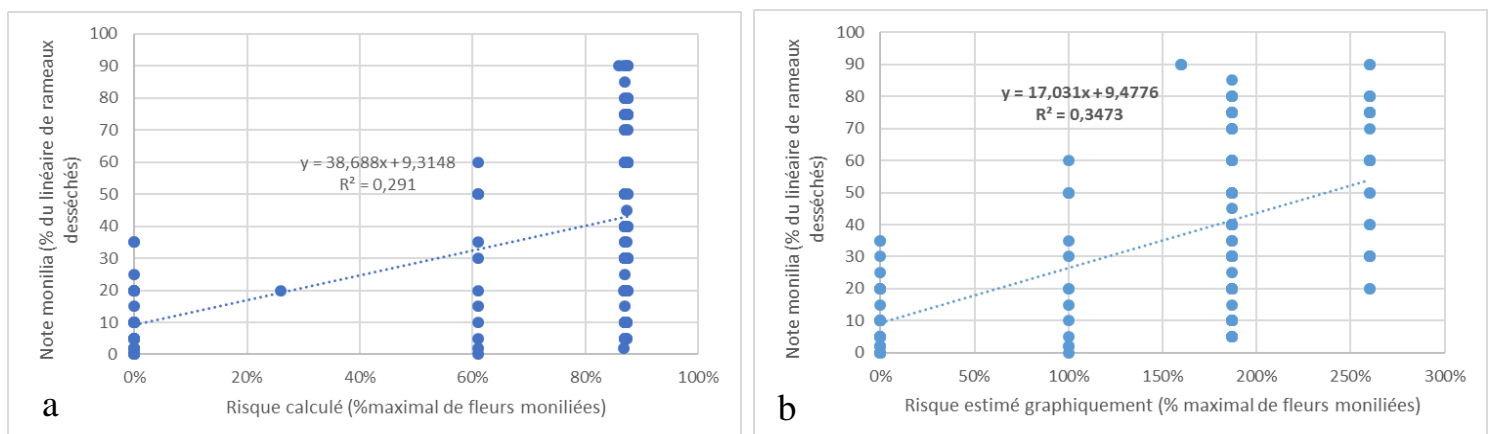


Figure 15 : comparaison pour l'année 2011 entre la note monilia de dégâts sur rameaux en fonction du a : risque sur fleur calculé avec l'algorithme et b : du risque estimé graphiquement en fonction du modèle de Tamm et al

En conclusion, un effet des conditions climatiques sur les contaminations sur fleurs est observé. Selon la méthode d'estimation du risque de contaminations sur fleurs, il explique une partie de la variabilité totale des dégâts sur rameaux certaines années notamment en 2011, 29% pour les risques calculés et 35% ceux estimés graphiquement. Pour les années 2012 à 2015, des variations sont observées, allant de 5 à 14% pour les risques calculés et de 0 à 12% pour les risques « graphiques ». Pour l'année 2017, l'influence des conditions climatiques sur les contaminations sur fleurs est nulle. Ceci peut s'expliquer par les faibles risques estimés, seulement 9% de fleurs moniliées en moyenne pour le risque « graphique ». Le reste de la variabilité de la note monilia sur les rameaux peut être expliquée par l'effet génétique, les conditions climatiques sur le stade D et la variabilité environnementale (inoculum et microclimat différent selon la position de l'arbre dans la parcelle).

2.3.2. Influence de la floribondité sur les dégâts causés par les monilioses

Pour chaque année, l'influence de la floribondité sur les notes monilia a été étudiée. En 2011, 2013, 2014 et 2017, il n'y a aucune relation entre ces deux paramètres ($R^2 < 0,01$). Pour les années 2012 et 2015, la floribondité est faiblement liée aux dégâts observés sur rameaux avec respectivement des R^2 de 0,02 et 0,06. Toutefois, aucune de ces relations n'est statistiquement significative.

Afin de mieux comprendre l'influence de la floribondité, il faudrait retirer l'effet du climat sur les monilioses sur fleurs. Ainsi, des régressions successives sont réalisées : l'influence de la floribondité est testée sur les résidus des régressions entre la note monilia et le risque de contamination. Lorsque le risque est calculé grâce à l'algorithme, les années 2011 et 2014 sont étudiées car le climat a une influence non négligeable sur l'infection respectivement 29 et 14%. Pour l'année 2011, la floribondité n'influe pas sur les dégâts observés sur rameaux. Pour l'année 2014, une relation statistiquement significative est observée (p -value = 2×10^{-16}) ainsi, la floribondité expliquerait 3% de la note monilia sur rameaux. Lorsque le risque a été estimé graphiquement, les années 2011 et 2012 sont étudiées car le facteur climat explique respectivement 35 et 12% des contaminations sur fleurs. Pour l'année 2011, une faible relation significative a été observée ($R^2=0,15$; p -value = 2×10^{-16}). En 2012, la floribondité expliquerait 5% de la variabilité des infections sur fleurs ($R^2=0,05$) mais cette relation n'est pas significative.

De manière générale, la floribondité n'influe pas ou peu sur les notes monilioses de dégâts sur rameaux. Une étude menée sur la population hybride « Early Blush x Robada » a montré l'influence de la floribondité sur le pourcentage du linéaire de rameaux desséchés (Dulais, M., 2014). Malgré ces résultats contradictoires, il semble évident qu'un paramètre lié aux fleurs sur l'arbre explique une part de la variabilité des contaminations sur fleurs par le monilia. Poursuivre l'étude de l'influence de la floribondité est nécessaire mais l'effet d'autres variables telle que l'arrangement des fleurs sur la longueur du rameau, espacées ou en bouquets, peut être recherché.

2.4. Recherche et identification d'hybrides intéressants

Le premier critère pour qu'un hybride soit intéressant est qu'il présente pour toutes les années d'étude une note monilia faible (au maximum 25% du linéaire de rameaux desséchés). De plus, il faut que la note monilia soit nettement inférieure aux risques calculé ou estimé graphiquement car ceci traduit une possible résistance génétique aux monilioses. Plusieurs hybrides peuvent être identifiés suite à cette étude, tels que le C108, le D82, le D74, le D73 et le E17.

Au contraire, un hybride dont les dégâts estimés sur rameaux sont égaux ou supérieurs aux contaminations estimées sur fleur serait sensible au monilia tels que le C 18, le C59 ou le D101. Toutefois, il faut préciser que les risques de contamination sur des bourgeons aux stades C, D et E ne sont pas pris en compte alors qu'ils peuvent être infectés.

2.5. Etude des hybrides utilisés dans des programmes de sélection

2.5.1. Présentation des notes monilia sur rameaux

Les dégâts de monilioses sur rameaux des hybrides participant déjà à des programmes de sélection sont variables. Les hybrides D99 et C83 ont des notes de monilioses correctes allant de 5 à 35% de rameaux moniliés. Le numéro C109, sélectionné pour sa résistance au chancre bactérien, est peu intéressant dans le cadre des monilioses car certaines années 70% du linéaire de rameaux est desséché. Les hybrides C83 et C92 sont les plus intéressants car ils présentent des notes monilioses faibles avec des notes monilia comprises respectivement entre 0 et 20% et entre 0 et 25% (*Tableau 9*).

2.5.2. Comparaison entre la note monilia et les risques de contaminations sur fleurs

Pour chaque hybride d'intérêt, les notes monilia ont été comparées aux risques estimés à partir du modèle de Tamm *et al* pour déterminer quelle part de la variabilité des contaminations sur fleur est expliquée par les conditions climatiques. De manière générale, les hybrides sélectionnés présentent un comportement très intéressant face aux monilioses, en effet, que les risques de contamination sur fleurs soient moyens ou forts, les dégâts observés sur rameaux sont toujours nettement plus faibles (*Tableau 9 et figures 16a, b, c et d*).

Tableau 9 : Par année d'étude, les notes monilia et les risques calculés et estimés graphiquement pour les hybrides participant à des programmes de sélection

Année		C109	C96	C92	C83	D99
2011	Note monilia	10	10	0	10	20
	Risque calculé	61%	86,9%	0%	0%	86,9%
	Risque "graphique"	100%	187%	0%	0%	187%
2012	Note monilia	70	10	15	10	15
	Risque calculé	80,7%	80,7%	80,7%	80,7%	80,7%
	Risque "graphique"	77%	77%	77%	77%	77%
2013	Note monilia	10	NA	10	NA	10
	Risque calculé	78,1%	87,2%	86,2%	87,3%	78,1%
	Risque "graphique"	71%	128%	128%	282%	71%
2014	Note monilia	10	5	5	3	35
	Risque calculé	31%	10,2%	31%	31%	66,1%
	Risque "graphique"	12%	0%	12%	12%	35%
2015	Note monilia	70	35	25	20	10
	Risque calculé	84,7%	87,2%	87,2%	87,1%	83,0%
	Risque "graphique"	154%	154%	154%	154%	154%
2017	Note monilia	10	20	5	0	5
	Risque calculé	57,8%	57,8%	51,9%	51,9%	51,9%
	Risque "graphique"	15%	15%	15%	15%	15%

Lorsque le risque est calculé avec l'algorithme (*Figures 16a et 16b*), aucune relation n'est observée avec les notes monilia sur rameaux ($R^2=0$) pour l'hybride D99. Pour les individus C83, C96 et C109, des relations existent entre les dégâts sur rameaux et le risque calculé avec des R^2 respectifs de 0,19 ; 0,24 et 0,43. Toutefois, ces relations ne sont pas statistiquement significatives. Pour l'hybride C92, les risques calculés sont fortement liés aux notes monilia ($R^2=0,67$; p -value=0,046). Une relation significative de proportionnalité a été mise en évidence ainsi, les risques calculés sont 20 fois supérieurs aux dégâts observés.

Lorsque le risque est estimé graphiquement à partir des courbes de risques de Tamm *et al* (*Figures 16c et 16d*), des observations similaires sont faites. Ainsi, aucune relation entre les notes monilia et les risque « graphique » n'existe pour l'hybride D99 ($R^2=0$). Pour les hybrides C83, C96 et C109, les liens observés sont plus ou moins forts avec respectivement des R^2 de 0,7 ; 0,13 et 0,40. Toutefois, ces relations ne sont pas statistiquement significatives. Comme

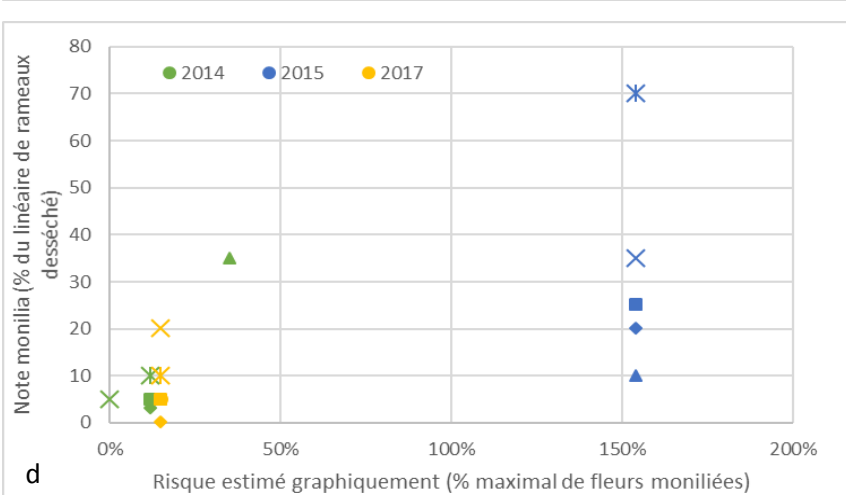
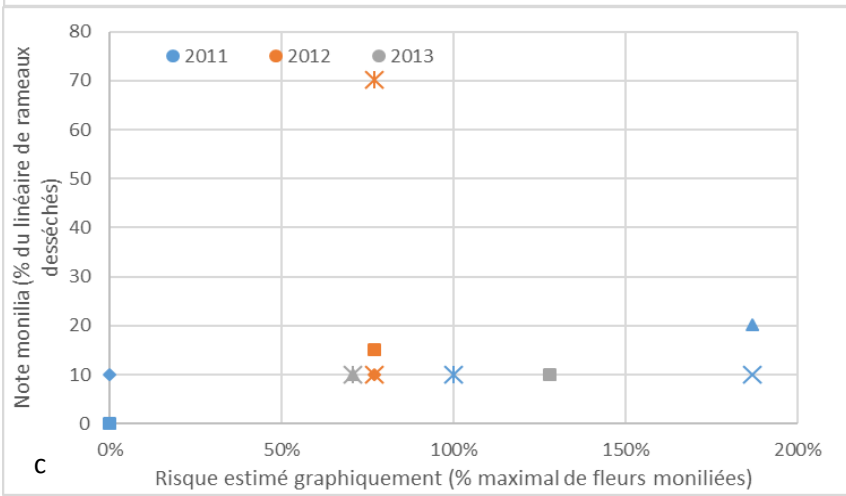
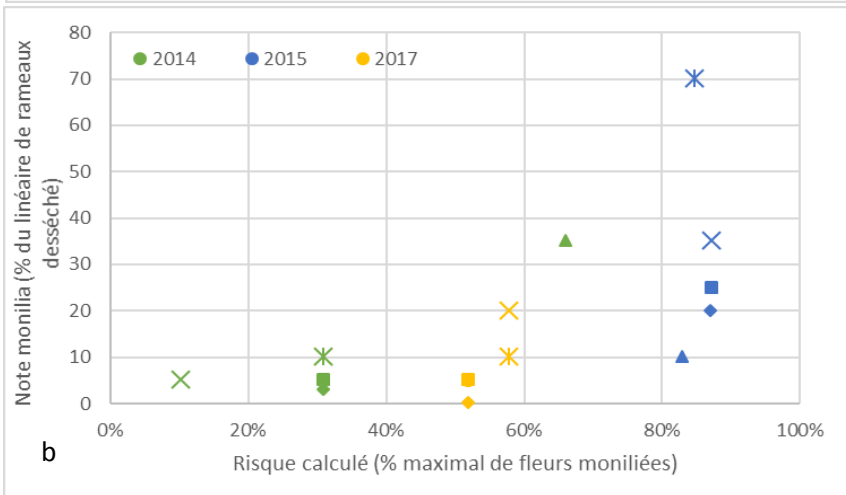
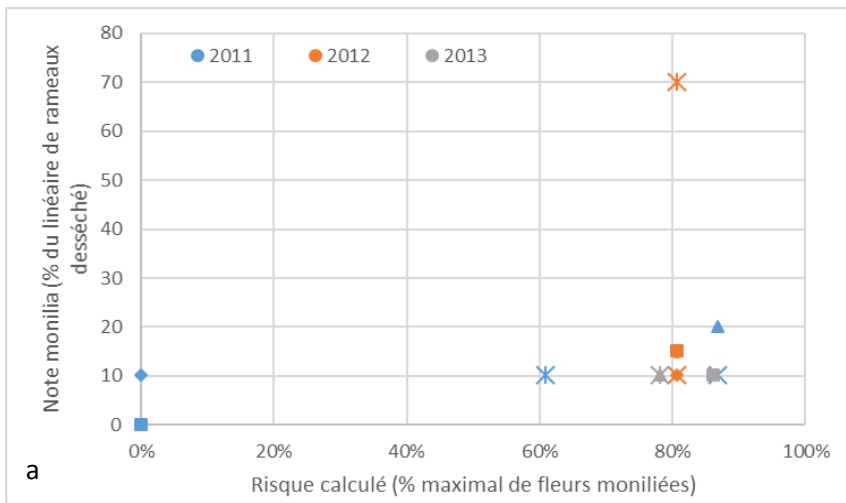


Figure 16 : pour chaque hybride et par année : la note monilia en fonction du a et b : risque calculé avec la formule et c et d : risque estimé graphiquement de contaminations sur fleurs d'après le modèle de Tamm et al (Hybride C109 : étoile ; C96 : croix ; C92 : carré ; C83 : losange ; D99 : triangle)

précédemment, une relation très forte et significative existe entre les dégâts sur rameaux et les risques « graphiques » de contamination sur fleur pour l'hybride C92 ($R^2=0,76$; $p\text{-value} = 0,024$). Les notes monilia sont 11 fois supérieures aux risques estimés graphiquement.

En fonction de l'hybride, les conditions climatiques occupent une part de variabilité des contaminations très variable. Ainsi, pour l'hybride D99, le climat n'a pas d'influence sur les dégâts sur rameaux, sa résistance serait donc génétique. Les hybrides C83 et C96 présentent des différences en ce qui concerne l'importance des facteurs climatiques selon la méthode de calcul du risque. Ainsi, la part de variabilité expliquée par le climat varie respectivement de 19% et 24% si les risques sont calculés à 70% et 13% s'ils sont estimés graphiquement. Les contaminations par les monilioses de l'hybride C92 sont très fortement liées aux conditions climatiques. Elles expliquent une large part de la variabilité de l'infection (de 67 à 76%).

De manière générale, les hybrides sélectionnés pour une production en agriculture biologique sont prometteurs. Avec une influence différente du climat sur les contaminations par les monilioses, ils présentent tous un bon comportement face au monilia.

3. Conclusions sur l'étude de la population d'hybrides « Berba »

Cette étude avait pour but de quantifier les parts des facteurs climatiques et génétiques dans la résistance aux monilioses. Il a été mis en évidence que les conditions climatiques sur la fleur permettaient d'expliquer 0 à 29% et 0 à 35% des dégâts sur rameaux respectivement lorsque les risques sont calculés avec l'algorithme de Tamm *et al* et estimés à partir des courbes réhaussées de 4h. Le reste de la variabilité est alors expliqué par les facteurs génétiques, les conditions au stade D et l'inoculum. Actuellement, il n'existe aucun modèle permettant d'estimer l'influence des conditions climatiques sur le stade D, voire le stade C et de les prendre en compte dans l'analyse sur la recherche d'individus moins sensibles. Des études dans ce sens semblent donc nécessaires pour les futurs travaux à envisager.

La floribondité a une influence variable, expliquant 0 à 15% de la variabilité selon l'année et le rehaussement ou non des risques de contamination sur fleurs. Ceci est contraire à ce qui a été observé par Dulais (2014). L'effet de la floribondité est donc à préciser et d'autres variables liées aux fleurs comme leur arrangement sur les rameaux pourraient être étudiées.

Un des buts de cette population est l'obtention d'hybrides intéressants pour l'arboriculture biologique ou l'obtention de géniteurs élites. Cette étude a permis de montrer que les individus sélectionnés par l'INRA et le GRAB sont très intéressants pour la conduite en agriculture biologique. En effet, malgré une influence du climat durant la floraison variable, ils présentent de faibles dégâts causés par les monilioses. Par ailleurs, des hybrides intéressants pour leur comportement face aux monilioses ont été identifiés ainsi que certains qui, au contraire, seraient sensibles à la maladie.

Discussion générale & perspectives

Concernant l'influence des paramètres climatiques, l'expérimentation en pot piège a permis d'identifier l'importance d'une période humectée lors des contaminations sur fleur par *M. laxa* comme décrit dans les publications de Biggs A. R. et Northover J. (1998), Hrustic *et al* (2012) et Oliveira Lino *et al* (2016). Toutefois, certaines hypothèses restent à confirmer, il n'a pas été possible de déterminer si une rosée ou une période à fort pourcentage hygrométrique (au moins 98%) pouvaient être contaminatrices comme indiqué par Tamm L. et Flückiger W. (1993). Les comparaisons avec les courbes de Tamm *et al* (1995) ont permis de confirmer l'influence de la combinaison de la durée d'humectation et de la température sur les contaminations de fleurs au verger. Toutefois, les risques calculés surestiment le pourcentage réel de fleurs symptomatiques. L'expérimentation en pot piège a permis de montrer que le modèle de Tamm *et al* (1995) est adaptable à la contamination des fleurs d'abricotier en conditions réelles sous réserve d'obtenir des données complémentaires afin d'assurer une certaine robustesse.

L'étude de la population hybride « Berba » a montré une influence variable du climat au stade F sur les notes monilia : il explique 0 à 35% de la variabilité. Pour l'année 2017, l'effet du climat n'a pas pu être démontré. Toutefois, cette année ne présentait pas les conditions favorables aux monilioses avec peu de précipitations durant la floraison. Ainsi, comme le montrent les analyses réalisées sur le réseau de parcelles, les dégâts sur rameaux causés par les *Monilia* spp. ont été faibles. Toutefois, afin d'affiner les résultats obtenus, un modèle permettant de calculer les risques de contaminations au stade D serait nécessaire.

L'étude du lien entre les risques de contamination sur fleur et les dégâts observés sur rameaux suggère le caractère variétal du transfert des agents pathogènes au sein de l'arbre. Il serait intéressant de l'étudier afin de comprendre quels sont les mécanismes mis en œuvre et connaître quelles sont les conditions climatiques notamment qui pourraient intervenir. Pour ce faire, l'expérimentation en pot piège pourrait être améliorée. En effet, il faudrait laisser les fleurs symptomatiques sur les arbres et poursuivre l'expérimentation jusqu'à un mois après la floraison. Ainsi, les dégâts sur rameaux pourraient être quantifiés et permettre de définir quelle part de fleurs moniliées entraîne le dessèchement des rameaux en fonction du *Monilia* spp. responsable. Une expérimentation en conditions contrôlée pourrait être nécessaire afin de comprendre les paramètres climatiques entre autres favorisant ce mécanisme.

L'influence de la floribondité sur les dégâts causés par les monilioses sur les rameaux est variable. Elle n'a pas pu être démontrée sur le réseau de parcelle et est nulle à faible sur la population hybride « Berba ». D'un point de vue logique, plus la floribondité est importante plus la probabilité qu'une spore atteigne une fleur et germe augmente. Ainsi, elle demeure un paramètre à étudier. Une variable telle que l'arrangement des fleurs pourrait être suivie en complément.

De paramètres tels que la surface par arbre et l'âge du verger ont été étudiés, ils n'influencent pas sur les dégâts observés sur rameaux. Toutefois, cette observation serait à confirmer sur les contaminations sur fleurs. En effet, pour la surface par arbre : s'ils sont trop proches, cela crée des conditions plus favorables aux infections des fleurs avec une augmentation de l'humidité et une possible baisse de l'aération. L'âge du verger influe sur l'inoculum à la parcelle, plus un verger est âgé plus le nombre de chancres de monilia dans les arbres devraient être élevés, assurant ainsi un inoculum plus fort.

L'influence de l'inoculum apporté n'a pas pu être montrée sur les contaminations des fleurs par l'expérimentation en pot piège. Pour le réseau de parcelles, les dégâts de l'année précédente sur rameaux ou sur fruits entraînant la présence de momies dans les arbres ne sont pas liés aux dégâts observés sur rameaux cette année. Il est nécessaire de trouver une méthode

d'évaluation de l'inoculum à l'échelle de la parcelle et notamment quelle quantité de spores est susceptible d'atteindre la fleur par l'air, par ruissellement ou transporté par un insecte. La PCR quantitative est une solution intéressante. En effet, elle peut être réalisée sur une bande burkard pour quantifier la concentration en spores de *Monilia* spp. dans l'air ou sur des pétales pour estimer le nombre de spores présentes par unité de surface. De plus, cette méthode permet de connaître la part de chaque champignon pathogène constituant l'inoculum. Néanmoins la méthode n'est pas encore utilisée pour étudier le monilia, il faudrait la développer et les analyses sont coûteuses à réaliser. Mesurer l'inoculum dans l'air à la parcelle permettrait d'étudier plus finement la répartition géographique de *M. laxa* et *M. fructicola* et son évolution.

L'étude de la population hybrides « Berba » a permis d'identifier des individus avec une résistance plus ou moins importante au monilia, et de confirmer l'intérêt de certains hybrides présélectionnés.

Conclusion générale

Les monilioses sur fleurs d'abricotiers sont une pathologie végétale ayant un fort impact sur la production d'abricots. En agriculture conventionnelle, les dégâts sont importants entraînant une baisse de la quantité récoltée. En agriculture biologique, cette maladie constitue un frein à la production d'abricots. En étudiant des maladies cryptogamiques peu décrites comme le monilia sur fruits à noyau, le projet PEI ClimArbo répond à un besoin en méthodes de lutte durables exprimé par la filière arboricole.

Le stage s'est articulé autour d'une question centrale : quels sont les facteurs influençant le développement des monilioses sur fleurs. L'expérimentation en pot piège a permis d'y répondre en partie en montrant la nécessité d'une période humectée pour la contamination des fleurs par *M. laxa*. L'utilisation du modèle créé par Tamm *et al* (1995) a permis d'affiner l'influence de la durée d'humectation en la combinant à la température moyenne. Les courbes de risques établies surestiment les contaminations réelles toutefois la position des dégâts observés en verger est correcte suggérant que le modèle peut être adapté aux contaminations des fleurs d'abricotier en verger. L'influence de l'inoculum sur la sévérité de l'infection n'a pas pu être clairement démontrée. Toutefois l'étude de ce paramètre à l'avenir va permettre de comprendre son évolution au cours du temps. L'influence d'autres paramètres agronomiques n'a pas pu être observée. Les contaminations par *M. fructicola* en verger ayant été très faibles, cette étude n'a pas permis d'étudier les conditions les favorisant. Toutefois, le suivi du réseau de parcelles permet de connaître la répartition des *Monilia* spp. sur une partie des territoires drômois et ardéchois.

Une seconde partie du stage, en association avec CEP innovations, vise à établir quelles parts occupent les facteurs génétiques et environnementaux dans la résistance au monilia. Pour ce faire, le comportement d'une population d'abricotiers hybrides face aux monilioses sur fleur a été étudiée en fonction des conditions climatiques durant la floraison de chaque individu. Cette étude a permis de montrer des différences annuelles dans la part de variabilité expliquée par les conditions climatiques, allant de 0 à 35%. Le reste de la variabilité, 75 à 100%, est liée aux facteurs génétiques, aux contaminations au stade D et à l'inoculum entre autres. Cette étude a permis de confirmer ou infirmer l'intérêt des hybrides choisis par l'INRA et le GRAB dans le cadre d'une conduite de verger en agriculture biologique. Enfin, des hybrides peu sensibles au monilia ont été identifiés, s'ils présentent un bon comportement face à d'autres pathologies végétales (bactériose, rouille, tavelure) ils pourront être sélectionnés comme géniteurs élités pour participer à l'amélioration variétale.

Références bibliographiques

ALAIN, E., 2015. *Synthèses : analyse de nouveaux marchés potentiels pour l'abricot frais français* [en ligne]. 2015. S.l. : FranceAgriMer - établissement national des produits de l'agriculture et de la mer. [Consulté le 22 août 2017]. Disponible à l'adresse : http://agricultura.gencat.cat/web/.content/de_departament/de02_estadistiques_observatoris/27_butlletins/02_butlletins_nd/documents_nd/fitxers_estatics_nd/2015/0153_2015_SProductius_Fruita Horta_Albercoc-France.pdf.

BAAYEN, R. P., PIETERS, R. et VAN LEEUWEN, GCM., 2009. *Monilinia fructicola*. In : *Bulletin OEPP/EPPO*. 2009. n° 39, p. 337-343.

BEDRANE, M. A., 2016. Morphologie et biologie de l'abricotier. In : *Agronomie.info* [en ligne]. 2016. [Consulté le 11 juillet 2017]. Disponible à l'adresse : <https://agronomie.info/fr/morphologie-et-biologie-de-labricotier/>.

BIGGS, A. R. et NORTHOVER, J., 1988. Influence of temperature and wetness duration on infection of peach and sweet cherry fruits by *Monilinia fructicola*. In : *Phytopathologie*. 1988. n° 78, p. 1352-1356.

BOUILLOUX, M., CHAUSSABEL, A. L., BULEON, S. et DEPLAUDE, H., 2017a. *Zoom Arboriculture 1726*. Bulletin de préconisation phytosanitaire. Drôme - Ardèche - Isère.

BOUILLOUX, M., CHAUSSABEL, A. L., BULEON, S. et DEPLAUDE, H., 2017b. *Zoom Arboriculture 1740*. Bulletin de préconisation phytosanitaire. Drôme - Ardèche - Isère.

DULAIS, M., 2014. Mémoire de fin d'étude : développement des monilioses sur fleurs d'abricotiers. Evaluation de l'efficacité d'une nouvelle méthode de protection physique et recherche de résistances génétiques. [Consulté le 31 août 2017] Document interne à l'INRA.

GUINET, C., FOURRIER-JEANDEL, C., CERF-WENDLING, I. et IOOS, R., 2016. One-step detection of *Monilinia fructicola*, *M. fructigena* and *M. laxa* on *Prunus* and *Malus* by a Multiplex Real-Time PCR Assay. In : *Plant Disease*. 2016. n° 100, p. 2465-2474.

GUYON, S., 2016. *Bilan de campagne : l'abricot en 2016* [en ligne]. 2016. S.l. : FranceAgriMer - établissement national des produits de l'agriculture et de la mer. [Consulté le 22 août 2017]. Disponible à l'adresse : https://www.rnm.franceagrimer.fr/bilan_campagne?abricot.

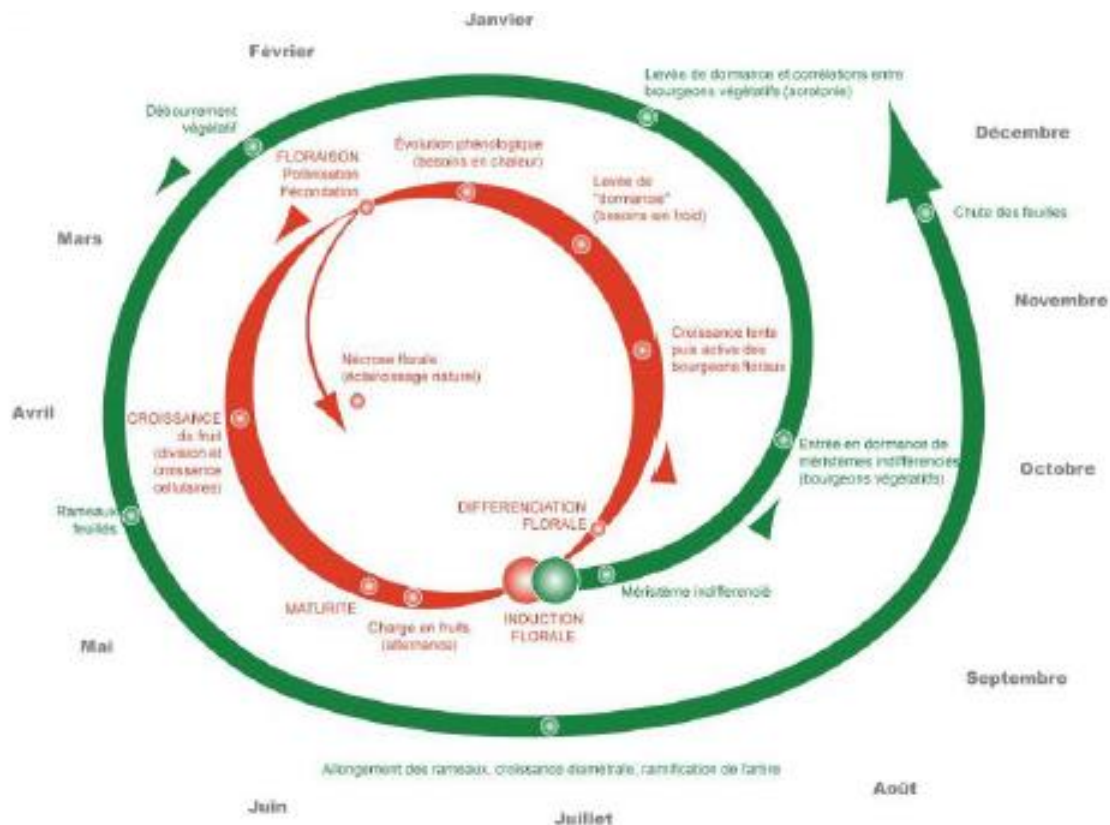
HRUSTIC, J., MIHAJLOVIC, M., GRAHOVAC, M., DELIBASIC, G., BULAJIC, A., KRSTIC, B. et TANOVIC, B., 2012. Genus *Monilinia* on pome and stone fruit species. In : *Pesticidi i fitomedicina*. 2012. Vol. 27, n° 4, p. 283-297. DOI 10.2298/PIF1204283H.

LANE, C. R., 2002. A synoptic key for differentiation of *Monilinia fructicola*, *M. fructigena* and *M. laxa*, based on examination of cultural characters. In : *EPPO Bulletin*. 2002. Vol. 32, n° 3, p. 489-493.

LICHOU, J. et JAY, M., 2012. *Monographie abricot*. S.l. : CTIFL. ISBN 978-2-87911-311-1.

LICHOU, J., MANDRIN, J.-F., BRENIAUX, D., MERCIER, V., GIAUQUE, P., DRESBRUS, D., BLANC, P. et BELLUAU, E., 2002. Les monilioses sur arbres fruitiers - L'apparition d'une nouvelle espèce : *Monilia fructicola*. In : *Infos CTIFL*. 2002. n° 179, p. 32-36.

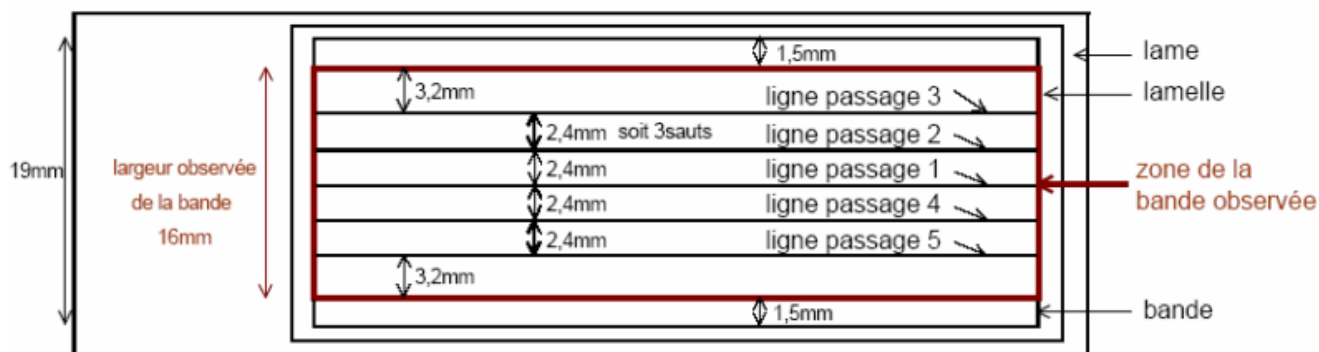
- MERCIER, V., MARTINOT, G. et DEPLAUDE, H., 2009. Monilioses du pêcher, déterminer les espèces et évaluer leur répartition. In : *Phytoma*. 2009. Vol. 626, p. 45-48.
- MICHAILIDES, T. J., LUO, Y., MA, Z. et MORGAN, D. P., 2007. Brown Rot of Dried Plum in California: New Insights on an Old Disease. In : *APS - The American Phytopathological Society* [en ligne]. 2007. [Consulté le 20 juillet 2017]. Disponible à l'adresse : <http://www.apsnet.org/publications/apsnetfeatures/Pages/BrownRot.aspx>.
- OLIVEIRA LINO, L., PACHECO, I., MERCIER, V., FAORO, F., BASSI, D., BORNARD, I. et QUILOT-TURION, B., 2016. Brown Rot Strikes *Prunus* Fruit: An Ancient Fight Almost Always Lost. In : *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2016. Vol. 64, n° 20, p. 4029-4047. DOI 10.1021/acs.jafc.6b00104.
- PARVEAUD, C.-E., GOMEZ, V. MERCIER, L. BRUN, A. GUILLERMIN, G. CLAUZEL, J.-M. BROQUAIRE et J.-M. AUDERGON, 2016. Guide des sensibilités variétales aux bio-agresseurs - Fiche n°3 : Monilioses sur fleur. In : *L'Arboriculture Fruitière*. 2016. n° Supplément au n°698, p. 5.
- STÉVENIN, S., 2011. *Fiches technico-économiques : l'abricotier en agriculture biologique*. 2011. S.I. : Chambre d'agriculture Rhône-Alpes.
- TAMM, L. et FLÜCKIGER, W., 1993. Influence of temperature and moisture on growth, spore production and conidial germination of *Monilinia laxa*. In : *Phytopathology*. 1993. Vol. 83, p. 1321-1326.
- TAMM, L., MINDER, Chr E. et FLÜCKIGER, W., 1995. Phenological analysis of brown rot blossom blight of sweet cherry caused by *Monilinia laxa*. In : *Phytopathology*. 1995. Vol. 85, n° 4, p. 401-408.
- TOUSSAINT - FERREYROLLE, J., ALLAGA, C. et LEFLON, M., 2011. Epidémiologie et diagnostic : la PCR pour détecter les maladies. In : *Perspectives agricoles*. 2011. n° 381, p. 36-37.
- WARLOP, F., 2003. Lutte contre le monilia de la fleur d'abricotier en Agriculture Biologique : résultats d'essai. In : *Arboriculture fruitière*. 2003. n° 568, p. 53-55.



Légende : les nombres correspondent aux stades BBCH et les lettres aux stades définis par Baggioolini.

5 Apparition de l'inflorescence	6 Floraison	7 Développement des fruits	8 Maturation des fruits
<p>Gonflement des bourgeons 51 (B)</p>	<p>Début floraison 61</p>	<p>Nouaison 71 (H)</p>	<p>Début coloration 81</p>
<p>Eclatement des bourgeons 53 (C)</p>	<p>Pleine floraison 65 (F)</p>	<p>Jeune fruit 73 (I-J)</p>	<p>Coloration avancée 85</p>
<p>Ouverture des sépales 57 (D)</p>	<p>Floraison déclinante 67 (G)</p>	<p>Croissance des fruits (50%) 75</p>	<p>Récolte maturité gustative 87-89</p>
<p>Ballonnets 59 (E)</p>	<p>Fin floraison 69</p>	<p>Croissance des fruits (70%) 77</p>	

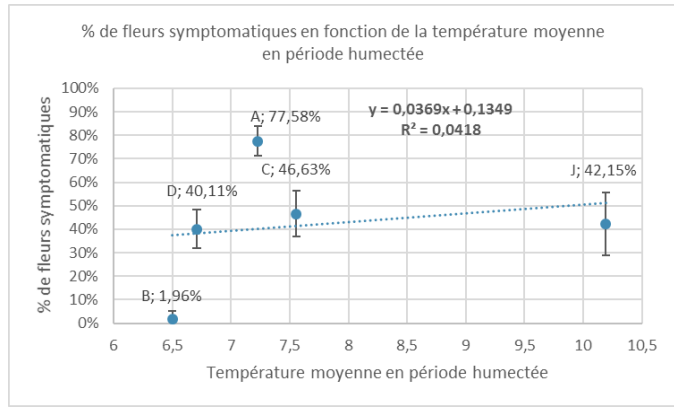
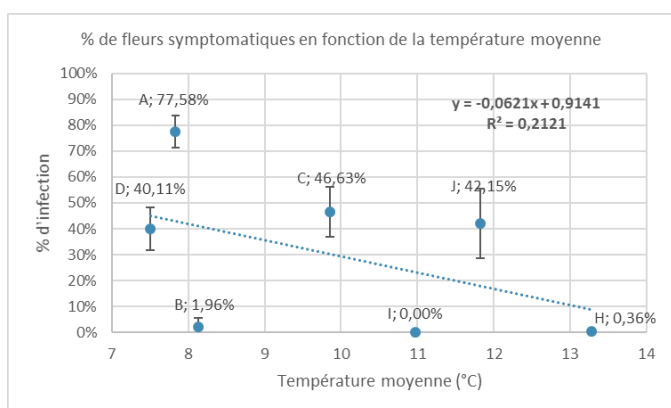
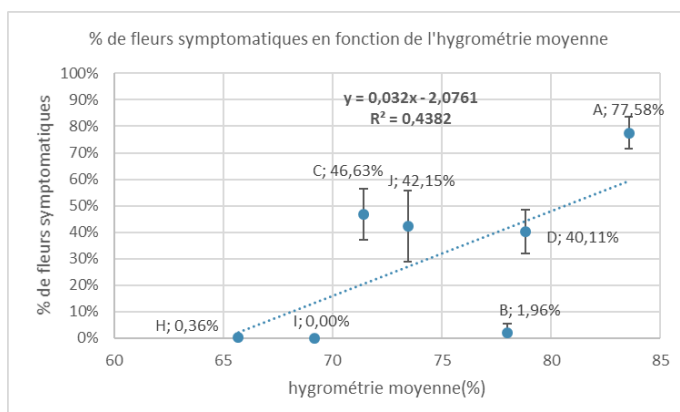
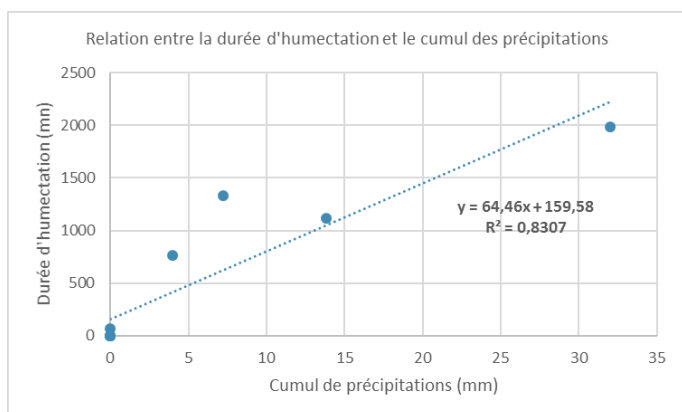
Annexe 3 : Schéma d'une lame représentant les passages réalisés lors du comptage des bandes de Burkard ou des lames vaselinées. (Auteur : Benjamin Langerdorf – Document interne)



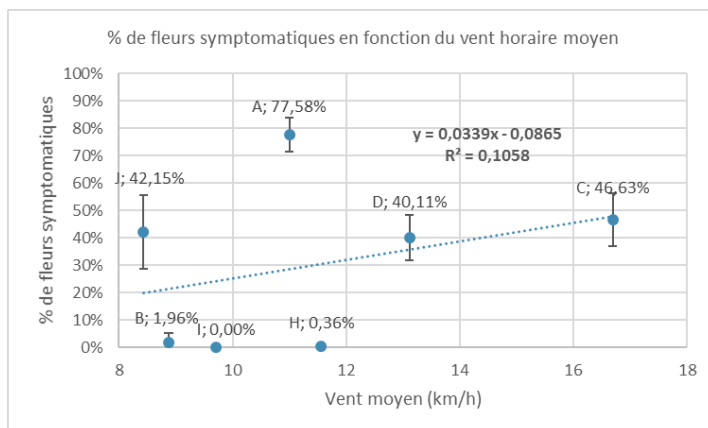
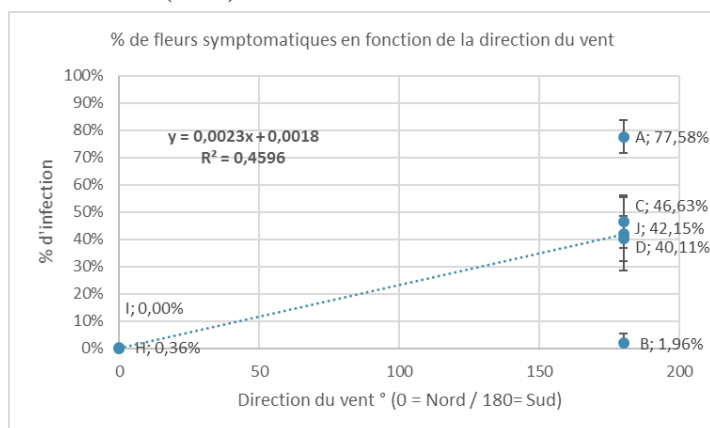
Annexe 4 : tableau récapitulatif des dates de sorties et d'entrées des arbres en pots en fonction de leur série.

Série	Sortie de la serre - début de l'exposition en verger		Retour en serre - fin de l'exposition en verger		Durée en verger (h)	Stade phénologique du verger Bergeval
	Date	Heure	Date	Heure		
A	27/02/2017	15:30:00	01/03/2017	09:30:00	42	C
B	01/03/2017	10:15:00	02/03/2017	10:30:00	48,25	C
C	03/03/2017	10:15:00	05/03/2017	11:30:00	49,25	D
D	05/03/2017	11:15:00	07/03/2017	14:00:00	50,75	D
Témoin Serre	-	-	06/03/2017	14:00:00	-	-
E	07/03/2017	13:45:00	08/03/2017	14:00:00	24,25	D
F	08/03/2017	13:45:00	09/03/2017	13:45:00	24	F
G	10/03/2017	14:15:00	12/03/2017	11:15:00	45	F
H	12/03/2017	11:00:00	14/03/2017	11:00:00	48	F
I	21/03/2017	14:15:00	22/03/2017	14:15:00	24	G
Témoin Laboratoire d'été	-	-	21/03/2017	14:00:00	-	-
J	22/03/2017	14:00:00	23/03/2017	11:15:00	21,25	G

Annexe 5 : graphiques représentant le % de fleurs symptomatiques en fonction des différents paramètres climatiques étudiés. Les barres d'erreur correspondent à l'intervalle de confiance à 95%.



Annexe 5 (suite)



Annexe 6 : mesure de l'inoculum capté par les appareils Burkard (spore/m³ d'air aspiré) et déposé sur les lames vaselinées (spores/cm² de lame). Les lettres A, B et C correspondent à la rangée d'arbre sur laquelle est située la lame vaselinée (Figure 5).

Date	Burkard (spores/m ³ d'air aspiré)			Lames vaselinées (spores/cm ² de lame)						Somme
	Nord	Sud	Moyenne	A - Nord	A - Sud	B - Nord	B - Sud	C - Nord	C - Sud	
21/02/2017				7,81	13,02	10,42	20,83	2,60	2,60	57,29
22/02/2017				46,88	15,63	7,81	10,42	18,23	2,60	101,56
23/02/2017				5,21	96,35	13,02	23,44	2,60	7,81	148,44
24/02/2017	25,00	40,70	32,85							
25/02/2017	42,59	50,46	46,53	28,65	33,85	62,50	10,42	54,69	46,88	236,98
26/02/2017	70,83	54,63	62,73							
27/02/2017	162,09	88,24	125,16	80,73	309,90	166,67	1265,63	419,27	1372,40	3614,58
28/02/2017	34,26	65,28	49,77	18,23	359,38	41,67	596,35	216,15	838,54	2070,31
01/03/2017	42,59	53,70	48,15	49,48	13,02	7,81	13,02	5,21	7,81	96,35
02/03/2017	71,76	83,33	77,55	13,02	33,85	7,81	15,63	5,21	33,85	109,38
03/03/2017	96,30	114,81	105,56							
04/03/2017	83,33	103,24	93,29	252,60	1369,79	23,44	1328,13	544,27	872,40	4390,63
05/03/2017	137,50	124,54	131,02	15,63	765,63	33,85	434,90	132,81	382,81	1765,63
06/03/2017	128,02	96,62	112,32	72,92	414,06	44,27	283,85	450,52	153,65	1419,27
07/03/2017	106,02	123,61	114,81	31,25	23,44	28,65	39,06	31,25	164,06	317,71
08/03/2017	89,35	110,65	100,00							
09/03/2017	57,41	167,13	112,27	15,63	49,48	20,83	10,42	28,65	5,21	130,21
10/03/2017	159,72	88,89	124,31							
11/03/2017	34,72	38,89	36,81	2,60	10,42	20,83	2,60	41,67	5,21	83,33
12/03/2017	92,59	243,98	168,29							
13/03/2017	86,47	166,67	126,57	75,52	2,60	49,48	36,46	57,29	158,85	380,21
14/03/2017	71,30	102,31	86,81							
15/03/2017	150,46	160,65	155,56	39,06	62,50	57,29	41,67	33,85	72,92	307,29
16/03/2017	112,50	165,74	139,12							
17/03/2017	107,41	227,78	167,59							
18/03/2017	67,59	128,24	97,92	39,06	13,02	26,04	7,81	18,23	13,02	117,19
19/03/2017	43,98	60,65	52,31							
20/03/2017	29,95	42,51	36,23	5,21	15,63	36,46	54,69	44,27	10,42	166,67
21/03/2017	48,61	52,31	50,46	20,83	10,42	7,81	15,63	36,46	23,44	114,58
22/03/2017	90,28	66,67	78,47	65,10	2617,19	49,48	252,60	106,77	213,54	3304,69

Annexe 7 : Tableau récapitulatif des dégâts sur rameaux par parcelle : fréquence de rameaux courts et longs desséchés (en haut) et intensité de l'attaque (en bas au centre) avec les périodes de floraison et les conditions climatiques associées.

Parcelle	Fréquence de rameaux courts desséchés									Fréquence de rameaux longs desséchés								
	Période de floraison		Fréquence de rameaux desséchés (%)	Précipitations (mm)	Durée d'humectation (mn)	Température moyenne (°C)	Température moyenne en période humectée (°C)	Hygrométrie moyenne (%)	Hygrométrie moyenne en période humectée (%)	Période de floraison		Fréquence de rameaux desséchés (%)	Précipitations (mm)	Durée d'humectation (mn)	Température moyenne (°C)	Température moyenne en période humectée (°C)	Hygrométrie moyenne (%)	Hygrométrie moyenne en période humectée (%)
	Début	Fin								Début	Fin							
GRAB 1	07/03/2017	20/03/2017	16,22%	0,4	500	12,6	5,5	64,5	87,0	10/03/2017	20/03/2017	22,22%	0	0	13,6	-	62,5	-
GRAB 2	07/03/2017	16/03/2017	5,54%	0,8	935	11,8	5,9	63,8	84,8	10/03/2017	20/03/2017	8,1%	0	620	13,2	7,5	63,1	84,1
GRAB 3	14/03/2017	20/03/2017	1,94%	0	0	12,3	-	67,4	-	14/03/2017	20/03/2017	0,93%	0	0	12,3	-	67,4	-
GRAB 4	10/03/2017	20/03/2017	0,43%	0	345	12,3	8,0	67,6	83,7	10/03/2017	20/03/2017	2,53%	0	345	12,3	8,0	67,6	83,7
INRA Sud	09/03/2017	16/03/2017	1,92%	0	0	12,7	-	64,7	-	09/03/2017	21/03/2017	8%	0	95	13,0	8,8	65,7	85,7
INRA Nord	09/03/2017	16/03/2017	6,53%	0	0	12,7	-	64,7	-	09/03/2017	21/03/2017	6,9%	0	95	13,0	8,8	65,7	85,7
SEFRA 1	09/03/2017	16/03/2017	8,20%	0	1220	11,8	6,0	67,7	92,7	09/03/2017	16/03/2017	4,17%	0	1220	11,8	6,0	67,7	92,7
SEFRA 2	09/03/2017	13/03/2017	0,75%	0	400	13,0	8,1	67,6	88,2	09/03/2017	13/03/2017	0%	0	400	13,0	8,1	67,6	88,2
SEFRA 3	13/03/2017	16/03/2017	2,98%	0	25	13,3	9,7	61,8	87,8	13/03/2017	16/03/2017	1,1%	0	25	13,3	9,7	61,8	87,8
SEFRA 4	09/03/2017	16/03/2017	0,43%	0	50	12,7	6,8	63,0	86,1	09/03/2017	16/03/2017	0%	0	50	12,7	6,8	63,0	86,1
SEFRA 5	09/03/2017	16/03/2017	22,22%	0	140	13,2	6,4	63,4	91,3	09/03/2017	16/03/2017	25,32%	0	140	13,2	6,4	63,4	91,3
SEFRA 6	13/03/2017	17/03/2017	0%	0	290	12,6	8,2	62,8	84,8	13/03/2017	20/03/2017	0%	0	290	12,5	8,2	65,6	84,8
SEFRA 7	09/03/2017	16/03/2017	3,16%	0	230	12,6	6,3	63,5	89,7	13/03/2017	16/03/2017	0,91%	0	230	12,8	6,3	62,3	89,7
SEFRA 8	13/03/2017	18/03/2017	0%	0	0	12,1	-	63,6	-	13/03/2017	21/03/2017	1,49%	0	0	12,1	-	66,4	-
SEFRA 9	09/03/2017	13/03/2017	0%	0	515	11,9	7,5	69,0	92,8	09/03/2017	16/03/2017	0%	0	1220	11,8	6,0	67,7	92,7

Parcelle	Intensité de l'attaque estimée visuellement								
	Période de floraison		Intensité moyenne estimée (%)	Précipitations (mm)	Durée d'humectation (mn)	Température moyenne (°C)	Température moyenne en période humectée (°C)	Hygrométrie moyenne (%)	Hygrométrie moyenne en période humectée (%)
	Début	Fin							
GRAB 1	07/03/2017	20/03/2017	7,5	0,4	500	12,6	5,5	64,5	87,0
GRAB 2	07/03/2017	20/03/2017	8,1	0,8	1235	12,3	6,7	64,8	84,8
GRAB 3	14/03/2017	20/03/2017	2	0	0	12,3	-	67,4	-
GRAB 4	10/03/2017	20/03/2017	0,385	0	345	12,3	8,0	67,6	83,7
INRA Sud	09/03/2017	21/03/2017	1,8	0	95	13,0	8,8	65,7	85,7
INRA Nord	09/03/2017	21/03/2017	1,9	0	95	13,0	8,8	65,7	85,7
SEFRA 1	09/03/2017	16/03/2017	3	0	1220	11,8	6,0	67,7	92,7
SEFRA 2	09/03/2017	13/03/2017	1,1	0	400	13,0	8,1	67,6	88,2
SEFRA 3	13/03/2017	16/03/2017	2,8	0	25	13,3	9,7	61,8	87,8
SEFRA 4	09/03/2017	16/03/2017	0,556	0	50	12,7	6,8	63,0	86,1
SEFRA 5	09/03/2017	16/03/2017	28	0	140	13,2	6,4	63,4	91,3
SEFRA 6	13/03/2017	20/03/2017	0,7	0	290	12,5	8,2	65,6	84,8
SEFRA 7	09/03/2017	16/03/2017	2,6	0	230	12,6	6,3	63,5	89,7
SEFRA 8	13/03/2017	21/03/2017	1	0	0	12,1	-	66,4	-
SEFRA 9	09/03/2017	16/03/2017	0,6	0	1220	11,8	6,0	67,7	92,7

Les monilioses sur fleurs d'abricotiers sont une maladie avec un fort impact sur la production d'abricots en agricultures conventionnelle et biologique entraînant un besoin chez les arboriculteurs de nouvelles méthodes de lutte durables. Le projet PEI « ClimArbo », associant l'INRA, le GRAB et la SEFRA, s'inscrit dans ce contexte avec le but de caractériser cette pathologie, aujourd'hui mal décrite, étudier les contaminations au verger et identifier les facteurs de risques. Cette étude porte sur la détermination des facteurs influençant le développement des monilioses tels que les conditions climatiques, l'inoculum ou des paramètres agronomiques grâce à des expérimentation en verger et au suivi d'un réseau de parcelles. Souhaitant estimer les risques, les résultats obtenus sont comparés à un modèle de contamination sur fleur de cerisier dans le but de l'adapter à l'abricotier. La recherche de variétés résistantes au monilia et l'identification des marqueurs génétiques associés sont des solutions pour lutter contre la maladie. Pour ce faire, l'effet des facteurs climatiques sur les contaminations a été mesuré grâce à l'étude du comportement d'une population hybride d'abricotiers face aux monilioses. Des hybrides déjà sélectionnés dans un programme de sélection pour une conduite en agriculture biologique ont été étudiés afin de confirmer leur intérêt.

Apricot blossom blight is a disease with important consequences on the fruit production in conventional and organic farmings leading to a need for arborists of new and sustainable solutions. The project "ClimArbo" is applied in this context with the aim to characterise this pathology badly know, to study the contaminations in orchard and to identify the risk factors. This study is about the determining of the factors influencing the development of the monilia thanks to trials and a network of orchards. The comportement of a hybride population while infected by monilia is studied to quantify the importance of genetic characteristics in the resistance to this disease.