



HAL
open science

Validation d'un modèle phéno-climatique de contamination des fleurs d'abricotier par *Monilinia* sp.: étude de l'influence des facteurs autres que climatiques sur le développement des monilioses sur rameaux d'abricotier

Jean Dubois

► **To cite this version:**

Jean Dubois. Validation d'un modèle phéno-climatique de contamination des fleurs d'abricotier par *Monilinia* sp.: étude de l'influence des facteurs autres que climatiques sur le développement des monilioses sur rameaux d'abricotier. Sciences du Vivant [q-bio]. 2019. dumas-02381732

HAL Id: dumas-02381732

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02381732>

Submitted on 26 Nov 2019

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

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

Année universitaire : 2018 - 2019

Spécialité : Horticulture

Spécialisation :

Sciences et Ingénierie du Végétal

Agrosystèmes : conception et évaluation

Mémoire de fin d'études

d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage

de Master de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage

d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)

Validation d'un modèle phéno-climatique de contamination des fleurs d'abricotier par *Monilinia sp.* Etude de l'influence des facteurs autres que climatiques sur le développement des monilioses sur rameaux d'abricotier.

Par : Jean DUBOIS



Soutenu à Rennes le 10 septembre 2019

Devant le jury composé de :

Président : Matthieu CAROF

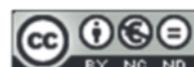
Rapporteur : Mickaël DELAIRE

Maître de stage : Laurent BRUN

Enseignant référent : Christine BISSUEL

Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle d'AGROCAMPUS OUEST

Ce document est soumis aux conditions d'utilisation «Patrimoine-Pas d'Utilisation Commerciale-Pas de Modification 4.0 France» disponible en ligne <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr>



REMERCIEMENTS

Mes premiers remerciements s'adressent à Laurent BRUN pour son encadrement, son accompagnement et sa disponibilité qui ont fait de ce stage de fin d'études une expérience intéressante et enrichissante. Le partage de ses connaissances sur la filière arboricole et l'expérimentation m'a considérablement éclairé pour la rédaction de ce mémoire.

J'aimerais remercier spécialement Freddy COMBE pour sa dévotion et son amabilité sans failles, ainsi que pour la transmission généreuse de ses connaissances. Les nombreuses heures de notation dans les vergers n'en ont paru que moins longues.

Je suis également reconnaissant du très bon accueil réservé par Muriel MILLAN, Timmy DEFERT, Blandine POLTURAT, Véronique BAFFERT et Minh VU lors de mes déplacements au CTIFL de Balandran près de Nîmes.

Merci à Hélène CHENEVOTOT pour son aide précieuse au laboratoire de pathologie végétale.

Enfin, j'adresse mes sincères remerciements à tout le personnel de l'UERI de Gotheron sous la direction de Vincent MERCIER pour leur accueil.

INTRODUCTION

1.	Contexte général de l'étude	1
2.	L'abricotier	2
2.1.	Origine et description	2
2.2.	Culture	3
2.3.	Pathogènes et ravageurs.....	4
3.	Les monilioses	4
3.1.	Description et identification	4
3.2.	Cycle infectieux et symptômes.....	5
3.3.	Conditions favorables au développement de <i>Monilinia</i>	6
3.4.	Méthodes de lutte.....	7
4.	Vers un outil de pilotage de la protection des monilioses sur abricotier	8
4.1.	Modèle phéno-climatique (Tresson 2018).....	8
4.2.	OAD	9
5.	Thématique et problématique de l'étude, hypothèses de travail	9

PARTIE I : Validation de la relation risque fleurs (Tresson) - dégâts rameaux en verger expérimental

1.	Matériel et méthodes.....	10
1.1.	Description du dispositif.....	10
1.2.	Suivi phénologique des arbres et floribondité.....	10
1.3.	Identification du pathogène	10
1.4.	Mesure de l'inoculum aérien	11
1.5.	Évaluation des dégâts sur rameaux.....	11
1.6.	Données météorologiques.....	12
1.7.	Calcul des risques	12
1.8.	Analyses conduites	12
2.	Résultats et discussion	12
2.1.	Floribondité	12
2.2.	Identification du pathogène	12
2.3.	Inoculum aérien	13
2.4.	Niveaux de risque et de dégâts	13
2.5.	Corrélation risques fleurs – dégâts rameaux	13
2.6.	Droites de régression risques fleurs – dégâts rameaux	13
3.	Conclusion et perspectives	14

PARTIE II : Validation de la relation risque fleurs (Tresson) - dégâts rameaux en verger commercial. Identification des facteurs autres que climatiques favorisant le développement des monilioses sur rameaux d'abricotiers

1.	Matériel et méthodes.....	15
1.1.	Description du réseau de parcelles.....	15
1.2.	Suivi phénologique des dix arbres et floribondité	15
1.3.	Identification du pathogène	15
1.4.	Évaluation des dégâts sur rameaux.....	16
1.5.	Mesure de l'inoculum présent à la parcelle .	16
1.6.	Données météorologiques.....	16
1.7.	Calcul des risques	16
1.8.	Analyses conduites	16
2.	Résultats et discussion	17
2.1.	Diversité des conditions climatiques	17
2.2.	Niveaux de risques et de dégâts	17
2.3.	Floribondité.....	17
2.4.	Identification des agents pathogènes	18
2.5.	Comportement du modèle en réseau de parcelles.....	18
2.5.1.	Corrélation risques fleurs - dégâts rameaux.....	18
2.5.2.	Droites de régression risques fleurs – dégâts rameaux.....	18
2.6.	Parcelles atypiques.....	18
2.7.	Test des hypothèses	19
2.7.1.	Sensibilité du stade fin de floraison	19
2.7.2.	Variété	19
2.7.3.	Inoculum et niveaux de dégât de l'année précédente	20
2.7.4.	Conditions favorables au développement de <i>M. fructicola</i> en verger	20
2.7.5.	Type d'agriculture	20
2.7.6.	Floribondité	20
2.7.7.	Positionnement de la parcelle.....	21
3.	Conclusion et perspectives.....	21

CONCLUSION GENERALE.....22

BIBLIOGRAPHIE.....23

ANNEXES

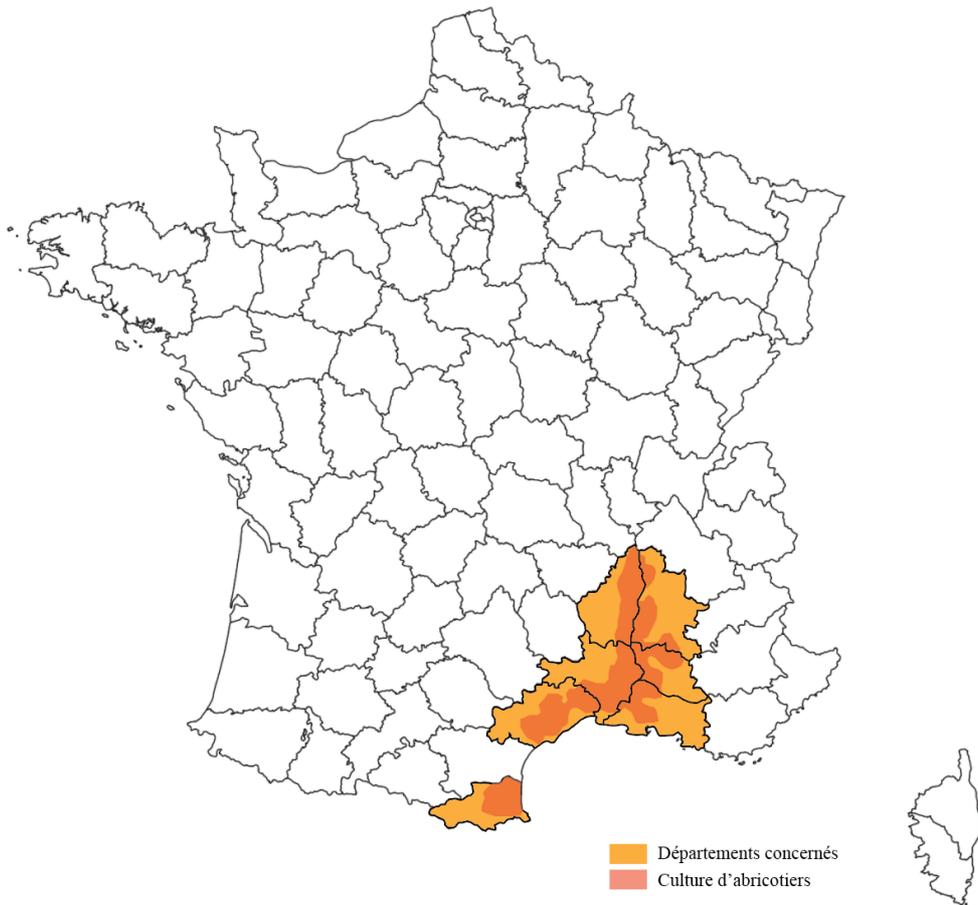


Figure 1 : Carte de la production française d'abricots (D'après Lichou et Jay, 2012).

INTRODUCTION

1. Contexte général de l'étude

Aujourd'hui localisée principalement dans le pourtour du bassin méditerranéen, au Proche-Orient et en Europe de l'Est, la culture de l'abricotier s'étend mondialement sur près de 660 000 hectares (FranceAgriMer 2017; FAOSTAT 2017). A travers le globe, ce sont 4,34 millions de tonnes d'abricots qui ont été produites en 2017. Les volumes sont en augmentation, avec une progression de 8,8% en cinq ans. La France se classe huitième producteur mondial et troisième producteur européen après l'Italie et l'Espagne avec 148 500 tonnes produites en 2017 (FAOSTAT 2017) sur près de 12 200ha dont 8,6% sont cultivées en bio (Agence Bio 2017), élevant l'abricot au rang de quatrième production fruitière française en volume. Le pays compte trois principaux bassins de production qui fournissent la quasi-totalité des volumes : les régions Auvergne-Rhône-Alpes, PACA et Occitanie (Guyon 2018). Les cultures sont principalement situées dans la vallée du Rhône et sur le pourtour ouest de la côte méditerranéenne (Figure 1). En France, la filière fruitière biologique est en plein développement et fait partie des secteurs les plus dynamiques de l'agriculture biologique (AB). La production et la consommation ont augmenté fortement durant les années passées. Cependant, la dynamique de conversion à l'agriculture biologique des fruits à noyaux reste en deçà des autres cultures fruitières en raison des écueils techniques auxquels la filière est confrontée. En conventionnel comme en AB, un des enjeux majeurs de l'arboriculture est la gestion des bio-agresseurs (Millan et al. 2014; 2018; Stevenin, Baude 2008) dont les mycètes du genre *Monilinia*, agents responsables des monilioses, font partie.

Sur les arbres à fruits à noyaux, les monilioses sont responsables de dégâts sur les fleurs, rameaux, jeunes pousses et fruits (Byrde, Willets 1977; Parveaud et al. 2016). Les dégâts sont variables suivant les conditions climatiques et la sensibilité variétale, mais peuvent toutefois compromettre sérieusement la production en termes de qualité et de quantité. En conventionnel, les moyens de protection par action fongicide sont généralement efficaces s'ils sont bien positionnés et alternés. En revanche, il n'existe que des moyens de lutte à efficacité partielle en AB, faisant de ce pathogène le principal verrou technique à ce mode de production dans les situations à risque (Stevenin, Baude 2008; Lichou, Jay 2012; Parveaud et al. 2016).

La gestion de ces bio-agresseurs implique des conséquences négatives sur les écosystèmes, la santé des producteurs et des consommateurs, ainsi que sur la durabilité économique des entreprises. Pour se prémunir au mieux contre les organismes phytopathogènes et limiter voire supprimer le recours aux produits phytosanitaires, il est nécessaire d'analyser l'influence de la combinaison des conditions indispensables au développement d'une maladie (la présence de l'agent pathogène, la susceptibilité de l'hôte et les conditions environnementales favorables (Rapilly 1991)) sur le cycle du pathogène, le développement de la maladie, et les dégâts qui en résultent. La profession ne dispose actuellement d'aucun outil permettant de piloter efficacement la protection.

C'est dans ce contexte que s'inscrit le projet ClimArbo « Changement climatique et maladies cryptogamiques émergentes en arboriculture en Rhône-Alpes » en région Auvergne-Rhône-Alpes pour quatre ans. Celui-ci regroupe quatre acteurs majeurs de la recherche et de l'expérimentation en arboriculture en haute et moyenne vallée du Rhône : l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), le Groupement de Recherche en Agriculture Biologique (GRAB), la Station d'Expérimentation Fruitière de Rhône-Alpes (SEFRA) et la Chambre d'Agriculture de la Drôme. Il porte sur l'identification et la caractérisation au niveau moléculaire et phénotypique du *Monilinia* et du *Colletotrichum* de la noix, l'étude des périodes de contamination au verger et l'identification des facteurs de risque.



Figure 2 : Floraison de l'abricotier

2. L'abricotier

2.1. Origine et description

Nom botanique : *Prunus armeniaca* L.

Famille : Rosaceae

Sous famille : Prunoideae

Impliquant un mode de vie sédentaire et des techniques avancées de multiplication végétative, l'arboriculture est apparue plusieurs millénaires après l'installation de l'agriculture à grains. Des données archéo-botaniques sûres quant à la domestication d'arbres fruitiers de la famille des rosacées, dont l'abricotier fait partie, n'apparaissent qu'au III^e millénaire BP¹. Leur culture à plus grande échelle n'aurait d'ailleurs débuté qu'à l'époque gallo-romaine. Originaires d'Asie centrale où ses formes sauvages sont largement réparties, l'abricotier est très probablement apparu dans les zones tempérées de l'Europe et du bassin méditerranéen en tant qu'espèce fruitière déjà domestiquée, bien après l'installation des espèces fruitières fondatrices au VII^e millénaire BP (Zohary, Hopf, Weiss 2018). Cultivé en Chine depuis 3000 ans (Hanke, Flachowsky 2017), son introduction en France remonterait au XV^e siècle (Lichou, Jay 2012). Classés en quatre grands groupes éco-géographiques (Asiatique, Irano-Caucasien, Européen et Nord-Africain), les abricotiers sont aujourd'hui cultivés dans une grande diversité de climats en raison de leur importante capacité d'adaptation (Hagen et al. 2002; Lichou, Jay 2012).

L'abricotier est un arbre à croissance rythmique définie et à ramification sympodiale (Costes 1993). Son port est variable selon les variétés, pouvant prendre plusieurs formes depuis un port étalé vers un port érigé. Généralement greffé sur semis franc d'abricotier ou d'autres espèces de *Prunus*, l'abricotier mesure 3 à 4 mètres en verger cultivé (Passecker 1947; Lichou, Jay 2012). Disposées de manière alterne spirales, les feuilles cordiformes sont acuminées, légèrement asymétriques, et présentent un pétiole rouge portant des glandes nectarifères. Plusieurs types de ramifications coexistent sur un même arbre : les rameaux courts, longs et anticipés. Communément appelés bouquets de mai, les rameaux courts sont constitués d'organes préformés dans le bourgeon hivernal et se déployant au printemps. Dans le cas d'un allongement des entre-nœuds, l'organe alors formé est appelé brindille. Les rameaux longs peuvent faire plus ou moins de néoformation et donc avoir une longueur variable en fonction de leur position dans l'arbre, du stade de développement de celui-ci et des conditions agronomiques (Costes 1993). Les anticipés quant à eux ne sont pas issus de vrais bourgeons et sont formés à l'aisselle de très jeunes feuilles d'un rameau en croissance très active (Rivals 1965). Les besoins en froid pour la levée de dormance des bourgeons varie entre 300 et 1200 heures de température inférieure à 7,2°C (Hanke, Flachowsky 2017).

La floraison de l'abricotier (Figure 2) est l'une des plus précoces chez les arbres fruitiers, rendant cette espèce sensible au gel. Le risque est cependant atténué en raison de l'étalement de la floraison depuis les rameaux courts vers les rameaux longs. La fleur d'abricotier, de couleur blanche, compte 5 pétales, 5 sépales, de nombreuses étamines et un ovaire contenant deux ovules infères, dont l'un des deux est atrophié et avorte dans la plupart des cas. Les fleurs apparaissent généralement en 3^{ème}-4^{ème} feuille², toujours sur du bois d'un an (Lichou, Jay 2012). Les fleurs sont plus nombreuses sur les extrémités des rameaux, les premières unités de croissance étant beaucoup moins florifères. Par ailleurs, la floribondité³ des rameaux courts est sujette à variation en fonction des conditions climatiques et culturelles (Costes et al. 1995). Espèce généralement auto-fertile, de nombreux cas

¹ Before Present : années calibrées avant le présent

² Terme utilisé en arboriculture pour décrire l'âge du verger, l'année de plantation étant désignée comme 1^{ère} feuille.

³ En horticulture, la floribondité qualifie la quantité de fleurs développées une année donnée par une angiosperme.

conduisent à l'évitement de l'autopollinisation : décalage de maturité des organes reproducteurs, stérilité mâle et surtout incompatibilité gamétophytique (Lichou, Jay 2012; Hanke, Flachowsky 2017). Les fruits issus de la fécondation sont des drupes charnues de forme variable selon les variétés et de couleur blanche, rouge ou orangée, avec des surimpressions rouges dans certains cas (Prat 2011; Lichou, Jay 2012).

Les stades phénologiques de l'abricotier ont été décrits par Baggiolini au milieu du XXe siècle (Baggiolini 1952) et sont toujours couramment utilisés par différents acteurs de la filière arboricole bien qu'une autre classification appelée BBCH ait été proposée depuis (Lancashire et al. 1991; Hack et al. 1992) (Annexe 1). Dans ce rapport, nous utiliserons la première classification, définie comme suit :

B- Gonflement des bourgeons

E- Ballonnets, début de floraison

C- Éclatement des bourgeons, stade bouton rouge

F- Pleine fleur

D- Ouverture des sépales, stade bouton blanc

G- Chute des pétales, fin de floraison

2.2. Culture

Il existe actuellement des techniques de conduite de vergers très différentes en raison de la grande diversité de variétés d'abricotiers et de leur adaptation à un bassin climatique. L'objectif principal de la conduite de vergers est de favoriser le développement des arbres tout en facilitant les interventions nécessaires à la production, l'entretien et la protection de la parcelle (taille, récolte, gestion des adventices, des pathogènes et ravageurs...) (Lichou, Jay 2012). La conduite comprend également de nombreux leviers d'action pour la gestion des pathogènes comme *Monilinia sp.* (Cf. paragraphes 3.3. et 3.4.). Depuis 2010, il existe une charte nationale de production intégrée des producteurs d'abricots qui vise à améliorer et harmoniser les pratiques dans les vergers en s'inspirant de l'Organisation Internationale de Lutte Biologique et des organismes techniques. En France, la conduite la plus courante est celle en gobelet multi-charpentières, qui est particulièrement adaptée à l'organisation du système ramifié de l'abricotier, et qui favorise un éclaircissement optimal de la partie interne de l'arbre. Adaptées en fonction de la fertilité du sol, de la vigueur de la variété et du porte greffe, les distances de plantation sont généralement comprises entre 5 et 6m entre les rangs et vont de 3,5 à 4,5m sur le rang (Lichou, Jay 2012), la densité moyenne de plantation du verger français étant d'environ 450 arbres/ha (Agreste 2017). D'autres types de conduites impliquant des densités de plantation plus élevées comme les murs fruitiers sont actuellement à l'essai (Brun et al. 2019). Indispensable à la formation de l'arbre, la taille permet également de canaliser et maîtriser la vigueur des arbres, d'éclaircir leur cœur, limiter le développement des maladies (prophylaxie), de favoriser la fructification, et de gérer la charge en fruits.

Planté en scion d'un an, l'abricotier entre en production dès la troisième année et le verger atteint la phase de pleine production en 5 à 6 ans (Lichou, Jay 2012). La culture d'abricotiers est favorisée par des sols bien drainés, chauds, riches en nutriments, limono-calcaires et relativement profonds. Des sols trop humides peuvent provoquer des gommoses si le porte greffe n'est pas adapté (Kaska 2006). La gestion de l'entretien du sol dépend des contraintes propres à chaque parcelle et chaque exploitation (Garcin et al. 2012). L'inter-rang est le plus souvent enherbé (86% des parcelles du verger français) (Agreste 2017) dans les vergers bien implantés et irrigués, avec un désherbage mécanique ou chimique du rang. Ce type d'enherbement préserve les propriétés physiques et chimiques du sol tout en maîtrisant la concurrence vis-à-vis des ressources hydriques et nutritionnelles entre le couvert et les arbres (Lichou, Jay 2012). En France, 92% des vergers d'abricotiers sont fertilisés (Agreste 2017), bien qu'ils n'exportent que peu d'éléments minéraux par rapport aux cultures annuelles (Gazeau 2012). Avec des besoins en eau de 450 mm (Lichou,

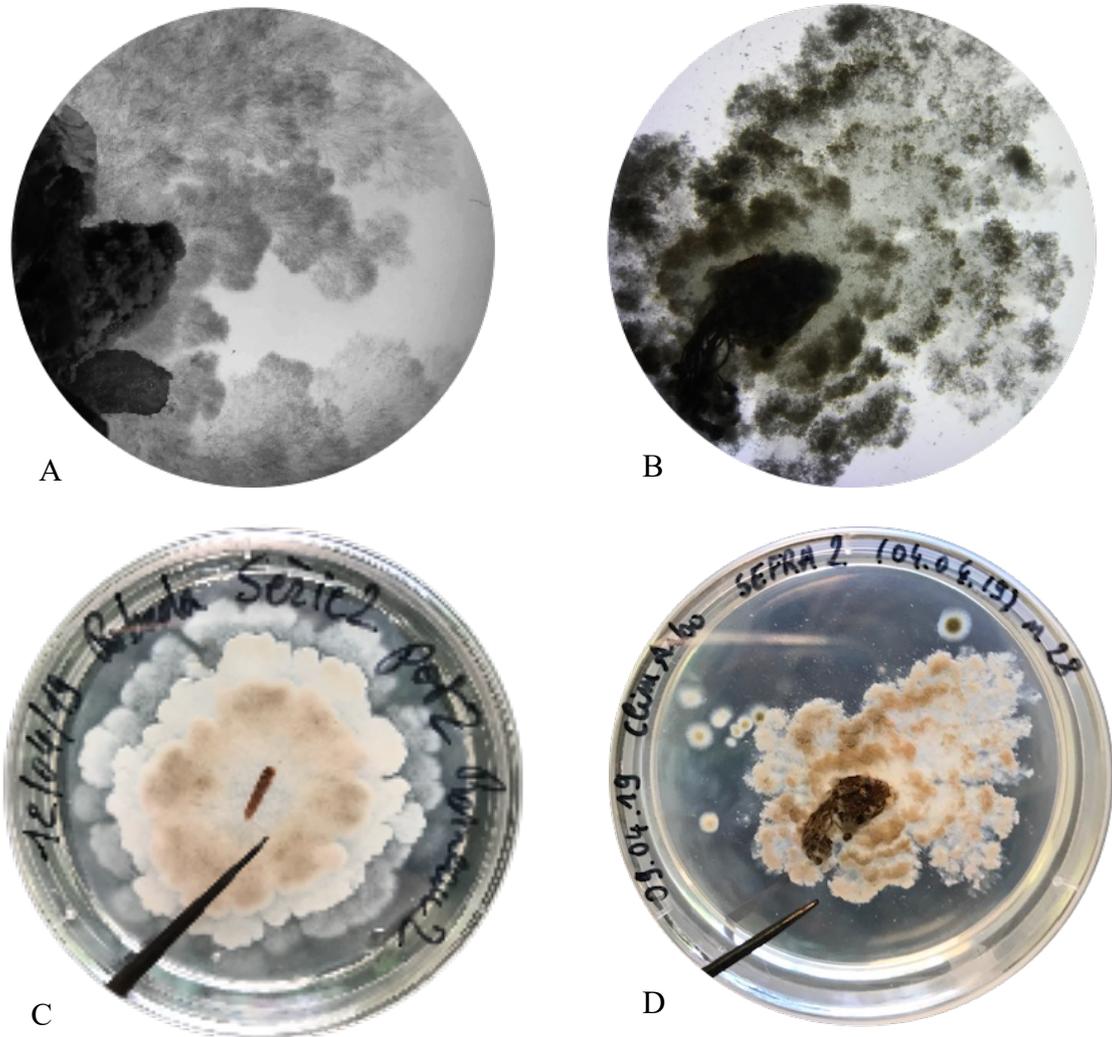


Figure 3 : Cultures de fleurs (A, B et D) et rameaux (C) infectés par *Monilinia laxa* (A et C) et *Monilinia fruticola* (B et D) sur milieu PDA en boîtes de Pétri. *M. laxa* présente un développement caractéristique en lobes se superposant, et *M. fruticola* des cercles concentriques de structures sporifères grises.

Jay 2012), l'irrigation des abricotier est pratiquée dans 72% des vergers. Elle est dispensée par système de goutte à goutte, d'aspersion et de micro-jet. La protection chimique est particulièrement axée sur la lutte fongique avec 65% des 12,5 traitements appliqués en moyenne en France concernant la gestion de ces pathogènes (Agreste 2017).

Enfin, la récolte a lieu généralement à partir de la deuxième semaine de juin. Un décalage de maturité entre les fruits positionnés sur les rameaux courts et ceux sur les rameaux longs est à observer, avec des fruits arrivant à maturité plus précocement sur ces derniers. La récolte est caractérisée par le calibre des fruits, leur taux de sucre (Indice Réfractométrique) et leur aspect général (coloration, intégrité) (Lichou, Jay 2012). Le rendement moyen français en 2015 était de 13,4t/ha, avec 25% de vente directe (Agreste 2017).

2.3. Pathogènes et ravageurs

L'abricotier est sujet à de nombreuses maladies dont certaines peuvent entraîner le dépérissement de l'arbre comme la bactériose à *Pseudomonas*, l'Enroulement Chlorotique de l'abricotier causé par un phytoplasme transmis par un psylle ou encore la Sharka, virose transmise par les pucerons (Brun et al. 2019). D'autres maladies peuvent affecter la production comme la rouille (défeuillaison précoce), l'oïdium et la tavelure (affectant la qualité des fruits) et les monilioses, entraînant des dessèchements de rameaux et des pourritures sur fruits (Cf. paragraphe 3.2.). Quelques ravageurs sont susceptibles de provoquer des blessures et lésions sur les fruits et donc d'affecter la récolte comme les forficules (*Forficula auriculata*), la tordeuse orientale (*Cydia molesta*) et la petite mineuse (*Anarsia lineatella*) (Maurin 1999; Courtial 2010; Lichou, Jay 2012; Brun et al. 2019). Les fruits peuvent souvent échapper aux dommages en raison de leur maturité précoce dans la saison, avant que les populations de ravageurs ne se constituent (Bassi 1999) (Annexe II).

3. Les monilioses

3.1. Description et identification

Groupe taxonomique : *Fungi, Ascomycota, Leotyomycetes, Helotiales, Sclerotiniaceae, Monilinia*

Les champignons de l'embranchement des ascomycètes dont le genre *Monilinia* fait partie peuvent se présenter sous forme sexuée (téléomorphe) et asexuée (anamorphe). Les spores sexuées (ascospores), contenues dans les asques, sont portées par les apothécies émergeant des fruits momifiés ou des débits végétaux contaminés (pseudosclérotés). Les spores asexuées (conidies), sont organisées en chaînes dans les sporodochies, autrement appelées coussinets conidifères. C'est cet agencement des conidies en collier (*monile* en latin) qui est à l'origine du nom de ce genre fongique (Byrde, Willets 1977). Les hyphes des *Monilinia* peuvent présenter différents types de pigmentations : hyaline, gris clair, verte olive ou encore noire. (Martini, Mari 2014).

Les monilioses, aussi appelées dessèchement des fleurs, dessèchement des rameaux ou pourriture brune des fruits selon les organes qu'elles touchent sont des maladies cryptogamiques fongiques d'importance économique majeure en arboriculture de fruits à noyaux et à pépins (Byrde, Willets 1977; Hrustić et al. 2013; Oliveira-Lino et al. 2016). L'abricotier est particulièrement sensible aux attaques sur fleurs et rameaux (Lichou, Jay 2012). Si les monilioses sont causées par de nombreux pathogènes et sont communes dans toutes les zones de production, seules trois espèces entraînent des dégâts et pertes importantes : *Monilinia fructigena* (Aderhold and Ruhland) Honey, *Monilinia laxa* (Aderhold and Ruhland) Honey (Figure 3 A et C) et *Monilinia fructicola* (Winter) Honey (Figure 3 B et D). Si la phase sexuée de *M. fructicola* est importante dans son cycle de vie, *M. laxa* et *M. fructigena* sont essentiellement présentes sous leur forme anamorphe en Europe (Hrustić et al. 2013). Ces espèces sont difficiles à distinguer les unes des autres (OEPP/EPPO 2009), et particulièrement au verger où les symptômes peuvent être variables de fruits en fruits pour chaque

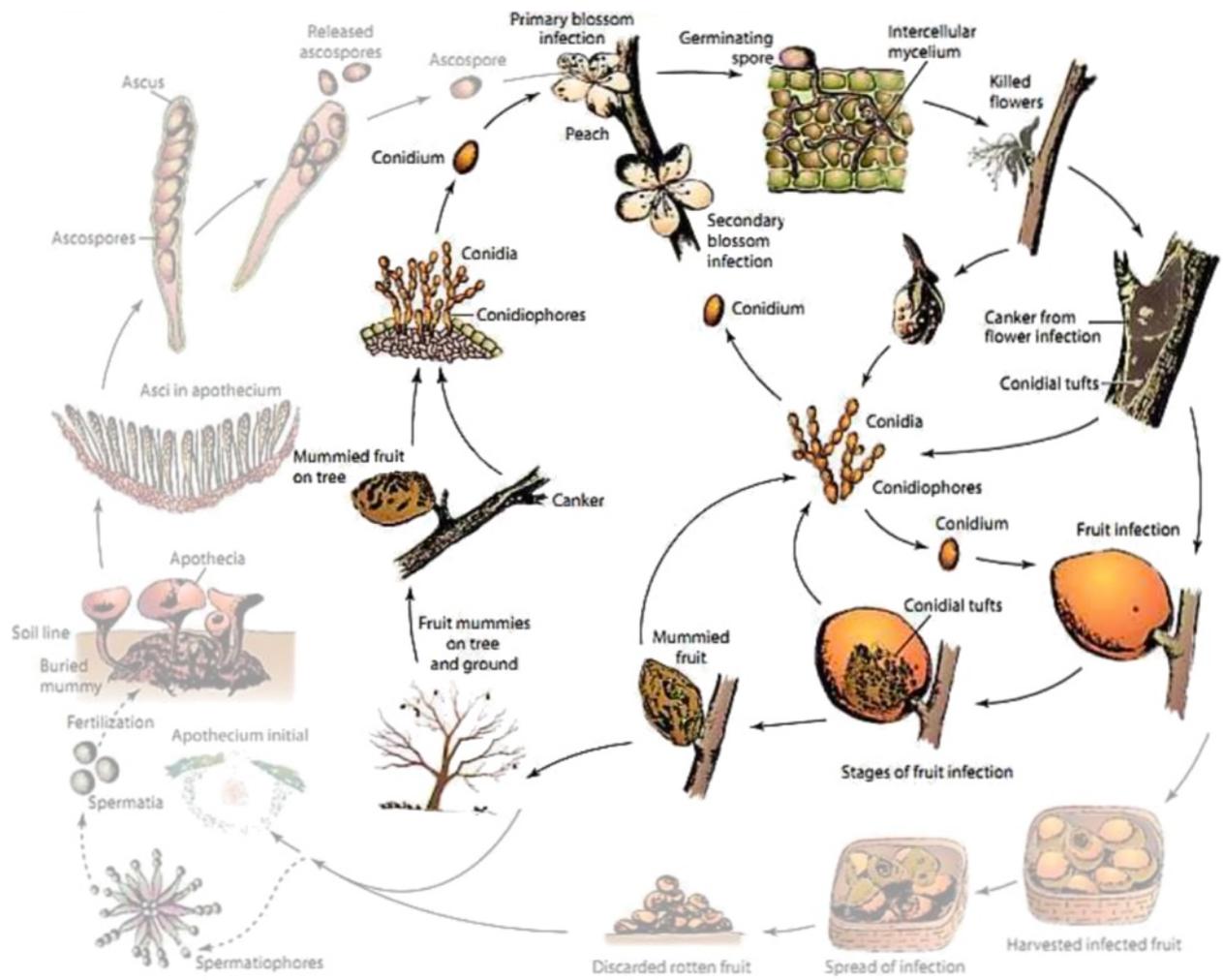


Figure 4 : Cycle de développement de *Monilinia sp.* sur abricotier (D'après Agrios, 2005). La partie du cycle représentée en transparence est celle correspondant à la phase sexuée du cycle, rarement observée dans les vergers de la vallée du Rhône.

espèce (Mercier, Martinot, Deplaupe 2009). Plusieurs techniques de laboratoire pour discriminer les espèces de *Monilinia* pathogènes comme leurs caractéristiques de croissance sur milieu *Potato Dextrose Agar* (PDA), l'étude de la morphologie de leurs tubes germinatifs ou encore de leurs anastomoses ont été décrites (Van Leeuwen, Van Kesteren 1998). Les différentes espèces peuvent être déterminées relativement simplement, rapidement et de manière fiable par PCR (Côté, Tardif 2004) mais cette méthode nécessite un équipement spécifique et coûteux. Une équipe de l'INRA de Gothenon a par ailleurs développé une méthode fiable d'identification des trois espèces de *Monilinia* basée sur les caractéristiques morphologiques des coussinets conidifères sur fruits (Mercier, Martinot, Deplaupe 2009). Ayant déjà fait ses preuves (Dam 2017; Tresson 2018), la méthode d'identification sur milieu PDA est relativement aisée et peut être mise en œuvre avec un minimum de matériel dans un laboratoire de phytopathologie. C'est la méthode que nous utiliserons dans cette étude.

***Monilinia laxa* (Aderhold and Ruh-land) Honey**

Anamorphe : *Monilia laxa* (Ehrenb.) Sacc. & Voglino

De tous les fruits à noyaux, l'abricot est le plus sensible à cette espèce de *Monilinia* (Holb 2008). Principalement responsable de dégâts sur fleurs et rameaux souvent sévères (Michailides et al. 2007; Byrde, Willets 1977), *M. laxa* est l'espèce dominante dans les vergers d'abricotiers de la vallée du Rhône (Dam 2017; Tresson 2018). Elle entraîne l'une des maladies les plus dommageables pour la culture des fruits à noyaux (Holb 2006). Sur milieu PDA, *M. laxa* est reconnaissable par la forme lobée de la marge de sa colonie, sa couleur blanche à grise et par la présence d'arcs noirs associés aux lobes sur le dessous de la rosette (Figure 3 A et C). Par ailleurs, cette espèce ne sporule que très rarement dans ces conditions de culture (Lane 2002; OEPP/EPPO 2009; Martini, Mari 2014).

***Monilinia fructicola* (Winter) Honey**

Anamorphe : *Monilia fructicola* L.R. Batra

Entrainant sur les abricotiers des dégâts similaires à ceux causés par *M. laxa* (Byrde, Willets 1977), *M. fructicola* a été identifiée pour la première fois en France en 2001 dans la vallée du Rhône (OEPP/EPPO 2002) et retirée de la liste A2 EPPO des organismes de quarantaine en 2014 en raison de sa large dispersion en Europe (Oliveira-Lino et al. 2016). Les dégâts les plus dommageables économiquement sont les pourritures brunes sur fruits (Hong et al. 1997; Holb 2006). Cette espèce est actuellement présente dans les vergers d'abricotiers du sud-est de la France, en plus faible proportion que *M. laxa* (Dam 2017; Tresson 2018). Sur milieu PDA, *M. fructicola* est caractérisée par les cercles concentriques de structures sporifères développés par la colonie à la marge lisse et de couleur grise (Lane 2002; Martini, Mari 2014) (Figure 5 B et D).

***Monilinia fructigena* (Aderh. & Ruh-land) Honey ex Whetzel**

Anamorphe : *Monilia fructigena* (Pers. ex Pers.) Eaton

Se développant principalement sur fruits à pépins (Martini, Mari 2014), cette espèce est responsable de pourritures peu sévères sur les abricots (Byrde, Willets 1977). Les colonies de *M. fructigena* sont de couleur jaune crème sur milieu PDA et ne sporulent que rarement (OEPP/EPPO 2009).

3.2. Cycle infectieux et symptômes

La partie sexuée du cycle des *Monilinia sp.* (Figure 4) étant rarement observée dans les vergers d'abricotiers français, nous nous intéresserons ici particulièrement à sa partie asexuée. Les trois espèces de *Monilinia* présentées ci-dessus sont capables de passer l'hiver sous forme de mycélium dans différents organes contaminés l'année précédente : des fruits momifiés encore présents dans la ramure des arbres, des fruits momifiés tombés au sol ou encore des rameaux, des fleurs et



Figure 5 : Symptômes des monilioses sur fleurs (B et E), rameaux (A, C et F) et fruits d'abricotiers (D).

chancres (Holb 2008). Lorsque les conditions climatiques sont réunies, les conidies sont libérées des tissus infectés. Elles sont alors la source des contaminations à la sortie de l'hiver dans le cas où elles entrent en contact avec les fleurs et germent (Byrde, Willets 1977; Holb 2008). Ces spores asexuées sont dispersées par la pluie (splashing), le vent ou encore les insectes (Hrustić et al. 2013).

Les fleurs d'abricotier peuvent être infectées depuis le gonflement des bourgeons jusqu'à la chute des pétales (Lichou, Jay 2012), avec une sensibilité croissante du stade C au stade F (Holb 2008; Dam 2017). Tous les organes de la fleur peuvent être infectés (Byrde, Willets 1977; Hrustić et al. 2013). Les premiers symptômes sur les organes floraux apparaissent sous 3 à 6 jours (Holb 2008) : les étamines se dessèchent et des nécroses brunes apparaissent sur le pistil, les sépales et les pétales (Figure 5 B). L'incidence de la maladie dépend des conditions climatiques : en cas de période chaude et sèche, la phase critique de l'infection est courte et il y a peu de possibilité d'infection (Hrustić et al. 2013). Les fleurs infectées et desséchées restent généralement accrochées pendant de longues périodes aux rameaux. Si les conditions climatiques sont humides, des coussinets conidifères peuvent s'y développer (Figure 5 E). Les organes infectés peuvent alors constituer une source d'inoculum pour les fruits et les autres organes (Byrde, Willets 1977; Holb 2008). Les fleurs nécrosées peuvent permettre au pathogène de pénétrer dans les rameaux au travers du pédoncule et ainsi provoquer des nécroses elliptiques entraînant des sécrétions de gomme (Figure 5 C) et le dépérissement des structures porteuses (Byrde, Willets 1977; Holb 2008) (Figure 5 A et F). Le flétrissement et le dessèchement des parties supérieures du rameau apparaissent en 7 à 12 jours (Hrustić et al. 2013).

Les fruits sont eux aussi susceptibles d'être infectés à toutes leurs phases de développement : de la nouaison jusqu'à la maturité, ainsi que lors de leur stockage, transport et commercialisation. Le champignon pénètre par des blessures de l'épiderme causées par des insectes (Hrustić et al. 2013) ou par phénomène de craque de l'épiderme en fin de maturité par une irrigation importante chez les fruits à noyau (Gibert et al. 2007). Les symptômes de l'infestation se manifestent sous 8 à 10 jours (Holb 2006) par des taches brunes circulaires formant un halo autour de la zone d'infection primaire, envahissant complètement le fruit et développant des cercles concentriques de sporodochies grises. Une fois le fruit entièrement colonisé, il flétrit, se dessèche et devient alors une momie (Figure 5 D). Celles-ci sont capables d'engendrer de nombreux cycles d'infections secondaires (Hrustić et al. 2013).

3.3. Conditions favorables au développement de *Monilinia*

La contamination des organes floraux et végétatifs des arbres fruitiers par *Monilinia* et le développement de ces pathogènes dans les tissus végétaux (sporulation, germination des spores et croissance hyphale) sont fortement influencés par les conditions climatiques : température, et facteurs liés aux précipitations.

La production de conidies sur les tissus infectés est maximale pour des températures comprises entre 10 et 15 °C. Au-delà de 20°C, la production de spores est très rare (Tamm, Flückiger 1993). Étape décisive dans l'infection des tissus, la germination est possible de 0°C à près de 38°C, mais, selon les espèces, celle-ci est optimale entre 15 et 30°C en conditions contrôlées. A 25°C, la germination est alors effective en 2 heures pour les conidies *M. fructicola* et *M. fructigena* et en 4 heures pour *M. laxa* (Casals et al. 2010).

Plusieurs études ont montré l'importance de la durée d'humectation (Tamm, Minder, Flückiger 1995; Luo, Morgan, Michailides 2001; Dam 2017), des précipitations (Tresson 2018; Dam 2017) ou encore de l'humidité relative (Koball, Wilcox, Seem 1997) sur la contamination des organes végétaux. En conditions contrôlées, la germination est beaucoup plus rapide et importante en présence d'eau libre plutôt qu'en milieu sec, et une humidité relative élevée (98%) en milieu sec



Figure 6 : Une méthode de conduite des abricotiers innovante : palmettes sous bâches et filets paragrêle (projet CapRed, INRA Gotheron)

aurait le même rôle dans la germination qu'un milieu humide (Tamm, Flückiger 1993). Les travaux d'une équipe suisse sur fleurs de cerisier ont par ailleurs montré qu'à de faibles températures, la période d'humectation nécessaire à l'infection par *M. laxa* est longue. A des températures plus importantes, la durée d'humectation nécessaire sera plus faible (Tamm, Minder, Flückiger 1995). En milieu de culture, le développement mycélien de *M. laxa* est effectif de 2,5°C à 30°C, avec un optimum autour de 25°C (Tamm, Flückiger 1993). Selon une étude menée sur *M. fructigena*, les conidies seraient viables plus de 20 jours si les températures sont basses et l'humidité relative élevée (Xu, Guerin, Robinson 2001).

A l'échelle du verger, plusieurs pratiques peuvent favoriser le développement de *Monilinia* : une aération insuffisante des arbres liée par exemple à une densité trop élevée, des irrigations trop importantes à l'approche de la récolte, un excès d'azote ou encore un déficit en potassium. Par ailleurs, la sensibilité variétale joue un rôle important dans le processus d'infection par ces pathogènes (Lichou, Jay 2012).

3.4. Méthodes de lutte

Différentes solutions de contrôle des monilioses au verger se présentent aux producteurs (Annexe III). Si des leviers efficaces ont été développés, des recherches et des expérimentations sont toujours menées pour améliorer la protection des arbres et des récoltes. Les méthodes développées sont prophylactiques, physiques, chimiques ou biologiques.

La prophylaxie concerne l'ensemble des mesures visant à réduire l'apparition ou la propagation des maladies. Celle-ci débute dès l'implantation du verger par le choix de l'emplacement, de l'orientation des rangs et du type de conduite. Des rangs orientés dans le sens des vents dominants favoriseront la ventilation du verger rendant les conditions moins favorables au développement des *Monilinia*. Les pratiques culturales doivent être orientées dans le sens de la prévention du développement des pathogènes, en veillant à assurer la vitalité des arbres (maintien de la canopée, contrôle de la flore adventice) (Hrustić et al. 2013). Une des méthodes primordiales est l'élimination des foyers infectieux tels que les chancres, les fruits momifiés ou les rameaux contaminés (Lichou, Jay 2012; Hrustić et al. 2013). Une étude a montré l'importance de la réduction de l'inoculum primaire pour réduire l'incidence de la maladie (Xu, Guerin, Robinson 2001). Le choix de la variété est également très important : si aucune variété ne présente de résistance totale, certaines variétés comme Bakour témoignent d'une sensibilité faible aux monilioses. Au contraire, des variétés sont connues pour être très sensibles comme Bergarouge (Parveaud et al. 2016).

Des expérimentations de protection physique des vergers par un système de bâches translucides et imperméables ont été conduites et se révèlent concluantes pour diminuer l'incidence des monilioses sur fruits (Børve, Stensvand 2003). D'autres essais pour la protection des abricotiers par bâches sont en cours et montrent l'efficacité de ce système sur l'incidence des monilioses sur fleurs, rameaux et fruits (Brun et al. 2019) (Figure 6).

Ces méthodes de protection peuvent se révéler insuffisantes lorsque la pression des pathogènes est forte en raison des pertes économiques sévères qu'ils peuvent entraîner (Hrustić et al. 2013). Pour cela, des fongicides sont employés régulièrement. Différents types de produits aux modes d'action différents sont utilisés comme ceux affectant la sporulation (dicarboximides, benzimidazoles, triazoles), ou encore d'autres types comme les strobilurines et les carboxamides (Hrustić et al. 2013). Les fongicides sont appliqués du stade D au stade G une ou plusieurs fois en fonction des conditions météorologiques (application à renouveler en cas de pluie). Dans certains cas, des fongicides sont utilisés en stade de pré-récolte (Lichou, Jay 2012). Du fait des différentes résistances identifiées à ce jour (Ogawa et al. 1984; Hrustić et al. 2013), il est important d'alterner les substances actives (Lichou, Jay 2012).

Tableau 1: Caractéristiques du modèle Tresson (Tresson, 2018)

Modèle Tresson	
Paramètres	$T_{min}, T_{max}, m, i_{max}, \gamma_1, \gamma_2, \rho_1, \rho_2, \varepsilon$
Valeurs	0, 31, 0.9, 0.79, 1.709, 1.4722, 1.5751, 1.9652, 0.029
Variables d'entrée	p, T
Sortie	Incidence (%) : RCIF
Ajustement	RMSE : 0.061 RRMSE : 22%

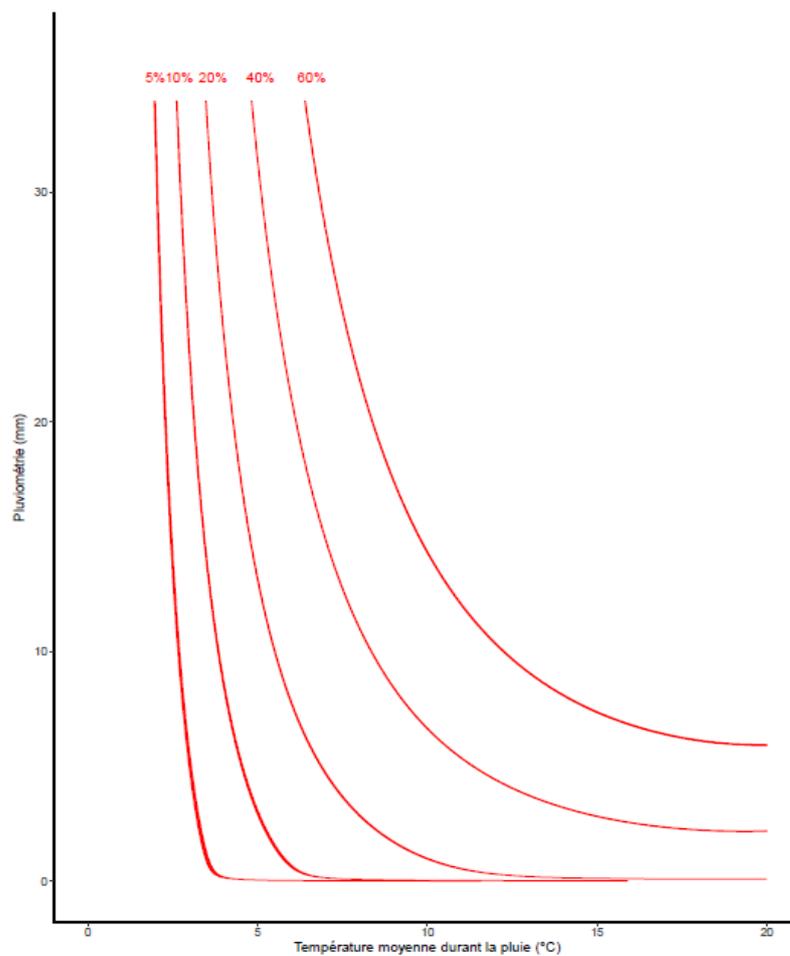


Figure 7 : Courbes de risque adaptées du modèle Tamm (Tresson, 2018). Celles-ci correspondent au Risque Climatique d'Infection des Fleurs (RCIF).

L'utilisation de tels produits en agriculture biologique est proscrite. Outre les leviers précédemment cités et qui sont indispensables à mettre en place dans les vergers suivant le cahier des charges AB, il n'existe que peu de moyens de lutte directe. Des traitements à base de cuivre contre les bactérioses ont un effet secondaire sur *Monilinia*, mais ne sont pas homologués pour la gestion des monilioses. Des applications de bouilles sulfo-calciques (CURATIO) peuvent obtenir des dérogations et sont à appliquer en stop après ou pendant la pluie sur feuillage humide (Filleron et al. 2019). Le contrôle biologique fait partie des alternatives aux protections physiques et chimiques, mais fait encore preuve d'une importante variabilité d'efficacité dans les essais au champs (Rungjindamai, Jeffries, Xu 2014).

4. Vers un outil de pilotage de la protection des monilioses sur abricotier

Dans le cadre du projet ClimArbo, deux expérimentations terrain en verger conduites sur le domaine INRA de Gotheron ont permis d'explorer les conditions (inoculum, espèce de *Monilia*, étude de la floraison de la plante hôte, conditions météorologiques) favorables au développement de *Monilinia* sur les fleurs d'abricotiers. Elles ont pu montrer que les contaminations dépendent du stade phénologique de l'arbre, de sa floribondité et des conditions climatiques lors de la floraison ; mais ont également permis d'adapter les courbes de risque de pourcentage de fleurs atteintes par *M. laxa* développées par l'équipe de Tamm (Tamm, Minder, Flückiger 1995) en considérant la pluviométrie à la place de la durée d'humectation (Dam 2017; Tresson 2018). Un modèle phéno-climatique de risque de contamination des fleurs prenant en compte la proportion de stades phénologiques sensibles, la pluviométrie et les températures a pu être proposé grâce à ces travaux (Tresson 2018) et qui aura l'ambition de constituer un Outil d'Aide à la Décision (OAD) pour la gestion des monilioses sur fleurs (Figure 7).

4.1. Modèle phéno-climatique (Tresson 2018)

Cette étude a permis d'adapter un modèle issu d'observations de contaminations en conditions contrôlées (Tamm, Minder, Flückiger 1995) aux conditions de contamination observées en verger d'abricotier (Annexe IV). Ces premiers travaux permettent de prédire l'incidence de l'infection des fleurs de cerisiers par *M. laxa*, en fonction de la durée d'humectation des fleurs et de la température.

Des études préalables de l'effet de différents facteurs climatiques (température, durée d'humectation, pluviométrie et humidité relative) sur les niveaux de dégât en verger d'abricotier ont permis de montrer d'une part que la pluviométrie est le facteur le plus explicatif de l'incidence des monilioses sur rameaux d'abricotier, et d'autre part l'absence de contamination et de dégâts quand la pluviométrie est nulle (Dam 2017; Tresson 2018). Ces observations ont conduit à la modification du modèle originel de Tamm, acceptant alors comme variables la pluviométrie et la température. Il sera désigné Risque Climatique d'Infection sur Fleur (RCIF) et, à la différence du modèle Tamm, forcera l'incidence à 0 en cas d'absence de pluie.

Le risque climatique calculé par ce modèle ne prend pas en considération la différence de sensibilité des stades phénologiques. Les travaux de Tresson en 2018 et de Dam en 2017 ont montré la nécessité de pondérer le risque : le stade D – bouton blanc est moins sensible que le stade F et les contaminations de ce stade surviennent uniquement si le RCIF est élevé (Dam 2017; Tresson 2018). Le Risque Climatique Pondéré d'Infection (RCPI) a donc été introduit et définit comme le risque climatique (RCIF) pondéré par la proportion des fleurs au stade sensible (E et F). Quatre fois moins sensibles que les fleurs au stade F, les boutons au stade D sont pris en compte dans la pondération seulement si le risque climatique est fort (RCIF >0,5). Ce nouveau modèle, que l'on appellera Modèle Tresson (Tableau 1), a été calibré avec les données de deux années d'une expérimentation similaire à celle conduite en 2019 (Cf. partie I paragraphe 1.1). Ce modèle n'a pas encore été validé

Calcul du risque moniliose sur fleurs et rameaux pour abricotiers

Tresson, 2018.

INRA Gotheron

INRA Agroclim

Entrer la pluviométrie et la température moyenne durant cet épisode pluvieux subi par la parcelle.

Ce risque est pondéré par la proportion de fleurs aux différents stades de développement.

Deux épisodes pluvieux doivent être séparés d'au moins 4h de temps sec (pas d'humectation pendant 4 h) .

Date	Pluviométrie	Température	% stade D	% stade E+F	Risque fleur	Risque>50%	Risque pondéré
	(mm)	(°C)	(entre 0 et 100)				
02.03.2019	0,4	11	29,7	32,4	0,191203774	0	0,06
07.03.2019	13,8	11,4	13,1	68,2	0,650670137	1	0,47
09.03.2019	0,2	8,33	2,8	52,4	0,128650588	0	0,07
10.03.2019	0,4	13,75	3	39,1	0,231714125	0	0,09
13.03.2019	1,6	5,98	4,8	47,6	0,113468558	0	0,05
14.03.2019	5	8,64	5,7	33,8	0,282967744	0	0,10
17.03.2019	0,6	7,16	2,2	6,7	0,124359573	0	0,01
Risque fleur cumulé							0,84

Risque fleur cumulé	<0.5	entre 0.5 et 1	entre 1 et 2	>2
Risque Rameau	Risque faible <10%	Risque moyen < 25%	Risque fort < 40%	Risque très fort >40%

Figure 8 : Interface de l'outil d'aide à la décision proposé suite aux premiers travaux de conception du modèle phéno-climatique de contamination des fleurs d'abricotier (Tresson, 2018)

sur un jeu de données fiables et indépendantes, et ses performances en conditions de productions n'ont pas pu être évaluées.

4.2. OAD

Grâce à ces travaux, une ébauche d'Outil d'Aide à la Décision pour la gestion des monilioses sur fleurs en verger d'abricotiers a pu être proposée (Figure 8). L'utilisateur est invité à renseigner les données relatives à la météorologie (pluviométrie, température) et à la phénologie de l'arbre (pourcentages de fleurs aux stades D, E et F). L'outil calcule alors le risque climatique et le risque pondéré pour chaque épisode pluvieux, ainsi qu'un risque cumulé de contamination pour la parcelle. Une indication sous forme de classes sur le risque de dégâts sur les rameaux est fournie. Elle permettrait à terme d'orienter la décision de traitement : si le risque est faible et acceptable et que l'historique des pluies de la parcelle le permet, le traitement pourrait être évité. Le développement d'un tel outil nécessite la validation préalable de la relation entre le risque fleurs et les dégâts rameaux qui est supposée ici. Cet outil mériterait alors d'être testé dans une large gamme de conditions de production pour tester sa fiabilité et évaluer la pertinence de son utilisation dans la gestion des monilioses sur fleurs et rameaux d'abricotier.

5. Thématique et problématique de l'étude, hypothèses de travail

Ce stage s'articule autour d'une thématique centrale : l'étude des facteurs favorisant le développement des monilioses sur fleurs et rameaux d'abricotiers pour mieux comprendre la dynamique de *M. laxa* et *M. fructicola* en verger et ainsi développer un outil efficace de pilotage de la protection permettant de réduire l'utilisation de produits phytopharmaceutiques. Il s'agira dans un premier temps d'évaluer la pertinence de l'utilisation du modèle Tresson conçu en 2018 (contamination des fleurs) pour prédire les dégâts sur rameaux d'abricotiers grâce à une première expérimentation réalisée en 2019 et installée dans un verger expérimental en comparant les risques estimés aux niveaux de dégâts sur rameaux mesurés. Dans un second temps, le modèle sera testé en réseau de parcelles pour valider cette relation dans des conditions de production et dans une diversité de situations. Enfin, il s'agira d'identifier les facteurs autres que climatiques pouvant influencer le développement des monilioses sur rameaux d'abricotier en observant les écarts au modèle. L'hypothèse de sensibilité du stade fin de floraison (G) a été émise à plusieurs reprises par des études en conditions contrôlées (Luo, Morgan, Michailides 2001) ou par des observations empiriques en déplorant des dégâts importants lors d'une pluie de fin de floraison en l'absence de pluies sur le stade F-pleine floraison (Luo, Morgan, Michailides 2001; Dulais 2014). Des études ont montré que les lésions sur rameaux ou les organes infectés restant sur la plante comme les momies sont des sources majeures d'inoculum primaire (Andrivon et al. 2017). Nous souhaiterions ici confronter ces études aux données du projet dans le but, le cas échéant, de proposer des pistes d'amélioration aux outils en construction. Enfin, nous souhaiterions tester l'effet de divers facteurs comme la variété ou la localisation des parcelles pour évaluer la validité du modèle. Ainsi, les conditions climatiques, l'inoculum de *Monilinia*, les paramètres agronomiques et les caractéristiques des vergers seront mesurés et analysés pour quantifier leur influence sur la sévérité et l'incidence des monilioses sur rameaux d'abricotiers.



Figure 9 : Arbres en pots utilisés pour l'expérimentation. Les séries de six arbres chacune ont été transférées en tunnel (C) avant d'être installées à intervalle régulier en verger (A et B) où elles ont été laissées jusqu'à l'expression des symptômes (D). Les flèches indiquent les rameaux moniliés.

PARTIE 1 VALIDATION DE LA RELATION RISQUE FLEURS (TRESSON) DEGATS RAMEAUX EN VERGER EXPERIMENTAL

Cette expérimentation consiste en l'installation d'abricotiers en pots dans un verger expérimental du domaine INRA de Gotheron. L'objectif est de valider le modèle Tresson (risque fleurs) en exposant les arbres en pot à différents événements climatiques pour ainsi pouvoir étudier la relation pour une large amplitude de niveaux de risques. Les dégâts sur rameaux dus aux monilioses seront mesurés et mis en relation pour la première fois avec les différents niveaux de risques fleurs calculés par le modèle pour tenter de valider sa pertinence. Cette expérimentation a l'ambition de se rapprocher au maximum des conditions de contaminations d'un verger de production.

1. Matériel et méthodes

1.1. Description du dispositif

Le verger expérimental utilisé a été installé en 2001 avec des remplacements ponctuels d'arbres pour cause de mortalité dues à des maladies bactériennes. Cette parcelle, située sur le domaine INRA de Gotheron à Saint-Marcel-lès-Valence dans la Drôme, est constituée de 3 lignes de 25 arbres de la variété Bergeval et d'une ligne d'autres variétés à l'extrémité ouest, orientées dans le sens des vents dominants selon un axe Nord-Sud. La distance de plantation est de 5 x 3,75 mètres.

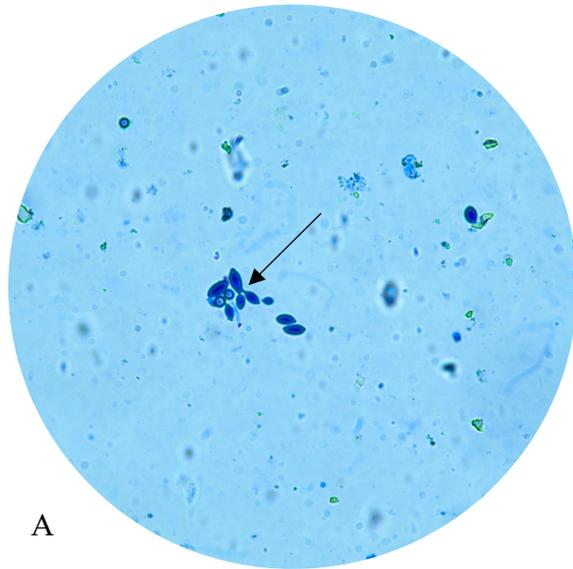
Soixante-six abricotiers de la variété Bergarouge, greffée sur pêcher Monclar® Chanturge et choisie pour sa forte sensibilité aux monilioses (Parveaud et al. 2016), ont été cultivés en pots de 72L dans un substrat horticole avec une fertilisation par apports de granulés (Basacote® Plus 6M 16-8-12+2MgO+OE, COMPO Expert GmbH, Münster, Allemagne) et une irrigation manuelle durant l'hiver et la période de l'expérimentation. Ces arbres ont été placés en chambre froide dès le début du mois de décembre dans des conditions permettant la satisfaction de leurs besoins en froid ($4\pm 2^\circ\text{C}$, alternance 8 heures de jour/16 heures de nuit). Onze séries de six arbres ont alors été constituées et transférées à intervalle régulier en tunnel pour échelonner la floraison (Figure 9 C). Les séries, présentant un état d'avancement homogène, ont alors été installées à différentes dates au verger expérimental (Figure 9 A et B) qui aura donc hébergé des abricotiers en pot dont la phénologie était comprise entre le stade bouton rouge (C), bouton blanc (D), pleine floraison (F) et chute des pétales (G). Les arbres ont été laissés au verger jusqu'à l'expression totale des symptômes sur rameaux (Figure 9 D).

1.2. Suivi phénologique des arbres et floribondité

Un suivi des stades phénologique trihebdomadaire a été réalisé depuis la date d'exposition des pots au verger jusqu'à la formation des fruits (stade I). Pour se rapprocher au plus de la répartition des stades phénologiques réelle, un comptage minutieux de chaque bouton floral a été effectué. Celui-ci a été rendu possible par la faible floribondité générale des arbres qui a également été évaluée durant l'expérimentation selon l'échelle du CTIFL allant de **0** - pas de fleurs à **9** - floraison très abondante (Annexe V). Ces comptages indiquent alors le pourcentage de chaque stade pour le jour de la notation. La répartition des stades phénologiques pour les journées sans notation a été calculée par interpolation linéaire.

1.3. Identification du pathogène

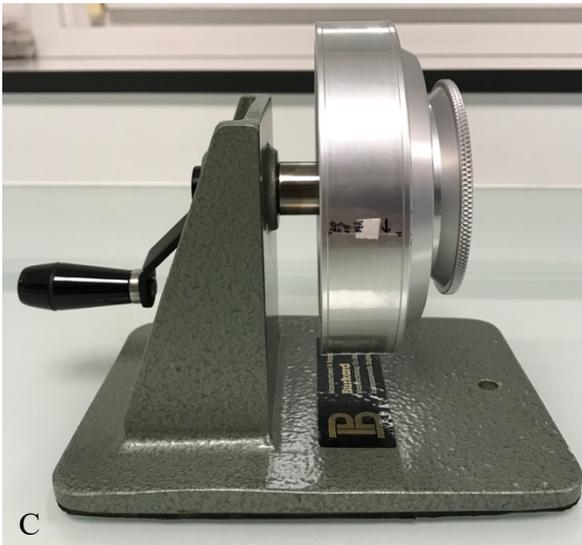
Pour déterminer l'agent pathogène responsable des dégâts observés sur les rameaux, deux prélèvements ont été réalisés pour chaque arbre. Les rameaux présentant une zone saine et une zone nécrosée ont été récoltés avec des outils nettoyés et désinfectés entre chaque prélèvement avant d'être transportés dans un sachet hermétique et d'être aussitôt traités. Préparés au laboratoire de pathologie végétale, les échantillons analysés consistaient en un prélèvement des tissus sous-jacents à l'écorce des rameaux prélevés au niveau de la zone de transition entre les nécroses et les



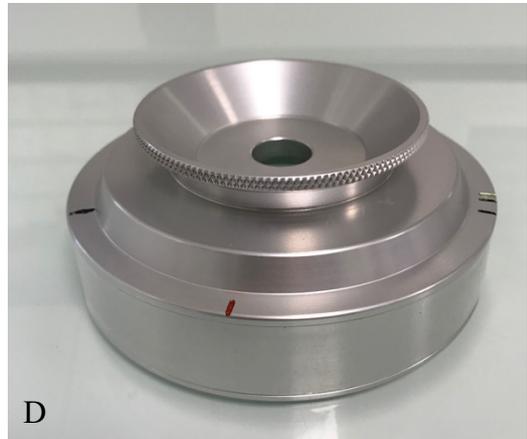
A



B



C



D

Figure 10 : Capteur aérien de spores Burkard installé dans le verger expérimental (B). Le tambour (C et D) supporte la bande où les particules en suspension se collent. Les conidies de *Monilinia sp.* sont comptées au microscope optique x20 (A).

parties saines. Ceux-ci ont été déposés dans des boîtes de pétri de 55mm de diamètre contenant 6mL de milieu PDA (Potato Dextrose Agar, Laboratorios Conda S.A., Madrid, Espagne) à 30gL⁻¹ stérilisé à l'autoclave et coulé sous un Poste de Sécurité Microbiologique. Les échantillons ont été cultivés à température ambiante (20±2°C) et à la lumière dans le laboratoire.

L'identification a été réalisée après 3 jours de culture selon les caractères morphologiques de la colonie mycélienne en suivant la clé synoptique de Lane (Lane 2002). Un suivi régulier des colonies a été assuré pour observer leur évolution et éventuellement ajuster l'identification. Des purifications par repiquage ont été réalisées pour confirmer l'identification dans certains cas ou la rendre possible si le milieu de culture avait été pollué par des bactéries ou d'autres mycètes.

1.4. Mesure de l'inoculum aérien

Afin de quantifier l'inoculum à l'échelle de la parcelle, un capteur aérien de spores (7 day recording volumetric spore trap, Burkard Manufacturing Co. Ltd., Rickamnsworth, Angleterre) a été installé dans le verger expérimental sur toute la période de l'expérimentation du 27 février au 23 avril 2019 (Figure 10 B). Réglé pour aspirer de manière continue 14,4m³ d'air par jour à 1m du sol, il comporte un tambour (Figure 10 D) dont la vitesse d'avancement est de 2mm.h⁻¹ et supportant une bande plastique de 345mm rendue adhésive par application de gomme arabique (Figure 10 C). Celle-ci a ensuite été découpée en 7 segments correspondant chacun à une journée pour être ensuite montés sur lame et colorés au bleu de méthyle lactique pour observation au microscope (Figure 10 A). Les spores alors colorées ont été comptées (grossissement 250) selon 5 lignes de lecture par journée permettant d'observer un quart de la largeur totale de la bande. L'inoculum aérien (spores.m⁻³ d'air) a alors été évalué de la manière suivante (Langendorf 2008) :

$$\text{Inoculum aérien} = \frac{\text{nombre de spores comptées par jour} \times 4}{14,4}$$

1.5. Évaluation des dégâts sur rameaux

Pour évaluer les dégâts sur rameaux, une première notation a été réalisée 4 à 7 semaines après la floraison selon les séries. Les rameaux à fleurs et les rameaux moniliés ont été dénombrés, et leurs longueurs totales ont été mesurées. L'incidence et la sévérité, deux indicateurs du niveau de dégât, ont donc pu être calculées de la manière suivante :

$$\text{Incidence} = \frac{\text{Nombre de rameaux moniliés}}{\text{Nombre de rameaux à fleurs}}$$

$$\text{Sévérité} = \frac{\text{Longueur totale des parties nécrosées}}{\text{Longueur totale des rameaux à fleurs}}$$

Une deuxième notation a été effectuée pour enregistrer les éventuels symptômes apparus plus tardivement. Pour chacun de ces rameaux, un prélèvement a été effectué et mis en culture afin de déterminer si les symptômes étaient bien ceux des monilioses. Seuls les rameaux positifs au *Monilinia* ont été pris en compte dans les calculs finaux.

Date	Precipitation [mm] somme	Leaf Wetness [min] moment	Air Temperature [°C] moyenne
2019-03-06 20:00:00	0	0	14,6
2019-03-06 21:00:00	0	0	14,6
2019-03-06 22:00:00	0	0	16,1
2019-03-06 23:00:00	0	0	16,1
2019-03-07 00:00:00	0,2	45	13,8
2019-03-07 01:00:00	0,4	40	14,8
2019-03-07 02:00:00	0,2	5	14,5
2019-03-07 03:00:00	7,8	60	8,4
2019-03-07 04:00:00	4	60	6,7
2019-03-07 05:00:00	0,8	60	7,3
2019-03-07 06:00:00	0	60	7
2019-03-07 07:00:00	0	60	7,2
2019-03-07 08:00:00	0	60	8,2
2019-03-07 09:00:00	0	60	10,1
2019-03-07 10:00:00	0	60	12
2019-03-07 11:00:00	0	0	14,3
2019-03-07 12:00:00	0	0	14,1
2019-03-07 13:00:00	0,4	25	13,5
2019-03-07 14:00:00	0	60	14,6
2019-03-07 15:00:00	0	15	15,9
2019-03-07 16:00:00	0	0	14,2
2019-03-07 17:00:00	0	0	13,7
2019-03-07 18:00:00	0	0	12,8
2019-03-07 19:00:00	0	0	10,6

Episodes pluvieux		
Date	Pluviométrie	Température
02.03.2019	0,4	11,03
07.03.2019	13,8	11,4
09.03.2019	0,2	8,33
10.03.2019	0,4	13,75
13.03.2019	1,6	7,81
15.03.2019	5	8,76
17.03.2019	0,6	7,16
03.04.2019	47,4	6,46
07.04.2019	7,6	7,9
16.04.2019	0,8	11,01

Figure 11 : Illustration d'un épisode pluvieux pris en compte dans le calcul des risques fleurs à partir des données météorologiques.



Figure 12 : Illustration de la création d'un méta organisme à partir des six pots d'une même série.

1.6. Données météorologiques

Une station météorologique mobile iMETOS IMT 200 (Pessl Instruments, Weiz, Autriche) a été installée sur un rang de plantation au centre de la parcelle à hauteur de frondaison (180 cm de hauteur). Elle est équipée de différentes sondes et capteurs mesurant à intervalle de 5mn la pluviométrie (seuils de 0,2mm), la température (°C), l'hygrométrie (%) et l'humectation foliaire (min). La mesure de l'humectation foliaire est ici basée sur la conductivité électrique d'un papier buvard maintenu entre deux électrodes. La fiabilité des données acquises durant l'expérimentation a été vérifiée avec la station météorologique fixe de l'INRA basée à 700 mètres du verger.

Chaque épisode pluvieux a été recensé pour le calcul des risques. Débutant dès les premières minutes d'humectation avant l'enregistrement d'une pluie, ils sont séparés par quatre heures de non humectation, période supposée au-delà de laquelle le pathogène ne peut continuer son développement (Dulais 2014). La température moyenne a été calculée sur la totalité de l'épisode pluvieux, et les pluies ont été cumulées (Figure 11).

1.7. Calcul des risques

Les risques pondérés par la répartition des stades phénologiques au moment de la pluie ont été calculés avec le modèle Tresson pour chaque épisode pluvieux puis cumulés sur la période d'exposition des pots. Ainsi, chaque pot présente un risque unique reflétant la totalité des risques auxquels il a été confronté durant sa période d'exposition au verger.

1.8. Analyses conduites

Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel R Studio version 1.1.456 (R Core Team 2018). L'analyse a été basée sur des tests de corrélation suivant la méthode de Pearson, et sur des régressions linéaires simples. La normalité et l'homoscedasticité des résidus ont été vérifiées graphiquement puis, respectivement, grâce aux tests de Shapiro et Wilk (H_0 : les échantillons sont issus d'une population normalement distribuée) et de Harrison Mc Cabe (H_0 : les résidus suivent des lois normales de même variance) avec un seuil de significativité de 0,05.

2. Résultats et discussion

Au vu de la faible floribondité, du faible nombre de rameaux à fleurs (Cf. paragraphe 2.1.) et pour ne pas déséquilibrer les notes de dégâts des arbres en pots en cas de mauvais diagnostic des symptômes, les six pots de chaque série ont été agrégés. Un méta organisme (Figure 12), identifié par le numéro de la série auxquels les pots le constituant appartiennent, a donc été virtuellement créé en ajoutant les données de chaque pot (nombre de fleurs de chaque stade pour le calcul des pourcentages de la réparation des stades phénologiques ; nombre de rameaux à fleurs). Les résultats seront donc présentés par série de six arbres. De plus, l'arbre 31 de la série 5 a été retiré des analyses car il ne portait aucune fleur.

2.1. Floribondité

Globalement très faibles, les notes de floribondité de chaque pot du dispositif étaient comprises entre 0 (aucune ou très peu de fleurs) et 2 (Figure 13). La série 11 n'a pas été notée, mais les notes de floribondité de ces arbres étaient visiblement semblables à celles des autres séries. Par ailleurs, le nombre de rameaux à fleurs par arbre était également faible, avec une moyenne de 22 rameaux par pot. Ce faible retour à fleur serait dû aux conditions climatiques automnales chaudes et sèches, ayant entraîné des nécroses de bourgeons.

2.2. Identification du pathogène

Avec un taux de réussite de 85%, la mise en culture des prélèvements de rameaux moniliés a permis de mettre en évidence que seule l'espèce *Monilinia laxa* est responsable des monilioses sur

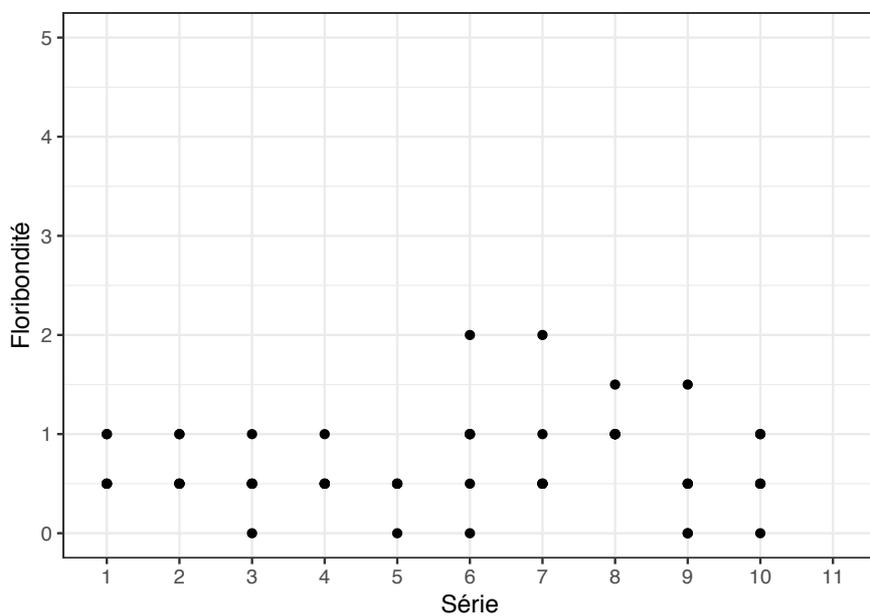


Figure 13 : Répartition de la note de floribondité des pots selon les séries.

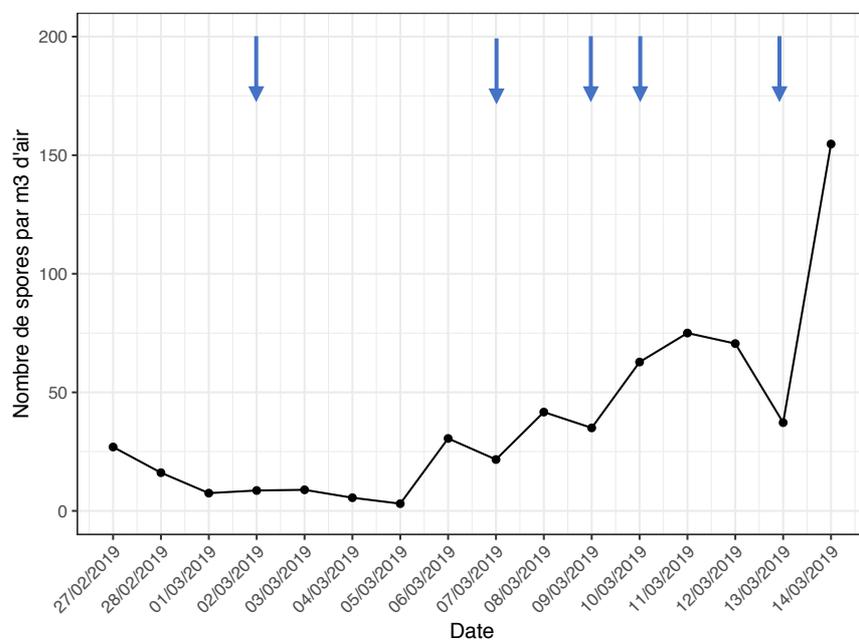


Figure 14 : Évolution du nombre de spore par m³ d'air aspiré par le Burkard au cours du temps. Les flèches indiquent les épisodes pluvieux.

rameaux dans cette expérimentation. En effet, sur un total de 87 prélèvements, cette espèce a été identifiée sur 74 échantillons. Seuls 13 isollements n'ont pas permis d'identifier l'agent pathogène en raison de la prolifération d'autres mycètes sur le milieu de culture non sélectif (*Botrytis*, *Rhizopus*...). Ces résultats placent cette expérimentation dans le cadre de validité du modèle Tamm qui prédit un risque de contamination des fleurs par *M. laxa*, et du modèle Tresson paramétré sur un jeu de données où *M. laxa* était l'espèce responsable de la quasi-totalité des contaminations.

2.3. Inoculum aérien

L'inoculum mesuré par le capteur aérien de spores est variable au cours du temps (Figure 14). Celui-ci n'a pu être mesuré que sur une période allant du 27 février au 14 mars 2019 par faute de temps disponible pour ces lectures chronophages. Il est compris entre 3 et 154 spores/m³ d'air et par jour. Ces résultats semblent concorder avec les niveaux d'inoculum sur la même parcelle pour les années 2017 et 2018, lors desquelles les expérimentations ayant servi à la calibration du modèle ont été conduites. La pression de *Monilinia* ne serait donc pas anormalement faible ou élevée. Des pics d'émission de conidies sont observables. Les résultats semblent concorder avec des études menées au cours des dernières années, selon lesquels la production ou la libération de spores est dépendante de l'humidité ou de la température (Michailides et al. 2007; Tamm, Flückiger 1993). Les travaux de Dam ont pu montrer la relation significative (avec un R² faible de 0,15) entre les précipitations et la concentration aérienne de spores de *Monilinia* (Dam 2017).

2.4. Niveaux de risque et de dégâts

Ayant pour but de décaler les stades phénologiques des arbres en pot pour constituer une gamme la plus vaste possible de niveaux de risques de contamination des fleurs, cette expérimentation a résulté en deux catégories de risque : des risques faibles compris entre 0 et 0,25 ainsi que des risques plus importants, compris entre 0,75 et 1. Dépendante des conditions climatiques, cette expérimentation en conditions semi-contrôlées n'a pas permis de réunir les conditions nécessaires à l'élaboration de risques intermédiaires (entre 0,25 et 0,75) ou très forts (supérieurs à 1). (Figures 15 et 16). Compris entre 0,004 et 0,20 pour l'incidence et 0,01 et 0,13 pour la sévérité, les valeurs de dégâts mesurés ne semblent pas présenter de rupture dans leur répartition (Figures 15 et 16) et sont globalement plus faibles que ceux observés en verger pouvant dépasser 0,80 (Parveaud et al. 2016).

2.5. Corrélation risques fleurs – dégâts rameaux

Le coefficient de corrélation de Pearson montre une liaison très forte entre les niveaux de dégâts observés et les risques calculés, avec une valeur de 0,93 pour l'incidence et 0,95 pour la sévérité des monilioses sur rameaux. La probabilité critique inférieure à 0,05 indique par ailleurs la significativité de la liaison. Si la corrélation ne signifie pas un lien de conséquence, nous pouvons néanmoins affirmer qu'en indiquant des niveaux de risques de contaminations sur fleurs, le modèle donne une indication fiable des niveaux de dégâts sur les rameaux : lorsque les risques sont faibles (<0,25) les niveaux de dégât sont bas (<0,05 pour la sévérité et <0,10 pour l'incidence). A l'inverse, lorsque les risques sont élevés (>0,75), les niveaux de dégât sont plus importants (>0,075 pour la sévérité et >0,15 pour l'incidence).

2.6. Droites de régression risques fleurs – dégâts rameaux

La p-value inférieure à 0,05 associée à la statistique F de Fisher nous permet de rejeter l'hypothèse H₀ : b₁ = 0 et d'affirmer qu'il existe une liaison significative entre l'incidence des monilioses et le risque calculé ainsi qu'entre la sévérité et ce même risque. Pour chacun des deux indicateurs du niveau de dégâts, la valeur du R² est élevée, ce qui corrobore l'intuition de la relation linéaire entre les variables testées. En d'autres termes, 87% de la variabilité de l'incidence et 90% de celle de la sévérité est expliquée par le risque calculé. Les hypothèses de normalité et d'homoscedasticité des résidus n'ont pas été rejetées (Annexe VI).

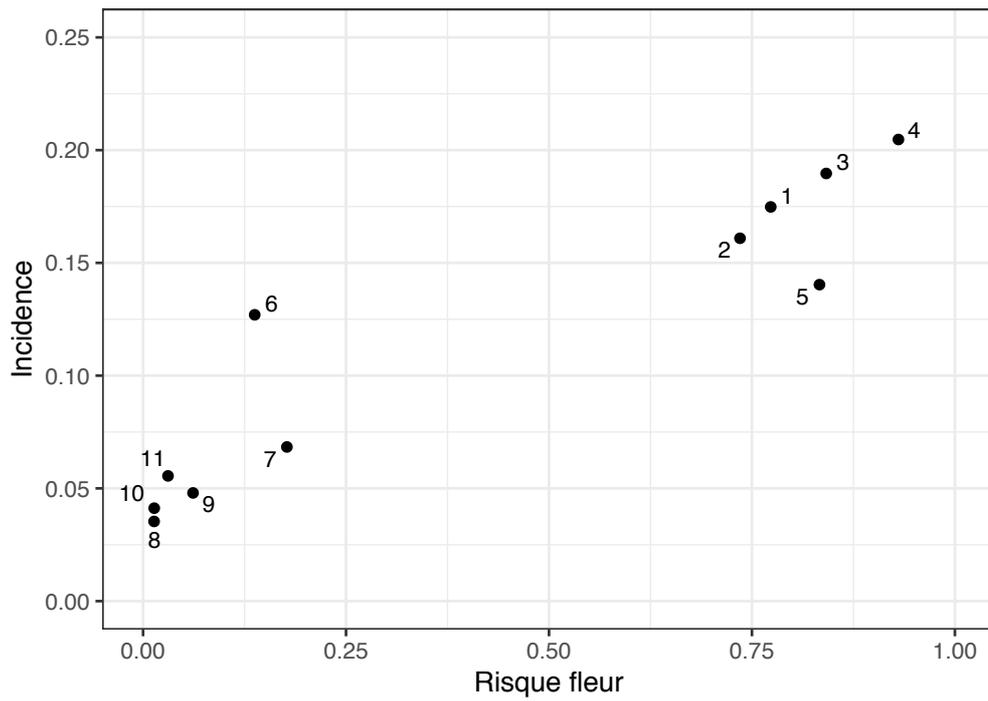


Figure 15 : Incidence observée des monilioses sur rameaux en fonction du risque fleurs calculé pour chaque série.

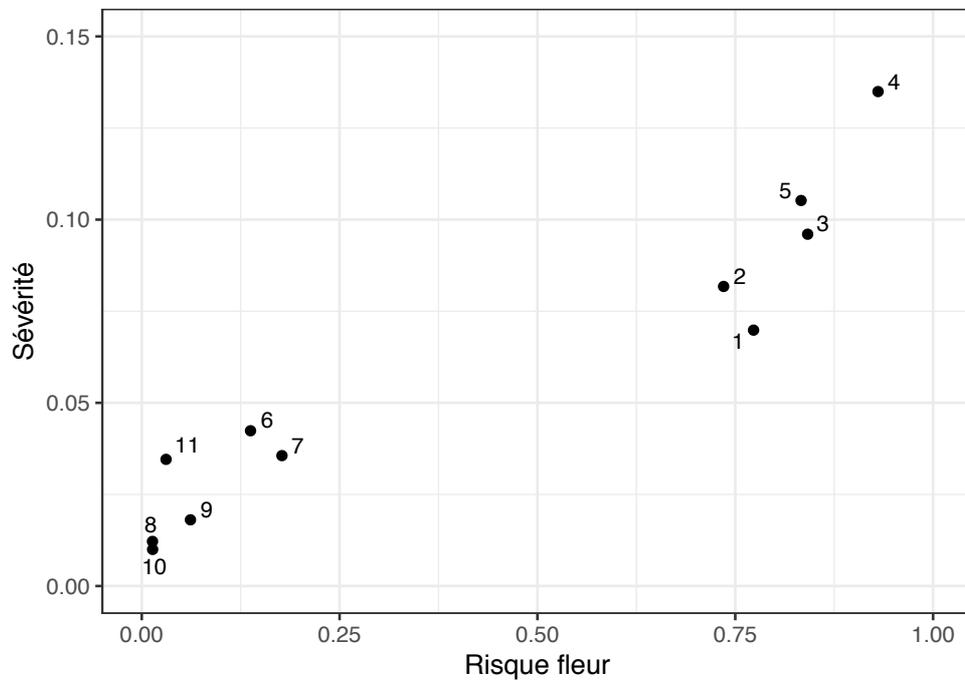


Figure 16 : Sévérité observée des monilioses sur rameaux en fonction du risque fleurs calculé pour chaque série.

3. Conclusion et perspectives

Ces résultats confirment la pertinence de l'utilisation du modèle de contamination des fleurs pour donner une indication des niveaux de dégâts sur les rameaux. Ils sont encourageant pour le développement d'un Outil d'Aide à la Décision car ils mettent en avant deux catégories de niveaux de risques conduisant à des gammes de niveaux de dégâts, qui permettraient à terme d'établir des seuils de décision de traitement, en fixant par exemple une tolérance de sévérité de 5% ou d'incidence de 10%, correspondant à un risque inférieur ou égal à 0,25. Les variétés d'abricotiers ayant servies à la calibration du modèle et à la validation de sa relation en 2019 sont identiques : c'est Bergarouge qui a été utilisée dans les deux cas en raison de sa sensibilité aux monilioses. Les expérimentations sont similaires, bien que celle menée en 2019 soit la première à s'intéresser aux dégâts sur les rameaux. Celles de 2017 et 2018 se concentraient en effet sur les infections des fleurs après 24 à 48 heures d'exposition au verger. Il sera donc nécessaire de tester le modèle dans des conditions différentes de celles des expérimentations arbre en pot et se rapprochant davantage des conditions de production usuelles en région Auvergne-Rhône-Alpes. Les suivis de réseaux de parcelles permettent l'acquisition d'un nombre important de données et sont capables de représenter la diversité des modes de conduite des vergers d'abricotiers d'une région.

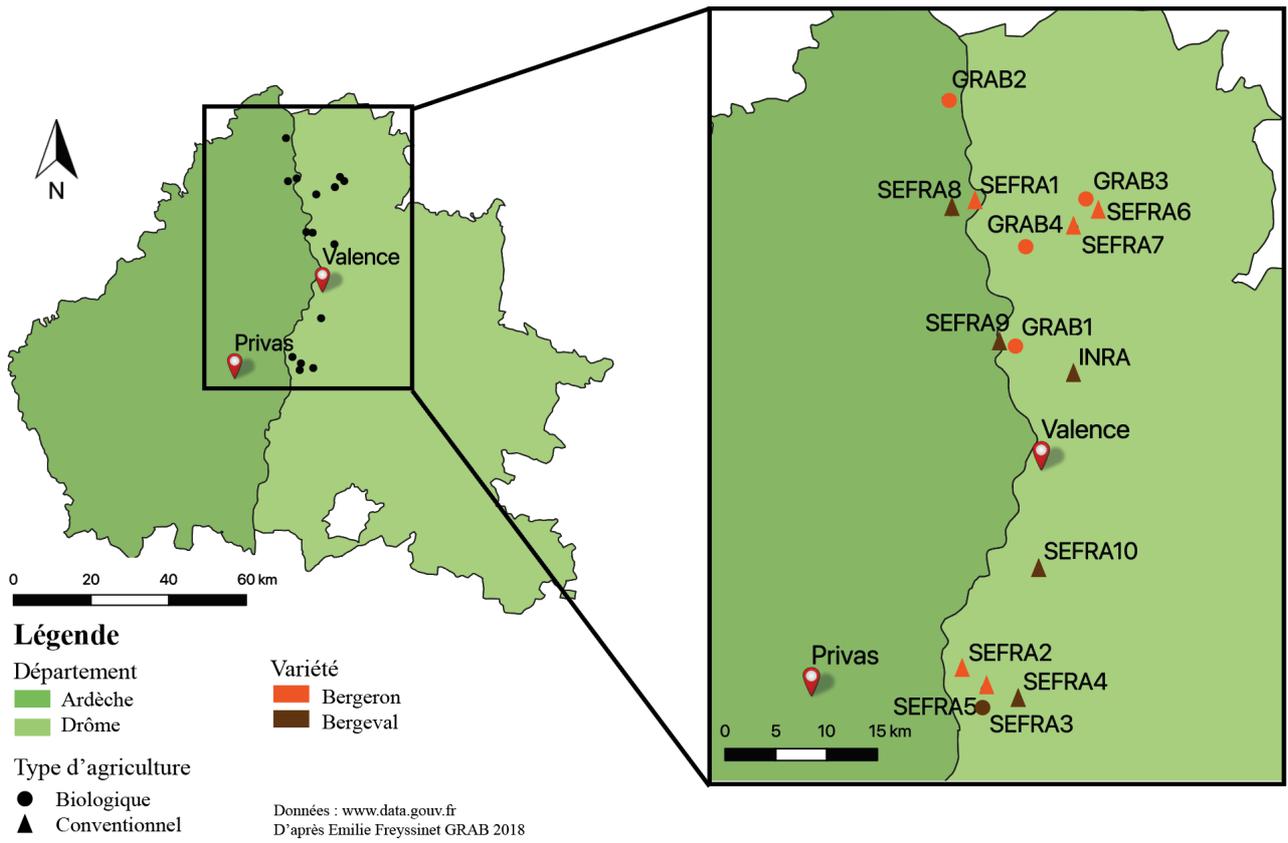


Figure 17 : Carte du réseau de parcelles.

PARTIE 2 – VALIDATION DE LA RELATION RISQUE FLEURS TRESSON – DEGATS RAMEAUX EN VERGER COMMERCIAL. IDENTIFICATION DES FACTEURS AUTRES QUE CLIMATIQUES FAVORISANT LE DEVELOPPEMENT DES MONILIOSES SUR RAMEAUX D’ABRICOTIERS.

Durant trois des quatre années du projet ClimArbo, un réseau de quinze parcelles d’abricotiers a été constitué : les conditions météorologiques, la répartition des stades phénologiques des arbres, les dégâts dus aux monilioses ainsi que les niveaux d’inoculum en sortie d’hiver (momies) ont été suivis. En 2017 et 2018, l’étude du réseau de parcelles s’est concentrée sur la détermination de l’influence des conditions météorologiques lors de la floraison, du niveau d’inoculum et de la floribondité sur les dégâts rameaux. En 2019, il s’agira d’exploiter pour la première fois les données des trois années de notation pour valider la relation risque fleurs Tresson – dégâts rameaux en verger commercial et identifier les facteurs autres que climatiques pouvant influencer le développement des monilioses en observant les écarts au modèle. De plus, des hypothèses pourront être testées en observant le comportement du modèle dans le but de proposer des pistes d’amélioration de l’outil de pilotage de la protection contre les monilioses qui est en construction.

1. Matériel et méthodes

1.1. Description du réseau de parcelles

Le réseau est constitué de quinze parcelles situées dans les départements de l’Ardèche et de la Drôme (Figure 17). Cinq vergers dont la production est commercialisée sous le label AB sont suivies par le GRAB et la SEFRA (SEFRA5). Les dix autres parcelles sont suivies par la SEFRA et l’INRA, dont la parcelle est celle ayant hébergé l’expérimentation arbres en pot. Les variétés Bergeron et Bergeval cultivées au sein de ce réseau sont régionales et de génétique proche (Jacquot et al. 2018). Si la variété Bergeron est une variété sensible aux monilioses (Parveaud et al. 2016), Bergeval le serait légèrement plus (Dam 2017). Dans chaque verger, dix arbres identifiés avec le producteur ont été exclus des programmes de traitements ciblés sur *Monilinia sp.* à toutes les étapes de la production : protection contre les contaminations primaires à la floraison et conservation sur les fruits. Chaque parcelle est unique par son implantation, son âge et les choix agronomiques du producteur.

1.2. Suivi phénologique des dix arbres et floribondité

Un suivi trihebdomadaire des stades phénologiques des dix arbres a été réalisé sur une période allant du stade C au stade G. Les pourcentages de répartition des différents stades phénologiques ont été notés visuellement puis une moyenne pour la parcelle et pour la date de notation a été calculée pour les rameaux courts (<30cm) ainsi que les rameaux longs (>30cm). La répartition des stades entre les dates de notation a été déterminée par interpolation linéaire. Une note de floribondité a été attribuée selon l’échelle précédemment présentée (Cf. partie I paragraphe 1.2.) à chaque arbre pour ensuite calculer la floribondité moyenne de la parcelle.

1.3. Identification du pathogène

Pour déterminer l’agent pathogène responsable des dégâts observés sur les rameaux, des prélèvements de fleurs et de rameaux symptomatiques ont été réalisés. Au total et si possible, 32 fleurs symptomatiques ont été récoltées et déposées individuellement dans un sachet hermétique avec une pince nettoyée et désinfectée à l’alcool à 70° entre chaque prélèvement. Chaque fleur a ensuite été déposée dans une boîte de Pétri contenant un milieu PDA identique à celui utilisé pour les mises en culture de rameaux (Figure 18). Dès l’apparition des premiers symptômes et au minimum quatre semaines après la floraison, 10 rameaux symptomatiques ont été prélevés et isolés



Figure 18 : Dépôt d'une fleur moniliée sur milieu PDA stérile dans le cône de stérilité de la flamme.



Figure 19 : Station météo iMETOS et ses capteurs de température, de pluviométrie et d'humectation foliaire.

sur milieu PDA. Les mises en culture des rameaux, la préparation du milieu de culture et l'identification des espèces de *Monilinia* suivent la méthode décrite dans le matériel et méthodes de la partie I (Cf. paragraphe 1.3.). Le délai entre les prélèvements et les isolements était compris entre quelques heures et une journée. Les échantillons ont été entreposés à 5°C en attendant d'être mis en culture. Grâce au calcul du pourcentage de *M. laxa* et de *M. fructicola* sur fleurs et rameaux, les parcelles ont alors été caractérisées pour les analyses par l'espèce dominante de *Monilinia* sur chacun des organes étudiés ainsi que par la présence ou l'absence de *M. fructicola*. Cette espèce est en effet minoritaire dans les vergers français d'abricotiers et n'a pas été prise en compte dans la calibration du modèle, sa présence sur fleurs et rameaux constitue donc une situation atypique.

1.4. Évaluation des dégâts sur rameaux

Au même titre que pour l'expérimentation arbres en pot, deux indicateurs des niveaux de dégâts ont été choisis : l'incidence et la sévérité. La sévérité a été évaluée visuellement comme le pourcentage de linéaire de rameaux desséchés par rapport au linéaire total de rameaux à fleurs pour chacun des dix arbres pour calculer une note moyenne pour la parcelle. L'incidence a été calculée grâce à l'observation de 5 charpentières réparties sur les dix arbres non-traités. Chaque charpentièrè a été identifiée et les rameaux courts et longs ont été dénombrés au moment de la floraison. Les rameaux secs de l'année précédente ont été méticuleusement enlevés pour ne pas fausser les calculs. Quatre semaines après la floraison, les rameaux courts et longs moniliés ont été recensés. Ainsi, l'incidence des monilioses pour chacun des deux types de rameaux sur chaque charpentièrè a pu être calculée de la manière suivante :

$$Incidence_{charpentièrè} = \frac{\text{Nombre de rameaux moniliés par charpentièrè}}{\text{Nombre de rameaux à fleurs par charpentièrè}}$$

La note d'incidence de la parcelle qui a été retenue pour les analyses est la moyenne des cinq notes d'incidence correspondant aux cinq charpentièrès observées.

1.5. Mesure de l'inoculum présent à la parcelle

Le nombre de fruits momifiés issus de l'année précédente a été compté sur chacun des dix arbres afin de donner une estimation du potentiel d'inoculum de la parcelle. Les momies des vergers ont été retirées avant le début de la floraison en guise de mesure prophylactique commune. Les niveaux de dégâts des années précédentes sont renseignés par la note d'incidence moyenne de chaque parcelle (Cf. paragraphe 1.4.), sauf pour l'année 2017 où les producteurs ont renseigné qualitativement les dégâts dus aux monilioses sur rameaux en 2016.

1.6. Données météorologiques

Chaque parcelle du réseau est équipée d'une station météorologique identique à celle présentée dans la partie I (Cf. paragraphe 1.6.) (Figure 19). Les pluviomètres ont été calibrés au début du projet. Les capteurs d'humectation foliaire (buvards) ont été régulièrement contrôlés pour vérifier leur intégrité. Les épisodes pluvieux ont été recensés selon la méthode présentée précédemment.

1.7. Calcul des risques

Les risques pondérés pour chaque parcelle ont été calculés avec le modèle Tresson et la répartition moyenne des stades phénologiques de la parcelle au moment de l'épisode pluvieux. Ces risques ont été cumulés sur la période de sensibilité des arbres, du 28 février et 23 mars 2019.

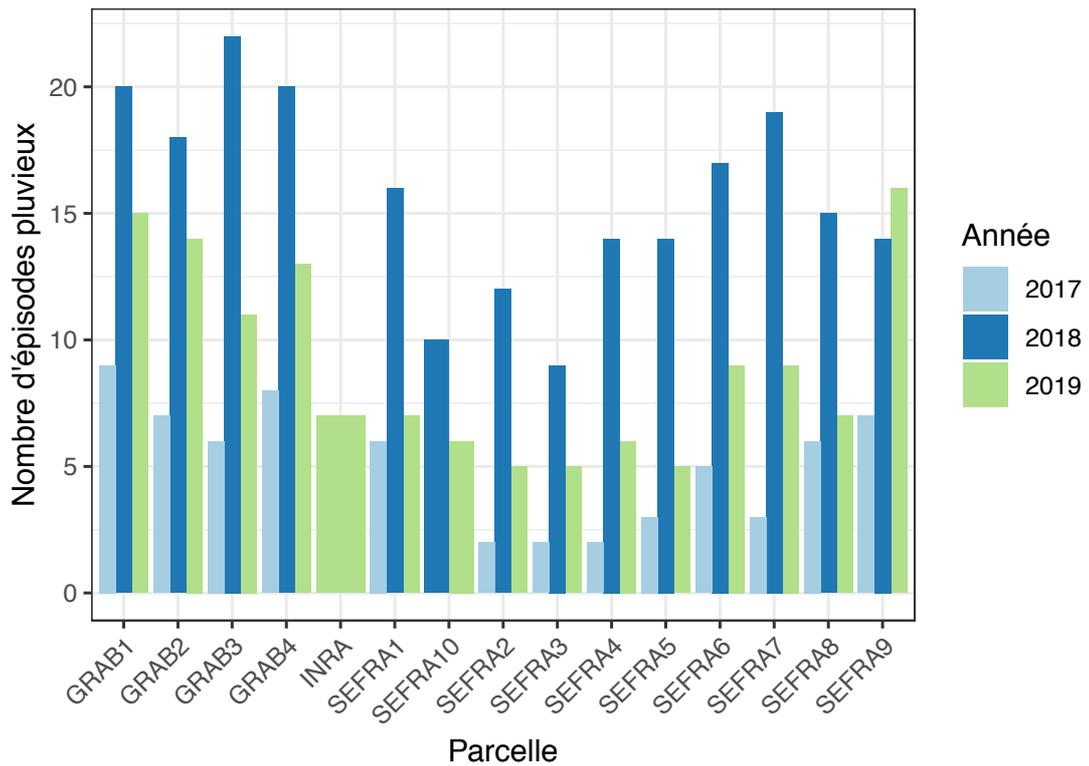


Figure 20 : Nombre d'épisodes pluvieux par parcelle et par an.

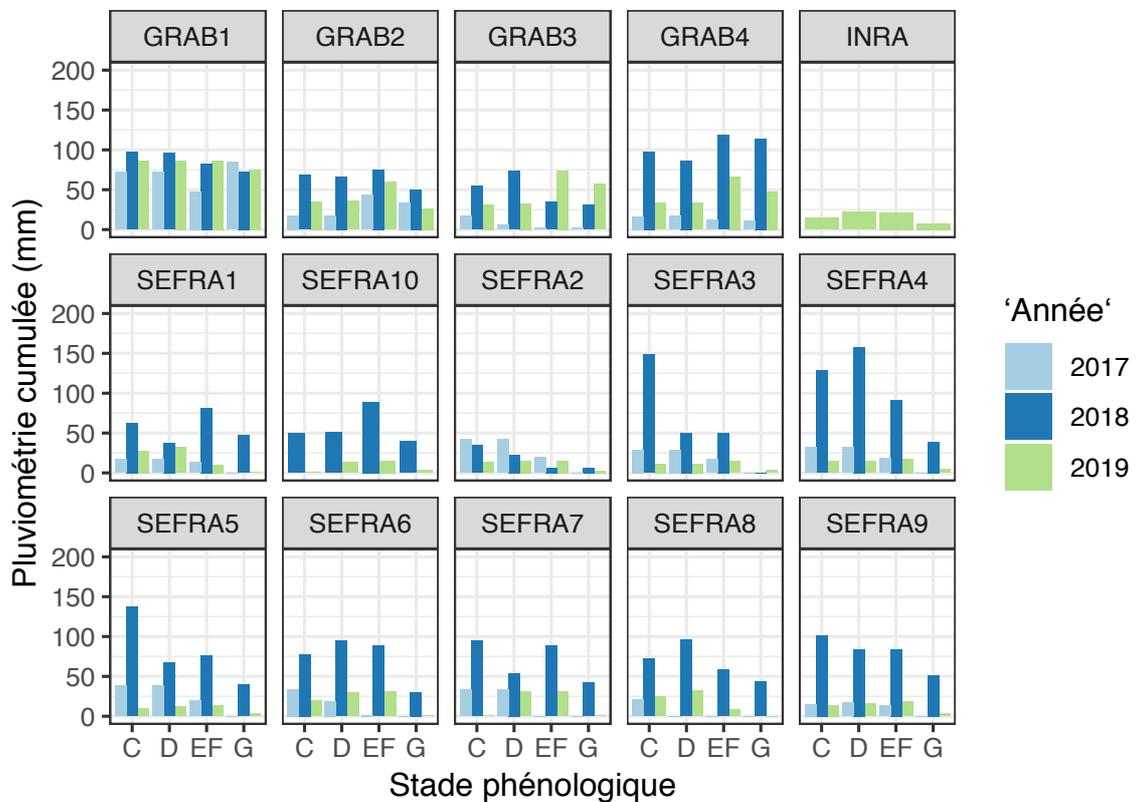


Figure 21 : Répartition des pluies selon les stades phénologiques pour chaque parcelle et chaque année.

1.8. Analyses conduites

L'analyse basée sur les tests de corrélation et des régressions linéaires simples a suivi les mêmes procédures que pour la partie 1 (Cf. paragraphe 1.8.). D'autres analyses ont été menées pour tester les hypothèses comme des analyses de la variance (ANOVA) et des analyses graphiques.

2. Résultats et discussion

Les résultats présentés ci-dessous concernent l'analyse des parcelles à l'exclusion des vergers INRA_2017 et INRA_2018 dont les notations irrégulières de stades phénologiques ne permettaient pas de calculer de manière suffisamment précise les niveaux de risques. Ayant subi un traitement antifongique, la parcelle SEFRA10_2017 a également été retirée des analyses. La parcelle SEFRA3 a changé de localisation en 2018 et n'a donc pas été prise en compte dans le calcul des niveaux d'inoculum de l'année précédente.

2.1. Diversité des conditions climatiques

Les trois années d'observations et de notations du réseau de parcelles ont permis de constituer un jeu de données intéressant pour étudier le comportement du modèle en vergers commerciaux. Ces trois années ont été différentes du point de vue des conditions météorologiques, dont plusieurs variables ont été résumées (Annexe VII). Le nombre moyen d'épisodes pluvieux en 2017, 2018 et 2019 donne une indication de cette variabilité, avec respectivement 6, 16 et 9 épisodes distincts en moyenne par parcelle étudiée (Figure 20). Le minimum de pluviométrie cumulée sur la période de notation a été enregistré pour la parcelle SEFRA5_2019 avec 13mm et le maximum a été atteint pour la parcelle SEFRA5_2018 avec 174,4mm. Les températures moyennes minimum et maximum des épisodes pluvieux étaient de 6,67°C (GRAB3_2017) et 10,46°C (SEFRA10_2018), avec un minimum et un maximum s'échelonnant respectivement de 0,07°C (SEFRA1_2019) à 7,76°C (SEFRA3_2019) et de 7,44°C (SEFRA4_2017) à 15,86°C (SEFRA4_2018) selon les parcelles.

La figure 21 témoigne de la répartition variable des pluies sur chaque stade phénologique de la floraison (C, D, E, F, G). Celle-ci induira donc des niveaux de risques différents selon les parcelles et les années, permettant de tester le modèle dans différentes situations et ainsi permettre une analyse pertinente des facteurs autres que climatiques influençant le développement des monilioses sur rameaux d'abricotiers.

2.2. Niveaux de risques et de dégâts

Les trois années ont permis d'échelonner les risques pondérés et cumulés pour chaque parcelle et pour les rameaux courts de 0,000 (SEFRA8_2017, SEFRA6_2017 et GRAB3_2017) à 1,671 (SEFRA6_2018). Les risques associés aux rameaux longs étaient répartis entre 0,000 et 1,299. Une analyse de la variance a pu montrer un effet de l'année sur le niveau de risque pour les rameaux longs et les rameaux courts (Annexe VIII), ce qui est en accord avec notre intuition sur la diversité des conditions climatiques (Cf. paragraphe 1.1). Les niveaux de dégâts observés pour les rameaux courts varient de 0,000 (SEFRA3_2018, SEFRA3_2019, SEFRA6_2017, SEFRA8_2017, SEFRA9_2017 et SEFRA9_2019) à 0,369 (SEFRA6_2019). Pour les rameaux longs, ceux-ci étaient répartis entre 0,000 et 0,487. L'année n'a en revanche aucun effet significatif sur les niveaux de dégâts dans les deux cas (Annexe VIII). La représentation graphique des nuages de points nous permet d'affirmer qu'il n'y a pas de rupture dans la répartition des risques et des dégâts (Figure 22).

2.3. Floribondité

La note de floribondité des parcelles en 2017, 2018 et 2019 variait respectivement entre 1,5 et 3 ; 0,65 et 3 ainsi que 1,5 et 3. Globalement faibles et homogènes, ces notes correspondent néanmoins aux gammes de floribondité des arbres utilisés pour la calibration du modèle. Celui-ci ne pourra pas être testé dans des gammes de floribondité importantes (4-5) bien qu'il serait intéressant

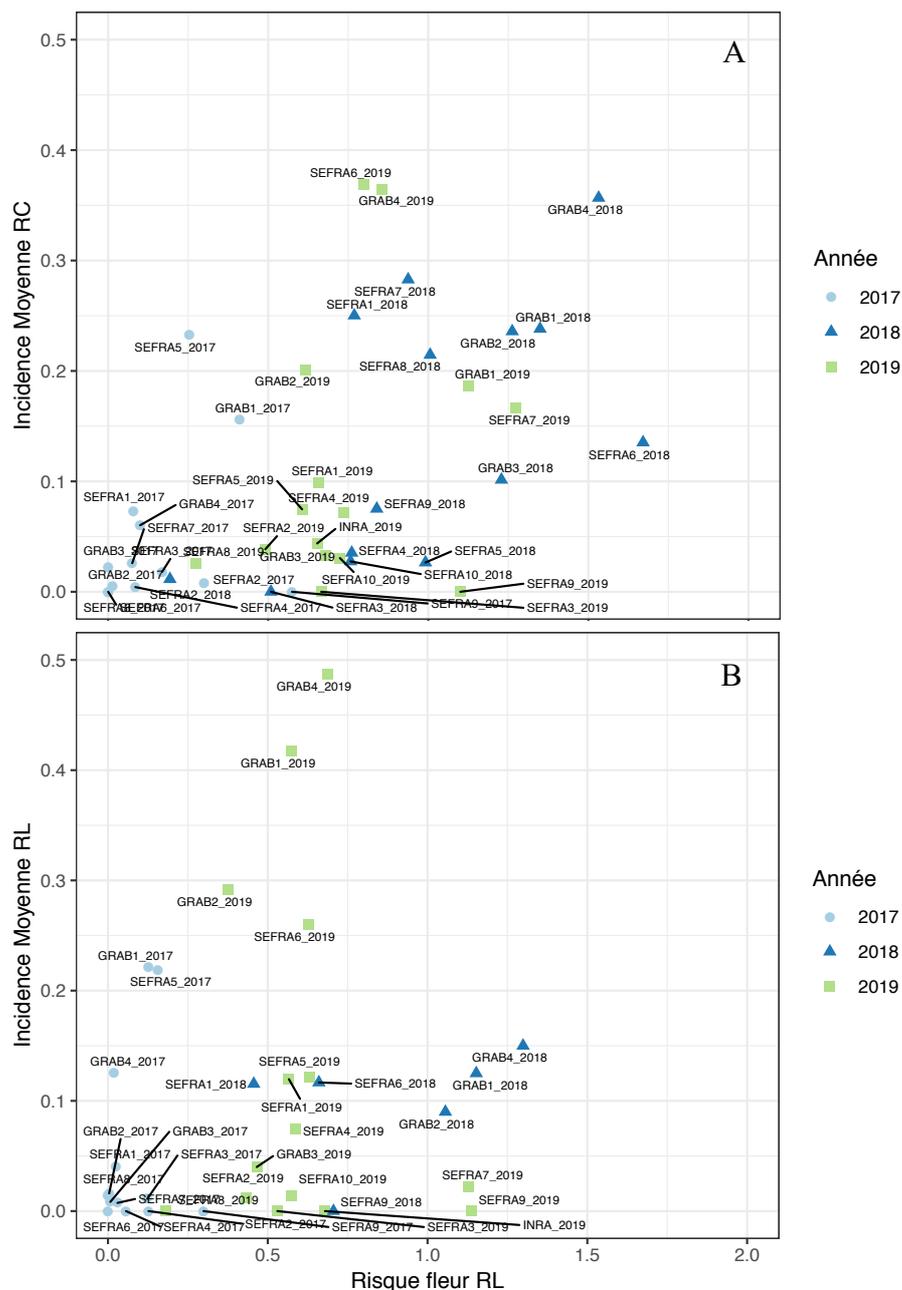


Figure 22 : Répartition des dégâts observés (incidence) sur les rameaux courts (A) et longs (B) en fonction des risques fleurs calculés

Tableau 2 : Tables de régressions linéaires simple et de corrélations de Pearson

Régression linéaire simple		F-statistic	df	p-value	R ²
Incidence moyenne RC	~ Risque fleur RC	16,45	1, 40	2,25.e-04	0,29
Incidence moyenne RL	~ Risque fleur RL	1,247	1, 32	0,272	0,04
Test de corrélation de Pearson		t	df	p-value	cor
Incidence moyenne RC	~ Risque fleur RC	4,055	40	2,25.e-04	0,540
Incidence moyenne RL	~ Risque fleur RL	1,117	32	0,272	0,194

d'observer le comportement de la relation risque fleur – dégâts rameaux pour des valeurs hautes de floribondité. En effet, les rameaux des arbres très floribonds sont couverts de fleurs (« manchons ») qui constituent autant de portes d'entrée supplémentaires pour le pathogène.

2.4. Identification des agents pathogènes

Le pourcentage de réussite d'identification de *Monilinia* est fortement variable selon l'organe mis en culture : dans 37% des cas pour les fleurs et 11% des cas pour les rameaux, d'autres mycètes tels que *Botrytis* ou *Rhizopus* ont colonisé le milieu PDA. Les fleurs sont en effet directement déposées dans la boîte de Pétri contenant le milieu de culture non sélectif. Toute la flore fongique et bactérienne se trouvant sur la surface des organes floraux peut alors s'exprimer. Dans le cas des rameaux, le prélèvement des tissus sous-jacents à l'écorce permet de réduire le prélèvement d'autres organismes fongiques de surface, garantissant ainsi un meilleur taux de succès des isollements. La présence de *M. fructicola* a été identifiée sur les fleurs et les rameaux avec respectivement 12 et 8 parcelles. Dans 40% des parcelles seulement, la présence de cette espèce a été relevée sur les deux organes mis en culture (SEFRA1_2017, SEFRA1_2018, SEFRA2_2017, SEFRA5_2018, SEFRA9_2019). La dominance de *M. fructicola* sur *M. laxa* pour les prélèvements sur fleurs et sur rameaux a été identifiée respectivement pour 4 et 2 parcelles, avec seulement deux vergers où la dominance de *M. fructicola* a été relevée dans les deux cas (SEFRA1_2017 et SEFRA2_2019) (Annexe IX). Les résultats d'isollements semblent montrer que *M. fructicola* est majoritaire sur rameaux si l'espèce l'était sur fleurs. Au regard de la méthode d'échantillonnage, aucune conclusion ne peut être avancée quant à l'éventuelle lien de conséquence entre la présence d'une espèce sur fleurs et celle responsable des dégâts sur les rameaux.

2.5. Comportement du modèle en réseau de parcelles

2.5.1. Corrélations risques fleurs – dégâts rameaux

Le test de corrélation de Pearson pour les risques calculés et les niveaux de dégâts associés aux rameaux courts indique un coefficient de corrélation de 0,54. La probabilité critique inférieure à 0,05 indique la significativité de la liaison (Tableau 2). Ce test permet d'avancer que les dégâts sont liés significativement aux niveaux de risques calculés pour ces rameaux. En revanche, il n'y a pas de corrélation entre ces deux variables pour les rameaux longs. Le test de corrélation atteste de la capacité du modèle à indiquer des niveaux de risques qui soient cohérents avec les niveaux de dégâts observés pour les rameaux courts. L'absence de corrélation pour les rameaux longs pourrait être expliquée par la difficulté d'estimation de la répartition de leurs stades phénologiques, conduisant à un calcul faux des risques de contamination des fleurs. Ces rameaux, dont la floraison est plus étalée, sont en effet bien moins nombreux que les rameaux courts sur les abricotiers. Les erreurs d'appréciation de la répartition des stades sont donc amplifiées.

2.5.2. Droites de régression risques fleurs – dégâts rameaux

La p-value inférieure à 0,05 associée à la statistique F de Fisher nous permet de rejeter l'hypothèse $H_0 : b_1 = 0$ et d'affirmer qu'il existe une liaison significative entre l'incidence moyenne des monilioses sur rameaux courts et le risque calculé pour ces rameaux. La valeur du R^2 nous permet d'avancer l'existence d'une relation linéaire entre ces deux variables. 29% de la variabilité de l'incidence moyenne de la parcelle est expliquée par le risque calculé. L'hypothèse d'homoscédasticité des résidus n'a pas été rejetée pour les deux régressions. En revanche, l'hypothèse de normalité a été rejetée bien que l'analyse graphique ne remette pas en cause la distribution normale des résidus.

2.6. Parcelles atypiques

Trois parcelles ont présenté pour les trois années et quel que soit le niveau de risque des dégâts relativement faibles : SEFRA3, SEFRA9 et SEFRA10 (Figure 23). Elles soulèvent la question de l'effective absence de traitements de ces arbres, qui peuvent avoir été traités au même titre que le

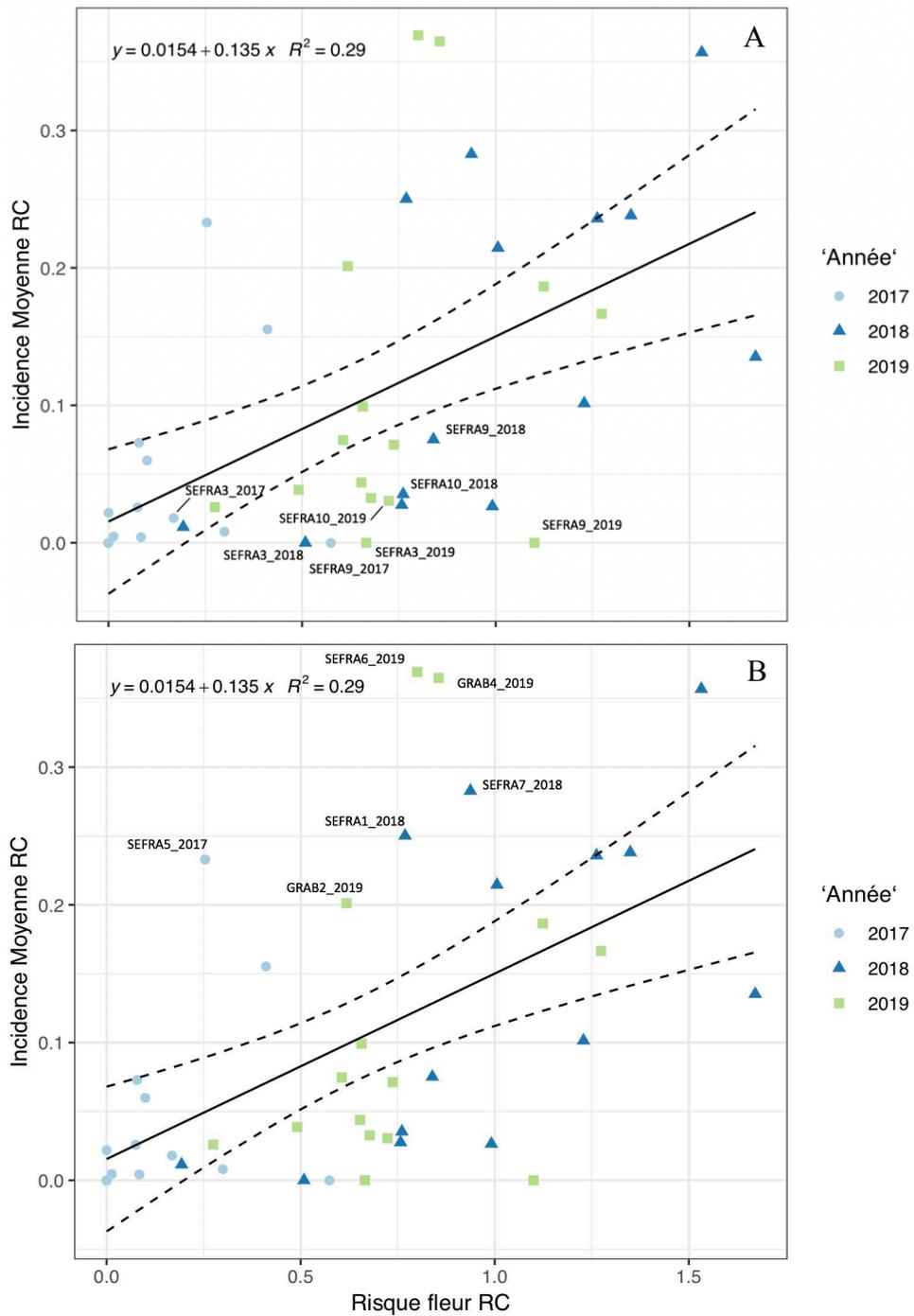


Figure 23 : Identification des parcelles atypiques pour lesquelles les niveaux de dégâts sont bas quel que soit le risque fleur (A) et anormalement élevés (B).

Tableau 3 : Table de corrélation et de régression linéaire simple pour différentes pondérations des risques

	Corrélation de Pearson		Régression linéaire simple	
	p-value	cor	p-value	R ²
Incidence ~ Risque Tresson	2,25e-04	0,54	2,25e-04	0,29
Incidence ~ Risque [0,25*D+(E+F)+0,25*G]	1,191e-04	0,56	1,19e-04	0,31
Incidence ~ Risque [0,25*D+(E+F)+0,5*G]	4.777e-05	0,58	4,78e-05	0,34
Incidence ~ Risque [0,25*D+(E+F)+G]	6.684e-05	0,58	6,68e-05	0,33

reste de la parcelle, ou bien des dérivés de produit utilisés dans la protection des vergers contre *Monilinia*. L'absence de parcelles AB dans ce groupe permettrait d'appuyer l'hypothèse de la dérive, car les traitements biologiques étant peu efficaces en pulvérisation directe, il y a peu de chances qu'ils protègent les autres arbres par dérive. En excluant ces parcelles de l'analyse sur les rameaux courts, le coefficient de corrélation est augmenté de 0,07 (corr = 0,61, p-value = 1,38e-04) et le R² de la régression de 0,08 (R² = 0,37, p-value = 1,38e-04). Ces résultats vont dans le sens de la pertinence du modèle pour la prédiction des dégâts sur les rameaux courts.

Par ailleurs, six parcelles présentant des niveaux de dégâts élevés pour des risques faibles ou moyen ont été repérées (SEFRA5_2017, GRAB2_2019, SEFRA1_2018, SEFRA7_2018, GRAB4_2019 et SEFRA6_2019). Elles justifient de tester différentes hypothèses permettant de tester différents scénarii pour améliorer le modèle : la présence de *M. fructicola* a été relevée pour les parcelles SEFRA5_2017, GRAB2_2019 et SEFRA1_2018 et pourrait être en cause d'une dynamique différente de développement des monilioses. Les parcelles GRAB2_2019, SEFRA1_2018 et SEFRA7_2018 ont fait face à des épisodes pluvieux alors que les arbres comprenaient des fleurs au stade G. Une éventuelle sensibilité de ce stade mériterait donc d'être évaluée.

2.7. Test des hypothèses

Dans cette sous-partie, seules les données liées aux rameaux courts seront étudiées, en raison de l'absence de liaison entre le risque calculé et les niveaux de dégâts sur les rameaux longs. Les différentes hypothèses seront testées et des pistes d'amélioration du modèle seront proposées.

2.7.1. Sensibilité du stade fin de floraison

L'évaluation de la sensibilité du stade G est une opération délicate : elle nécessite un positionnement des épisodes pluvieux précisément sur cette période d'une durée de quelques jours pour observer l'effet seul de ces pluies sur les contaminations par *Monilinia*. Ces conditions sont très rarement observables et nécessiteraient l'installation de matériel d'exclusion des pluies ou l'artificialisation des épisodes pluvieux en conditions contrôlées. Une alternative à la mise en place de ces dispositifs fastidieux serait d'étudier l'influence du stade G dans le calcul des risques du modèle Tresson pour les trois années d'observation du réseau de parcelles. Celui-ci a en effet l'avantage de présenter des conditions climatiques et agronomiques diversifiées qui seraient capables d'apporter des éléments d'information sur cette hypothèse.

Plusieurs méthodes de calcul des risques incluant différentes pondérations du stade G basées sur des travaux déjà effectuées (Luo, Morgan, Michailides 2001; Dulais 2014) ont donc été proposées pour déterminer la pertinence de l'inclusion de ce stade dans le modèle. L'analyse basée sur des tests de corrélation et des régressions linéaires a pu mettre en évidence l'apport significatif de la prise en compte du stade G pour l'amélioration des performances du modèles pour cette expérimentation (Tableau 3). Ces observations sont donc en accord avec les expérimentations déjà menées à ce sujet (Dulais 2014; Luo, Morgan, Michailides 2001). En revanche, la même analyse sur l'expérimentation arbres en pots n'a pas mené à la même conclusion : les risques calculés et les dégâts étaient alors moins corrélés (Annexe X). La notation et la définition du stade G apparaît alors comme une problématique émergente pour la caractérisation de ce stade : l'enjeu est de définir la fenêtre de sensibilité éventuelle de ce stade (durée de sensibilité) en harmonisant les notations et en proposant une nouvelle subdivision de ces stades : chute des premiers pétales, pétales chutés, décoloration du calice par exemple.

2.7.2. Variété

Des analyses graphiques, de régression linéaire simple et d'analyse de la variance ont été conduites pour évaluer l'influence de la variété sur la performance du modèle Tresson. Les résultats montrent que le facteur variété a un effet significatif sur l'incidence moyenne des monilioses sur les rameaux

Tableau 4 : Régression linéaire multiple du risque Tresson et du niveau de dégâts de l'année passée sur l'incidence

Régression linéaire multiple	F-statistic	df	p-value	R ²
Incidence ~ Risque Tresson + Niveau incidence année précédente	9,722	2, 30	5,56e-04	0,39

significativement plus faibles, sauf pour deux parcelles atypiques (SEFRA5_2017 et SEFRA8_2018). Deux hypothèses pourraient permettre d'expliquer cette observation : i) Bergeval est une variété moins sensible que Bergeron ii) le modèle est adapté à certaines variétés (Bergeron, Bergarouge) ayant les mêmes mécanismes d'interaction avec le pathogène étudié et ne permettrait pas d'expliquer les dégâts sur la variété. L'hypothèse de la sensibilité variétale semble compromise par les deux parcelles atypiques : si la résistance variétale est en cause, les parcelles devraient toutes avoir des niveaux de dégâts similaires, voire nuls. L'hypothèse de performance du modèle dans le cas de certaines variétés seulement semble vraisemblable. Une expérimentation similaire à celle décrite dans la partie I et pour des arbres de la variété Robada a été suivie conjointement avec le CTIFL de Balandran dans le Gard. Celle-ci a remis en cause la validité du modèle dans les conditions de l'expérimentation, car aucune corrélation ou relation entre les risques calculés et les niveaux de dégâts observés n'a été observée (résultats non présentés).

2.7.3. Inoculum et niveaux de dégât de l'année précédente

Le nombre moyen de momies par parcelle à la sortie de l'hiver n'est pas significatif dans la régression avec le risque calculé (p -value = 0,361). Cette information ne contribue pas à expliquer les niveaux de dégâts de l'année et est cohérente avec les travaux menés en 2017 et 2018 à l'INRA de Gotheron qui n'ont pas pu montrer de différence significative de dégâts entre les zones avec momies et sans momies (Dam 2017; Tresson 2018). En revanche, le niveau d'incidence de l'année passée est significatif sur l'incidence moyenne dans la régression avec le risque fleurs (Tresson) calculé (p -value = 0,021) (Tableau 4). Ceux-ci sont également significatifs lorsque les parcelles atypiques sont exclues de l'analyse (résultats non présentés). Ces résultats font écho aux pratiques de prophylaxie recommandées : suppression des rameaux moniliés et momies (Andrivon et al. 2017). Ces conclusions suggèrent une installation de l'inoculum dans les parcelles par les rameaux, et mettent en évidence l'importance plus particulière de la suppression des rameaux moniliés dans la gestion des niveaux de dégâts par rapport à la suppression des momies. Il n'est pas possible d'avancer avec ces données si ce sont les rameaux moniliés qui sont à l'origine de l'inoculum contaminant les arbres l'année suivante, ou bien si les pathogènes passent l'hiver dans d'autres tissus paraissant sains, ou ailleurs que dans l'arbre.

2.7.4. Conditions favorables au développement de *M. fructicola* en verger

Les analyses graphiques exploratoires n'ont pas permis d'avancer de conclusions concernant l'influence des conditions météorologiques (température maximum, minimum et moyenne durant les épisodes pluvieux, pluviométrie cumulée, maximum et minimum, nombre d'épisodes pluvieux) sur la présence de *M. fructicola* dans les organes infectés. Comme discuté précédemment (Cf. paragraphe 2.3.), l'échantillonnage ne permettrait pas de conclure sur la dynamique de *M. fructicola*. Des expérimentations conçues spécialement pour identifier les facteurs favorisant le développement ou la dominance de cette espèce en verger mériteraient d'être menées, tout en mettant en place une méthode d'échantillonnage permettant des analyses statistiques robustes.

2.7.5. Type d'agriculture

Une analyse de la variance du type d'agriculture (conventionnel ou biologique) sur les niveaux de dégâts a montré un effet significatif du mode de conduite (p -value = 0,027). Les dégâts dans les parcelles conventionnelles étaient significativement plus faibles, avec des parcelles atypiques présentant des niveaux de dégâts plus élevés : SEFRA8_2018, SEFRA1_2018, SEFRA7_2018 et SEFRA6_2019. Sur ces cinq parcelles, quatre sont de l'année 2018 où les événements pluvieux étaient particulièrement nombreux et la pression des pathogènes élevée. Ces observations vont dans le sens de dégâts plus faibles pour ces parcelles. L'installation d'un inoculum en vergers biologiques (Cf. paragraphe 2.7.3.) pourrait être la cause de tels résultats. Des dérives de produits fongicides peuvent également être la cause de ces niveaux de dégâts plus faibles.

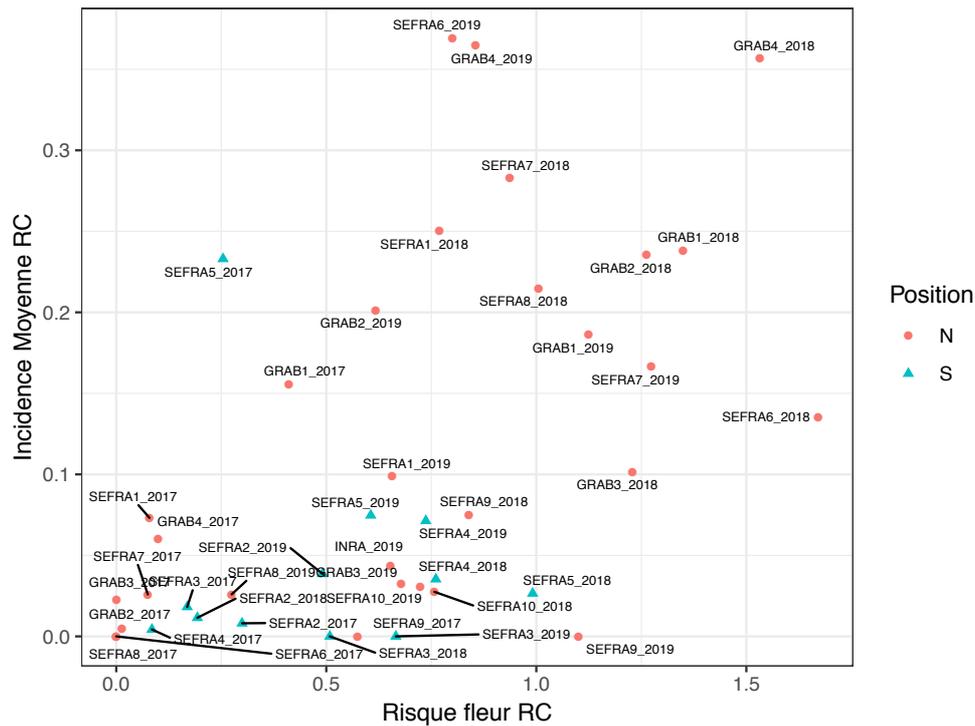


Figure 24 : Mise en évidence de la répartition des dégâts en fonction de la position des parcelles

Tableau 4 : Table d'analyse de la variance de la position sur l'incidence moyennes des moniliooses sur rameaux courts

ANOVA- Incidence moyenne RC	SS	df	MS	F-value	Pr(>F)
Position	0,058	1	0,058	5,141	0,028
Résidus	0,454	40	0,011		

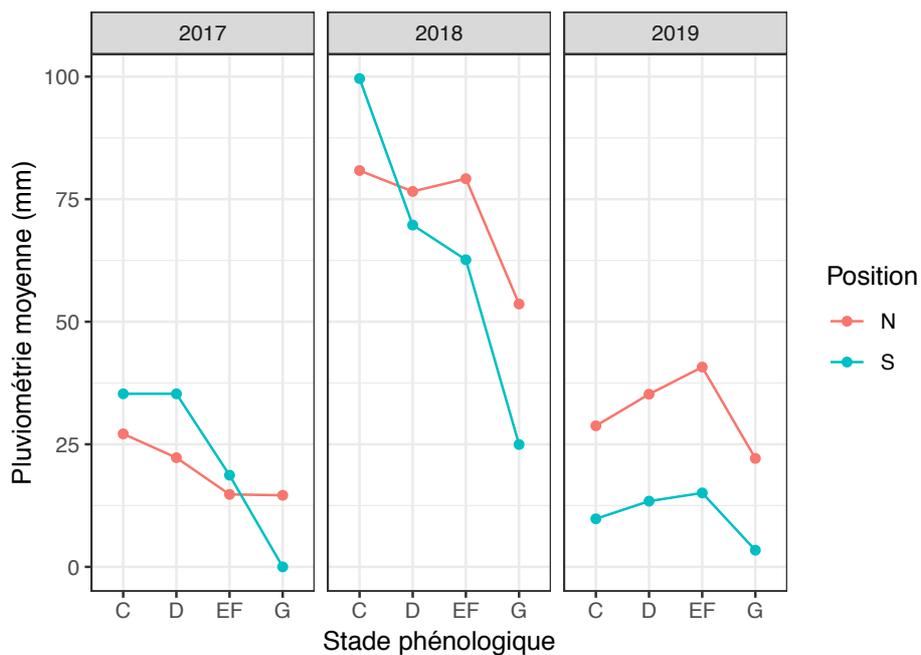


Figure 25 : Répartition moyenne des pluies selon le stade phénologique, l'année et la position de la parcelle.

2.7.6. Floribondité

La floribondité n'a pas d'influence significative sur les niveaux de dégâts, au regard de la p-value de la régression linéaire avec le risque fleur sur l'incidence des monilioses sur les rameaux (p-value = 0,615). L'ajout de cette variable au modèle ne permettrait pas *a priori* de mieux prédire les niveaux de dégâts.

2.7.7. Positionnement de la parcelle

Les parcelles du réseau peuvent être regroupées selon deux zones géographiques : l'une au nord de Valence, et l'autre au Sud (Figure 17). L'analyse montre un effet significatif de l'effet de la position Nord ou Sud de ces parcelles sur l'incidence moyenne des monilioses : celle-ci est plus faible pour les parcelles du sud, à l'exception de SEFRA5_2017 (Figure 24 et tableau 4). Plusieurs pistes peuvent être explorées pour expliquer cette différence. Comme précédemment mis en avant, les parcelles cultivées en agriculture conventionnelle présentent des niveaux de dégâts plus faibles que les parcelles conduites biologiquement. Celles-ci représentent 44% des parcelles de la partie nord et 20% seulement de celles de la partie sud. Le type d'agriculture pourrait donc expliquer des dégâts plus faibles dans la partie sud. Par ailleurs, une étude menée par le GRAB en 2018 a montré la différence de structuration du paysage entre le nord et le sud de Valence, avec notamment plus de vergers de pêchers dans la partie méridionale de la zone étudiée (Jacquot et al. 2018). Une étude plus poussée devrait permettre de déterminer si les facteurs liés au paysage sont déterminant dans le niveau de dégâts par les monilioses, en ayant par exemple une influence sur la quantité et la répartition de l'inoculum de *Monilinia*. Enfin, les conditions climatiques différentes d'une zone à l'autre pourraient entraîner des décalages de stades phénologique et/ou d'évènements pluvieux, résultant en des niveaux de risques plus faibles et ainsi des dégâts moindres. La figure 25 montre la disparité de la répartition des pluies sur les différents stades phénologiques en fonction de la position de la parcelle. Conformément aux résultats précédents (Cf. paragraphe 2.7.1.), des dégâts plus importants pour les parcelles nord pourraient être expliqués par une pluviométrie moyenne plus importante sur le stade G pour celles-ci. La position (nord ou sud) n'a pas d'effet significatif sur la pluviométrie cumulée reçue par chaque parcelle (p-value = 0,827).

3. Conclusion et perspectives

Menée sur trois années consécutives, cette expérimentation a permis d'acquérir de nombreuses données nécessaires à l'élaboration d'un outil de pilotage de la protection des monilioses en verger d'abricotiers. La diversité des conditions climatiques et culturelles a permis d'observer une gamme de risques et de dégâts importantes permettant de tester pour la première fois le modèle Tresson dans cette configuration. Le réseau de parcelle a mis en évidence la pertinence de ce modèle pour prédire des niveaux de dégâts sur les rameaux, au même titre que l'expérimentation arbres en pots. En revanche, la diversité des conditions précédemment citées et la complexité du suivi d'un réseau de parcelles a conduit à l'obtention de parcelles atypiques : celles-ci ont justifié le test d'hypothèses permettant d'expliquer ces situations. La prise en compte du stage G (fin de floraison) dans la pondération du risque climatique a permis d'augmenter la relation entre le risque calculé et les dégâts observés. Un effet de la variété, du type d'agriculture et de la position des vergers a été mis en évidence. Ces facteurs mériteraient d'être plus amplement investigués pour identifier leur part effective de contribution à l'élaboration des niveaux de dégâts. Les trois années consécutives ont permis d'évaluer l'influence du niveau d'incidence de l'année passée sur les dégâts de l'année étudiée. Nous avons pu montrer que celui-ci améliore la précision du modèle tout en étant une donnée facilement accessible par les producteurs ou les conseillers qui utiliseraient l'outil résultant de ces travaux. Premiers du genre, ces travaux se sont intéressés d'abord à chaque facteur indépendamment, et n'ont pas considéré les interactions éventuelles entre eux. Celles-ci mériteraient d'être explorées pour mieux comprendre la dynamique des monilioses en verger commercial et ainsi proposer un outil pertinent

CONCLUSION GENERALE

Cette étude se positionne en fin du projet ClimArbo, après trois ans de suivi d'un réseau de parcelles d'abricotiers et d'un verger expérimental. Les deux premières années du projet se sont concentrées sur l'identification des facteurs climatiques intervenant dans le développement des monilioses sur fleurs et rameaux d'abricotiers. Le modèle Tresson de risque de contamination des fleurs par *Monilinia* a été développé en 2018 grâce à ces travaux et à ceux initiés par une équipe suisse (Tamm, Minder, Flückiger 1995). Il s'agissait donc cette année de valider l'aptitude générale de ce modèle à prédire les niveaux d'incidence des monilioses en fonction des risques calculés de contamination des fleurs, mais aussi d'amorcer une première réflexion sur les facteurs autres que climatiques pouvant favoriser le développement des monilioses en verger commercial. La première expérimentation arbres en pot conduite en 2019 a mis en évidence la relation très forte entre les niveaux de risques fleurs et les niveaux d'incidence des monilioses sur les rameaux. Cette observation est à nuancer par l'absence de risques intermédiaires et très forts (supérieurs à 1), constituant une zone d'ombre pour évaluer la performance du modèle. Une fois validée en conditions expérimentales, l'enjeu était alors de vérifier cette relation en verger commercial, où de nombreux autres paramètres sont supposés intervenir dans la dynamique des agents pathogènes.

Les trois années d'expérimentation ont permis de constituer un jeu de données relativement complet avec des années différentes sur le plan climatique, mais aussi une certaine diversité inter parcellaire : variété, mode de conduite, localisation etc... L'analyse des résultats a souligné une relation significative entre les risques fleurs et les dégâts rameaux avec néanmoins des parcelles atypiques aux niveaux de dégâts faibles pour des risques moyens ou élevés et inversement. La relation ayant été validée expérimentalement, nous pouvons avancer que les écarts aux modèles sont la conséquence de l'influence de facteurs autres que ceux climatiques et phénologiques pris en compte dans le calcul des risques (pluviométrie, température, stades phénologiques des arbres) et de leurs interactions éventuelles. Par ailleurs, plusieurs hypothèses sur l'influence de ces autres facteurs ont déjà été émises lors de travaux précédents. Cette étude s'est présentée comme première approche de l'évaluation de leur influence sur la dynamique des maladies. Ainsi, la floribondité, l'inoculum, la variété, le type d'agriculture, le positionnement de la parcelle et la pondération par le stade G ont été testés. Les résultats majeurs pour l'amélioration de l'outil d'aide à la décision sont la mise en évidence de l'influence du niveau d'inoculum de l'année précédente sur les niveaux de dégâts de l'année et la sensibilité du stade G. Pris en compte dans le calcul de pondération, ce stade augmente significativement la liaison entre les deux variables observées. Cette conclusion n'a pas été faite sur les arbres en pots, d'autres études mériteraient donc d'être menées pour définir des fenêtres de sensibilité éventuelle. Les interactions avec d'autres variables (sensibilité si la température est supérieure à 10°C par exemple) sont à explorer pour ajuster le calcul des risques le cas échéant. Les données n'ont pas permis de répondre à une des questions initiales : quelles sont les conditions favorables au développement de *M. fructicola*, espèce émergente dans les vergers de la vallée du Rhône. D'autres expérimentations devront être menées pour répondre à cette question. Des différences de comportement du modèle en fonction de la variété ont été relevées : calibré sur la variété sensible Bergarouge, les performances du modèle semblent meilleures pour la variété Bergeron. Le modèle a pu être testé sur la variété Robada dans le cadre d'une expérimentation partenaire et aucune relation n'a pu être soulignée. Un réseau de parcelles similaire à celui étudié ici a été mis en place en région Occitanie et devait contribuer à l'analyse de l'influence des pratiques agricoles sur les monilioses (données non disponibles dans le projet ClimArbo). Cependant la transmission des données tardive et la précision de celles-ci n'ont pas permis de les analyser.

Enfin, le réseau ClimArbo a lui aussi été confronté aux difficultés d'un projet multipartenaires : de nombreux obstacles liés à l'homogénéité et à la véracité des données se sont dressés à cette étude. Plusieurs erreurs liées à la multiplicité des acteurs ont été relevées. Elles soulignent la nécessité de réunions de pilotage et de la centralisation par une seule personne pour garantir l'authenticité des données.

BIBLIOGRAPHIE

- AGENCE BIO, 2018. *L'agriculture biologique, un accélérateur économique, à la résonance sociale et sociétale* [en ligne]. 2018. [Consulté le 3 mai 2019]. Disponible à l'adresse : <https://www.agencebio.org/wp-content/uploads/2018/10/dossierdepressechiffres-juin2018.pdf>
- AGRESTE, 2017. Pratiques culturales en arboriculture - Campagne 2015. *Agreste Chiffres et Données Agriculture*. 2017. N° 245.
- ANDRIVON, D., BARDIN, M., BERTRAND, C., BRUN, L., DAIRE, X., FABRE, F., GARY, C., MONTARRY, J., NICOT, P., REIGNAULT, P., TAMM, L. et SAVINI, L., 2017. *Peut-on se passer du cuivre en protection des cultures biologiques ? Synthèse du rapport d'expertise scientifique collective*. INRA.
- BAGGIOLINI, M., 1952. Les stades repères de l'abricotier. *Revue romande d'Agriculture et d'Arboriculture*. 1952. Vol. 8, n° 4, pp. 28.
- BASSI, D., 1999. Apricot culture: present and future. *Acta Horticulturae*. 1999. N° 488, pp. 35-42. DOI 10.17660/ActaHortic.1999.488.1.
- BØRVE, J. et STENSVAND, A., 2003. Use of a Plastic Rain Shield Reduces Fruit Decay and Need for Fungicides in Sweet Cherry. *Plant Disease*. 2003. Vol. 87, n° 5, pp. 523-528. DOI 10.1094/PDIS.2003.87.5.523.
- BRUN, L., BOURBIER, F., GROS, C. et COMBE, F., 2019. Protection des abricotiers : un projet de haute volée. *Phytoma*. 2019. N° 720, pp. 29-34.
- BYRDE, R.J.W. et WILLETS, H.J., 1977. *The Brown Rot Fungi of Fruit. Their Biology and Control*. Pergamon Press. Oxford, UK.
- CASALS, C., VIÑAS, I., TORRES, R., GRIERA, C. et USALL, J., 2010. Effect of temperature and water activity on in vitro germination of *Monilinia* spp.: Effect of temperature and water activity on *Monilinia* spp. *Journal of Applied Microbiology*. Janvier 2010. Vol. 108, n° 1, pp. 47-54. DOI 10.1111/j.1365-2672.2009.04402.x.
- COSTES, E., GUÉDON, Y., JAY, M., AUDUBERT, A. et LICHOU, J., 1995. Modelling of apricot flowers and fruits distribution in relation to shoot organization and tree architecture. *Acta Horticulturae*. 1995. N° 384, pp. 291-295.
- COSTES, E., 1993. Architecture aérienne de l'abricotier en développement libre. *Acta Botanica Gallica*. 1993. N° 140:3, pp. 249-261.
- CÔTÉ, M.-J. et TARDIF, M.-C., 2004. Identification of *Monilinia fructigena*, *M. fructicola*, *M. laxa*, and *Monilia polystoma* on Inoculated and Naturally Infected Fruit Using Multiplex PCR. *Plant Disease*. 2004. N° 88, pp. 1219-1225.
- COURTIAL, D., 2010. L'abricotier en agriculture biologique. Conduite du verger - Fiche 04. *Fitxatècnica*. 2010.
- DAM, D., 2017. *Identification des facteurs intervenant dans le développement du Monilia sur fleurs et rameaux d'abricotiers et recherche de résistances génétiques*. École Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaires.
- DULAIS, Margot, 2014. *Développement des monilioses sur fleurs d'abricotiers. Évaluation de l'efficacité d'une nouvelle méthode de protection physique et recherche des résistances génétiques*.
- FAOSTAT, 2017. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Crops Data. [en ligne]. 2017. [Consulté le 3 mai 2019]. Disponible à l'adresse : <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- FILLERON, E., BORIOLI, P., HUCBOURG, B., MARIANELLI, E., MASSON, R., MONTIGNY, S., MOUIREN, C., PLANCHE, J., LEROUX, V., REYNOLD, H., RICAUD, V., ROUILLE, F., ROUVIER, J.-P., SEUX, N. et SEVERAC, G., 2019. *Guide de protection du verger PFI BIO*. 2019. Objectifs info Arbo.
- FRANCEAGRIMER, 2017. *Les filières des fruits et légumes - données 2016* [en ligne]. 2017. [Consulté le 3 mai 2019]. Disponible à l'adresse : <https://www.franceagrimer.fr/Bibliotheque/INFORMATIONS-ECONOMIQUES/FRUITS-ET-LEGUMES/CHIFFRES-ET-BILANS/2017/Les-filières-des-fruits-et-legumes-Chiffres-cles-2016>
- GARCIN, A., BUSSI, C., CORROYER, N., DUPONT, N., ONDET, S.-J. et PARVEAUD, C.-E., 2012. Alternatives au travail du sol sur le rang et gestion du sol en arboriculture. *Alter Agri*. 2012. N° 116.
- GAZEAU, G., 2012. *Fertilisation en arboriculture* [en ligne]. 2012. Chambre d'Agriculture Provence-Alpes-Côte d'Azur. [Consulté le 21 mai 2019]. Disponible à l'adresse : <https://www.doc-developpement-durable.org/file/Fertilisation-des-Terres-et-des-Sols/Fertilisation-en-Arboriculture.pdf>
- GIBERT, C., CHADŒUF, J., VERCAMBRE, G., GÉNARD, M. et LESCOURRET, F., 2007. Cuticular

Cracking on Nectarine Fruit Surface: Spatial Distribution and Development in Relation to Irrigation and Thinning. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. Septembre 2007. Vol. 132, n° 5, pp. 583-591. DOI 10.21273/JASHS.132.5.583.

GUYON, Stéphanie, 2018. *L'abricot en 2018 : Bilan de campagne* [en ligne]. 2018. FranceAgriMer. [Consulté le 3 mai 2019]. Disponible à l'adresse : https://rnm.franceagrimer.fr/bilan_campagne?abricot

HACK, H., BLEIHOLDER, H., BUHR, L., SCHNOCK-FRICKE, U., WEBER, E. et WITZENBERGER, A., 1992. Einheitliche Codierung der phänologischen Entwicklungsstadien mono- und dikotiler Pflanzen. -Erweiterte BBCH-Skala, Allgemein-. *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes*. 1992. Vol. 44, n° 12, pp. 265-270.

HAGEN, L., KHADARI, B., LAMBERT, P. et AUDERGON, J.-M., 2002. Genetic diversity in apricot revealed by AFLP markers: species and cultivar comparisons. *Theoretical and Applied Genetics*. 2002. Vol. 105, pp. 298-305.

HANKE, M.-V. et FLACHOWSKY, H., 2017. *Obstzüchtung und wissenschaftliche Grundlagen* [en ligne]. Berlin, Heidelberg Springer Berlin Heidelberg. [Consulté le 20 mai 2019]. ISBN 978-3-662-54084-8. Disponible à l'adresse : <http://link.springer.com/10.1007/978-3-662-54085-5>

HOLB, I. J., 2006. Possibilities of brown rot management in organic stone fruit production in Hungary. *International Journal of Horticulture Science*. 2006. N° 12, pp. 87-91.

HOLB, I. J., 2008. Brown rot blossom blight of pome and stone fruits symptom, disease cycle, host resistance, and biological control. *International Journal of Horticulture Science*. 2008. N° 14, pp. 15-21.

HONG, C., HOLTZ, B. A., MORGAN, D. P. et MICHAILIDES, T. J., 1997. Significance of Thinned Fruit as a Source of the Secondary Inoculum of *Monilinia fructicola* in California Nectarine Orchards. *Plant Disease*. 1997. Vol. 81, n° 5, pp. 519-524. DOI 10.1094/PDIS.1997.81.5.519.

HRUSTIĆ, J., MIHAJLOVIĆ, M., GRAHOVAC, M., DELIBAŠIĆ, G., BULAJIĆ, A., KRSTIĆ, B. et TANOVIĆ, B., 2013. Genus *Monilinia* on pome and stone fruit species. *Pesticidi i fitomedicina*. 2013. Vol. 27, n° 4, pp. 283-297.

JACQUOT, M., FREYSSINET, E., LABEYRIE, B., STÉVENIN, S., CHAMBEYRON, W., BRUN, L. et TRESSON, P., 2018. *Développement des monilioses sur fleur d'abricotier : étude des facteurs climatiques et paysages*. 2018. GRAB, INRA.

KASKA, N., 2006. Orchard management un apricots. *Acta Horticulturae*. Septembre 2006. N° 717, pp. 287-294. DOI 10.17660/ActaHortic.2006.717.58.

KOBALL, D. C., WILCOX, W. F. et SEEM, R. C., 1997. Influence of Incubation-Period Humidity on the Development of Brown Rot Blossom Blight of Sour Cherry. *Phytopathology*. Janvier 1997. Vol. 87, n° 1, pp. 42-49. DOI 10.1094/PHYTO.1997.87.1.42.

LANCASHIRE, Peter D., BLEIHOLDER, H., VAN DEN BOOM, T., LANGELÜDDEKE, P., STAUSS, R., WEBER, E. et WITZENBERGER, A., 1991. A uniform decimal code for growth stages of crops and weeds. *Annals of Applied Biology*. 1991. Vol. 119, n° 3, pp. 561-601. DOI 10.1111/j.1744-7348.1991.tb04895.x.

LANE, C. R., 2002. A synoptic key for differentiation of *Monilinia fructicola*, *M. fructigena* and *M. laxa*, based on examination of cultural characters. *EPPO Bulletin*. 2002. Vol. 32, n° 3, pp. 489-493. DOI 10.1046/j.1365-2338.2002.00595.x.

LANGENDORF, Benjamin, 2008. *Étude de l'effet de pratiques culturales sur l'inoculum primaire aérien de *Venturia inaequalis*, agent responsable de la tavelure du pommier*.

LICHOU, J. et JAY, M., 2012. *Monographie Abricot*. Ctifl.

LUO, Y., MORGAN, D. P. et MICHAILIDES, T. J., 2001. Risk Analysis of Brown Rot Blossom Blight of Prune Caused by *Monilinia fructicola*. *Phytopathology*. Août 2001. Vol. 91, n° 8, pp. 759-768. DOI 10.1094/PHYTO.2001.91.8.759.

MARTINI, C. et MARI, M., 2014. *Monilinia fructicola*, *Monilinia laxa* (*Monilinia Rot*, *Brown Rot*). In : *Postharvest Decay* [en ligne]. Elsevier. pp. 233-265. [Consulté le 23 mai 2019]. ISBN 978-0-12-411552-1. Disponible à l'adresse : <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780124115521000077>

MAURIN, G., 1999. *Guide pratique de défense des cultures : reconnaissance des ennemis, notions de protection des cultures*. Paris : Association de Coordination Technique Agricole. ISBN 978-2-85794-182-8.

MERCIER, V., MARTINOT, G. et DEPLAUDE, H., 2009. Monilioses du pêcher, déterminer les espèces et évaluer leur répartition. *Phytoma - La défense des végétaux*. 2009. N° 626-627, pp. 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. *APSnets Features* [en ligne]. 2007. Disponible à l'adresse :

ges/BrownRot.aspx

OEPP/EPPO, 2002. First report of *Monilinia fructicola* in France. EPPO Reporting Service [en ligne]. 2002. N° 003. [Consulté le 21 mai 2019]. Disponible à l'adresse : <https://gd.eppo.int/reporting/article-2166>

OEPP/EPPO, 2009. *Monilinia fructicola*. Bulletin OEPP/EPPO. 2009. N° 39, pp. 337-343.

OGAWA, J. M., MANJI, B. T., BOSTOCK, R. M., CAÑEZ, V. M. et BOSE, E. A., 1984. Detection and Characterization of Benomyl-Resistant *Monilinia laxa* on Apricots. *Plant Disease*. 1984. Vol. 68, n° 1, pp. 29. DOI 10.1094/PD-68-29.

OLIVEIRA-LINO, L., PACHECO, I., MERCIER, V., FAORO, F., BASSI, D. et QUILOT, B., 2016. Brown rot strikes *Prunus* fruit: an ancient fight almost always lost. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2016. Vol. 64, n° 20, pp. 4029-4047. DOI 10.1021/acs.jafc.6b00104.

PARVEAUD, C.-E., GOMEZ, C., MERCIER, V., BRUN, L., GUILLERMIN, A., CLAUZEL, G., BROQUAIRE, J.-M. et AUDERGON, J.-M., 2016. Sensibilité variétale aux maladies et ravageurs - Fiche n°2 : Monilioses sur fleur. *L'Arboriculture Fruitière*. 2016. N° 698, pp. 1.

PASSECKER, F., 1947. Vermehrungs- und Züchtungsfragen bei der Aprikose. *Der Züchter*. 1947. Vol. 17, n° 9, pp. 277-284.

PRAT, R., 2011. Etude anatomique des fruits et légumes. RN'Bio Sorbonne-Université [en ligne]. 2011. Disponible à l'adresse : <http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/Fruits/abricot.htm>

R CORE TEAM, 2018. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria [en ligne]. 2018. Disponible à l'adresse : <https://www.R-project.org/Vienna, Austria>

RAPILLY, Frantz, 1991. L'épidémiologie en pathologie végétale : mycoses aériennes. Paris : Inst. Nat. de la Recherche Agronomique, INRA.

Mieux comprendre. ISBN 978-2-7380-0297-6.

RIVALS, P., 1965. Essai sur la croissance des arbres et sur leurs systèmes de floraison (application aux espèces fruitières). *Journal d'Agriculture Tropicale et de Botanique Appliquée*. 1965. Vol. 12, n° 12, pp. 655-686.

RUNGJINDAMAI, N., JEFFRIES, P. et XU, X.-M., 2014. Epidemiology and management of brown rot on stone fruit caused by *Monilinia laxa*. *European Journal of Plant Pathology*. 2014. Vol. 140, n° 1, pp. 1-17. DOI 10.1007/s10658-014-0452-3.

TAMM, L. et FLÜCKIGER, W., 1993. Influence of Temperature and Moisture on Growth, Spore Production, and Conidial Germination of *Monilinia laxa*. *Phytopathology*. 1993. Vol. 83, n° 12, pp. 1321. DOI 10.1094/Phyto-83-1321.

TAMM, L., MINDER, Chr E. et FLÜCKIGER, W., 1995. Phenological analysis of brown rot blossom blight of sweet cherry caused by *Monilinia laxa*. *Phytopathology*. 1995. Vol. 85, n° 4, pp. 401-408.

TRESSON, P., 2018. Quelles seront les conséquences du changement climatique sur le développement des monilioses sur fleurs et rameaux d'abricotiers ? École Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaires.

VAN LEEUWEN, G. C. M. et VAN KESTEREN, H. A., 1998. Delineation of the three brown rot fungi of fruit crops (*Monilinia* spp.) on the basis of quantitative characteristics. *Canadian Journal of Botany*. 1998. N° 76, pp. 2042-2050.

XU, X.-M., GUERIN, L. et ROBINSON, J. D., 2001. Effects of temperature and relative humidity on conidial germination and viability, colonization and sporulation of *Monilinia fructigena*. *Plant Pathology*. Octobre 2001. Vol. 50, n° 5, pp. 561-568. DOI 10.1046/j.1365-3059.2001.00606.x.

ZOHARY, D., HOPF, M. et WEISS, E., 2018. La domestication des plantes. Actes Sud. ISBN 978-2-330-06643-7.

Stades phénologiques repères de l'abricotier

Auteurs: Anne-Lise Fabre, Bernard Bloesch et Olivier Viret, Agroscope, 1260 Nyon

0 Repos hivernal

Bourgeon d'hiver (dormance)



00 (A)

Stades		Code Baggolini
0 = Repos hivernal		(A)
5 = Apparition des inflorescences		(B → E)
6 = Floraison		(F → G)
7 = Développement des fruits		(H → J)
8 = Maturation des fruits		
Code BBCH		
00		
51 → 59		
61 → 69		
71 → 77		
81 → 89		

Sources

- Baggolini M., 1952. Les stades repères de l'abricotier. *Revue romande d'Agriculture et d'Arboriculture* 8 (4), 28.
- Lancashire P. D., Bleiholder H., Van Den Boom T., Langelladde P., Stauss R., Weber E. & Witzsenberger A., 1991. A uniform decimal code for growth stages of crops and weeds. *Aim. appl. Biol.* 119, 561–601.
- Heck H., Bleiholder H., Buhr L., Meier U., Schmock-Frickle U., Weber E. & Witzsenberger A., 1992. Einheitliche Codierung der phänologischen Entwicklungsstadien mono- und dikotyler Pflanzen. – Erweiterte BBCH-Skala. *Allgemein. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutz.* 44 (12), 265–270.

Photographies: Carole Parodi

5 Apparition de l'inflorescence

Gonflement des bourgeons

51 (B)



Eclatement des bourgeons

53 (C)



Ouverture des sépales

57 (D)



Ballonnets

59 (E)



6 Floraison

Début floraison

61



Pleine floraison

65 (F)



Floraison déclinante

67 (G)



Fin floraison

69



7 Développement des fruits

Nouaison

71 (H)



Jeune fruit

73 (I–J)



Croissance des fruits (50%)

75



Croissance des fruits (70%)

77



8 Maturation des fruits

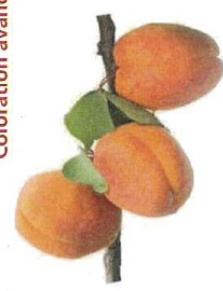
Début coloration

81



Coloration avancée

85

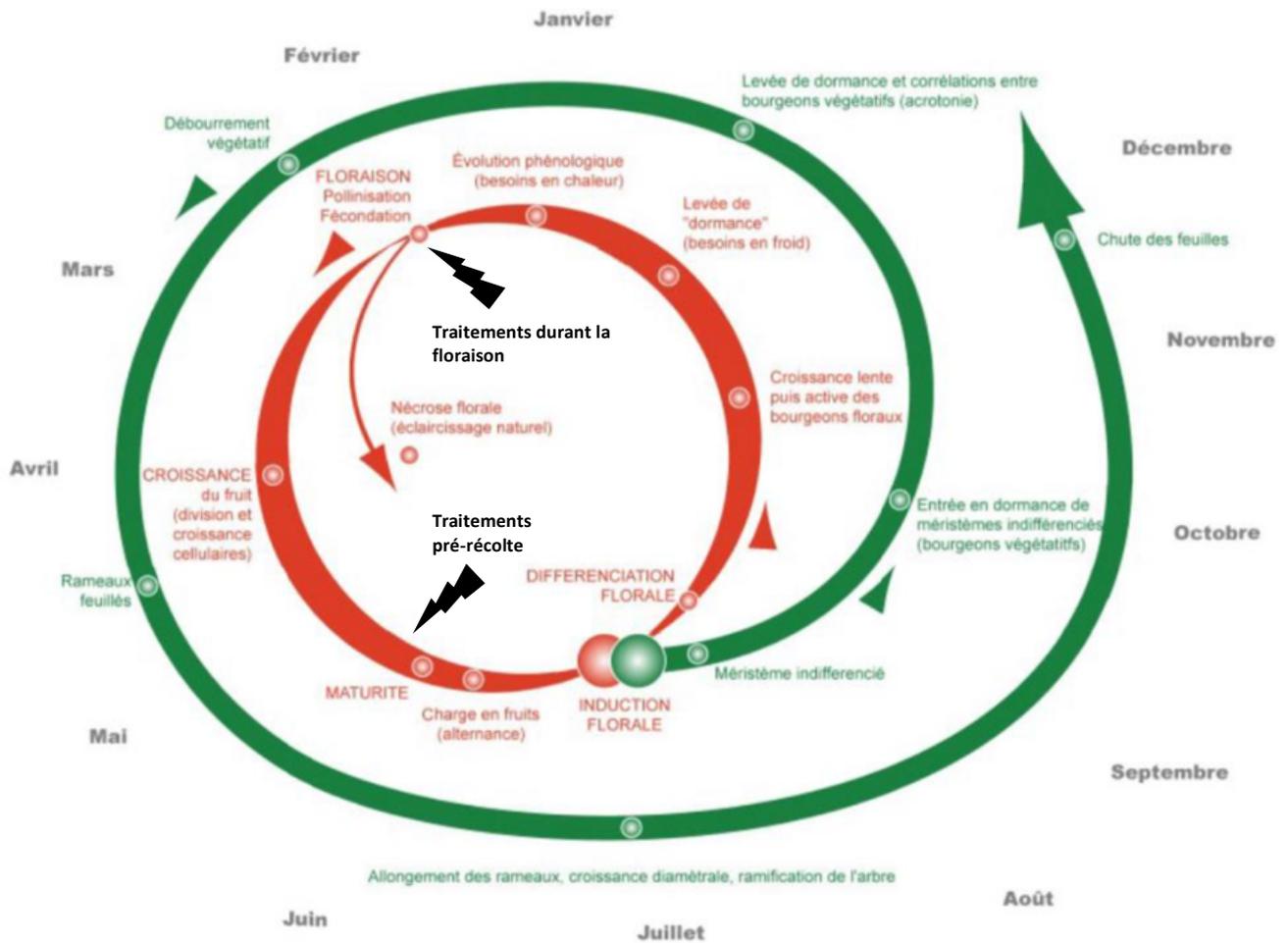


Récolte maturité gustative

87–89



ANNEXE II : CYCLE DE DEVELOPPEMENT DE L'ABRICOTIER



Cycle de développement de l'abricotier et positionnement de la protection contre les monilioses (d'après J.M. Legave, INRA)

ANNEXE III : ITINERAIRE TECHNIQUE DE LA PROTECTION DU VERGER D'ABRICOTIERS CONTRE LES MONILIOSES

Époque et stade	Conseils PFI	Familles ou types	Matières actives	Spécialités commerciales
FLORAISON 	Traitements préventifs à partir du stade D jusqu'à la fin floraison, renouvelés si les conditions climatiques sont favorables (pluie, hygrométrie et humectation élevée). Ne pas utiliser la même famille chimique contre le Monilia. CURATIO : pendant ou après une pluie, sur feuillage humide sous réserve d'autorisation	Anylopyrimidine + PhénylPyrrole	Cyprodinil + Fludioxonil	Switch
		Inhibiteur SDH + Inhibiteurs de la biosynthèse des stérols	Fluopyram + Tébuconazole	LUNA EXPERIENCE
		Benzimidazole	Triophanate méthyl	TOPSIN 70 WG
		Inhibiteur SDH	Isofétamide	KENJA
		STOP	Bouillie Sulfocalcique	CURATIO
		CONTACT	Captane	SIGMA DG, MERPAN SC, MERPAN 80 WDG
PRE-RECOLTE	Selon les conditions climatiques et la période de maturité, réaliser de 0 à 2 traitements.	Inhibiteur de la biosynthèse des stérols	Fenbuconazole	KRUGA
		Aminopyrazolinone	Fenpyrazamine	PROLECTUS / KAMUY

Époque et stade	Conseils PFI	Matières actives	Spécialités commerciales
FLORAISON 	Traitements préventifs à partir du stade D jusqu'à la fin floraison, renouvelés si les conditions climatiques sont favorables (pluie, hygrométrie et humectation élevée). CURATIO : pendant ou après une pluie, sur feuillage humide sous réserve d'autorisation. Le positionnement de l'intervention au plus près de la contamination est plus important que la quantité de principe actif. En complément à la lutte, la suppression des organes contaminés (rameaux et bouquets de mai) est indispensable pour maintenir un inoculum le plus faible possible.	Bouillie sulfocalcique	CURATIO
		Sulfate de cuivre	B. BORDELAISE RSR
			B. BORDELAISE MANICA
PRE-RECOLTE	Suivant les conditions et la période de maturité, réaliser de 0 à 2 traitements. Efficacité limitée des solutions.	Bicarbonat de potassium	ARMICARB
		<i>Bacillus subtilis</i>	RHAPSODY
		<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	AMYLOX

Production fruitière intégrée

Agriculture biologique

ANNEXE IV : PRESENTATION DES MODELES TAMM ET TRESSON

Modèle Tamm (Tamm, Minder, Flückiger 1995) :

$$I(WD, T) = i_{max}(T) \cdot \left\{ 1 - (1 - i_0(T)^{(1-m)}) \cdot e^{-r(T) \cdot WD} \right\}^{\frac{1}{1-m}}$$

où $I(WD, T)$ est la proportion estimée de fleurs infectées à une température T et une durée d'humectation WD . i_{max} est la proportion maximale de fleurs infectées et i_0 est la proportion de fleurs infectées après 0h de durée d'humectation. Le paramètre de forme m est fixé à 0,9. Les paramètres i_0 et r ont été estimés par des régressions non linéaires pour chaque température. Le paramètre i_{max} est inclut comme une constante dans le modèle. L'influence de la température sur $i_0(T)$ et $r(T)$ peut être écrite comme suit :

$$i_0(T) = \gamma_t \cdot \phi^{\gamma_2} \cdot (1 - \phi)$$

$$r(T) = \rho_1 \cdot \phi^{\rho_2} \cdot (1 - \phi)$$

$$\phi = \frac{T - T_{min}}{T_{max} - T_{min}}$$

où T est la température réelle, T_{min} et T_{max} les seuils de développement mycélien haut et bas, respectivement 0°C et 31°C. Les paramètres γ_1 , γ_2 , ρ_1 et ρ_2 sont estimés par des régressions non linéaires et optimisés durant la calibration du modèle.

Risque Climatique d'Infection sur Fleur (RCIF) Tresson

$$I(p, T) = \frac{p}{p + \varepsilon} \cdot i_{max} \cdot \left\{ 1 - (1 - i_0(T)^{(1-m)}) \cdot e^{-r(T) \cdot p} \right\}^{\frac{1}{1-m}}$$

où $\frac{p}{p + \varepsilon}$, avec $\varepsilon \neq 0$, est un facteur de pluviométrie permettant de forcer l'incidence à 0 en cas d'absence de pluie, élément non pris en compte dans le modèle originel.

Risque Climatique Pondéré d'Infection (RCPI) Tresson

$$RCPIR = RCIF \times \frac{0,25 \times n(D) + n(E, F)}{n(D) + n(E, F)} \text{ si } RCIF > 0,5$$

$$RCPIR = RCIF \times \frac{n(E, F)}{n(D) + n(E, F)} \text{ si } RCIF < 0,5$$

où $n(D)$ est le nombre de fleurs au stade D et $n(E, F)$ le nombre de fleurs au stade E et F. La pondération peut être remplacée par des pourcentages de répartition de stades phénologique.

ANNEXE V : ECHELLE PHOTOGRAPHIQUE DE LA FLORIBONDITE SUR ABRICOTIER



Note 0



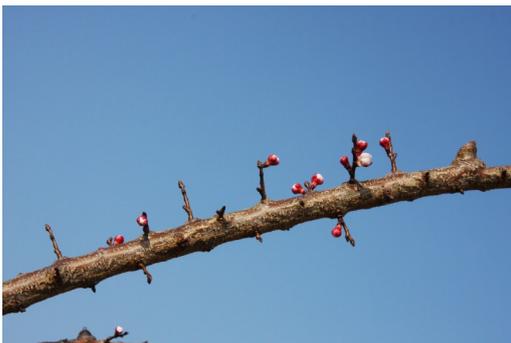
Note 2.5



Note 0.5



Note 3



Note 1



Note 3.5



Note 1.5



Note 4



Note 2



Note 5

ANNEXE VI : ANALYSE DES RESIDUS

Régressions linéaires expérimentation arbre en pots

Test de Shapiro et Wilk	W	p-value
Incidence ~ Risque fleur	0,906	0,218
Sévérité ~ Risque fleur	0,961	0,780

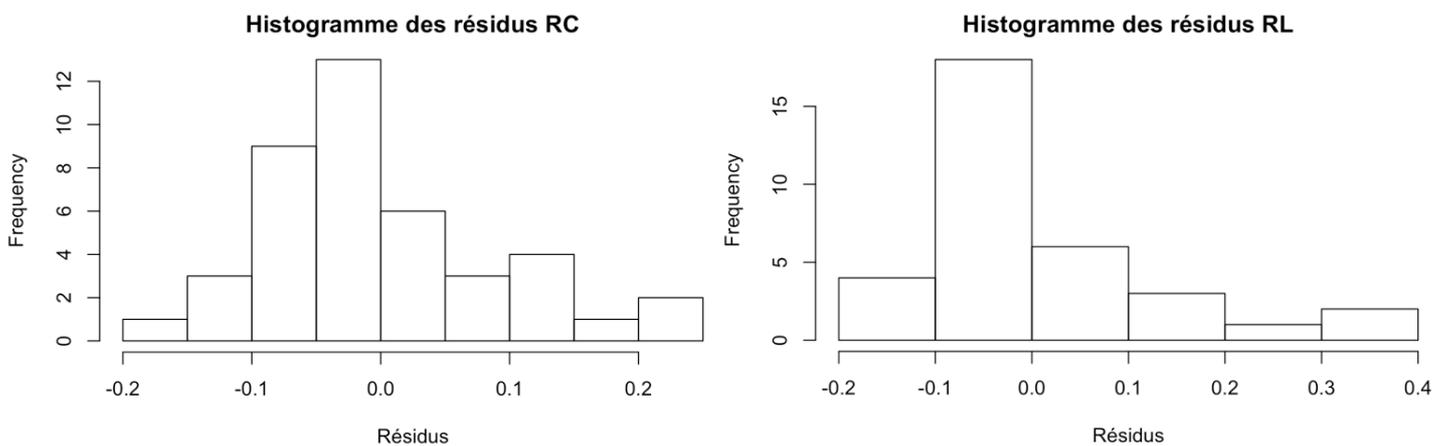
Test de Harrison Mc Cabe	HMC	p-value
Incidence ~ Risque fleur	0,312	0,256
Sévérité ~ Risque fleur	0,736	0,923

Régressions linéaires réseau de parcelles

Test de Shapiro et Wilk	W	p-value
Incidence RC ~ Risque fleur RC	0,932	0,015
Incidence RL ~ Risque fleur RL	0,803	2,97e-05

Test de Harrison Mc Cabe	HMC	p-value
Incidence RC ~ Risque fleur RC	0,416	0,228
Incidence RL ~ Risque fleur RL	0,721	0,964

Distribution des résidus pour les régressions linéaires du réseau

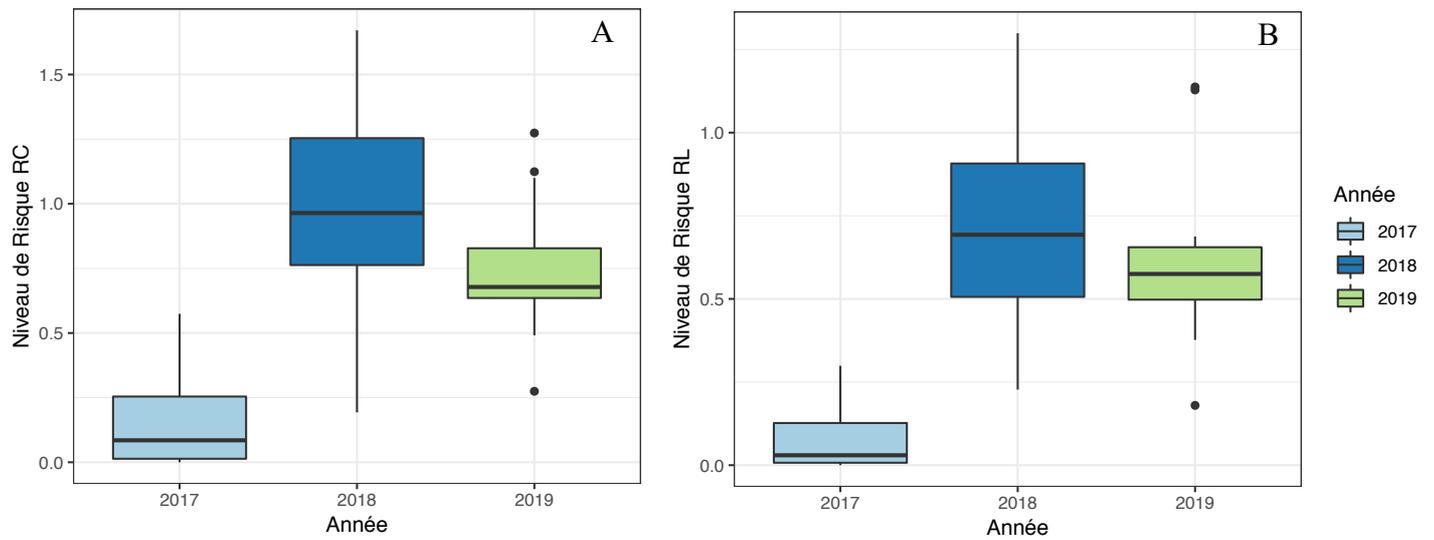


ANNEXE VII : RECAPITULATIF DES CONDITIONS CLIMATIQUES POUR CHAQUE PARCELLE SUR LA PERIODE DE SUIVI DU RESEAU

N_{EP} : nombre d'épisodes pluvieux, *P_{cum}* : précipitations cumulées, *T_{moy}* : température moyenne de l'ensemble des épisodes pluvieux, *P_{max}* : précipitations maximales pour un épisode pluvieux, *P_{min}* : précipitations minimales pour un épisode pluvieux, *T_{min}* : température moyenne minimale pour un épisode pluvieux, *T_{max}* : température moyenne maximale pour un épisode pluvieux.

Parcelle	N _{EP}	P _{cum}	T _{moy}	P _{max}	P _{min}	T _{min}	T _{max}
GRAB1_2017	9	109,80	8,45	33,80	0,40	2,37	11,01
GRAB1_2018	20	130,40	9,69	27,00	0,20	5,15	14,75
GRAB1_2019	15	88,80	7,65	43,60	0,20	0,95	13,90
GRAB2_2017	7	51,40	8,23	30,40	0,80	5,76	10,05
GRAB2_2018	18	103,60	8,98	25,80	0,20	3,54	14,30
GRAB2_2019	14	70,80	7,61	25,60	0,20	2,47	14,75
GRAB3_2017	6	19,00	6,67	11,20	0,20	4,52	9,12
GRAB3_2018	22	122,80	8,14	27,00	0,20	4,32	12,59
GRAB3_2019	11	79,40	7,08	41,20	0,20	3,60	10,83
GRAB4_2017	8	27,60	8,60	10,60	0,20	5,72	10,65
GRAB4_2018	20	163,00	9,20	31,60	0,20	4,85	13,67
GRAB4_2019	13	70,00	7,04	32,80	0,20	0,16	11,56
INRA_2019	7	22,00	9,75	13,80	0,20	7,16	13,75
SEFRA1_2017	6	17,20	8,88	9,80	0,80	6,28	11,20
SEFRA1_2018	16	109,80	9,05	30,80	0,20	3,35	14,45
SEFRA1_2019	7	37,40	7,28	26,40	0,20	0,07	11,23
SEFRA2_2017	2	42,00	7,46	22,00	20,00	7,31	7,61
SEFRA2_2018	12	93,80	9,37	40,20	0,20	4,46	14,07
SEFRA2_2019	5	15,60	7,82	12,00	0,20	3,44	11,59
SEFRA3_2017	2	28,80	8,18	17,00	11,80	6,95	9,40
SEFRA3_2018	9	148,20	9,23	64,00	0,20	4,19	13,33
SEFRA3_2019	5	14,40	9,67	10,40	0,20	7,76	11,63
SEFRA4_2017	2	32,00	7,16	18,00	14,00	6,88	7,44
SEFRA4_2018	14	167,80	9,52	49,00	0,20	4,93	15,86
SEFRA4_2019	6	18,80	8,26	13,20	0,20	6,19	10,19
SEFRA5_2017	3	38,40	8,75	18,60	8,40	7,34	9,51
SEFRA5_2018	14	174,40	9,27	49,20	0,20	4,33	13,55
SEFRA5_2019	5	13,00	9,23	9,00	0,60	7,10	11,68
SEFRA6_2017	5	34,20	7,01	15,00	1,40	4,59	8,82
SEFRA6_2018	17	131,00	8,23	35,20	0,20	4,46	12,88
SEFRA6_2019	9	31,70	7,80	18,50	0,20	6,28	9,89
SEFRA7_2017	3	33,60	8,64	15,00	4,60	7,61	9,74
SEFRA7_2018	19	137,00	8,47	31,80	0,20	4,63	12,98
SEFRA7_2019	9	31,60	9,85	18,40	0,20	7,65	14,73
SEFRA8_2017	6	21,00	7,17	10,20	0,40	4,51	9,34
SEFRA8_2018	15	128,40	7,65	41,60	0,20	2,88	12,69
SEFRA8_2019	7	32,40	8,81	23,60	0,40	6,90	14,70
SEFRA9_2017	7	17,20	8,68	9,80	0,20	6,28	11,20
SEFRA9_2018	14	138,80	9,86	41,20	0,20	5,26	15,28
SEFRA9_2019	16	20,80	7,35	11,00	0,20	2,52	13,22
SEFRA10_2018	10	89,00	10,46	28,40	0,20	7,19	14,24
SEFRA10_2019	6	15,60	9,33	11,40	0,20	6,64	12,71

ANNEXE VIII : EFFET DE L'ANNEE SUR LES NIVEAUX DE RISQUE



Niveaux de risque sur rameaux courts (A) et rameaux longs (B) selon l'année.

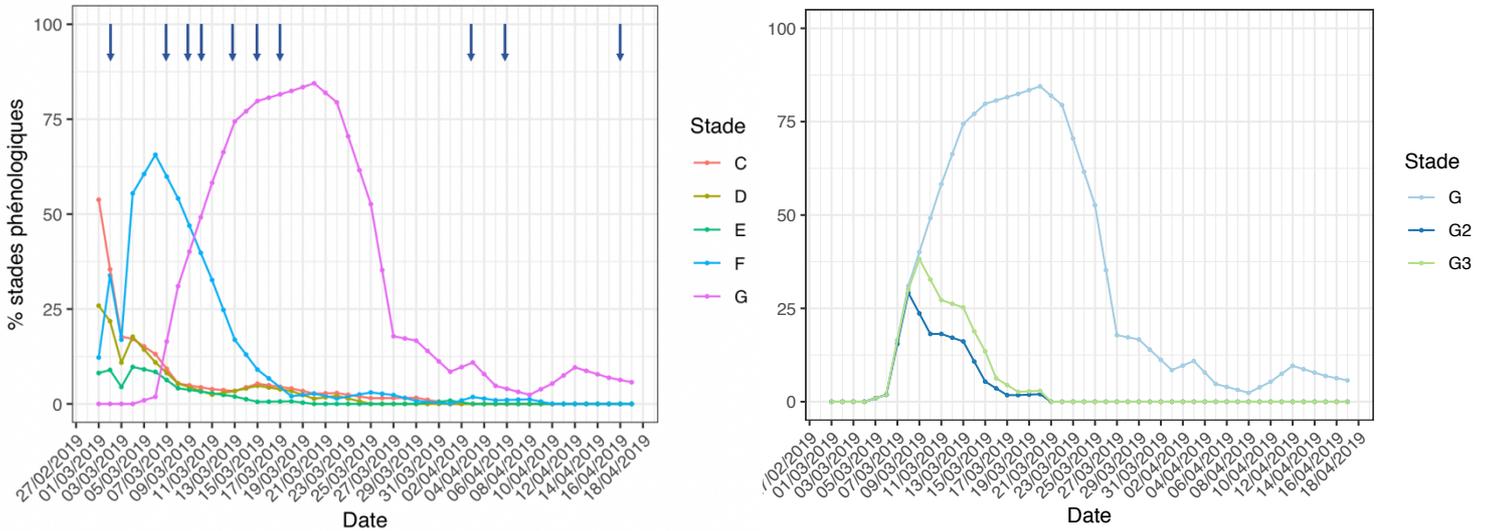
Tables ANOVA de l'année sur les niveaux de risques. **RC** : rameaux courts, **RL** : rameaux longs

ANOVA- réponse Niveau de risque RC	SS	df	MS	F-value	Pr(>F)
Année	4,872	2	2,436	28,248	2,6e-08
Résidus	3,363	39	0,086		
ANOVA- réponse Niveau de dégât RC					
Année	0,065	2	0,032	2,811	0,072
Résidus	0,448	39	0,011		
ANOVA- réponse Niveau de risque RL					
Année	3,114	2	1,557	25,058	1,0e-07
Résidus	2,424	39	0,062		
ANOVA- réponse Niveau de dégât RL					
Année	0,037	2	0,019	1,248	0,301
Résidus	0,465	31	0,015		

**ANNEXE IX : RESULTATS D'IDENTIFICATION DES ESPECES DE MONILINIA
RESPONSABLES DES DEGATS SUR FLEURS ET RAMEAUX**

Parcelle	Rameaux				Fleurs			
	% <i>M. laxa</i>	% <i>M. fructicola</i>	<i>M. fructicola</i>	Espèce majoritaire	% <i>M. laxa</i>	% <i>M. fructicola</i>	<i>M. fructicola</i>	Espèce majoritaire
GRAB1_2017	100	0	Absence	<i>M. laxa</i>	100	0	Absence	<i>M. laxa</i>
GRAB1_2018	90	0	Absence	<i>M. laxa</i>	88	0	Absence	<i>M. laxa</i>
GRAB1_2019	70	0	Absence	<i>M. laxa</i>	41	0	Absence	<i>M. laxa</i>
GRAB2_2017	100	0	Absence	<i>M. laxa</i>	88	0	Absence	<i>M. laxa</i>
GRAB2_2018	100	0	Absence	<i>M. laxa</i>	34	0	Absence	<i>M. laxa</i>
GRAB2_2019	80	10	Présence	<i>M. laxa</i>	47	0	Absence	<i>M. laxa</i>
GRAB3_2017	100	0	Absence	<i>M. laxa</i>	78	3	Présence	<i>M. laxa</i>
GRAB3_2018	75	0	Absence	<i>M. laxa</i>	44	19	Présence	<i>M. laxa</i>
GRAB3_2019	89	0	Absence	<i>M. laxa</i>	28	0	Absence	<i>M. laxa</i>
GRAB4_2017	100	0	Absence	<i>M. laxa</i>	50	12	Présence	<i>M. laxa</i>
GRAB4_2018	90	0	Absence	<i>M. laxa</i>	66	0	Absence	<i>M. laxa</i>
GRAB4_2019	60	0	Absence	<i>M. laxa</i>	41	0	Absence	<i>M. laxa</i>
INRA_2019	100	0	Absence	<i>M. laxa</i>	25	0	Absence	<i>M. laxa</i>
SEFRA1_2017	20	80	Présence	<i>M. fructicola</i>	6	31	Présence	<i>M. fructicola</i>
SEFRA1_2018	90	10	Présence	<i>M. laxa</i>	19	3	Présence	<i>M. laxa</i>
SEFRA1_2019	90	0	Absence	<i>M. laxa</i>	22	0	Absence	<i>M. laxa</i>
SEFRA2_2017	NA	NA	NA	NA	0	19	Présence	<i>M. fructicola</i>
SEFRA2_2018	82	0	Absence	<i>M. laxa</i>	12	0	Absence	<i>M. laxa</i>
SEFRA2_2019	20	50	Présence	<i>M. fructicola</i>	7	17	Présence	<i>M. fructicola</i>
SEFRA3_2017	NA	NA	NA	NA	34	0	Absence	<i>M. laxa</i>
SEFRA3_2018	100	0	Absence	<i>M. laxa</i>	4	0	Absence	<i>M. laxa</i>
SEFRA3_2019	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
SEFRA4_2017	100	0	Absence	<i>M. laxa</i>	59	0	Absence	<i>M. laxa</i>
SEFRA4_2018	60	0	Absence	<i>M. laxa</i>	44	0	Absence	<i>M. laxa</i>
SEFRA4_2019	25	0	Absence	<i>M. laxa</i>	19	0	Absence	<i>M. laxa</i>
SEFRA5_2017	60	20	Présence	<i>M. laxa</i>	47	0	Absence	<i>M. laxa</i>
SEFRA5_2018	89	11	Présence	<i>M. laxa</i>	91	6	Présence	<i>M. laxa</i>
SEFRA5_2019	22	0	Absence	<i>M. laxa</i>	28	0	Absence	<i>M. laxa</i>
SEFRA6_2017	100	0	Absence	<i>M. laxa</i>	22	4	Présence	<i>M. laxa</i>
SEFRA6_2018	90	0	Absence	<i>M. laxa</i>	53	0	Absence	<i>M. laxa</i>
SEFRA6_2019	100	0	Absence	<i>M. laxa</i>	41	0	Absence	<i>M. laxa</i>
SEFRA7_2017	75	25	Présence	<i>M. laxa</i>	41	0	Absence	<i>M. laxa</i>
SEFRA7_2018	100	0	Absence	<i>M. laxa</i>	25	3	Présence	<i>M. laxa</i>
SEFRA7_2019	50	0	Absence	<i>M. laxa</i>	41	0	Absence	<i>M. laxa</i>
SEFRA8_2017	100	0	Absence	<i>M. laxa</i>	24	0	Absence	<i>M. laxa</i>
SEFRA8_2018	80	0	Absence	<i>M. laxa</i>	38	0	Absence	<i>M. laxa</i>
SEFRA8_2019	80	0	Absence	<i>M. laxa</i>	38	0	Absence	<i>M. laxa</i>
SEFRA9_2017	100	0	Absence	<i>M. laxa</i>	21	0	Absence	<i>M. laxa</i>
SEFRA9_2018	80	0	Absence	<i>M. laxa</i>	8	0	Absence	<i>M. laxa</i>
SEFRA9_2019	33	17	Présence	<i>M. laxa</i>	0	40	Présence	<i>M. fructicola</i>
SEFRA10_2018	55	0	Absence	<i>M. laxa</i>	34	0	Absence	<i>M. laxa</i>
SEFRA10_2019	70	0	Absence	<i>M. laxa</i>	19	4	Présence	<i>M. laxa</i>

ANNEXE X : PRISE EN COMPTE DU STADE FIN DE FLORAISON (G) POUR L'EXPERIMENTATION ARBRES EN POT

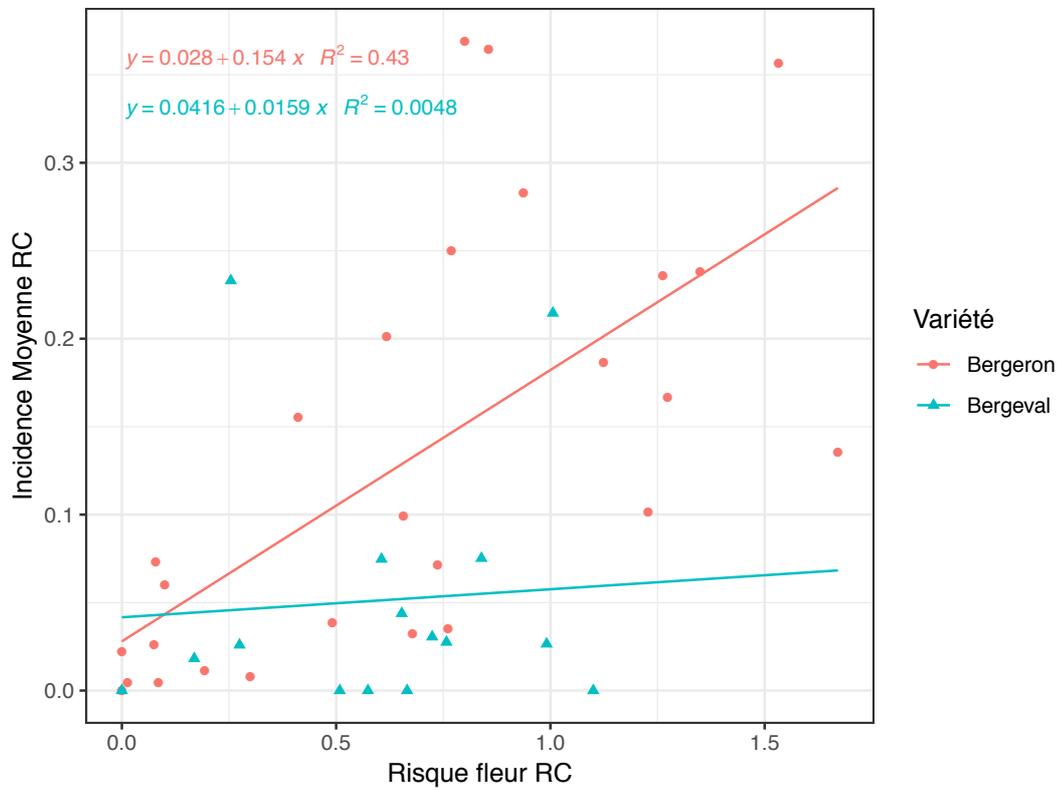


Exemple de répartition des stades phénologiques pour la série 1 : le stade G tel qu'il a été noté dure anormalement longtemps. Les stades G2 et G3 ont donc été introduits selon des études déjà conduites (Dulais, 2014 ; Luo et al. 2001). Ils supposent une sensibilité aux pathogènes jusqu'à deux jours et trois jours après la fin de la floraison. Les flèches indiquent les épisodes pluvieux.

Régressions linéaires avec différentes méthodes de pondération des risques à partir du modèle Tresson. **G** : 100% du stade G noté pris en compte. **G2** : stade G considéré comme sensible deux jours. **G3** : stade G considéré comme sensible trois jours

Sévérité	R ²	p-value
Sévérité ~ Risque Tresson	0,9	1,013e-05
Sévérité ~ 0,25*D+(E+F)+G	0,39	0,039
Sévérité ~ 0,25*D+(E+F)+G2	0,87	2,921e-05
Sévérité ~ 0,25*D+(E+F)+G3	0,8	1,98e-04
Incidence	R ²	p-value
Incidence ~ Risque Tresson	0,87	2,735e-05
Incidence ~ 0,25*D+(E+F)+G	0,52	0,012
Incidence ~ 0,25*D+(E+F)+G2	0,86	3,581e-05
Incidence ~ 0,25*D+(E+F)+G3	0,83	1,022e-04

ANNEXE XI : DIFFERENCE DE REPONSE DU MODELE EN FONCTION DE LA VARIETE



Droites de régression du risque fleurs sur l'incidence des monilioses pour les rameaux courts en fonction de la variété

ANOVA- Incidence moyenne RC	SS	df	MS	F-value	Pr(>F)
Variété	0,058	1	0,061	5,390	0,025
Résidus	0,452	40	0,011		



Diplôme : Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences Agronomiques, Agroalimentaires, horticoles et du Paysage

Spécialité : Horticulture

Spécialisation : Sciences et Ingénierie du Végétal

Parcours : Agrosystèmes : conception et évaluation

Responsable de parcours : Matthieu CAROF

Auteur : Jean DUBOIS

Date de naissance : 09 mars 1997

Nb pages : 25

Annexe(s) : 11

Année de soutenance : 2019

Organisme d'accueil : INRA UERI Gotheron

Adresse : 460 route de Gotheron

26 320 Saint-Marcel-lès-Valence

Maître de stage : Laurent BRUN

Titre français : Validation d'un modèle phéno-climatique de contamination des fleurs d'abricotier par *Monilinia sp.* Étude de l'influence des facteurs autres que climatiques sur le développement des monilioses sur rameaux d'abricotier.

Titre anglais: Validation of a pheno-climatic model of apricot blossom contamination by *Monilinia sp.* Study of the influence of non-climatic factors on the development of apricot twig blight.

Résumé :

Les monilioses sont des maladies cryptogamiques fongiques d'importance majeure en arboriculture et constituent actuellement le principal verrou technique à la production d'abricots en agriculture biologique. Par ailleurs, la profession ne dispose d'aucun outil permettant de piloter efficacement la protection. Le projet ClimArbo porte sur la caractérisation au niveau moléculaire et phénotypique de *Monilinia sp.* (agents responsables des monilioses), l'étude des périodes de contamination au verger et l'identification des facteurs de risque. Dans ce cadre, un modèle phéno-climatique de contamination des fleurs d'abricotiers a été développé en 2018. Cette étude porte sur la validation de la relation entre les risques de contamination des fleurs calculés par le modèle et les niveaux de dégâts observés sur les rameaux ; ainsi que sur l'identification des facteurs autres que climatiques pouvant expliquer les écarts au modèle, grâce au suivi d'un réseau de parcelles. Ainsi l'influence de la floribondité, de l'inoculum, de la variété, du type d'agriculture, du positionnement des parcelles et de la sensibilité du stade fin de floraison (G) sur l'incidence des monilioses sur rameaux a été testée. L'étude a pu valider la relation testée en verger expérimental et commercial et a mis en évidence l'influence de l'incidence de l'année passée sur les dégâts rameaux. La sensibilité observée du stade G nous permet de proposer la prise en compte de ce stade à hauteur de 50% dans les calculs de risques. Enfin, des différences de comportement variétal ont été relevées en plus de l'influence du type d'agriculture et de la position des vergers sur les niveaux de dégâts. D'autres études permettraient d'étudier ces facteurs ensemble pour évaluer leurs interactions et ainsi mieux comprendre la dynamique des monilioses en verger commercial pour proposer un outil pertinent à leur gestion.

Abstract:

Blossom and twig blights are fungal diseases of major importance in stone fruit culture and are currently the main technical barrier to organic apricot production. The profession has no tools at its disposal to effectively manage orchard's protection. The ClimArbo project focuses on the molecular and phenotypic characterisation of *Monilinia sp.* (pathogens responsible for blossom and twig blights), the study of contamination periods and the identification of risk factors. In this context, a pheno-climatic model of apricot flower contamination was developed in 2018. This study involves on one hand validating the relationship between the risks of flower contamination calculated by the model and the levels of damage observed on the shoots. On the other hand, it involves identifying non-climatic factors that may explain model deviations by monitoring a plot network. Thus, the influence of flower abundance, inoculum, variety, type of agriculture, plot position and sensitivity of the late flowering stage (G) on the incidence of twig blight was tested. The study was able to validate the relationship tested in experimental and commercial orchards and highlighted the influence of last year's impact on shoot damage. The sensitivity observed in stage G allows us to propose to take it into up to 50% in risk calculations. Finally, differences in varietal behaviour were noted in addition to the influence of the type of agriculture and the position of orchards on damage levels. Other studies would make it possible to study these factors together to evaluate their interactions and thus better understand the dynamics of *Monilinia sp.* in commercial orchards in order to propose a relevant tool for their management.

Mots-clés : Abricotier, Monilioses, *Monilinia sp.*, Modèle phéno-climatique, Stades phénologiques, Réseau de parcelles, Risque de contamination des fleurs, Dégâts rameaux, Inoculum.

Key Words: Apricot tree, Blossom blight, Twig blight, *Monilinia sp.*, Pheno-climatic model, Phenological stages, Plot Network, Risk of flower contamination, Inoculum.