

UNIVERSITÉ GRENOBLE ALPES
UFR Chimie Biologie
Master Biodiversité Ecologie Evolution DynaMo



Mémoire de fin de master



Évaluation du potentiel des facteurs environnementaux sur la contamination des fleurs d'abricotiers par *Monilinia spp* - Application à l'analyse des résultats du réseau national d'évaluation des sensibilités variétales de l'abricotier

Réalisé par :
Lise RUEL
Stage de fin d'études
15 janvier - 15 juillet 2024

Maître de stage :
Laurent Brun
INRAe - UERI Gotheron
(Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement)



Année 2023 - 2024



Résumé

Contamination des fleurs d'abricotiers par *Monilinia* spp : évaluation du potentiel des facteurs environnementaux.

Face au changement climatique et à la perte de biodiversité, l'agriculture biologique devient de plus en plus intéressante. Seulement le principal verrou à l'agriculture biologique de l'abricotier est un champignon du genre *Monilinia* spp.

Dans l'optique de répondre à cet enjeu, différents modèles sont créés afin de tester l'influence de plusieurs facteurs sur les contaminations des fleurs d'abricotiers par le parasite.

Les résultats montrent une grande disparité dans les 4 sites de l'étude, mais un intérêt à prendre en compte le risque phéno-climatique et la floribondité de chaque individu pour améliorer la compréhension des risques de contamination par *Monilinia* spp.

Un fort intérêt de sélection génétique des variétés est mis en avant afin de pérenniser la culture biologique de l'abricotier.

Abstract

Contamination of apricot blossoms by *Monilinia* spp: assessment of the potential of environmental factors.

In the face of climate change and biodiversity loss, organic farming is becoming increasingly attractive. However, the main challenge to organic apricot farming is a fungus *Monilinia* spp. To address this issue, various models have been developed to test the influence of several factors on the contamination of apricot flowers by the parasite.

The results show significant disparities across the four study sites, but highlight the importance of considering pheno-climatic risk, and the floribundity of each individual to better understand the risks of contamination by *Monilinia* spp.

There is a strong interest in the genetic selection of varieties to ensure the long-term sustainability of organic apricot farming.

Remerciements

Tout d'abord, je tiens à remercier mon maître de stage, Laurent Brun, pour son partage de connaissances, sa disponibilité et son écoute. Il m'a permis d'apprendre énormément de choses et ce stage m'a permis de découvrir énormément de choses et de sortir de ma zone de confort.

Je veux également remercier Mathilde Le Pans pour sa gentillesse, sa bonne humeur et ses précieux conseils.

Je remercie tout le réseau de partenaires sans qui mon stage n'aurait pu avoir lieu. Notamment Nathalie Courthieu, Guillaume Martin, Christophe Chamet et Nicolas Barbault, qui m'ont accueilli sur site et m'ont partagé un bout de leur quotidien et les résultats de leur expérimentation.

Je remercie toute l'équipe EIVEIL pour les super moments passés ensemble, la bonne humeur de l'équipe et les récoltes matinales.

Je remercie également le directeur de site, Vincent Mercier, de m'avoir accueilli et accompagné, ainsi que tout le personnel de Gotheron pour les multiples échanges et discussions.

Je remercie Nathan Jardin pour nos échanges très enrichissants.

Je remercie évidemment Célia, Capucine, Lucie et Chloé pour tous les moments passés ensemble et ceux à venir.

Enfin, je remercie ma famille pour leur soutien et leur aide.

SOMMAIRE :

Introduction.....	4
1. Présentation de la structure d'accueil.....	4
2. Contexte.....	4
3. Biologie de l'abricotier.....	4
4. Biologie de Monilinia spp.....	5
5. Facteurs environnementaux.....	6
6. Différents dispositifs pré-étude.....	6
7. Objectif de l'étude.....	8
Matériels et méthodes.....	9
1. Protocole expérimental.....	9
1.1 Objectif du dispositif expérimental.....	9
1.2 Sites du réseau bioagresseurs.....	9
1.3 Matériel biologique.....	9
1.4 Dispositif expérimental.....	10
1.5 Méthodes d'évaluation.....	10
1.6 Données disponibles.....	11
2. Analyses statistiques.....	12
Résultats.....	13
1. Présentation d'un exemple - SEFRA, tranche 2018, année 2024.....	14
2. Analyse site par site.....	16
2.1 Tranche 1.....	16
2.2 Tranche 2.....	17
3. Analyse multi-année et multisite.....	18
Discussion et conclusion.....	20
Références bibliographiques.....	22

Introduction

1. Présentation de la structure d'accueil

L'institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE) est un établissement public français. L'unité expérimentale de recherches intégrées (UERI) de Gotheron est située dans la vallée du Rhône à proximité de Valence dans la Drôme. Cette unité est basée sur le développement de programmes de recherche sur les systèmes de culture durables en arboriculture fruitière.

2. Contexte

Les produits phytosanitaires, pesticides et fongicides permettent d'éliminer les ravageurs et les maladies des systèmes cultivés tels que les vergers. Les systèmes agricoles en France sont conditionnés, pour l'instant, par l'utilisation de ces agents chimiques (Meynard & Girardin, 1991), et c'est particulièrement vrai pour l'abricotier. Mais cela pose de nombreux problèmes, comme une perte de biodiversité dans les vergers et donc également une perte d'auxiliaires (van der Sluijs, 2020) qui pourraient lutter contre les ravageurs. L'agriculture biologique (AB) permet d'éviter l'utilisation d'agents de synthèse, mais la culture de l'abricotier en AB reste très difficile. La première barrière à la culture de l'abricotier biologique est un champignon, *Monilinia spp* (Jacquot et al., 2018). Différents leviers permettent de produire de l'abricot en limitant les fongicides comme la sélection génétique afin de trouver des variétés résistantes. Une recherche de locus impliqué dans la variation de caractères quantitatifs (QTL) permet de créer des variétés résistantes (Nsibi, 2021).

De nombreuses variétés existent déjà, c'est pour cela qu'un réseau de partenaires d'INRAE a créé un essai bio-agresseurs pour déterminer la sensibilité d'une sélection de variétés d'abricotiers aux monilioses en absence totale de traitement. C'est l'analyse des données de ce réseau qui va faire l'objet du stage.

3. Biologie de l'abricotier

L'abricotier commun (*Prunus armeniaca L.*) fait partie de la famille des Rosaceae et de la sous-famille des Prunoideae (aussi appelée Amygdaloideae) qui comprend tous les arbres fruitiers à noyaux (Liu, 2019).

Pendant très longtemps, le nom de l'abricotier a induit en erreur sur son origine. L'abricotier n'est en réalité pas originaire d'Arménie, mais plutôt d'Asie Centrale où il est présent en abondance dans les montagnes environnant Pékin. Il a ensuite été importé via la route de la Soie par les Grecs, les Romains et

les Arabes. Il arrive en France au XVe siècle puis est introduit dans le monde entier, plus récemment (*L'abricot*, s. d.).

C'est un arbre au port étalé qui mesure entre 4 et 6 mètres de hauteur. L'abricotier demande un climat méditerranéen, relativement chaud, mais aussi une longue période de froid l'hiver pour combler la demande en froid des bourgeons. Cet arbre peut même supporter des températures négatives allant jusqu'à - 24 °C.

Toutes les variétés d'arbres fruitiers cultivés sont greffées, d'une part, pour assurer une multiplication végétative et donc des arbres identiques dans chaque variété et d'autre part pour permettre une très bonne adaptation de l'arbre aux caractéristiques du sol via le porte-greffe. Les arbres fruitiers peuvent être greffés sur la même espèce ou sur une essence proche (Egea & Berenguer, 1977).

Les arbres fruitiers sont composés de branches principales qui partent de la base du tronc, appelées charpentières. Les charpentières soutiennent les rameaux, ce sont des branches fines portant les fleurs. Les rameaux ont différentes appellations suivant leur longueur, des bouquets de mai pour les très courts, des chiffonnes pour les rameaux intermédiaires et des gourmands pour les longs rameaux très vigoureux. Une grande variabilité génétique inter-variété induit des différences physiologiques notables comme une période de floraison très étalée dans le temps (des variétés précoces à tardives), un rendement plus ou moins élevé et une résistance aux maladies plus ou moins forte. Également, une variabilité des caractères et des qualités organoleptiques des fruits comme la taille, la couleur, le poids et les feuilles (Rezaei et al., 2020).

4. Biologie de *Monilinia spp*

La moniliose est une maladie cryptogamique qui peut attaquer les fleurs (rameaux) mais également les fruits et donc entraîner la perte d'une partie de la récolte. Le champignon responsable de cette maladie est un ascomycète de la famille des Sclerotiniaceae et du genre *Monilia*. Les trois espèces les plus communes en France sont *Monilinia laxa*, *Monilinia fructicola* et *Monilinia fructigena*. Les espèces *Monilinia laxa* et *Monilinia fructigena* sont originaires d'Europe et *Monilinia fructicola* est originaire d'Amérique (Muñoz et al., 2008). Le champignon rentre par les pétales de la fleur (Brun et al., 2021) de l'abricotier et va faire dessécher les rameaux (annexe 1).

Le champignon est présent sous forme de chancre et de momies sur les arbres qui produisent des coussinets sur lesquels le champignon produit des spores. Il y a un inoculum primaire avec les conidies, forment asexuée des spores du champignon qui se répand sur les vergers. Les conidies vont se déposer sur les fleurs des abricotiers puis rentrer dans les tissus de la plante en progressant dans les parenchymes de la plante, la fleur contaminée n'est donc plus viable et meurt. Il va alors y avoir un développement de

conidies, qui pourront conduire à une nouvelle contamination des fleurs, si la floraison est suffisamment étalée, ce phénomène est appelé inoculation secondaire, mais n'est pas systématique (Ndoumbe Nkeng, 2002). Les spores peuvent également contaminer les fruits (Lino et al., 2016).

Il est possible de quantifier le nombre de spores présentes dans l'air aux alentours du verger afin de déterminer la présence ou non des différentes espèces de *Monilia* grâce à un capteur de spores Burkard (Villarino et al., 2013).

Comme l'abricotier est une espèce à floraison précoce, il est très sujet à divers risques comme le gel printanier, maladies et ravageurs. Pour s'assurer une bonne récolte pour l'arboriculteur, de nombreuses protections phytosanitaires sont disponibles sur le marché (Jalobã et al., 2022).

Néanmoins, en agriculture biologique, les monilioses restent le principal verrou de production pour les arboriculteurs (Christen et al., 2012). Des solutions existent, comme le croisement de variétés les plus résistantes entre elles. Ces solutions de résistance génétique permettent d'avoir une variété la moins sensible possible afin de pouvoir la cultiver relativement facilement par des producteurs en agriculture biologique.

5. Facteurs environnementaux

L'environnement joue un rôle très important en agriculture, par le climat, la structure et la composition du sol. L'apparition des maladies monilioses est accentuée par la température et la durée d'humectation (Tamm, 1995) mais surtout la quantité de pluie reçue sur une période donnée (Tresson et al., 2020).

Avec le changement climatique, le climat change et cela va potentiellement aggraver les risques du développement de maladies sur les abricotiers notamment les monilioses. Pour essayer de prédire l'apparition du monilia, le projet ClimArbo, coordonné par le GRAB, Inrae et la SEFRA, a mis au point un modèle phéno-climatique. Ce modèle permet d'avoir le risque phéno-climatique, donc le risque de développer une moniliose, grâce aux conditions météorologiques, pluie et température, suivant le stade phénologique de chaque abricotier (annexe 2). Chaque stade phénologique de la plante n'a pas la même sensibilité. C'est ce risque (appelé couramment "moulinette") qui va être intégré dans les analyses de sensibilités variétales réalisées par la suite.

6. Différents dispositifs pré-étude

De nombreuses données sont déjà disponibles sur d'autres expérimentations. Ces pré-analyses sont réalisées en début de stage afin de jeter un premier regard sur la mise en forme des dispositifs.

Un essai appelé "Monilia 06" a été mis en place sur le site de Gotheron de 2006 à 2011. C'est un essai avec 13 variétés d'abricotiers avec 20 répétitions par variété. Ce dispositif a permis de réaliser une

analyse ANOVA pour estimer le nombre de répétitions nécessaires afin de voir une différence significative entre les variétés. Au début des analyses statistiques, il y avait 20 répétitions par variété, le nombre de répétitions est réduit afin de comparer la puissance statistique des tests effectués par la suite.

Détermination du nombre d'arbres discriminants par variété en 2010 : Résultats des tests de Newman-Keuls

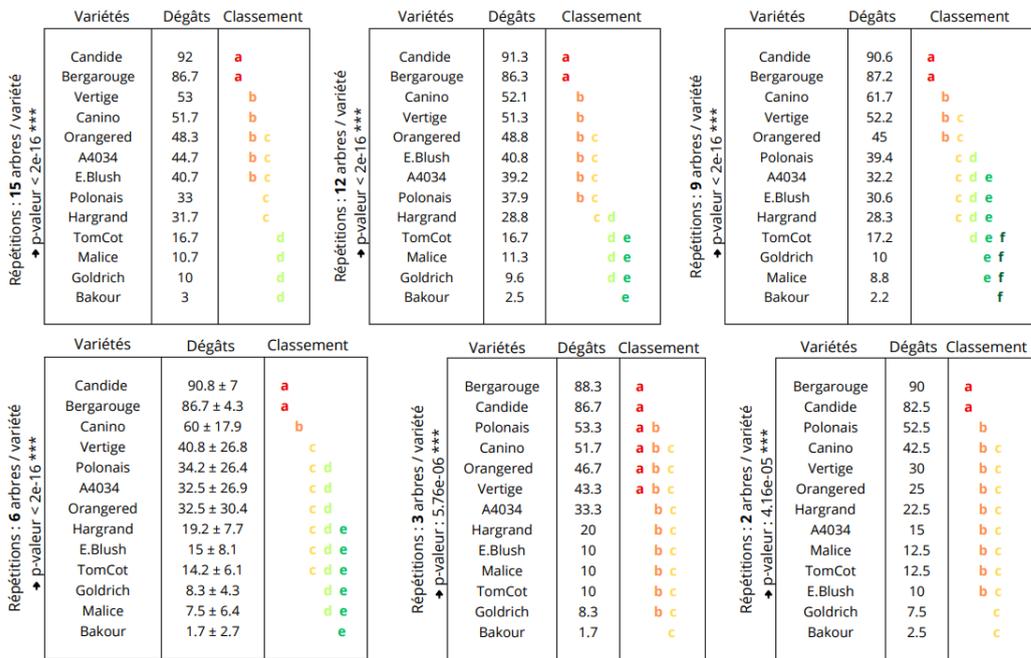


Figure 1 : Nombre de répétitions nécessaires par variété pour avoir un classement robuste

La figure 1 montre que la p-valeur de l'ANOVA ne change pas et elle est significative quand il y a 15, 12, 9, et 6 répétitions (p-value < 2e-16). Quand il y a 3 répétitions, la p-valeur augmente (p-value = 5.76e-06) mais elle reste significative, il y

a donc encore une différence de dégâts (pourcentage de rameaux moniliés) entre les variétés. Pour confirmer, une ANOVA avec seulement 2 arbres par variété est aussi réalisée (p-value = 4.16e-05) donc même avec 2 arbres par variété, les résultats sont discriminants, les variétés diffèrent entre elles. Cela montre que pour le réseau, avec 6 arbres par variété, cela semble robuste pour la suite des analyses.

Ensuite, un test de Newman-Keuls est réalisé afin de voir les différents groupes, la discrimination des variétés en groupe est moins bonne en diminuant le nombre de variétés, donc le mieux reste le plus possible de répétitions possibles.

Un deuxième essai, toujours en cours, est nommé "Core Collection". C'est un dispositif planté en 2017 de 150 variétés cultivées à travers le monde en 5 répétitions ce qui donne un verger de 750 arbres sur 5 blocs. Les données de monilioses sur rameaux de la Core Collection sont disponibles en 2020, 2021, 2022 et 2023. Le classement des variétés est réalisé grâce à une ANCOVA. Les dégâts sont la variable réponse, le risque phéno-climatique la covariable et la variété une variable explicative. Après, le classement des 150 variétés est réalisé avec un test de Newman-Keuls et les variétés présentes dans les essais du stage et de l'essai "Monilia 06" sont extraites en conservant leurs places parmi les 150 variétés. Ce classement permet avant tout de vérifier que les variétés présentes dans le réseau sont représentatives de l'ensemble

des variétés, c'est-à-dire qu'il y en a des très sensibles, des moyennement sensibles et des peu sensibles, c'est le cas puisque pour le réseau, on a des variétés qui se classent entre le 5ème et le 118ème rang sur 150 (Figure 2). Mais aussi cela permet d'avoir un premier classement des variétés pour vérifier avec un deuxième dispositif, le classement des variétés du réseau. Les variétés Lady Cot, Pricia et Royal

Comparaison des variétés du réseau et de Monilia 06 dans le classement des variétés de la Core Coll via la moyenne des 4 années (via un Test SNK)

Variété	Dégâts (% rameaux moniliés)	Groupes (test Newman - Keuls)	Classement (par rapport à la Core Coll)
Bergarouge	48.433667	abc	4
Lady Cot	45.542000	abcd	5
Pricia	42.292000	bcdef	7
Royal Roussillon	34.950000	bcdefghijklmnop	22
E.blush	32.533000	bcdefghijklmnopqrstu	31
Orangered	31.624500	bcdefghijklmnopqrstuvw	36
Big Red	30.992000	bcdefghijklmnopqrstuvw	40
Canino	30.249500	bcdefghijklmnopqrstuvw	42
Flopria	29.150000	bcdefghijklmnopqrstuvw	46
Digat	28.950000	bcdefghijklmnopqrstuvwxy	47
Bergeron	28.708000	cdefghijklmnopqrstuvwxy	49
Tardif de Tain	26.533500	defghijklmnopqrstuvwxyAB	59
Frisson	25.983000	defghijklmnopqrstuvwxyAB	63
Bergeval	25.358500	defghijklmnopqrstuvwxyAB	65
Colorado	24.108000	defghijklmnopqrstuvwxyABC	70
Vertige	23.742000	efghijklmnopqrstuvwxyABC	71
Tom Cot	23.201528	fghijklmnopqrstuvwxyABC	77
Goldrich	19.950000	ghijklmnopqrstuvwxyABC	90
Mediabel	18.727833	ghijklmnopqrstuvwxyABC	98
Koolgat	15.275000	klmnopqrstuvwxyABC	118
Hargrand	11.491500	stuvwxyABC	132
Polonais	9.674833	wxyABC	137
Bakour	6.742000	yzABC	143
Malice	6.446667	zABC	146

Roussillon semblent très sensibles dans cette première approche tandis que Mediabel et Koolgat paraissent beaucoup moins sensibles. Néanmoins, au regard des groupes, il y a peu de discriminations possibles, les groupes se recoupent et ne sont pas très discriminants entre eux. L'analyse des données de la Core Collection permet de repérer les facteurs explicatifs autres que variétal comme le risque phéno-climatique qui sera pris en compte pour la suite de l'analyse du réseau.

Figure 2 : Classement des variétés communes de la Core Collection, avec les variétés du réseau et de l'essai "Monilia 06"

7. Objectif de l'étude

Ce stage s'axe sur l'analyse des données de 4 sites des stations expérimentales partenaires avec l'appui de l'INRAE sur les dégâts dû aux monilioses. La question principale est : Comment évaluer la sensibilité variétale de l'abricotier à la moniliose ?

Différentes hypothèses sont émises, telles que : Les facteurs environnementaux et la floribondité, influent-ils sur les développements des monilioses ? Les variétés réagissent-elles de la même façon suivant les sites ?

L'analyse des données sur plusieurs années de notation va permettre de répondre à ce questionnement.

Matériels et méthodes

1. Protocole expérimental

1.1 Objectif du dispositif expérimental

Le dispositif expérimental Bioagresseurs a pour objectif d'évaluer la réponse de différentes variétés d'abricotiers aux bioagresseurs : Monilioses (fleurs/fruits), Rouille, ECA, Cicadelle, Oïdium, Tavelure. Les maladies peuvent se développer et être observées sur les vergers car il y a une absence totale de traitement.

1.2 Sites du réseau bioagresseurs

Le même essai a été implanté dans 4 sites, couvrant la zone de production de l'abricot en France. Cela permet de voir si les variétés ont des réponses différentes à leur environnement suivant leur implantation géographique. L'essai a été implanté à la SEFRA, au CTIFL, à SudExpe et à la SICA Centrex. La SEFRA (Station d'Expérimentation Fruits Auvergne Rhône-Alpes) est une station expérimentale avec une superficie de 22 hectares sur le site central d'Etoile sur Rhône (26). Le centre CTIFL de Balandran (Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes) est un centre d'expérimentation avec une superficie de 75 hectares situé à Bellegarde (30). Le site de SudExpe est une station de recherche appliquée de 35 hectares située à Saint-Gilles (30). La SICA Centrex (Centre Expérimental des Fruits et Légumes du Roussillon) est une station expérimentale 26 hectares située à Torreilles (66).

1.3 Matériel biologique

Sur chaque site, 2 vergers ont été plantés, un en 2018 (Pour la Centrex, il a été planté en 2019 mais c'est le même verger, avec les mêmes variétés) et un en 2020. Ces deux vergers sont appelés respectivement Tranche 1 et Tranche 2. Pour la tranche 1, il y a 17 variétés communes aux 4 sites et quelques témoins régionaux (annexe 3). Pour la tranche 2, il y a 15 variétés communes aux 4 sites et quelques témoins régionaux également (annexe 3). Tous les arbres de cet essai sont greffés sur pêcher Montclar. Les variétés de la tranche 1 sont des variétés connues et bien implantées chez les producteurs. Les variétés de la tranche 2 se démarquent dans les essais de comportement variétal des nouvelles variétés et sont

potentiellement intéressantes d'un point de vue agronomique pour les producteurs. La sensibilité variétale aux monilioses est assez peu connue car les traitements fongicides sur les vergers d'étude du comportement et vergers producteurs masquent ces sensibilités.

1.4 Dispositif expérimental

Les vergers de chaque site et de chaque tranche ont des protocoles similaires mais il y a quelques différences dans les distances des plantations.

C'est un dispositif spécifique où chaque verger comporte des répétitions avec 6 arbres par variété. Le plan de plantation est randomisé et les arbres sont plantés aléatoirement sur les 6 blocs (en gardant toujours un arbre de chaque variété par bloc). Sur l'ensemble des parcelles, il y a une absence de traitement contre les bio-agresseurs afin d'évaluer le développement des maladies.

Les distances entre les arbres dans les vergers sont adaptées à la spécificité de chaque site. Pour la SEFRA, il y a une distance de 4 m entre les rangs et de 1,75 m entre les arbres sur le rang. Pour SudExpe c'est 5 m inter-rang et 2.5 m sur le rang. Pour le CTIFL, c'est 4 m inter-rang et 1.54 m sur le rang. Et enfin, pour la Centrex, c'est 6 m inter-rang et sur le rang 2.2 m pour la tranche 2019 et 2.8 m pour la tranche 2020.

1.5 Méthodes d'évaluation

Les facteurs climatiques sont extrêmement importants dans le développement des monilioses sur fleurs. Les données de température et de pluviométrie au moment des différents stades phénologiques ainsi que la floribondité de l'arbre pour l'année d'études doivent être récupérées.

La floribondité est un indice permettant de représenter la charge totale en fleur d'un arbre. La note est comprise entre 0 (aucune fleur) et 9 (arbre entièrement fleuri) (voir annexe 3). Elle est souvent intrinsèque à la variété. Mais pour chaque individu, il y a un principe d'alternance, donc suivant les années, les arbres n'ont pas toujours la même charge en fleurs. Pour la suite des analyses, il y aura 3 floribondités distinctes. La floribondité observée, qui est la floribondité de l'individu au moment de la notation de l'année. La floribondité générale, qui est la floribondité "normale" de la variété, et qui a déjà été estimée dans les vergers d'évaluation variétale conduits en conventionnel pour éviter les symptômes des monilioses. Enfin la floribondité centrée (observée - générale), c'est la variable qui est utilisée pour la suite des analyses, permettant de voir chaque année l'écart à la normale de la floribondité de chaque arbre.

Les données météo sont collectées avec une station météo. Une station météo France pour la SEFRA, pour SudExpe une station CIMEL INRAE, pour la Centrex la station SAM Sud Agro Météo et pour le CTIFL, c'est une station Celsius. Ces stations sont situées entre 300 m et 750 m des parcelles.

Les paramètres les plus importants pour cette expérimentation sont la pluviométrie et la température, afin de les intégrer dans le calcul du risque de contamination via un modèle phéno-climatique.

Le modèle phéno-climatique (moulinette) est un outil d'évaluation qui permet d'estimer le risque de contamination par *Monilia* spp (annexe 4). Pour faire tourner ce modèle, il faut les données de pluviométrie et température ainsi que les différents stades phénologiques des arbres au moment des pluies. Le stade phénologique "E" quand le bourgeon est au stade bouton blanc, après l'ouverture des sépales et le stade "D + F" quand les pétales s'ouvrent puis que les fleurs sont complètement ouvertes. La notation des stades phénologiques se fait 2 fois par semaine ou dès qu'il y a une pluie. Le calculateur donne une incidence de risque cumulée sur fleur durant la saison et duquel découle un pourcentage potentiel de rameaux desséchés. Pour la suite de cette étude seulement l'incidence sera utilisée.

Les données des dégâts des monilioses sur les arbres sont collectées grâce à un comptage sur rameaux. Le comptage s'effectue en deux temps. Dans un premier temps, identifier les rameaux dès que l'on voit les bourgeons floraux ou les fleurs et les compter pour avoir environ 100 rameaux sans répartition volontaire. Si l'arbre est très floribond, identifier, avec de la rubalise pour pouvoir les reconnaître, deux charpentières par arbre, une au nord et l'autre au sud. Dans un deuxième temps, estimer le nombre de rameaux desséchés par le monilia, ce qui permet d'avoir la proportion de rameaux secs/moniliés et sains. Le premier comptage se fait après le débourrement des bourgeons floraux et le deuxième, un mois après la floraison.

1.6 Données disponibles

Les données transmises par chaque site ont été optimisées afin d'avoir des tableaux homogènes, pour chaque site, chaque tranche et chaque année de notation. Les données disponibles sont les dégâts (% de rameaux desséchés par *Monilia* spp), le risque phéno-climatique, la floribondité observée pour l'année de notation, la floribondité générale de la variété et la floribondité centrée (floribondité observée - floribondité générale) pour chaque arbre de la parcelle.

La floribondité générale de la variété a été transmise par chaque station en fonction de leurs vergers d'évaluation possédant les variétés et conduit en conventionnel. C'est la floribondité intrinsèque de la variété protégée par des traitements, cette floribondité est utile uniquement pour calculer la floribondité centrée. La floribondité centrée est la variable permettant de voir si pour une année de notation donnée il

y a un écart à la floribondité moyenne habituelle de la variété. Cela évite de mettre la floribondité observée en covariable alors que chaque variété a une floribondité plus ou moins forte et que c'est un critère génétique inchangeable.

Tableau 1 : Différentes données (années de notation, variables environnementales) de l'expérimentation disponibles suivant la tranche et le site

Site \ Tranche	Tranche 2018/2019	Tranche 2020
Centrex	Année 2021 : Dégâts, Risque Année 2022 / 2023 : Dégâts, Risque, Floribondité observée, Floribondité générale, Floribondité centrée	Année 2022 / 2023 : Dégâts, Risque, Floribondité observée, Floribondité générale, Floribondité centrée
CTIFL	Année 2021 : Dégâts, Risque Année 2022 : Dégâts, Risque, Floribondité observée	Année 2021 : Dégâts, Risque Année 2022 : Dégâts, Risque, Floribondité observée
SEFRA	Année 2021 : Dégâts, Risque Année 2022 / 2023 / 2024 : Dégâts, Risque, Floribondité observée, Floribondité générale, Floribondité centrée	Année 2022 / 2023 / 2024 : Dégâts, Risque, Floribondité observée, Floribondité générale, Floribondité centrée
SudExpe	Année 2021 : Dégâts, Risque Année 2022 / 2023 : Dégâts, Risque, Floribondité observée, Floribondité générale, Floribondité centrée	Année 2022 / 2023 : Dégâts, Risque, Floribondité observée, Floribondité générale, Floribondité centrée

2. Analyses statistiques

Les analyses statistiques sont réalisées avec le logiciel R, la version 4.3.2 et l'interface RStudio. Différents packages et bibliothèques sont utilisés tout au long des analyses : readxl, ggplot2, tidyverse, car, agricolae, lmPerm, coin, ggrepel, lsmeans, FSA, rcompanion, formatR.

Différents tests statistiques sont réalisés intra et inter-sites. Les tests décrits par la suite sont réalisés pour chaque site, chaque tranche et chaque année de notation.

Deux régressions linéaires sont réalisées graphiquement avec le pourcentage de rameaux moniliés. L'une avec le risque phéno-climatique, l'autre avec la floribondité observée de l'année.

Ensuite, des tests de comparaison de la distribution d'échantillons sont réalisés. Il existe des tests paramétriques qui se basent sur le postulat que les données suivent certaines distributions statistiques.

Pour être sûr que les résultats des tests paramétriques soient fiables, il faut donc que les données valident certaines hypothèses de base.

La première hypothèse sert à vérifier que les résidus des données suivent une loi normale de moyenne 0. Cela est vérifié avec un test de Shapiro-Wilk (`shapiro.test(residuals())`). La deuxième hypothèse permet de vérifier l'indépendance des résidus, c'est-à-dire que les résidus ne sont pas corrélés entre eux. Le test de Durbin-Watson (`durbinWatsonTest()`) permet de vérifier cette hypothèse. La troisième hypothèse est l'homogénéité des variances qui permet de s'assurer que les résidus ont une variance homogène. La vérification se fait avec le test de Levene (`leveneTest(residuals())`).

Pour accepter toutes ces hypothèses, il faut obtenir une p-value supérieure à 0.05.

Une dernière hypothèse est vérifiée seulement pour la réalisation de l'ANCOVA, c'est l'homogénéité des pentes de régression (`anova(lm())`), qui permet de vérifier qu'il n'y a pas d'interaction significative entre la covariable et les variables de groupement.

Quand les hypothèses sont vérifiées (p-value > 0.05), les tests paramétriques d'ANOVA et d'ANCOVA (type III) sont privilégiés. L'ANOVA permet de tester la différence des moyennes entre plusieurs groupes alors que l'ANCOVA est une méthode statistique qui prend en compte l'effet d'une covariable. Une fois ces tests effectués, s'ils sont significatifs (p-value < 0.05) alors un test de Newman-Keuls (`SNK.test`) est réalisé pour classer en groupes statistiquement différents les données.

Si une seule des hypothèses n'est pas satisfaite alors les tests paramétriques ne peuvent pas être utilisés. Une première solution est de transformer les données, en appliquant la fonction logarithmique aux données, cela permet d'avoir une distribution moins étendue donc plus proche d'une distribution normale permettant d'utiliser l'ANCOVA classique avec les données transformées. Si les hypothèses ne sont toujours pas validées avec les données logarithmique, alors il faut utiliser une alternative non-paramétrique comme le test de Kruskal-Wallis (`kruskal.test()`) si il n'y a que deux variables à comparer et l'ANOVA par test de permutation (`aovp()`) s'il y en a plusieurs, ces tests ne nécessitent aucune validation d'hypothèse en amont mais reste moins robuste. Un test de classement de groupe existe en non-paramétrique, c'est le test de Dunn (`dunnTest()`) qui permet un classement des rangs et avec des lettres en ajoutant une fonction (`cdlist()`).

Résultats

Pour chaque site, chaque tranche et chaque année de notation disponible, exactement la même méthode d'analyse est mise en place. Dans un premier temps, les résultats des données de la SEFRA, de la tranche 2018 et de l'année 2024 sont présentés. Puis les résultats des classements de chaque année pour tous les sites et enfin un regroupement multisite.

1. Présentation d'un exemple - SEFRA, tranche 2018, année 2024

En premier temps, deux régressions sont réalisées afin de visualiser la répartition des variétés suivant leurs dégâts observés et leur risque phéno-climatique ou leur floribondité observée.

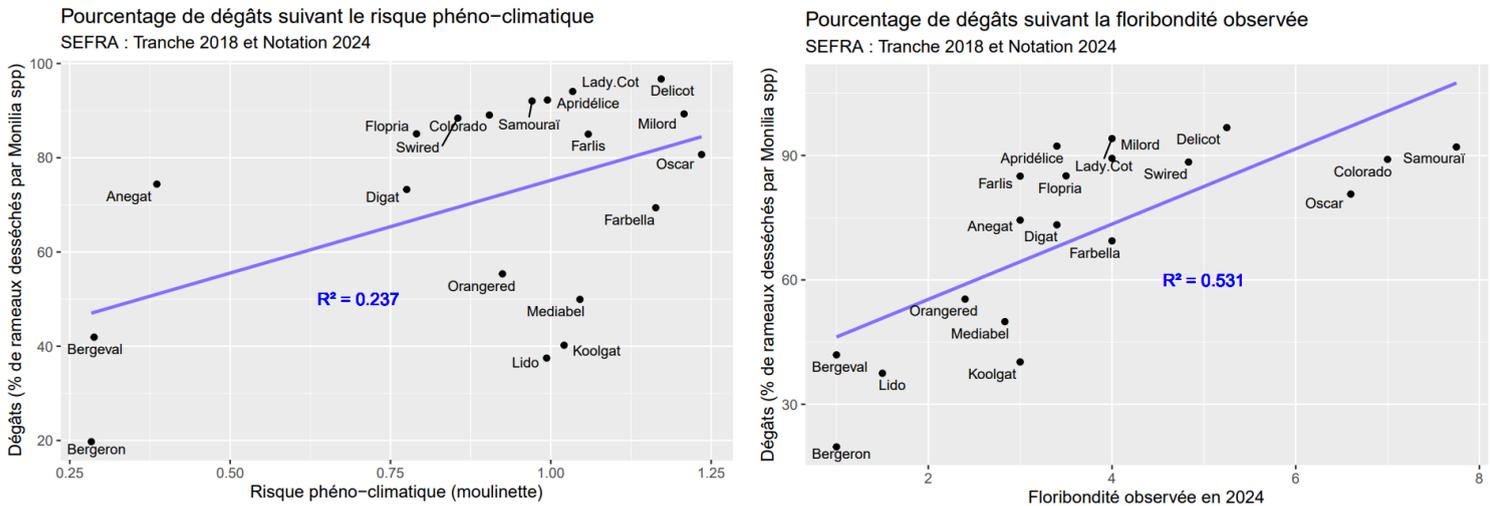


Figure 3 : Régressions linéaires des dégâts causés par les monilioses en fonction soit du risque, soit de la floribondité observée

Les dégâts semblent corrélés positivement avec le risque phéno-climatique et la floribondité (figure 3).

La variété Bergeron a très peu de dégâts mais la figure 3 permet de voir que, cette année, elle a eu très peu de fleurs et très peu de risques de contamination, cela permet de prendre du recul sur les faibles dégâts qui n'indiquent pas forcément une moindre sensibilité.

Ensuite un test statistique adéquat (paramétrique ou non suivant la validité des hypothèses) est réalisé pour comparer les variétés entre les six blocs de la parcelle. Il n'y a aucun effet bloc ici (p-value = 0.9377) et sur aucun autre site ni tranche de l'étude.

Le même test est réalisé pour comparer les variétés entre elles et il y a toujours une grande différence entre les variétés, une p-value de 7.831e-09 pour cette année. Il y a toujours une différence entre les variétés sauf pour la Centrex, la tranche 2020 et l'année de notation 2023 car il n'y a eu quasiment aucun dégâts.

Un classement est réalisé pour voir quelles variétés diffèrent des autres, en prenant en compte seulement la variété, puis en ajoutant la covariable risque phéno-climatique pour ajuster les moyennes puis la covariable floribondité centrée.

Tableau 2 : Classement des variétés en ajoutant des variables explicatives (moul : risque phéno-climatique et flo_centree : floribondité centrée)

Dégâts ~ variété			Dégâts ~ variété + moul			Dégâts ~ variété + moul + flo_centree		
Variété	Dégâts	Groupes	Variété	Dégâts	Groupes	Variété	Dégâts	Groupes
Delicot	96.72	a	Delicot	92.86	a	Farlis	89.01	abc
Lady.Cot	94.07	abd	Lady.Cot	92.20	a	Milord	87.70	abc
Apridélice	92.25	ab	Samouraï	91.09	ab	Flopria	87.03	abc
Samouraï	92.04	abd	Apridélice	90.95	ab	Delicot	86.51	a
Milord	89.30	abd	Swired	89.12	ab	Apridélice	85.34	ab
Colorado	89.06	abd	Colorado	89.07	ab	Lady.Cot	85.11	ab
Swired	88.40	abd	Flopria	86.73	ab	Anegat	81.70	abc
Flopria	85.08	abcd	Milord	84.93	ab	Swired	79.89	abc
Farlis	85.01	abcd	Farlis	82.79	ab	Digat	79.38	bc
Oscar	80.69	abcd	Anegat	81.90	ab	Samouraï	73.88	ab
Anegat	74.41	abcd	Oscar	75.92	ab	Colorado	72.11	abc
Digat	73.27	abcd	Digat	75.14	ab	Oscar	70.80	abc
Farbella	69.40	abcd	Farbella	65.66	b	Farbella	70.40	c
Orangered	55.36	abcd	Orangered	55.08	c	Orangered	67.70	d
Mediabel	49.94	abcd	Bergeval	50.83	c	Bergeval	57.04	d
Bergeval	41.92	abcd	Mediabel	47.91	c	Mediabel	50.02	d
Koolgat	40.21	bcd	Koolgat	38.54	c	Lido	48.35	d
Lido	37.49	cd	Lido	36.21	c	Koolgat	41.31	d
Bergeron	19.75	c	Bergeron	28.72	d	Bergeron	33.45	e

Voilà le classement pour les différentes variétés. Plus le nombre de variables est important, plus les groupes deviennent discriminants. Quand il y a seulement la variable variété prise en compte, seuls Koolgat, Lido et Bergeron sont significativement différents de Delicot. Si on ajoute la covariable du risque phéno-climatique puis la floribondité centrée, 7 variétés sont différentes de Delicot et Lady Cot. Bergeron semble la variété la moins sensible sur ce site, cette tranche et cette année, néanmoins, elle n'a pas eu ni de fleurs ni de risque cette année. Il y a donc très peu de dégâts et elle est logiquement tout en bas du classement. Mais cela ne veut pas dire qu'elle soit vraiment moins sensible que les autres, elle a juste eu des paramètres qui ont fait qu'elle a échappé à la pluie cette année. Ce phénomène est régulièrement présent dans toutes les analyses. Pour pallier ce fait, durant l'analyse multisite, les variétés ayant moins de 2 en note de floribondité et moins de 0.4 en note de risque phéno-climatique ne seront plus prises en compte. Cela limite les mauvaises interprétations et la définition d'une variété comme peu sensible alors qu'elle a simplement eu des paramètres qui lui ont permis d'échapper à la maladie. Ces seuils ont été définis durant d'autres essais, le stage de Léo Moncorger pour le seuil de floribondité (Moncorger, 2022) et défini par la pré-étude sur la Core-collection pour le risque phéno-climatique.

Les variétés colorées en vert sont celles qui avaient un risque inférieur à 0,4, celles en rouge qui ont eu une floribondité inférieure à 2 pour l'année de notation. Et la variété Colorado qui a gelé en 2022 à la SEFRA. En résumé, toutes les variétés surlignées avaient moins de probabilités d'être contaminées par des spores. Elles sont donc à prendre avec du recul dans le classement.

Les variétés ont des tendances mais cela dépend aussi énormément du site (tableau 3), Colorado est la plus sensible, toutes années confondues, à SudExpe mais semble moins sensible à la SEFRA. Sur tous les sites, Lady Cot est plutôt sensible.

2. 2 Tranche 2

SEFRA - TRANCHE 2020										
Année de notation	2022	2023	2024							
Modèle	DEGATS - VARIETE	DEGATS - VARIETE	DEGATS ~ FLO_centree + VARIETE							
Test	Dunn (R ² = 0,27)	Dunn (R ² = 0,42)	Newman-Keuls (R ² = 0,70)							
Classement	Variété	Dégâts	Groupes	Variété	Dégâts	Log	Groupes*	Variété	Dégâts	Groupes
	Aristo	5.07	a	Apricandy	25.64	a	Agostino	66.52	4.20	a
	Madrigal	4.29	ab	Agostino	21.79	abc	Rouge Cot	46.93	3.95	abc
	Rubissia	3.76	ab	Cocot	16.45	abcd	Apricandy	45.74	3.82	ab
	Noogat	2.92	ab	Madrigal	13.80	ac	Madrigal	37.05	3.68	abcde
	Apricandy	2.91	ab	Nelson	10.88	abcd	Cocot	45.18	3.53	a
	Fardosa	2.22	ab	Playa Cot	10.41	abcd	Nelson	27.35	3.30	abcde
	Agostino	2.17	ab	Fardosa	10.12	abcd	Fardosa	25.94	3.17	abcde
	Rouge Cot	2.15	ab	Rubissia	7.79	abcd	Aristo	22.96	3.14	abcd
	Nelson	1.33	ab	Bolero	7.45	abcd	Playa Cot	25.41	3.00	de
	Bergeron	1.30	ab	Rouge Cot	6.98	abcd	Rubely	20.83	2.78	cde
	Playa Cot	1.23	ab	Noogat	5.25	abcd	Noogat	21.02	2.64	e
	Playa Cot	1.18	ab	Fiesta Cot	4.83	abcd	Lisa	12.53	2.54	de
	Cocot	1.08	ab	Aristo	3.94	abcd	Bolero	10.17	2.42	bcde
	Lisa	0.80	ab	Bergeron	3.73	abcd	Fiesta Cot	-4.92	1.78	e
Bolero	0.69	ab	Justo Cot	2.31	bcd	Bergeron	9.03	1.36	f	
Justo Cot	0.22	b	Justo Cot	2.14	bd					
Rubely	0.11	b	Rubely	1.79	d					

*La colonne "Dégâts" représente les valeurs sans la transformation log, pour faciliter la lecture. Les groupes sont basés sur la colonne "Log" qui représente la transformation log(DEGATS + 1).

SudExpe - TRANCHE 2020							
Année de notation	2022	2023					
Modèle	DEGATS ~ VARIETE + MOUL	DEGATS ~ VARIETE					
Test	Newman-Keuls (R ² = 0,65)	Dunn (R ² = 0,50)					
Classement	Variété	Dégâts	Log	Groupes*	Variété	Dégâts	Groupes
	Agostino	26.11	2.72	a	Apricandy	28.94	a
	Cocot	11.94	2.58	b	Agostino	23.09	ab
	Apricandy	14.98	2.43	a	Madrigal	16.26	abc
	Justo.Cot	6.50	1.87	bc	Cocot	10.64	abc
	Rubely	5.47	1.79	bc	Noogat	3.99	abc
	Madrigal	6.55	1.75	bc	Bolero	3.78	abc
	Noogat	4.86	1.73	bc	Justo Cot	1.76	abc
	Rouge.Cot	4.46	1.65	bc	Rubely	0.98	bc
	Bolero	3.25	1.14	cd	Rouge Cot	0.94	bc
	Playa.Cot	2.75	1.12	cd	Fiesta Cot	0.87	c
	Fiesta.Cot	3.78	0.80	d	Playa Cot	0.76	bc
	Aristo	1.33	0.64	d	Aristo	0.28	c

*La colonne "Dégâts" représente les valeurs sans la transformation log, pour faciliter la lecture. Les groupes sont basés sur la colonne "Log" qui représente la transformation log(DEGATS + 1).

CTIFL - TRANCHE 2020						
Année de notation	2021	2022				
Modèle	DEGATS - VARIETE	DEGATS - VARIETE				
Test	Dunn (R ² = 0,48)	Dunn (R ² = 0,59)				
Classement	Variété	Dégâts	Groupes	Variété	Dégâts	Groupes
	Cocot	13.68	b	Rouge Cot	69.65	b
	Rubissia	4.67	bc	Cocot	54.72	ab
	Bolero	4.53	abc	Rubissia	54.52	ab
	Madrigal	2.95	abc	Apricandy	50.56	ab
	Fardosa	2.69	abc	Madrigal	42.99	abc
	Nelson	1.74	abc	Noogat	41.28	abc
	Apricandy	1.66	abc	Aristo	35.83	abc
	Rouge Cot	1.38	abc	Justo Cot	27.73	abc
	Agostino	1.11	abc	Agostino	23.01	abc
	Fiesta Cot	0.92	abc	Fardosa	16.11	abc
	Playa Cot	0.38	ac	Playa Cot	14.47	ac
	Justo Cot	0.18	ac	Nelson	14.38	ac
	Aristo	0.00	a	Bolero	10.44	c
	Noogat	0.00	a	Rubely	9.13	c
Rubely	0.00	a	Fiesta Cot	7.73	c	

SICA Centrex - TRANCHE 2020						
Année de notation	2022	2023				
Modèle	DEGATS - VARIETE	DEGATS - VARIETE				
Test	Dunn (R ² = 0,54)	Dunn (R ² = - 0,016)				
Classement	Variété	Dégâts	Groupes	Variété	Dégâts	Groupes
	Agostino	7.95	a	Agostino	0.17	a
	Rubissia	2.35	ab	Apricandy	0.00	a
	Rubely	1.17	ab	Aristo	0.00	a
	Aristo	1.08	ab	Bolero	0.00	a
	Royal Roussillon	0.92	ab	Cocot	0.00	a
	Cocot	0.57	ab	Fardosa	0.00	a
	Fiesta Cot	0.50	b	Fiesta Cot	0.00	a
	Playa Cot	0.39	b	Justo Cot	0.00	a
	Fardosa	0.26	b	Madrigal	0.00	a
	Rouge Cot	0.26	b	Nelson	0.00	a
	Apricandy	0.00	b	Noogat	0.00	a
	Bolero	0.00	b	Playa Cot	0.00	a
	Justo Cot	0.00	b	Rouge Cot	0.00	a
	Madrigal	0.00	b	Royal Roussillon	0.00	a
Nelson	0.00	b	Rubely	0.00	a	
Noogat	0.00	b	Rubissia	0.00	a	

Tableau 4 : Classement des variétés suivant les années de notations et les sites pour la Tranche 2

Pour la tranche 2, c'est le même principe que la tranche 1, les mêmes analyses et le modèle le plus significatif qui est privilégié. Pour cette tranche, ce sont des variétés nouvelles, l'expérimentation bio-agresseurs sur ces variétés permet d'éviter de les conseiller en agriculture biologique aux arboriculteurs si elles sortent trop sensibles ou inversement, les conseiller, si elles se révèlent moins sensibles.

Pour la SEFRA, l'année de notation 2024 et pour SudExpe l'année de notation 2022, il y a une colonne "dégâts log" qui correspond à la transformation des données afin qu'elle respecte les hypothèses de base. Les couleurs sont les mêmes que pour la tranche 1. Sur le tableau 4, c'est très visible que la Centrex a beaucoup moins de dégâts que les autres sites. De plus, il y a tellement peu de risque et de floribondité que seulement 4 variétés sur les 2 années de notation peuvent être prises en compte. Chaque année, sur les sites autres que la Centrex, il y a de plus en plus de dégâts.

Il y a peu de différence entre les variétés, mais Apricandy et Agostino semblent les plus sensibles, notamment à SudExpe et à la SEFRA.

3. Analyse multi-année et multisite

Pour cette dernière partie, une analyse multi-site a été réalisée. Le but initial était de procéder à la même analyse que pour chaque site, chaque tranche et chaque année de notation mais en regroupant toutes les données pour n'avoir qu'un seul classement final. Cette méthode n'est pas possible car les données ne valident pas les hypothèses de base. De plus, il existe des interactions (annexe 5), c'est à dire que les classements des variétés diffèrent suivant les années et les sites sont significativement différents entre eux, donc impossible de réaliser une comparaison en faisant la moyenne par variété de tous les sites. La solution a été de réaliser un classement par moyenne des rangs. Grâce aux tableaux réalisés au-dessus, chaque variété est classée pour toutes les années, les tranches et les sites, une moyenne totale de leur positionnement est réalisée pour avoir une idée du classement final pour les producteurs. Depuis le début de l'analyse, toutes les variétés sont prises en compte. Mais pour le classement des rangs, seulement la valeur des rangs des variétés non surlignées est utilisée, pour s'affranchir des variétés peu floribondes ou ayant moins de risque cette année-là. Il n'y a donc pas de notion de significativité dans ce classement mais cela permet d'avoir un classement général prenant en compte le manque de floribondité ou de risque phéno-climatique, ce qui est très important pour donner une idée aux producteurs et augmenter l'agriculture biologique de l'abricotier.

Tableau 4 : Classement par la moyenne des rangs pour la tranche 1

Classement par la moyenne des rangs - Tranche 2018/2019					
Variété \ Site	Sefra	SudExpe	Centrex	CTIFL	Classement total
Lady Cot	3.3	2	2	2	2.3
Delicot	2.5	7	5	1	3.9
Milord	6	4	1	5	4
Samourāī	12	2.5	2	4	5.1
Colorado	14.5	1	4	3	5.6
Anegat	3.5	8	NA	8.5	6.7
Farlis	5.7	12	1	8	6.7
Oscar	6.7	NA	5.5	13	8.4
Digat	8	7.5	NA	12	9.2
Farbella	12.3	5	8	14	9.8
Bergeval	11.5	14	NA	7	10.8
Mediabel	15.5	NA	6.5	14	12
Swired	9	17.7	5	18	12.4
Apridelice	6.7	15.5	18	11	12.8
Lido	10.3	10	NA	20	13.4
Koolgat	17	NA	14.5	17	16.2

Sur le tableau 4, les variétés Lady Cot et Delicot sont en haut du classement, donc les plus sensibles, Koolgat est la moins sensible comme c'était le cas pour beaucoup de sites.

Tableau 5 : Classement pour la moyenne des rangs pour la tranche 2

Classement par la moyenne des rangs - Tranche 2020					
Variété \ Site	Sefra	SudExpe	Centrex	CTIFL	Classement total
Cocot	4	NA	NA	1	2.5
Agostino	3.3	1	1	9	3.6
Madrigal	4	NA	NA	4	4
Rubissia	5.5	7	2	2	4.1
Rubely	NA	5	NA	NA	5
Fardosa	6.3	NA	NA	5	5.7
Apricandy	3	3	11	7	6
Bolero	12	9	NA	3	6
Nelson	6.7	NA	NA	6	6.3
Rouge Cot	6	8	10	NA	8
Noogat	11	7	NA	10	9.3
Aristo	7.3	12	NA	NA	9.6
Justo Cot	16	4	NA	NA	10
Playa Cot	9	10	NA	11	10
Fiesta Cot	12.3	NA	NA	10	11.2

Pour la tranche 2, la variété Fiesta Cot est la moins sensible (tableau 5). Par contre pour les variétés sensibles, il y a moins de différence entre les moyennes, cela varie beaucoup pour chaque site.

Discussion et conclusion

La perte de biodiversité dans les écosystèmes et notamment dans les systèmes cultivés comme les vergers (Clavel & Guétat-Bernard, 2018) entraîne des remises en questions. Les organismes de recherche comme INRAe développe des projets de recherche pour réduire l'utilisation de produits phytosanitaires chimiques dans les vergers conventionnels et pour trouver de nouvelles alternatives pour augmenter la production en agriculture biologique. En effet, l'agriculture biologique a un impact moindre sur l'environnement et la biodiversité au sein des vergers (Sauphanor et al., 2009). Seulement, le plus gros verrou à la culture de l'abricotier en agriculture biologique sont les monilioses (Jacquot et al., 2018). Le réseau de partenaires a permis de mettre en place des essais sur des vergers bio-agresseurs avec absence totale de traitement afin de laisser les maladies s'exprimer et voir comment réagissent les différentes variétés. Il y a effectivement une différence dans les dégâts dus aux monilioses suivant les variétés. Les gammes variétales permettent de comparer les variétés entre elles (Parveaud et al., 2011) et ainsi de sélectionner les variétés les moins sensibles pour l'agriculture biologique de l'abricotier. Mais la variété seule n'explique pas toute la réponse des arbres aux monilioses. De nombreux modèles épidémiologiques ont été créés afin de mieux comprendre la maladie. Ces modèles servent à la recherche pour comprendre le cycle et la propagation de la maladie mais certains peuvent aussi servir directement aux arboriculteurs afin de réduire les fongicides (Casals et al., 2023). Un modèle a été créé à INRAe Gotheron se basant sur le stade phéno-climatique et sur les données climatologiques (température et précipitation) afin de calculer un risque de contamination par *Monilia* spp. Le risque phéno-climatique de chaque arbre permet d'expliquer une autre partie des dégâts. Le risque phéno-climatique n'explique pas toujours les dégâts suivant les sites. La notation des stades phénologiques et des épisodes pluvieux étant très conséquente et contraignante pour les équipes sur le terrain, l'intérêt de continuer ou non ces mesures a été évoqué. Cette notation est lourde et elle n'apporte pas toujours une plus value aux analyses, cependant quand le risque phéno-climatique est significatif cela permet d'ajuster le classement, elle n'est donc pas négligeable. La floribondité centrée de chaque variété est aussi une variable utile sur certains sites pour expliquer les dégâts des monilioses. Le fait de rajouter des variables explicatives permet de corriger les classements. Certaines études montrent qu'il est possible de faire des classes de sensibilités entre les variétés (Vávra et al., 2016) mais pour cette étude avec les différents sites, pas de réelles classes se distinguent les unes des autres. Au vu de la difficulté à créer des classements multi-sites, notamment à cause des différents climats suivants les sites,

une étude sur un seul site serait envisageable mais la question reste de savoir si ce classement pour la SEFRA serait transposable à la Centrex par exemple. De plus, il y a un protocole commun mais chaque site conduit ses vergers suivant les habitudes et/ou contraintes de la région. Le premier biais a été de l'aspersion (arrosage) du verger 1 en 2022 et 2023 et du verger 2 en 2023 à la SEFRA. Cette aspersion qui aurait pu favoriser les monilioses différemment suivant les six blocs du verger. Après analyses, il semblerait que l'aspersion des vergers n'augmente pas la maladie. Inutile, donc, de faire des essais avec de l'arrosage dans l'optique de favoriser l'apparition du champignon. Il y a également un biais notateur, l'idéal serait d'avoir le même notateur pour les rameaux à fleurs et les rameaux desséchés. Des biais dans les analyses statistiques existent également car certains arbres meurent durant l'expérimentation et il y a donc moins de répétitions pour certaines variétés au fil du temps. Les classements sont réalisés soit avec des tests paramétriques soit des transformations logarithmiques soit des tests non-paramétriques, ils n'ont donc pas forcément la même puissance ou prise en compte des covariables environnementales.

Cette synthèse de données et analyses a permis de mettre en avant une difficulté de comparer les résultats entre sites et un intérêt à intégrer les variables explicatives dans le modèle pour classer au mieux les variétés suivant leur sensibilité aux maladies. Pour le futur, il apparaît donc intéressant de garder une analyse pour chaque site sans chercher à regrouper les données, car finalement elles n'ont rien à voir. Il semble également pertinent de poursuivre ces analyses sur le long terme, car plus les années passent, plus les résultats et notamment les classements et groupes de chaque variété sont discriminants. Les données 2024, à la SEFRA, sont celles où l'on peut sortir la meilleure interprétation. Les jeux de données 2024 des autres sites devaient être analysés, mais pour des questions administratives et budgétaires, elles ne sont pas arrivées à temps. Néanmoins, cela semble très important de continuer ces analyses pour les années à venir afin de pouvoir faire un classement robuste des variétés et conseiller au mieux les producteurs. La variété Koolgat apparaît dans ces analyses comme une variété prometteuse. Elle n'est jamais très floribonde mais cela lui confère un évitement de la maladie non-négligeable. Il faut maintenant tester sur toutes les autres maladies du verger avant de proposer aux arboriculteurs AB. Un des leviers pour pouvoir cultiver de l'abricot en AB serait de travailler sur l'amélioration génétique des variétés, éventuellement avec des descendants de Koolgat. Des QTL de résistance sont recherchés afin de développer des variétés résistantes (Briand, 2020). Une sélection sur la floribondité des variétés serait intéressante, afin d'avoir assez de fleurs pour avoir une production suffisante pour l'arboriculteur tout en limitant la floribondité afin d'éviter l'entrée des monilioses par les pétales (Brun et al., 2021). Le diagnostic précis des contaminations des abricots (Del Cueto et al., 2020) par les monilioses est un enjeu complexe mais absolument nécessaire pour développer l'agriculture biologique de l'abricotier.

Références bibliographiques

- Briand, T. (2020). *Recherche de QTL de résistance quantitative*.
- Brun, L., Tresson, P., Dubois, J., Dam, D., Combe, F., Mercier, V., Chenevotot, H., Guillermin, A., & Launay, M. (2021). Suivre la contamination des fleurs par *Monilinia laxa*. Le développement d'un modèle phéno-climatique de contamination des fleurs d'abricotier par la moniliose va permettre d'optimiser le pilotage de la protection contre la maladie. *Phytoma la Défense des Végétaux*. <https://hal.inrae.fr/hal-03500297>
- Christen, D., Motry, L., & Devènes, G. (2012). *COMPARISON OF THREE DIFFERENT EVALUATION METHODS OF MONILINIA LAXA IMPACT ON APRICOT FLOWERS*. *Acta Hort.* 966, 143-147. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.966.22>
- Clavel, D., & Guétat-Bernard, H. (2018). *Relier la conservation de la biodiversité cultivée et la sécurité alimentaire dans les sociétés agricoles africaines : L'intérêt de l'analyse de genre*.
- Del Cueto, J., Stefani, P., Oberhänsli, T., Roch, G., Brun, L., Audergon, J.-M., & Christen, D. (2020). Different methods of evaluation of *Monilinia laxa* on apricot flowers and branches. *Acta Horticulturae*, 1290, 129-134. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2020.1290.24>
- Egea, L., & Berenguer, T. (1977). Premiers resultats sur le comportement de l'abricotier " Bulida" sur differents porte-greffe. *Fruits*, 32(12), 759-770.
- Jacquot, M., Freyssinet, E., Parveaud, C.-E., Labeyrie, B., Brun, L., & Tresson, P. (2018). *DEVELOPPEMENT DES MONILIOSES SUR FLEUR D'ABRICOTIER : ETUDE DES FACTEURS CLIMATIQUES ET PAYSAGES*.
- Jalobă, D., Grădilă, M., Research-Development Institute for Plant Protection Bucharest, Ciontu, V.-M., Research-Development Institute for Plant Protection Bucharest, Cristea, R. M., & Research-Development Institute for Plant Protection Bucharest. (2022). PROTECTION OF THE APRICOT CROP AGAINST DISEASES IN THE OSTROV FRUIT GROWING AREA. *Romanian Journal for Plant Protection*, 15, 78-87. <https://doi.org/10.54574/RJPP.15.09>
- L'abricot*. (s. d.). Consulté 19 janvier 2024, à l'adresse <https://www.ctifl.fr/l-abricot-monographie>

- Liu, S. (2019). *Histoire évolutive et impact des différents processus évolutifs sur la diversité génétique de l'abricotier (Prunus armeniaca L.)* [These de doctorat, Bordeaux]. <https://www.theses.fr/2019BORD0190>
- Meynard, J.-M., & Girardin, P. (1991). Produire autrement. *COURRIER DE LA CELLULE ENVIRONNEMENT INRA*, 15(15), 1-19.
- Moncorger. (2022). *Développement de nouvelles méthodes de protection culturales et variétales via l'identification et la compréhension des facteurs influents sur les monilioses des fleurs et rameaux d'abricotier.*
- Muñoz, Z., Moret, A., & Bech, J. (2008). Morphological and molecular characterization of *Monilinia* sp. Isolates and pathogenicity on apple. *Agrociencia*, 42(1), 119-128.
- Ndoumbe Nkeng. (2002). *INCIDENCE DES FACTEURS AGRO - ECOLOGIQUES SUR L'EPIDEMIOLOGIE DE LA POURRITURE BRUNE DES FRUITS DU CACAOYER AU CAMEROUN: CONTRIBUTION A LA MISE EN PLACE D'UN MODELE D'AVERTISSEMENTS AGRICOLE.*
- Nsibi, M. (2021). *Contribution des stratégies de sélection génomique et phénotypique aux programmes d'amélioration génétique de l'abricotier (Prunus armeniaca L.) pour quelques traits d'intérêt* [Phdthesis, Montpellier SupAgro]. <https://theses.hal.science/tel-04067940>
- Parveaud, C.-E., Brun, L., Mercier, V., Guillermin, A., Clauzel, G., Gotheron, I., Arbona, C., Broquaie, J.-M., & Centrex, S. (2011). *Evaluation de la sensibilité au monilia d'une gamme variétale d'abricotiers.*
- Rezaei, M., Heidari, P., & Khadivi, A. (2020). Identification of superior apricot (*Prunus armeniaca* L.) genotypes among seedling origin trees. *Scientia Horticulturae*, 262, 109062. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109062>
- Sauphanor, B., Simon, S., Boisneau, C., Capowiez, Y., Rieux, R., Bouvier, J.-C., Defrance, H., Picard, C., & Toubon, J.-F. (2009). Protection phytosanitaire et biodiversité en agriculture biologique. Le cas des vergers de pommiers. *Innovations Agronomiques*, 4, 217. <https://doi.org/10.17180/2tmh-6884>
- Tamm. (1995). Phenological Analysis of Brown Rot Blossom Blight of Sweet Cherry Caused by

Monilinia laxa. *Phytopathology*. <https://doi.org/10.1094/Phyto-85-401>

- Tresson, P., Brun, L., García de Cortázar-Atauri, I., Audergon, J.-M., Buléon, S., Chenevotot, H., Combe, F., Dam, D., Jacquot, M., Labeyrie, B., Mercier, V., Parveaud, C.-E., & Launay, M. (2020). Future development of apricot blossom blight under climate change in Southern France. *European Journal of Agronomy*, *112*, 125960. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2019.125960>
- van der Sluijs, J. P. (2020). Insect decline, an emerging global environmental risk. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, *46*, 39-42. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2020.08.012>
- Vávra, R., Jonáš, M., & Blažek, J. (2016). Blossom and twig blight caused by *Monilinia laxa* on European plum cultivars (*Prunus domestica* L.).
- Villarino, M., Egüen, B., Lamarca, N., Segarra, J., Usall, J., Melgarejo, P., & De Cal, A. (2013). Occurrence of *Monilinia laxa* and *M. fructigena* after introduction of *M. fructicola* in peach orchards in Spain. *European Journal of Plant Pathology*, *137*(4), 835-845. <https://doi.org/10.1007/s10658-013-0292-6>

ANNEXES

Annexe 1 : Photo de rameaux desséchés par *Monilia* spp (Photo INRAe UERI Gotheron)



Annexe 2 : Stade phénologique de l'abricotier (Source : AMTRA)

Stades phénologiques repères de l'abricotier

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

0	5	6	7	8
Repos hivernal	Apparition de l'inflorescence	Floraison	Développement des fruits	Maturation des fruits
<p>Bourgeon d'hiver (dormance) 00 (A)</p> 	<p>Gonflement des bourgeons 51 (B)</p> 	<p>Début floraison 61</p> 	<p>Nouaison 71 (H)</p> 	<p>Début coloration 81</p> 
<p>Eclatement des bourgeons 53 (C)</p> 	<p>Pleine floraison 65 (F)</p> 	<p>Jeune fruit 73 (I-J)</p> 	<p>Coloration avancée 85</p> 	
<p>Ouverture des sépales 57 (D)</p> 	<p>Floraison déclinante 67 (G)</p> 	<p>Croissance des fruits (50%) 75</p> 	<p>Récolte maturité gustative 87-89</p> 	
<p>Ballonnets 59 (E)</p> 	<p>Fin floraison 69</p> 	<p>Croissance des fruits (70%) 77</p> 		

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

Sources

- Baggioini M., 1952. Les stades repères de l'abricotier. *Revue romande d'Agriculture et d'Arboriculture* 8 (4), 28.
- Lancashire P. D., Biehlholder H., Van Den Broek L., Langloisdele P., Staus R., Weber E. & Witzensberger A., 1991. A uniform decimal code for growth stages of crops and weeds. *Ann. appl. Biol.* 119, 561-601.
- Hack H., Biehlholder H., Bahr L., Meier U., Schnock-Frischa U., Weber E. & Witzensberger A., 1992. Einheitliche Codierung der phänologischen Entwicklungsstadien mono- und dikotyler Pflanzen. - Erweiterte BBCH-Skala, Allgemein. *Nachrichtensb. Dtsch. Pflanzenschutzd.* 44 (12), 265-270.

Photographies: Carole Parodi

Annexe 3 : Liste des variétés présentes sur chaque site et chaque tranche.

	Variétés	SEFRA	CENTREX	SUDEXPE	CTIFL
T r a n c h e 2 0 1 8 / 2 0 1 9	ANEGAT	X	X	X	X
	APRIDELICE	X	X	X	X
	APRIREVE		X		
	BERGERON	X			
	BERGEVAL®	X	X	X	X
	BIG RED		X	X	X
	COLORADO	X	X	X	X
	DELICOT	X	X	X	X
	DIGAT	X	X	X	X
	FARBELLA	X	X	X	X
	FARLIS	X	X	X	X
	FLOPRIA	X		X	X
	KOOLGAT	X	X	X	X
	LADY COT	X	X	X	X
	LIDO	X	X	X	X
	MEDIABEL	X	X	X	X
	MEMPHIS	X			
	MILORD	X	X	X	X
	MISTRAL		X		
	ORANGERED	X		X	X
	ORANGERUBIS		X		
	OSCAR	X	X	X	X
	PRICIA			X	X
	ROYAL R		X		
	SAMOURAI	X	X	X	X
	WIRED	X	X	X	X
TOM COT			X	X	

T r a n c h e 2 0 2 0	AGOSTINO	X	X	X	X
	APRICANDY	X	X	X	X
	ARISTO	X	X	X	X
	BERGERON	X			
	BOLERO	X	X	X	X
	COCOT	X	X	X	X
	FIESTA COT	X	X	X	X
	JUSTOCOT	X	X	X	X
	LISA	X			
	FARDOSA	X	X	X	X
	MADRIGAL	X	X	X	X
	NELSON	X	X	X	X
	NOOGAT	X	X	X	X
	PLAYACOT	X	X	X	X
	ROUGE COT	X	X	X	X
	ROYAL R		X		
RUBELY	X	X	X	X	
RUBISSIA	X	X	X	X	

Annexe 4 : Calcul du risque de contamination par *Monilinia laxa* sur bourgeons floraux d'abricotiers

(Modèle phéno-climatique)

Moulinette vierge :

Date	Pluviométrie (mm)	Température (°C)	% stade D	% stade E+F (entre 0 et 100)	Risque fleur	Risque>50%	Risque pondéré
						0	0,00
						0	0,00
						0	0,00
						0	0,00
						0	0,00
					0	0	0,00
					0	0	0,00
					0	0	0,00
					0	0	0,00
					0	0	0,00
Risque fleur cumulé							0,00

Moulinette remplie :

DIGAT B1 (SEFRA, tranche 2018, année 2022)								
Date	Pluviométrie (mm)	Température (°C)	% stade D	% stade E+F (entre 0 et 100)	Risque fleur	Risque>50%	Risque pondéré	
21/02/2022	2,6	7	1		0,15988546	0	0,00	
02/03/2022	16	9	2		0,57474021	1	0,00	
11/03/2022	0,5	9	30	60	0,15954429	0	0,10	
13/03/2022	15	8	10	90	0,48523932	0	0,44	
14/03/2022	1,5	11	10	90	0,24428035	0	0,22	
30/03/2022	6,4	9	0	0	100	0,34144571	0	0,00
31/03/2022	1,8	12	0	0	100	0,28167339	0	0,00
01/04/2022	5,8	3	0	0	0	0,05146226	0	0,00
02/04/2022	1,4	2	0	0	0	0,02277933	0	0,00
Risque fleur cumulé							0,76	

Annexe 5 : Sortie R des interactions entre les années et les sites.

```

anova(lm(DEGATS ~ MOUL + FLO_centree +
  VARIETE + ANNEE_NOT + SITE,
  data = TOT_2018_sanstemoin))

## Analysis of Variance Table
##
## Response: DEGATS
##           Df Sum Sq Mean Sq  F value Pr(>F)
## MOUL       1 186900  186900 1285.0613 <2e-16 ***
## FLO_centree 1    226     226   1.5572 0.2126
## VARIETE    15  20166     1344   9.2435 <2e-16 ***
## ANNEE_NOT  2 117146    58573 402.7280 <2e-16 ***
## SITE       2  26715     13357  91.8418 <2e-16 ***
## Residuals 601  87410      145
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.'

anova(lm(DEGATS ~ MOUL + FLO_centree +
  VARIETE + ANNEE_NOT + SITE,
  data = TOT_2020_sanstemoin))

## Analysis of Variance Table
##
## Response: DEGATS
##           Df Sum Sq Mean Sq  F value  Pr(>F)
## MOUL       1  24030 24030.1 331.0248 < 2.2e-16 ***
## FLO_centree 1   540   539.9   7.4372 0.006608 **
## VARIETE    14 11468   819.1  11.2838 < 2.2e-16 ***
## ANNEE_NOT  2 27612 13806.1 190.1853 < 2.2e-16 ***
## SITE       2   837   418.7   5.7683 0.003331 **
## Residuals 513 37240    72.6
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.'

```