

Mémoire de Fin d'Études

Master 2 : Mention Biologie végétale (BV) **Parcours : Gestion de la Santé des Plantes (GSP)**

Année universitaire 2022-2023

Vers une meilleure gestion du chancre européen, causé par l'ascomycète *Neonectria ditissima*, en verger de pommier

Par : Elisa RODRIGUEZ GONZALEZ



Soutenu à Angers le : 8 septembre 2023

Maître de stage : Richard LOTHION



ENGAGEMENT DE NON PLAGIAT

Je, soussigné (e) Elisa RODRIGUEZ GONZALEZ,
déclare être pleinement conscient(e) que le plagiat de documents ou d'une partie d'un
document publiés sur toutes formes de support, y compris l'internet, constitue une violation
des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée. En conséquence, je m'engage à citer
toutes les sources que j'ai utilisées pour écrire ce rapport ou mémoire.

Signature : Elisa RODRIGUEZ GONZALEZ

Saint  pain, 29/08/2023

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord de remercier mon maître de stage, Richard Lothion, pour le temps qu'il a dédié à ma formation et pour me transmettre ses bonnes habitudes de travail. Je souhaite aussi remercier ma tutrice pédagogique, Natalia Guschinskaya pour être toujours à l'écoute et prête à me guider au cours de mon stage.

Je suis reconnaissante d'avoir fait partie de l'équipe de La Morinière, qui m'a intégré et partagé ses connaissances dès le premier moment. Je veux remercier spécialement Ann'aëlle, Paul et Mathieu pour tous les bons moments vécus et pour m'avoir fait sentir comme si j'étais chez moi.

Un grand merci à toutes les personnes qui j'ai rencontré pendant ces années de master et qui ont rendu ce chemin plus facile.

Finalement, avec tout mon cœur, je remercie Nathan, Carmela, Tania, mes parents et ma grand-mère pour être toujours avec moi.

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION	1
1.1. Le Centre Technique Interprofessionnel de Fruits et Légumes	1
1.1.1 Le centre opérationnel « La Morinière ».....	1
1.1.2. La production de pommes à l'international et en France	1
1.2. Contexte phytosanitaire	2
1.2.1. La réglementation phytosanitaire en France.....	2
1.2.2. Les bioagresseurs du pommier.....	3
1.3 L'agent causal du chancre européen : <i>Neonectria ditissima</i>	3
1.3.1. Taxonomie et morphologie.....	3
1.3.2. Distribution géographique et gamme d'hôtes.....	4
1.3.3. Cycle du pathogène et dynamique de la maladie.....	4
1.3.4. Symptômes.....	5
1.3.5. Méthodes de lutte.....	6
1.3.6. Évaluation des risques : les outils d'aide à la décision (OAD).....	9
1.4. Le projet NECTRIA	9
1.4.1. Problématique.....	9
1.4.2. Objectifs.....	10
2. MATÉRIEL ET MÉTHODES	11
2.1. Suivi des périodes de projection de spores en verger	11
2.1.1. Objectif de l'expérience	11
2.2. Le screening des produits phytosanitaires en laboratoire	11
2.2.1. Sélection et description des produits.....	12
2.2.2. Test de germination des spores... ..	12
2.2.3. Test de croissance mycélienne	13
2.3. Analyse des données	14
2.3.1. Suivi des périodes de projection de spores en verger.....	14
2.3.2. Test de germination.....	15
2.3.3. Test de croissance mycélienne.....	15

3. RÉSULTATS	16
3.1. Suivi des projections de spores en verger et évaluation des OAD	16
3.2. Screening des spécialités phytosanitaires en laboratoire	17
3.2.1. Test de germination.....	17
3.2.2. Test de croissance mycélienne.....	18
4. DISCUSSION	19
4.1. Corrélation des variables météorologiques avec la projection de spores	19
4.2. Évaluation du modèle RIMpro sur le chancre européen	21
4.3. Produits efficaces pour le contrôle de <i>Neonectria ditissima</i>	22
4.3.1. Produits chimiques de synthèse.....	24
4.3.2. Produits de biocontrôle.....	25
5. CONCLUSION ET PERSPECTIVES	25
6. BIBLIOGRAPHIE	27

LISTE DE FIGURES

Figure 1 : Centres d'expérimentation CTIFL et unités de recherche associées.

Figure 2 : A. Vue aérienne du Centre Opérationnel « La Morinière » B. Plan des parcelles et plantations en place chez La Morinière.

Figure 3 : Les dix premiers pays producteurs de pommes au niveau mondial

Figure 4 : Itinéraire technique et stades phénologiques du pommier.

Figure 5 : Précipitations et températures annuelles chez La Morinière sur la période janvier 2022-janvier 2023.

Figure 6 : Structures reproductives de la forme sexuée de *Neonectria ditissima*.

Figure 7 : Structures reproductives de la forme asexuée (*Cylindrocarpon heteronema*).

Figure 8 : Cycle de vie de *Neonectria ditissima* d'après (Agrios, 1997).

Figure 9 : Évolution des symptômes sur bois provoqués lors une infection par *Neonectria ditissima*.

Figure 10 : Symptômes de pourriture d'une pomme provoqués par *Neonectria ditissima*.

Figure 11 : Lésion chancrée avant (A) et après curetage (B) sur tronc principal de pommier .

Figure 12 : Lésion chancrée curetée avant (A) et après (B) et application d'un badigeon à base de goudron de pin.

Figure 13 : Vue de l'interface d'utilisation de RIMpro représentant les périodes de risque de'infection des pommiers par *Neonectria ditissima* chez La Morinière entre janvier 2022 et décembre 2022.

Figure 14 : Dispositif mis en place pour la récupération des spores à partir des projections provenant des blessures chancrées.

Figure 15 : Schéma illustrant les étapes de préparation d'une solution de conidies à partir des rameaux chancrés.

Figure 16 : Schéma illustrant les étapes de l'isolement de *Neonectria ditissima* à partir de morceaux de bois chancrés.

Figure 18 : Évolution du nombre de spores de *Neonectria ditissima* au cours de la période janvier-juillet 2023 correspondant aux observations en verger et aux prédictions du modèle RIMpro.

Figure 17 : Graphique combiné montrant le nombre total de spores observées en verger, la température moyenne (°C) et les précipitations (mm) pour la période janvier à juillet 2023.

Figure 19: Moyenne des pourcentages de germination sur 200 conidies des quatre répétitions réalisées par modalité dans le premier test de germination.

Figure 20 : Moyenne des pourcentages de germination sur 200 conidies des quatre répétitions réalisées par modalité dans le deuxième test de germination.

Figure 21 : Moyenne des pourcentages de germination sur 200 conidies des quatre répétitions réalisées par modalité correspondants au test de la spécialité T4-Armicarb à différentes concentrations.

Figure 22 : État de croissance mycélienne de *Neonectria ditissima* en présence des différents produits.

Figure 23 : État de croissance mycélienne de *Neonectria ditissima* en présence des différents produits.

Figure 25 : État de la culture en confrontation de *Clonostachys rosea* (gauche) et *Neonectria ditissima* (droite).

Figure 24 : État de la culture en confrontation de *Trichoderma harzianum* (gauche) et *Neonectria ditissima* (droite).

Figure 26 : Évolution des courbes de croissance mycélienne de *Neonectria ditissima* au cours de 15 jours de la mise en confrontation avec *Trichoderma harzianum* (T11-TrianumG) et *Clonostachys rosea* (T12-Lalstop).

Figure 27 : Évolution de la surface nécrosée de *N. ditissima* mise en confrontation avec *Trichoderma harzianum* au cours de quinze jours.

Figure 28 : Synthèse graphique des pics de production d'ascospores et conidies de *Neonectria ditissima* et périodes de disponibilité de blessures en pommier, d'après (Weber, 2014).

LISTE DE TABLEAUX

Tableau 1 : Classification de l'agent pathogène du chancre européen, *Neonectria ditissima*.

Tableau 2 : Mesures prophylactiques pour la lutte contre *Neonectria ditissima*.

Tableau 3 : Produits phytosanitaires autorisés en France contenant des substances actives avec une efficacité démontrée sur *Neonectria ditissima*.

Tableau 4 : Caractéristiques de plantation dans la parcelle 1.

Tableau 5 : Spécialités phytosanitaires sélectionnées pour la conduite des tests de germination et croissance mycélienne.

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE I : Tableau de synthèse des expérimentations présentées dans ce rapport et procédure statistique.

ANNEXE II : Analyse des données correspondant à l'essai « Projection ».

ANNEXE III : Analyse des données correspondant à l'essai « Test de germination ».

ANNEXE IV : Analyse des données correspondant à l'essai « Test de croissance mycélienne ».

ANNEXE V : Analyse des données correspondant à l'essai « Test de confrontation ».

GLOSSAIRE

Anamorphe : adjectif faisant référence à la forme reproductive asexuée d'un champignon.

Asque : cellule reproductrice des champignons ascomycètes à l'intérieur de laquelle se forment les ascospores (spores sexuées).

Curettage : technique consistant à enlever l'écorce des tissus nécrosés d'une blessure chancreuse.

Ellipsoïde : qui a une forme d'ellipse.

Hypovirus : genre de virus d'ARN appartenant à la famille *Hypoviridae* dont les hôtes sont des champignons.

Ostiole : ouverture située dans la partie supérieure des périthèces à partir de laquelle les ascospores sont libérées.

Septum : cloison transversale de parois cellulaire caractéristique de certains champignons.

Sporodochium (sing.), sporodochia (pl.) : structure formée par l'agglomération des hyphes développée par la forme asexuée du champignon sur la plante hôte et qui contient des conidiophores à partir desquelles les conidies sont libérées.

Téléomorphe : adjectif faisant référence à la forme reproductive sexuée d'un champignon.

LISTE DES ABRÉVIATIONS

AB : Agriculture Biologique

CTIFL : Centre Interprofessionnel des Fruits et Légumes

OAD : Outil d'aide à la décision

1. INTRODUCTION

1.1. Le Centre Technique Interprofessionnel de Fruits et Légumes

Le Centre Technique Interprofessionnel de Fruits et Légumes (CTIFL), créée en 1952, est un organisme de recherche technique spécialisé dans les filières fruits et légumes. À travers des offres de prestations, de formations et de publications, le CTIFL accompagne les acteurs de la filière dans leurs besoins (CTIFL, 2023). L'organisme est composé de 5 centres opérationnels au niveau national situés à Saint-Rémy-de-Provence (13), Balandran (30), Lanxade (24), Carquefou (44), et La Morinière (37) (figure 1). Ce stage se déroule dans sa totalité au sein du Centre opérationnel La Morinière.

1.1.1 Le centre opérationnel « La Morinière »

Le centre de La Morinière, situé à Saint-Épain (Centre – Val de Loire) et créé en 1980 par les producteurs du bassin du Val-de-Loire, a intégré le CTIFL depuis l'année 2021. Cette intégration vise à développer le réseau « fruits à pépins » de la structure avec les autres centres pour des dépôts de projets au niveau européen, renforcer les actions engagées par le CTIFL en région Centre-Val de Loire et ainsi créer des relations plus proches avec les acteurs locaux (La Morinière, 2023).

Ce centre emploie 16 salariés (hors saisonniers et stagiaires) dont 6 ingénieurs (tableau 1). La station compte 65 ha dont environ 28 ha de vergers qui regroupent 24 ha de pommiers, 4 ha de poiriers et 0,3 ha de petits fruits (cassissier et myrtilier) (figure 2) (CTIFL, 2023). Actuellement, la station compte 5,3 ha pommiers et poiriers conduits en agriculture biologique (AB) et 22,9 en agriculture conventionnel. Le panel variétal des pommes se compose principalement des variétés Gala, Pink Lady, Jazz et Golden en conventionnel et des variétés Gala, Swing, Regal You et Daliclass en AB. L'activité du site de La Morinière est avant tout centrée dans l'expérimentation, mais il est également un verger productif. En effet, 98,5% des pommes récoltées sont distribuées dans les coopératives de la région (La Morinière, 2023).

1.1.2. La production de pommes à l'international et en France

Le pommier, *Malus domestica* est une espèce appartenant au genre *Malus*, inclus dans la famille des *Rosaceae* et dans la sous famille *Pomoidea*. Le pommier cultivé est originaire du Caucase et de l'Asie mineur et est devenu spontané en Europe depuis la préhistoire. Plusieurs espèces ont contribué à son évolution, dont *Malus sylvestris* ou *Malus baccata*, auxquelles il faut ajouter les hybridations effectuées pour introduire des traits de résistance aux maladies ou aux stress abiotiques (Trillot *et al.*, 2002).

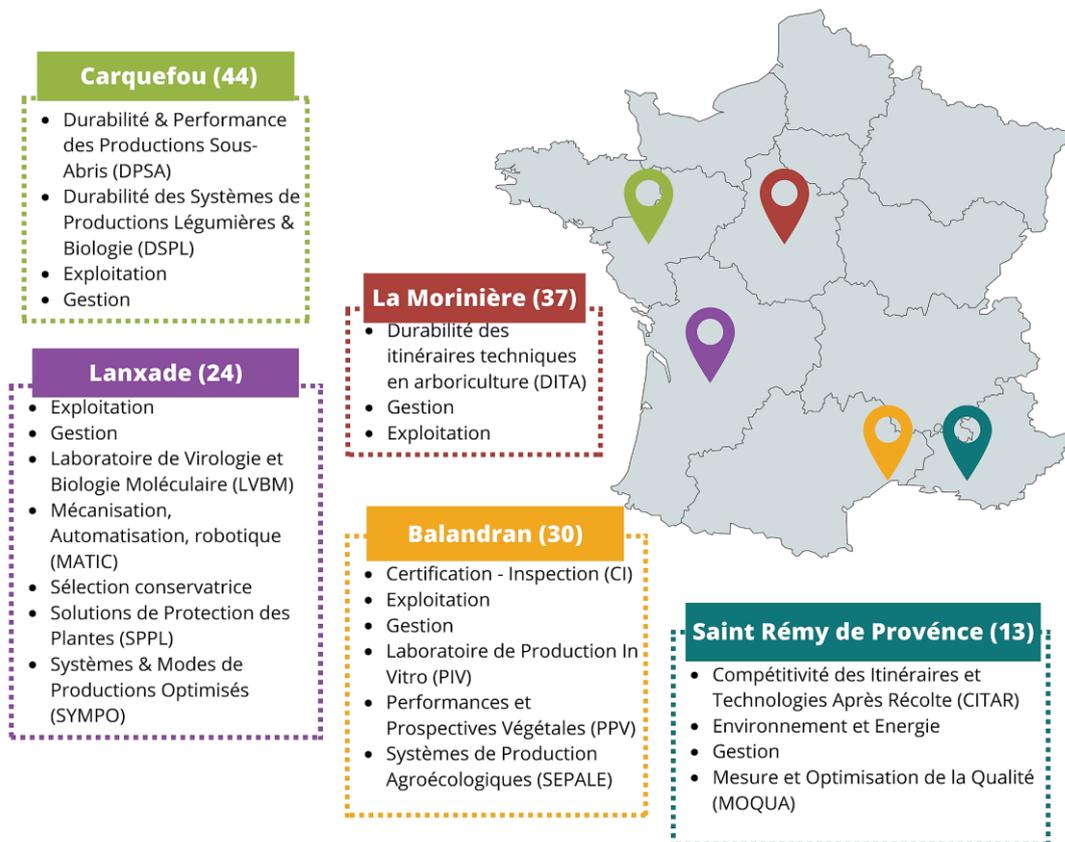


Figure 1 : Centres d'expérimentation CTIFL et unités de recherche associées.
 Source informations : (CTIFL, 2023) ; source image : personnel

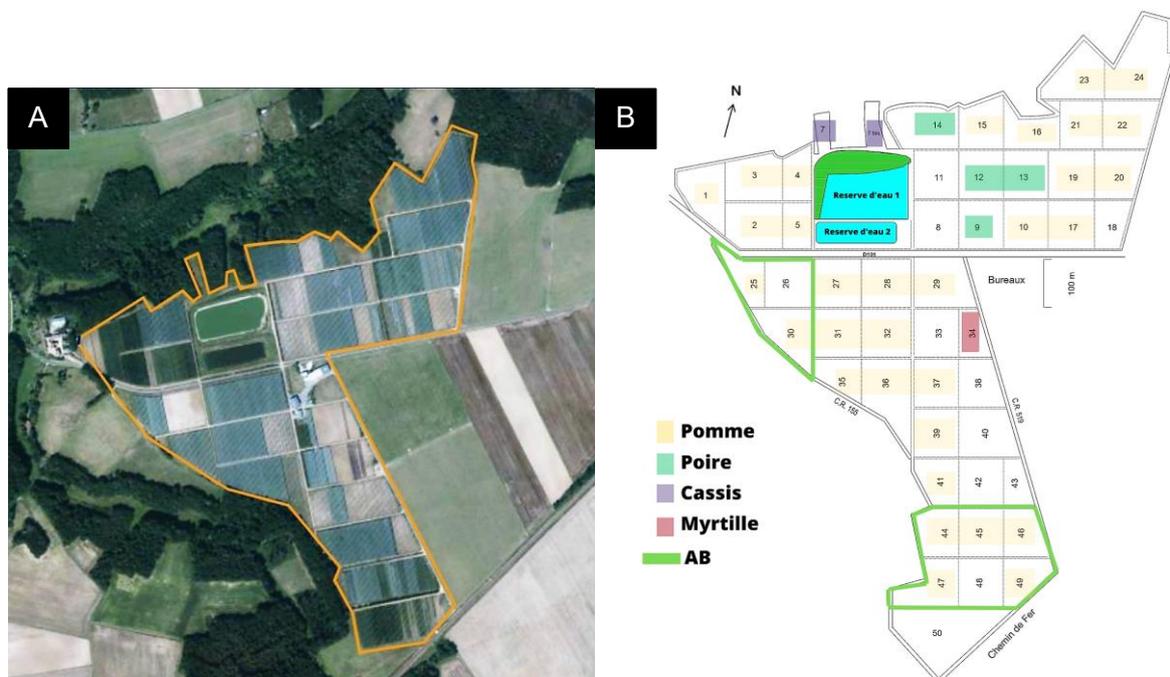


Figure 2 : **A.** Vue aérienne du Centre Opérationnel « La Morinière » **B.** Plan des parcelles et plantations en place chez La Morinière, AB : Agriculture Biologique.
 Source : Géoportail, CTIFL

La production de fruits au niveau international a été de 883 millions de tonnes en 2019 où cinq espèces représentent à elles-seules 57 % de cette production. Parmi celles-ci, la pomme représente près de 10 % de cette production fruitière mondiale. (FAO, 2022). Concernant les pays producteurs, la Chine est en tête de la production de pommes au niveau mondial avec plus de 30 millions de tonnes produites dans l'année 2021 (*figure 3*) contre seulement 12 millions pour l'Union Européenne. Les productions polonaises, italiennes et françaises représentent près des deux-tiers de ce volume (CTIFL, 2020).

Le marché de la pomme de table est le plus important des cultures fruitières française, soit plus de 60 % de la production fruitière nationale en 2021 (FranceAgrimer, 2023). La pomme est le premier fruit consommé en France (17 kg par an et par ménage en moyenne) et représente 17,7 % du marché en volume. Environ 50 % des pommes produites en France sont destinées au marché national, 31 % sont exportées et le reste est transformé. Le bassin du Val-de-Loire (regroupant les pays de la Loire et la région Centre) représente 24 % de la production en France en 2021 (Agreste, 2022). Ces chiffres mettent en évidence l'importance de la culture de pommier en France et la nécessité d'une gestion optimale des contraintes de production, dont les enjeux phytosanitaires occupent une place importante.

1.2. Contexte phytosanitaire.

1.2.1. La réglementation phytosanitaire en France

Les situations climatiques et environnementales, la nécessité de préserver la biodiversité ou encore les demandes citoyennes ont poussé aux développements de plans de réduction de l'usage des produits phytopharmaceutiques de synthèse (Lee *et al.*, 2019). Au niveau Européen, la directive 2009/128/CE (Parlement et Conseil Européen, 2009) instaure un cadre d'action communautaire pour parvenir à une utilisation des pesticides compatible avec le développement durable. Pour répondre à cette demande, la France a mis en place en 2009 le plan **Ecophyto 2018**. Aujourd'hui, la version **Écophyto II+** matérialise les engagements pris par le Gouvernement et apporte une nouvelle impulsion pour atteindre l'objectif de réduire l'utilisation de produits phytopharmaceutiques de 50 % d'ici 2025 (Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire, 2022).

Concernant les traitements phytosanitaires en pomiculture, selon une enquête conduite par Agreste (Agreste, 2021), le nombre moyen de traitements en pommier en 2018 a été de 35,9, dont 23,4 correspondent à des fongicides, 8,9 à des insecticides et 1,5 aux herbicides, la marge englobant d'autres traitements (fertilisants, éclaircissants). La *figure 4* montre de façon synthétique l'itinéraire technique en pommier au cours d'une année.

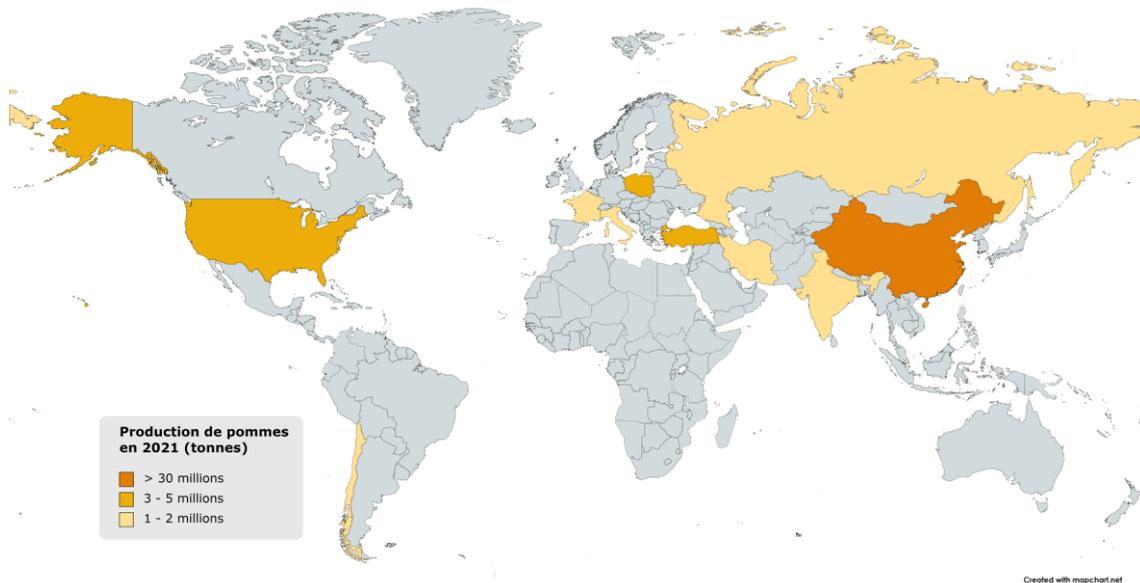
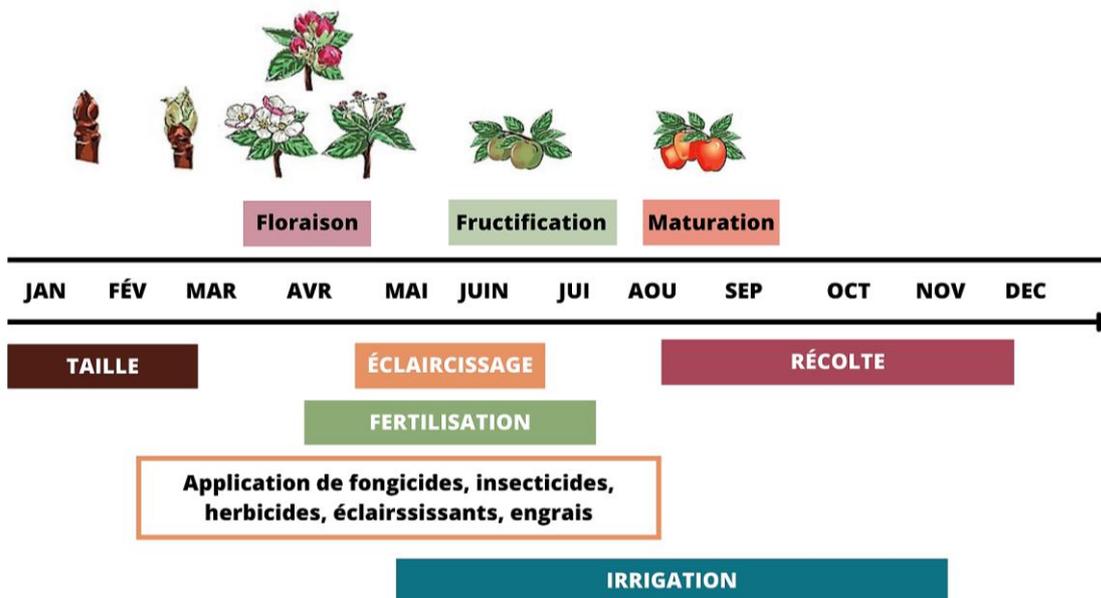


Figure 3 : Les dix premiers pays producteurs de pommes au niveau mondial : Chine, USA, Turquie, Pologne, Inde, Chili, Italie, France, Russie, Iran.
 Source des données : Statista, 2023, source image : personnel

Stades phénologiques



Interventions techniques

Figure 4 : Itinéraire technique et stades phénologiques du pommier.
 Source : CTIFL, personnelle

1.2.2. Les bioagresseurs du pommier

Les maladies fongiques et les ravageurs sont les principales menaces pour la santé des pommiers. Parmi les premières, la tavelure (*Venturia inaequalis*), l'oïdium (*Podosphaera leucotricha*) et le chancre européen (*Neonectria ditissima*) sont trois des maladies fongiques les plus problématiques en verger. Les pucerons cendrés (*Dysaphis plantaginea*) et le carpocapse (*Cydia pomonella*) sont des ravageurs redoutables de cette culture. Cependant, les dégâts causés par de nombreux ravageurs secondaires et d'autres maladies fongiques ainsi que des bactérioses ne sont pas négligeables en verger et en conservation (INRAE, 2019).

Le chancre européen est une maladie majeure du pommier qui est présente principalement dans la moitié nord de la France, mais en recrudescence dans le sud-ouest (INRAE, 2016). Les conditions climatiques et agronomiques (type de sol et fertilisation), ainsi que la sensibilité des variétés sont des facteurs influençant fortement sur l'incidence du chancre européen en verger. La gravité de cette maladie repose en grande partie dans la difficulté de sa gestion, dû à sa vitesse de propagation, l'agressivité des symptômes et aux limites des méthodes de lutte actuelles.

Les conditions climatiques du site de La Morinière, températures douces et précipitations au printemps et en automne (figure 5) (FieldClimate 2023), ainsi que les caractéristiques pédologiques sont des éléments qui favorisent le développement de *Neonectria ditissima*, spécialement sur des variétés hautement sensibles à l'attaque de ce champignon. Cette situation conduit le centre de La Morinière à approfondir les connaissances et les méthodes de lutte envisageables contre ce pathogène.

1.3. L'agent causal du chancre européen : *Neonectria ditissima*

Le terme chancre fait référence à un symptôme d'ulcération nécrotique des tissus de la plante infectée (Larousse, 2023). Il y a plusieurs agents pathogènes qui causent des symptômes de chancre sur plusieurs espèces de plantes (Vanneste, 2017; Rigling and Prospero, 2018), ce rapport est centré sur *Neonectria ditissima*, agent causal de la maladie fongique du « chancre européen ».

1.3.1. Taxonomie et morphologie

Le champignon ascomycète *Neonectria ditissima* (Tul. & C. Tul., 1865) Samuels & Rossman (tableau 2), anciennement *Nectria galligena* (Bres.) (Schoch et al., 2020), est décrit dans la littérature comme l'espèce téléomorphe (sexuée), productrice d'ascospores. La forme anamorphe (asexuée) et donc productrice des spores asexuées (conidies) est *Cylindrocarpon heteronema* (Berk. & Broome) (Chaverri et al., 2011).

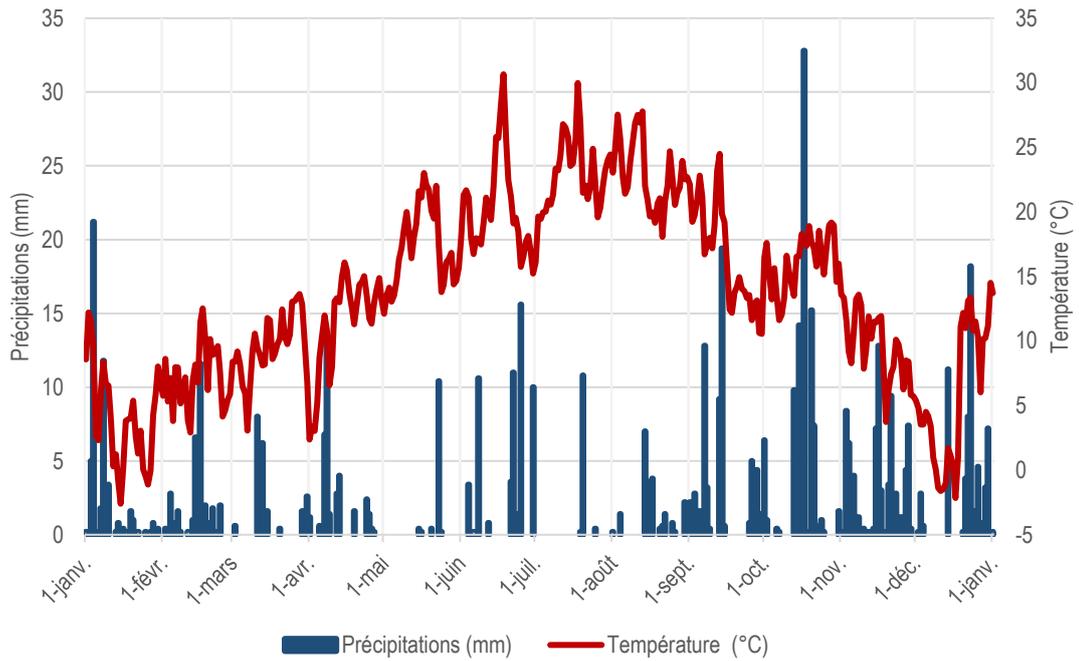


Figure 5 : Précipitations et températures annuelles à La Morinière sur la période janvier 2022-janvier 2023
 Source : FieldClimate 2023

Tableau 1 : Classification de l'agent pathogène du chancre européen, *Neonectria ditissima*.

Reine	Fungi
Phylum	Ascomycota
Classe	Sordariomycetes
Subclasse	Hypocreomycetidae
Ordre	Hypocreales
Famille	Nectriaceae
Genre	Neonectria
Espèce	<i>Neonectria ditissima</i>

Modifié de ('*Nectria ditissima* Tul. & C. Tul. 1865 - Biota of NZ')

Les ascospores de *N. ditissima* sont ellipsoïdes, mono septées et légèrement serrés au niveau du septum (fig. 6, C). Elles sont produites dans les asques (fig. 6, B), qui se trouvent à l'intérieur des organes sexués, les périthèces (fig. 6, A). Une fois qu'ils atteignent leur maturité, les asques déchargent leur contenu explosivement à partir d'une ouverture au niveau du périthèce, et les ascospores sont distribuées par le vent. Les ascospores peuvent aussi être dispersées par les éclaboussures de pluie (Weber, 2014). La forme asexuée, *Cylindrocarpon heteronema* produit deux types de conidies (spores asexuées) : les macroconidies et les microconidies. Les premiers sont produits dans des sporodochia (fig. 7, A), de couleur blanche à crème provenant d'un mycélium blanc qui porte les conidiophores à ramifications multiples (fig. 7, B). Les macroconidies sont légèrement courbés, souvent divisés entre 2 et 7 septes, avec des extrémités arrondies (fig. 7 C) (Weber, 2014). Les microconidies sont courts avec une forme plutôt cylindrique, ils peuvent présenter une ou aucune septe et ils sont produits par l'abstraction des branches hyphales (Zeller, 1926). Les conidies sont dispersés par des éclaboussures de pluie (Weber, 2014).

1.3.2. Distribution géographique et gamme d'hôtes

Le chancre est une maladie importante du pommier dans des régions tempérées. Notamment, elle a été souvent signalée en Europe, Amérique du Nord, Chili, Australie, Nouvelle-Zélande, Japon et Afrique du sud (Beresford et Kim, 2011). Dans cette étude, il a été déterminé qu'au moins cinq mois dans l'année à des températures entre 11–16 °C au moins 8 heures par jour, et un nombre minimal de jours avec des précipitations (> 30 % de jours pluvieux) sont nécessaires pour que *Neonectria ditissima* cause des symptômes sévères de chancre (Weber, 2014).

Ce champignon se développe sur les tissus ligneux de plusieurs espèces d'arbres et arbustes. Notamment, plus de 60 espèces appartenant principalement aux genres *Fagus*, *Populus*, *Acer*, *Salix*, *Betula* et *Malus* ont été identifiées comme hôtes potentiels de *Neonectria ditissima* (Gómez-Cortecero et al., 2016; Subcommittee on Plant Health, 2018).

1.3.3. Cycle du pathogène et dynamique de la maladie

Le cycle de vie de *Neonectria ditissima* est illustré dans la figure 8. La conservation hivernale du champignon sur le verger se produit principalement dans les blessures chancreuses âgées (> 2 ans), où le champignon est présent dans sa forme sexuée (*Neonectria ditissima*) et développe des périthèces. L'infection primaire est effectuée par les ascospores, projetées à partir des périthèces (INRAE, 2016). Ceux-ci atteignent leur maturité en fin d'automne et sont dispersées au cours de l'hiver et au printemps, principalement par le vent (Weber et Børve, 2021).

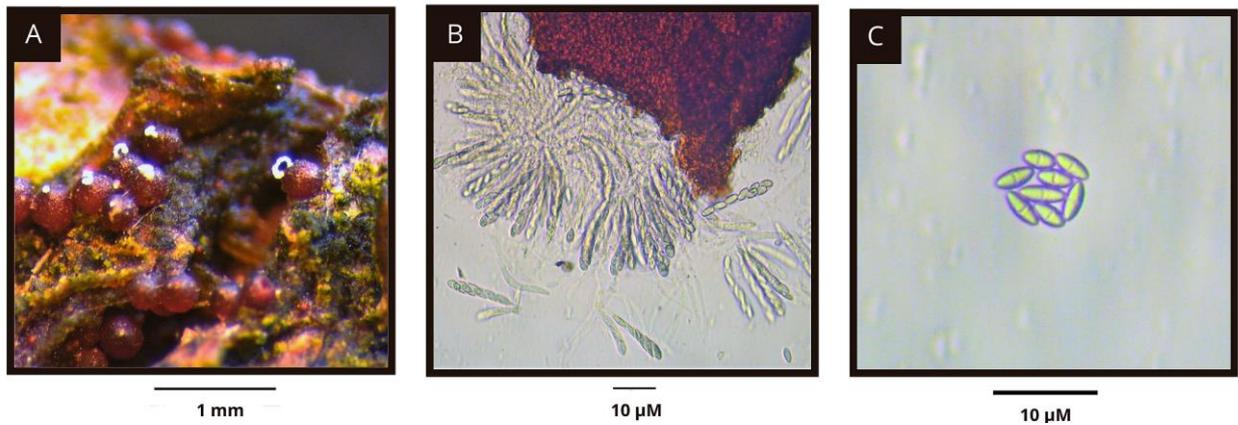


Figure 6 : Structures reproductives de la forme sexuée de *Neonectria ditissima*: **A.** Périthèces sur bois avec des cirrus d'asques qui sortent de l'ostiole. **B.** Vue au microscope optique d'un périthèce avec des asques contenant des ascospores. **C.** Ascospores de *Neonectria ditissima*

Source : personnel

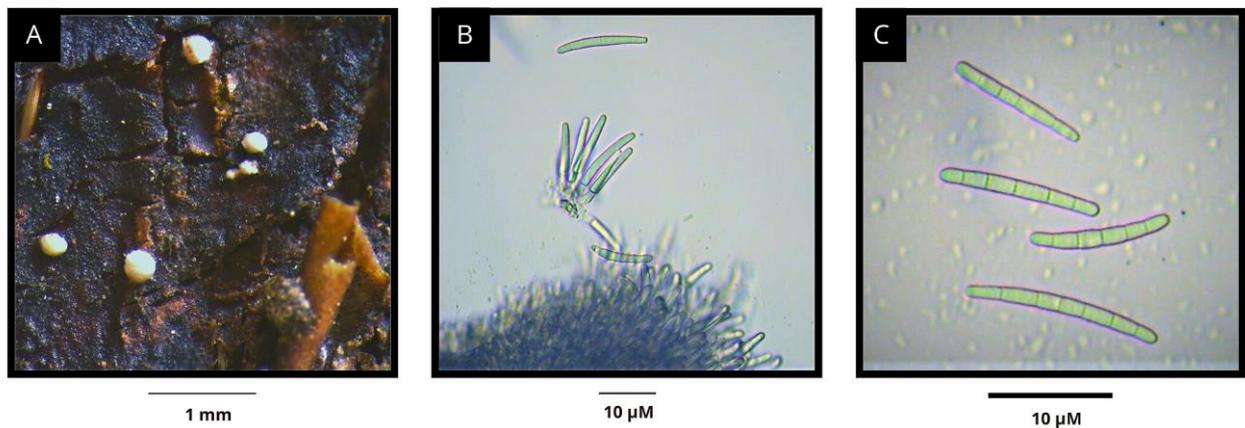


Figure 7 : Structures reproductives de la forme asexuée (*Cyllindrocarpon heteronema*). **A.** Sporodochia sur bois. **B.** Conidiophore vu au microscope optique. **C.** Conidies de *Cyllindrocarpon heteronema*

Source : personnel

Les spores infectent les tissus de l'hôte à partir des blessures naturelles (cicatrices foliaires en automne) ou artificielles (blessures de taille), les symptômes deviennent visibles entre 45 et 120 jours après inoculation (Xu *et al.*, 2021). Les premiers jeunes chancre (issus de ces contaminations) apparaissent au cours du printemps et au début de l'été. Ces derniers présentent la forme asexuée du champignon (*Cylindrocarpon heteronema*) et produiront donc des conidies, qui sont propagées par les éclaboussures de pluie et vont permettre la dispersion rapide de la maladie (Madden, 1997). (Latorre *et al.*, 2002) ont déterminé que les températures optimales pour la germination des conidies sont comprises entre 20 et 25°C, où cette dernière est limitée à des températures extrêmes (< 5°C et > 30°C). Les périodes d'incubation de la maladie sont très variables (Olivieri *et al.*, 2021a), les facteurs les plus importants affectant l'incidence du chancre et le période d'incubation sont la dose d'inoculum, le cultivar et l'âge des blessures. Concernant ce dernier critère, les blessures récentes sont les plus susceptibles d'infection (Xu *et al.*, 1998).

1.3.4. Symptômes

Les symptômes classiques d'une infection par *Neonectria ditissima* sont ceux associées aux parties ligneuses de la plante. Le symptôme le plus caractéristique et celui qui donne le nom à la maladie est la formation d'un « chancre » dans l'écorce du tronc et des rameaux des arbres infectés (Subcommittee on Plant Health *et al.*, 2018). Au sein de la *figure 9*, les différents stades des lésions chancreuses sont décrits. Les jeunes chancres apparaissent comme des lésions rougeâtres, qui vont s'allonger et acquérir une forme elliptique (*fig.9, A*), puis forment des zones « creuses » avec du tissu nécrotique à l'intérieur (*fig.9, B*). Au fur et à mesure de son développement, les lésions vont devenir des surfaces rougeâtres d'écorce hypertrophiée (zones avec callus) et fissurée (*fig.9, C*). Dans des conditions favorables pour, dans un chancre de plus de deux ans, les périthèces peuvent être observés dans les tissus chancreux en forme de petits granulations rouges visibles à l'œil nu (*fig.9, D*).

Neonectria ditissima peut aussi se développer sur les fruits à partir d'une projection de spores d'un chancre à proximité. Ces spores infectent le fruit à partir du calice, lenticelles ou des blessures provoquées par des piqûres d'insectes. Les symptômes sur fruit sont plutôt observés après la récolte. Le symptôme caractéristique est une pourriture brune autour de « l'œil » du fruit (*figure 10*).

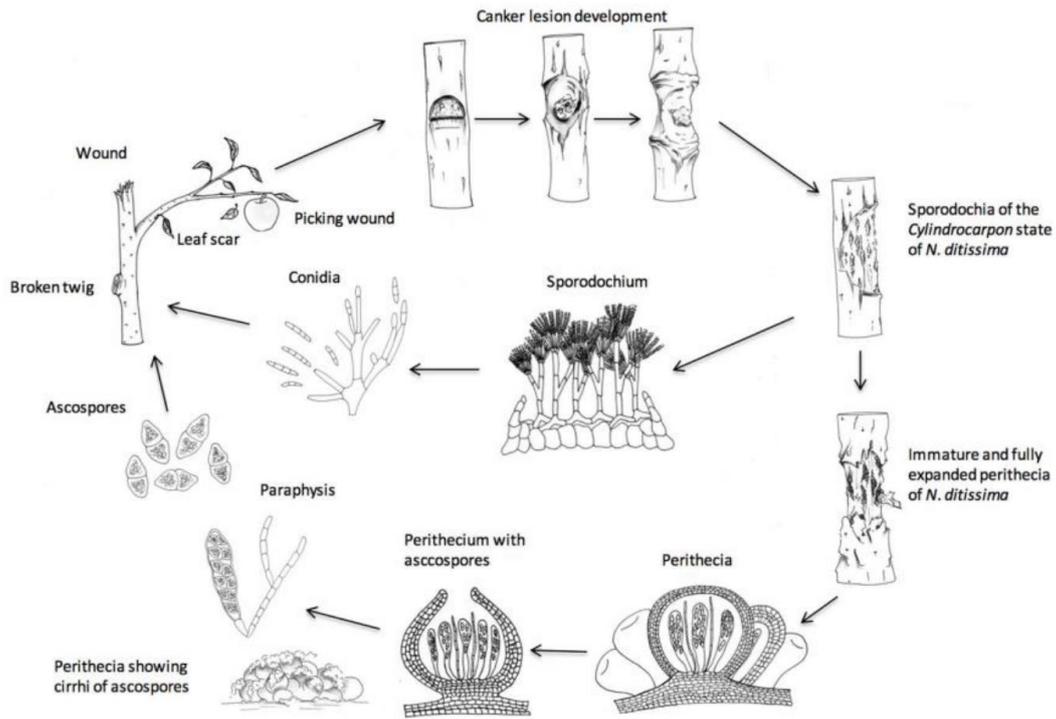


Figure 8 : Cycle de vie de *Neonectria ditissima* d'après (Aqrios, 1997)



Figure 9 : Évolution des symptômes sur bois provoqués lors une infection par *Neonectria ditissima*. **A.** Rameau jeune avec écorce rougeâtre et fissurée. **B.** Tissu nécrosé, dépression dans la zone de la lésion. **C.** Hypertrophie des tissus ligneux autour de la lésion chancree. **D.** Écorce fissurée avec des périthèces visibles l'œil nu. Source : personnel

1.3.5. Méthodes de lutte

a) *Les variétés résistantes*

Le pathosystème pomme - *Neonectria ditissima* est encore peu étudié et documenté. Très peu d'information sont disponibles sur les facteurs de pathogénicité du champignon ou les mécanismes de résistance chez l'hôte. Des espèces et cultivars de *Malus* spp. montrent des variations de susceptibilité à *N. ditissima*. La plupart des variétés modernes, tels que « Scifresh », ainsi que certaines variétés anciennes comme « Gala » ou « Braeburn », sont très susceptibles à l'infection de ce pathogène et au développement de chancres systémiques (Gómez-Cortecero *et al.*, 2016). Même s'il y a des différences de susceptibilité entre cultivars, il n'y a pas de résistance monogénique connue. Les différences entre des cultivars sont probablement basées sur l'effet additif de plusieurs gènes (Weber et Børve, 2021). La résistance des cultivars de pommier à l'infection par *Neonectria ditissima* est un trait quantitatif qui peut varier en fonction de plusieurs circonstances, tels que le génotype de l'arbre, le type de blessure, les facteurs environnementaux (climat, sol, nutrition, drainage) ainsi que des caractéristiques intrinsèques à l'arbre comme l'âge, l'état de santé et sa physiologie (Sheper et Walter, 2015). Notamment, il a été démontré qu'une fertilisation excessive en azote favorise le développement de *Neonectria ditissima* (Vorster *et al.*, 2021). Conséquemment, le degré de résistance d'une variété n'est pas seulement déterminé génétiquement, mais il y a une forte influence des facteurs environnementaux et par conséquent des conditions climatiques et pédologiques de l'emplacement.

b) *Prophylaxie et techniques culturales*

La plantation des arbres sains est une étape décisive dans le contrôle du chancre européen. *Neonectria ditissima* est capable de rester dans un état latent, sans causer une expression des symptômes dans l'hôte pendant des longues périodes. En conséquence, la détection précoce des infections asymptomatiques en pépinière est essentielle pour la gestion de la maladie (Olivieri *et al.*, 2021a). Il a été démontré que les plantes peuvent être infectées lors des étapes de multiplication végétative et ne manifester des symptômes de la maladie qu'une fois plantées en verger (McCracken *et al.*, 2003). Cela met en avant l'importance des méthodes de détection efficaces dans les premières étapes de production. La présence du pathogène dans les tissus des jeunes arbres dans des phases asymptomatiques peut être détectée par des techniques moléculaires comme la PCR (Langrell, 2002) ou PCR TaqMan (Harteveld *et al.*, 2023).



Figure 10 : Symptômes de pourriture d'une pomme provoqués par *Neonectria ditissima*.
Source : CTIFL



Figure 11 : Lésion chançrée avant (A) et après curettage (B) sur tronc principal de pommier.
Source : personnel

Une fois la maladie présente dans le verger (liée à l'expression des symptômes sur l'arbre), la suppression de rameaux chancreux est une mesure essentielle dans le contrôle du pathogène (Weber et Børve, 2021). Idéalement, les rameaux infectés doivent être supprimés des arbres avant qu'ils commencent à produire des conidies. Les moments recommandés de taille sont : l'hiver, quand les chancres sont plus visibles et l'arbre est en repos végétatif ; les étapes de préfloraison, pour prévenir l'infection des bourgeons et après la floraison jusqu'au mois de juin, où il y a une émergence massive des infections de chancre qui avaient été initiées l'automne précédent (Weber et Børve, 2021). L'élimination des résidus de taille en verge est cruciale, puisque les chancres peuvent continuer à libérer des ascospores à partir du bois mort.

La taille doit être réalisée de préférence les jours secs et il est conseillé de la synchroniser avec des traitements fongicides (Weber et Børve, 2021). Quand le chancre est présent sur le tronc principal ou sur une branche fruitière, pour éviter l'excision de la structure de l'arbre, elle est curettée, les tissus nécrosés sont enlevés de la blessure pour éliminer les structures reproductives et freiner l'avancement des symptômes (figure 11) La taille et le curettage sont nécessaires mais pas suffisants pour contrôler le pathogène. La combinaison avec des méthodes de protection intégrée est un élément fondamental de la gestion de ce pathogène. Ces mesures prophylactiques sont présentées de façon synthétique dans le *tableau 2*.

c) Les méthodes de contrôle chimique

L'objectif principal de la lutte chimique contre *N. ditissima* est de réduire la sporulation du champignon présent dans les anciens chancres et donc diminuer la pression d'infection des nouveaux tissus ligneux. Les fongicides sont généralement appliqués à plusieurs stades de développement de la culture comme le débourrement, la chute de pétales, la récolte et la chute des feuilles en automne. Parmi les produits autorisés en France s'avérant être les plus efficaces dans la lutte contre l'agent causal, les plus utilisés sont les fongicides à base de **cuivre**, qui ont une action protectrice des cicatrices foliaires et des cicatrices d'écaillures de bourgeons (Weber et Børve, 2021), ainsi que le **captane**, fongicide à action préventive qui agit d'un côté comme barrière physique pour la pénétration du pathogène, et d'un autre côté il a des effets sur le métabolisme du champignon, principalement par modification de la perméabilité de la membrane cellulaire (Scariot et al., 2017). D'autres molécules comme les triazoles ont été qualifiés comme efficaces pour le contrôle de ce pathogène, mais son usage est moins répandu en France. Dans d'autres pays, différents produits de synthèse tels que les MBC (méthyl benzimidazole carbamates) et carbendazimes sont aussi utilisés pour le contrôle du chancre du pommier (Walter et al., 2019; Weber et Børve, 2021).



Figure 12 : Lésion chancree curettee avant (A) et apres (B) et application d'un badigeon a base de goudron de pin.

Source : CTIFL

Tableau 2 : Mesures prophylactiques pour la lutte contre *Neonectria ditissima*.

MESURES PROPHYLACTIQUES	TECHNIQUE	OBJECTIF
Détection précoce des infections	Analyse moléculaire (PCR)	Écarter les arbres atteints avant plantation. Limiter le développement de la maladie en verger.
Taille	Suppression des rameaux chancreés	Réduire des sources d'inoculum. Limiter le développement des symptômes.
Curetage	Élimination des tissus nécrosés dans les blessures chancreés	Limiter le développement de symptômes. Freiner la recrudescence du pathogène.

La pulvérisation foliaire est le moyen le plus courant d'appliquer les fongicides sur les arbres, mais l'efficacité de la pulvérisation est limitée par les pertes dues à la dérive, phénomène qui constitue aussi un risque environnemental important (Cech *et al.*, 2023). En fonction du type de bioagresseur et des symptômes provoqués, d'autres techniques d'application des produits phytosanitaires peuvent être envisageables. Concernant le chancre européen, une de ces techniques est le badigeonnage (*figure 12*), qui consiste à l'application directe des produits sur les plaies qui ont été préalablement curetées afin de limiter le développement du champignon (Weber et Børve, 2021). D'autres techniques innovantes sont en cours d'études actuellement dont la micro-injection sécurisée dans les troncs.

d) Les méthodes de lutte alternatives

Récemment, de plus en plus d'études sont conduites pour déterminer des potentiels agents de biocontrôle contre *Neonectria ditissima*. (Liu *et al.*, 2020) ont étudié la communauté endophyte dans les feuilles et rameaux de pommier et les effets de certains microorganismes sur le développement de l'ascomycète. Ils ont trouvé 13 espèces bactériennes (appartenant au genre *Bacillus* et *Pseudomonas*) et 17 isolats fongiques (*Chaetomium*, *Epicoccum*, *Biscogniauxia*, *Penicillium*, *Diaporthe*, *Phlyctema*) avec des effets antagonistes sur le développement du pathogène. Une étude similaire, conduite par (Olivieri *et al.*, 2021b), a montré qu'ils existent des différences significatives dans la communauté endophyte entre les cultivars avec des différents degrés de résistance au chancre européen. Plusieurs groupes d'endophytes bactériens et fongiques présentaient une abondance relative différente entre les cultivars sensibles et résistants. (Elena *et al.*, 2022) ont approfondi les recherches des microorganismes antagonistes de *Neonectria ditissima* et ils ont déterminé que *Clonostachys rosea* montrait des propriétés antagonistes de *Neonectria ditissima* et présente des caractéristiques qui permettraient le développement d'un produit de biocontrôle potentiellement efficace. Selon (Shuttleworth, 2021), l'application de *Trichoderma harzianum* T-22 dans le sol des jeunes vergers a montré une réduction des symptômes de chancre dans des jeunes arbres.

L'utilisation de traitements thermiques a également été testé dans le contrôle du chancre européen, (Amponsah *et al.*, 2016). Les tests *in vitro* ont montré une mortalité de *N. ditissima* à partir d'une heure d'incubation à 45 °C (ascospores, conidies et mycélium). Également, il a été possible d'éliminer le champignon du matériel végétal après l'avoir mis dans un bain d'eau à cette température pendant 45 minutes. Cependant, il a été trouvé que de telles températures affectaient la viabilité des pommiers et des poiriers et les auteurs ont conclu que les traitements à l'eau chaude ne sont pas adaptés pour ces espèces.

Tableau 3 : Produits phytosanitaires autorisés en France contenant des substances actives avec une efficacité démontrée sur *Neonectria ditissima*

METHODES DE LUTTE	SUBSTANCE ACTIVE	USAGE	MODE D'ACTION
Lutte chimique	Captane	Préventif	Fongicide de contact , action multi-site
	Cuivre	Préventif	Fongicide de contact , action multi-site
	Triazoles	Préventif – curatif	Fongicides systemiques : inhibiteurs de la déméthylation (C14-déméthylase) dans la biosynthèse de stérols.
Lutte biologique	<i>Trichoderma harzianum</i> T-22	Préventif	Compétition directe. Émission des composées volatiles
	<i>Clonostachys rosea</i> Souche J1446	Préventif	Compétition directe. Émission des composées volatiles
	<i>Bacillus subtilis</i>	Préventif	Émission de composées mycotoxiques. Stimulateur des défenses des plantes

Les hypovirus et les souches fongiques hypovirulentes ont été abondamment utilisés en Europe contre le chancre du châtaignier *Cryphonectria parasitica*, et pourraient être une méthode utile pour gérer *N. ditissima* (Milgroom et Cortesi, 2004; Sacristán et García-Arenal, 2008), mais peu de recherches sont menées sur les hypovirus spécifiques de ce champignon.

Un récapitulatif des méthodes de lutte chimique utilisées actuellement en France, ainsi que des agents de lutte biologique avec un potentiel dans la gestion de *Neonectria ditissima* sont présentés dans le *tableau 3*.

1.3.6. Évaluation des risques : les outils d'aide à la décision (OAD)

Les difficultés de gestion des ressources, les changements climatiques, et l'augmentation de la population sont des facteurs qui contribuent à l'augmentation de la complexité des systèmes agricoles actuelles. C'est ainsi que le développement de modèles de prédiction est en hausse dans l'agriculture de nos jours (Jones *et al.*, 2017). Ces outils permettent d'anticiper les périodes d'incidence des bioagresseurs à partir des suivis précis des cycles de vie des pathogènes, prenant en compte les interactions hôte-pathogène-environnement dans un système déterminé (De Wolf et Isard, 2007).

RIMpro est un des outils d'aide à la décision les plus utilisés en arboriculture. Cet outil est constitué d'un set des modèles simulant la dynamique de plusieurs bioagresseurs du pommier, poirier et vigne (Wallhead *et al.*, 2017). Celui-ci est un « modèle de suivi des populations » qui utilise des données météorologiques d'une zone déterminée pour évaluer le risque d'incidence des maladies ou des ravageurs (RIMpro, 2023). Il propose des prédictions journalières, dont le risque d'infection est évalué en base à plusieurs paramètres. La *figure 13* montre une représentation graphique des risques d'infection pour le chancre européen à La Morinière de janvier à juin 2023. Cet OAD est révisé, actualisé et comparé en continu avec des données obtenus à partir des observations en verger pour garantir la précision des prédictions (RIMpro, 2023).

1.4. Le projet NECTRIA

Le Projet Nectria est réalisé dans sa totalité par le CTIFL, centre La Morinière, et financé par la Région Centre-Val de Loire. Ce projet a été lancé en 2021 pour répondre aux besoins des producteurs régionaux.

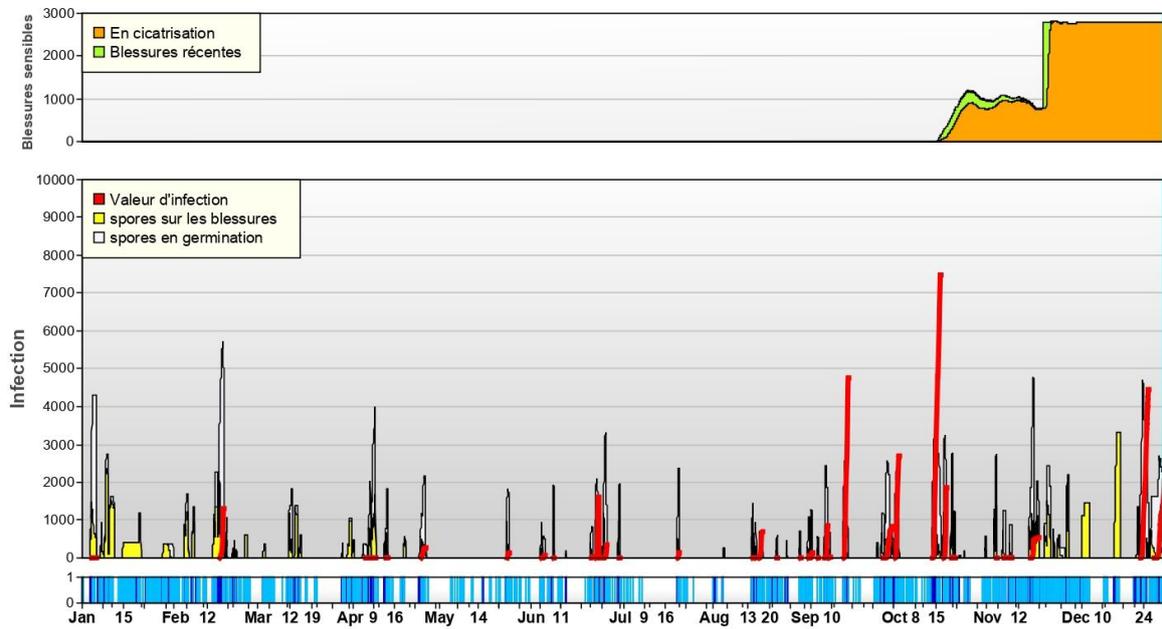


Figure 13 : Vue de l'interface d'utilisation de RIMpro représentant les périodes de risque d'infection des pommiers par *Neonectria ditissima* à La Morinière entre janvier 2022 et décembre 2022.

Source : RIMpro

1.4.1. Problématique

Le chancre européen est présent dans la quasi-totalité des vergers de pommiers du Val- de- Loire. La sévérité des attaques de ce pathogène est variable, ces dernières pouvant être localisées dans quelques parcelles ou présentes dans la totalité du verger. Le manque de connaissances sur la biologie et l'épidémiologie du chancre, accompagné par la faible disponibilité de produits pleinement efficaces contre cet ascomycète ne facilite pas la gestion de la maladie.

Ce stage est une continuité des études réalisées sur *Neonectria ditissima* dans cette région et est axé sur deux problématiques principales. Dans un premier temps, il est envisagé d'approfondir les connaissances du pathogène et la maladie pour affiner les prévisions des risques et ainsi optimiser l'application de diverses spécialités. Un suivi des projections de spores est réalisé de façon hebdomadaire et mis en relation avec les conditions climatiques pour déterminer le risque d'infection en verger. En parallèle, ces données sont comparées avec celles fournies par l'outil d'aide à la décision (RIMpro), pour déterminer la précision de ce dernier.

- **Problématique 1** : *Dans quelle mesure les connaissances sur la biologie du champignon et l'épidémiologie de la maladie nous permettent de détecter les périodes de risque ?*
- **Hypothèse 1** : *Les informations fournies par l'outil d'aide à la décision (RIMPro) sur l'épidémiologie du chancre européen concordent avec les observations des projections en verger*

Dans un second temps, des alternatives aux produits fréquemment utilisés sont testées pour lutter contre *Neonectria ditissima*. À cette fin, il est réalisé un screening en laboratoire de plusieurs spécialités phytosanitaires pour déterminer leur efficacité dans l'inhibition de la germination des spores et de la croissance mycélienne du champignon.

- **Problématique 2** : *Dans quelles mesures les produits phytosanitaires actuels sont adaptés pour la lutte contre *Neonectria ditissima* ?*
- **Hypothèse 2** : *Actuellement il y a des produits phytosanitaires qui ont des effets inhibitoires de la germination et la croissance mycélienne de *Neonectria ditissima**

1.4.2. Objectifs

Les deux objectifs principaux de ce stage sont :

- Déterminer les périodes de risque de la maladie et valider le modèle de prédiction.
- Déterminer les produits efficaces contre *Neonectria ditissima*.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.2. Suivi des périodes de projection de spores en verger

2.2.1. Objectif de l'expérience

L'application de mesures prophylactiques et de traitements phytosanitaires efficaces contre le chancre du pommier, requiert une connaissance des périodes de risque de la maladie en verger. Ainsi, l'objectif de cette expérience est d'observer les périodes de projection des spores des blessures chancreuses en verger et de les mettre en relation avec des conditions météorologiques. Les données obtenues en verger seront comparées avec celles fournies par RIMPro, afin d'évaluer la précision de ce dernier.

2.2.2. Dispositif expérimental

L'essai a été mis en place en octobre 2022 dans la parcelle 1 (*cf. figure 2*), sur des pommiers de la variété « Gala » (*tableau 4*). Quatre blessures chancreuses présentes sur le tronc des arbres à différents stades de développement ont été sélectionnées pour la conduite de l'essai. Les spores projetées par les chancres sont récupérées à partir d'un dispositif spécifique placé en face de chacun d'entre-deux. Celui-ci est composé d'une lame de microscope protégée par un couvercle et attachée au tronc de l'arbre, placée en face de la blessure chancreuse à une distance de 2 cm, comme illustré dans la *figure 14*. Les lames sont changées de façon hebdomadaire et les spores projetées sur celles-ci sont comptées au microscope optique 200x, sous teinture au bleu de méthylène. Le nombre de conidies et ascospores par lame est relevé pour chacun des « chancres » suivis. Les données météorologiques sont acquises à partir de la station placée au verger.

2.3. Le screening des produits phytosanitaires en laboratoire

Les matières actives cuivre et captane étant les produits préconisés pour la lutte contre *Neonectria ditissima* (*cf. 1.1.3 a*), celles-ci sont utilisées comme « référence » dans les expériences suivantes. Ces expériences visent à déterminer des alternatives aux deux molécules préalablement citées ayant un effet inhibiteur sur le pathogène. Pour cela, des tests de germination et de croissance mycélienne ont été conduits.

Tableau 4 : Caractéristiques de plantation dans la parcelle 1

Année de plantation	2019
Distance plantation	3,3 x 1,20 (m)
Porte greffe	Geneva 11 (G11)
Variété	« Gala »



Figure 14 : Dispositif mis en place pour la récupération des spores à partir des projections provenant des blessures cancrées.

Source : personnel

2.3.1. Sélection et description des produits

Les produits utilisés au cours des screenings au laboratoire ont été sélectionnés en raison de leurs effets positifs dans la gestion de l'ascomycète lors de différentes manipulations préalables sur le centre de La Morinière. Une synthèse bibliographique a également permis de sélectionner d'autres alternatives. Au total, 13 spécialités ont été sélectionnées pour la conduite des tests au laboratoire (*tableau 5*). Les doses utilisées pour cette expérience ont été calculées en adaptant les doses d'utilisation en verger.

2.3.2. Test de germination des spores

Cette expérience a été mise en place afin de définir l'effet des produits phytosanitaires sélectionnés sur la germination des conidies de *Neonectria ditissima*.

a) Obtention de la solution chancree

La récupération des spores du pathogène en solution aqueuse a été une étape fondamentale de l'expérience. La solution contenant des spores de *Neonectria ditissima* a été préparée à partir de jeunes rameaux chancreés (entre 1 et 2 ans) récupérés au sein du verger. Dans ce type de blessures chancreuses, le champignon est présent sur sa forme asexuée *Cylindrocarpon heteronema* et produit des conidies. Afin d'obtenir une solution de conidiospores, un dispositif simulant des précipitations et des éclaboussures de pluie a été mis en place (Walter *et al.*, 2018) (*figure 15*). Les rameaux ont été déposés sur une boîte en plastique couverte par une maille et ensuite pulvérisés avec de l'eau pendant plusieurs jours successifs. L'eau écoulée des rameaux est recueillie dans la boîte en plastique et est postérieurement collectée dans un conteneur. Celui-ci est ensuite stocké en chambre froide à 1 °C pour empêcher la germination des spores.

b) Dispositif expérimental

La solution aqueuse de conidiospores, a été le milieu utilisé pour la conduite des tests de germination. En raison du nombre conséquent de produits sélectionnés, l'expérience a été divisée en deux temps. Pour chacune d'elles, un témoin (eau) et les deux produits de référence (cuivre et captane) ont été utilisés comme moyen de comparaison, le reste de modalités ont été sélectionnées de façon aléatoire. Au cours des différents tests établis, toutes les spécialités sont testées avec quatre répétitions par modalité. En fonction des résultats obtenus lors des premiers tests, une sélection plus fine des modalités est établie pour confirmer les premiers résultats.

Tableau 5 : Spécialités phytosanitaires sélectionnées pour la conduite des tests de germination et croissance mycélienne.

PRODUIT	COMPOSITION	DOSE MAX D'APPLICATION	HOMOLOGUE SUR LA CIBLE
Nordox 75 WG	cuivre (oxyde) : 750 g/kg	1,67 kg/ha	
Merpan 80 wdg	captane : 800 g/kg	1,9 kg/ha	X
Stoby DF	krésoxime-méthyl : 500 g/kg	0,2 kg/ha	X
Armicarb	hydrogénocarbonate de potassium : 850 g/kg	5 kg/ha	X
Luna experience	tébunoconazole : 200 g/L) fluopyram : 200 g/L	0,75 L/ha	X
Difcor	difénoconazole : 250 g/L	0,15 L/ha	X
Delan sc	dithianon : 500 g/L	0,7 L/ha	X
MSD (microthiol special disperss)	soufre : 800 g/kg	7,5 kg/ha	X
Cabrio arbo	pyraclostrobine : 200 g/kg	0,5 kg/ha	X
ProCrop Shield	Matière sèche (MS) 28,4 % ; Anhydride sulfurique (SO3) 10 % ; Soufre élémentaire (S)Min : 4 % ; Zinc (Zn) soluble dans l'eau 3,2 % ; Manganèse (Mn) soluble dans l'eauMin : 2 % ; Cuivre (Cu) soluble dans l'eau 1,6 % ; Fer (Fe) soluble dans l'eau : 0,8 %	2 L/ha	X
Triatum G	<i>Trichoderma harzianum</i> strains ITEM 908 : 15 10 ¹⁰ UFC/kg	10 g/plant	X
Lalstop	<i>Clonostachys rosea</i> souche J1446 : 100000000 UFC/g	4 kg/ha	X
Serenade ASO	Bacillus subtilis souche QST 713 : 1000000000 UFC/g	8 L/ha	X
Curatio	polysulfure de calcium : 290 g/kg	18 L/ha	X

c) Mise en place de l'expérience

L'essai a été préparé à partir d'un volume de solution mère chancrée, adaptée selon le nombre de produits à tester dans l'expérience. Avant la préparation de toutes les modalités, le pourcentage de germination initial (t_0) de la solution chancrée sur 200 conidies et le nombre de conidies par millilitre ont été déterminés avec une cellule de Malassez. Afin de favoriser la germination des conidies, du saccharose a été ajouté dans la solution, à raison de 1 g/10 ml. Ensuite, dans un tube, un millilitre de solution chancrée est mélangée avec un millilitre du produit phytosanitaire correspondant, de l'eau pour le témoin, et agité pour assurer le mélange des liquides. Les conteneurs sont stockés dans une étuve à température constante de 20 °C et en obscurité. Un comptage journalier au microscope optique sur 200 spores a été effectué dans la solution témoin, afin de déterminer l'évolution de la germination des conidiospores. Une fois ce pourcentage dépassant 50 % de germination dans le témoin traité à l'eau, la lecture de l'ensemble des modalités a été réalisée. De nouveau, 200 conidies sont dénombrées pour chacune des modalités pour dénombrer le pourcentage de germination.

2.3.3. Test de croissance mycélienne

Les tests de croissance mycélienne ont pour objectif de déterminer l'effet inhibiteur des produits sélectionnés (cf. *tableau 5*) sur la croissance mycélienne de *Neonectria ditissima*.

a) L'isolement de du pathogène

Dans un premier temps, il a été nécessaire d'établir un protocole pour l'isolement de *Neonectria ditissima* en boîte de Pétri. Pour cela, plusieurs méthodes ont été testées. L'isolement du champignon à partir du bois chancre s'est avérée être la méthode la plus adaptée. Ce protocole a été adapté de celui proposé par (Gelain *et al.*, 2020). Des rameaux chancre coupés en sections de 3 cm ont été sélectionnés et disposés dans de l'alcool à 96° pendant une minute puis de nouveau trempée dans de l'eau stérile.

À l'aide d'un scalpel et de pinces, l'écorce est enlevée jusqu'à arriver aux tissus nécrosés subjacents. Le bois est remis dans l'alcool à 96° pendant 1 min et ensuite bien rincé à l'eau stérile. Les morceaux de bois sont placés ensuite directement en boîte de Pétri contenant le milieu de culture sélectif « Sabouraud dextrose 4% chloramphénicol ». Les boîtes sont enfin placées dans l'étuve à température constante de 20 °C et à l'obscurité. Une fois que le champignon commence à se développer, un repiquage dans le même milieu de culture est réalisé (*figure 16*). La forme asexuée du pathogène, *Cylindrocarpon heteronema*, a été identifiée à partir des observations et comparaisons avec la base de données mycologiques du département de conservation du centre La Morinière.

PRÉPARATION DE LA SOLUTION CHANCRÉE

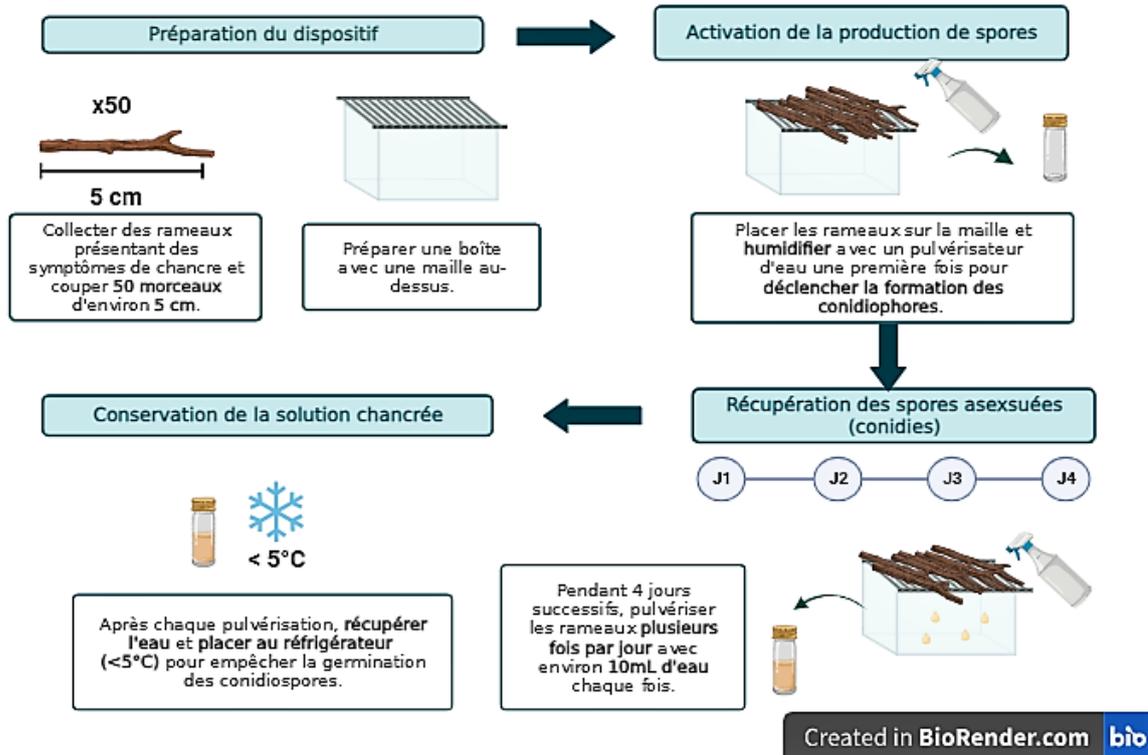


Figure 15 : Schéma illustrant les étapes de préparation d'une solution de conidies à partir des rameaux chancrés.

Source : personnel

b) Dispositif expérimental

Dans un deuxième temps, une fois le champignon isolé en boîte de Pétri, il est repiqué et mis en culture en présence des différentes spécialités phytosanitaires. De nouveau, quatre répétitions par modalité sont effectuées. Un millilitre de chaque produit est appliqué immédiatement après le repiquage. Pour les spécialités contenant d'autres champignons (*Trichoderma harzianum* et *Clonostachys rosea*), ces derniers ont préalablement été mis en culture, pour ensuite les repiquer afin d'effectuer des tests de confrontation avec l'agent causal du chancre européen. Les boîtes sont ensuite placées dans l'étuve à 22,5 °C. Comme pour l'expérience précédente, des observations régulières au sein de la modalité non traitée sont effectuées, celles-ci permettant de déclencher l'observation de toutes les modalités lorsque le développement de l'ascomycète recouvre une surface supérieure à 50 % du milieu de culture. Dans cette étude, le déclenchement de l'observation s'est fait 5 jours après la mise en place de l'expérience.

La croissance mycélienne dans les différentes modalités a été déterminée en fonction de la surface de mycélium, celle-ci étant calculée à partir des photographies traitées avec le logiciel d'analyse d'image « ImageJ ». En ce qui concerne les modalités contenant d'autres champignons, la surface mycélienne de ces derniers, ainsi que la surface nécrosée du pathogène ont également été mesurées pendant quinze jours.

2.4. Analyse des données

La totalité des analyses statistiques présentées dans ce rapport a été réalisée avec le logiciel Rstudio. La procédure utilisée pour chacune des étapes est décrite ci-dessous et synthétisée dans l'*Annexe I*.

2.4.1. Suivi des périodes de projection de spores en verger

Dans un premier temps, l'objectif a été de déterminer la relation entre les variables météorologiques et le nombre total de spores observées en verger. Des tests de corrélation de Pearson ont été conduits pour tester la corrélation entre la variable "Nombre total de spores en verger" et les précipitations ainsi que la température moyenne correspondantes à la période de janvier à juillet 2023.

Ensuite, les données de spores observées en verger ont été comparées avec celles prédites par le modèle RIMpro. Pour cela, des tests de comparaison entre groupes sur la variable continue "nombre de spores observées" ont été envisagés. À la suite de l'exploration des données et du test de normalité, il a été constaté que la conduite des tests paramétriques (ANOVA) n'était pas pertinente (voir *Annexe II*). En conséquence, la comparaison entre les deux groupes a été réalisée à l'aide du test non paramétrique de Kruskal-Wallis.

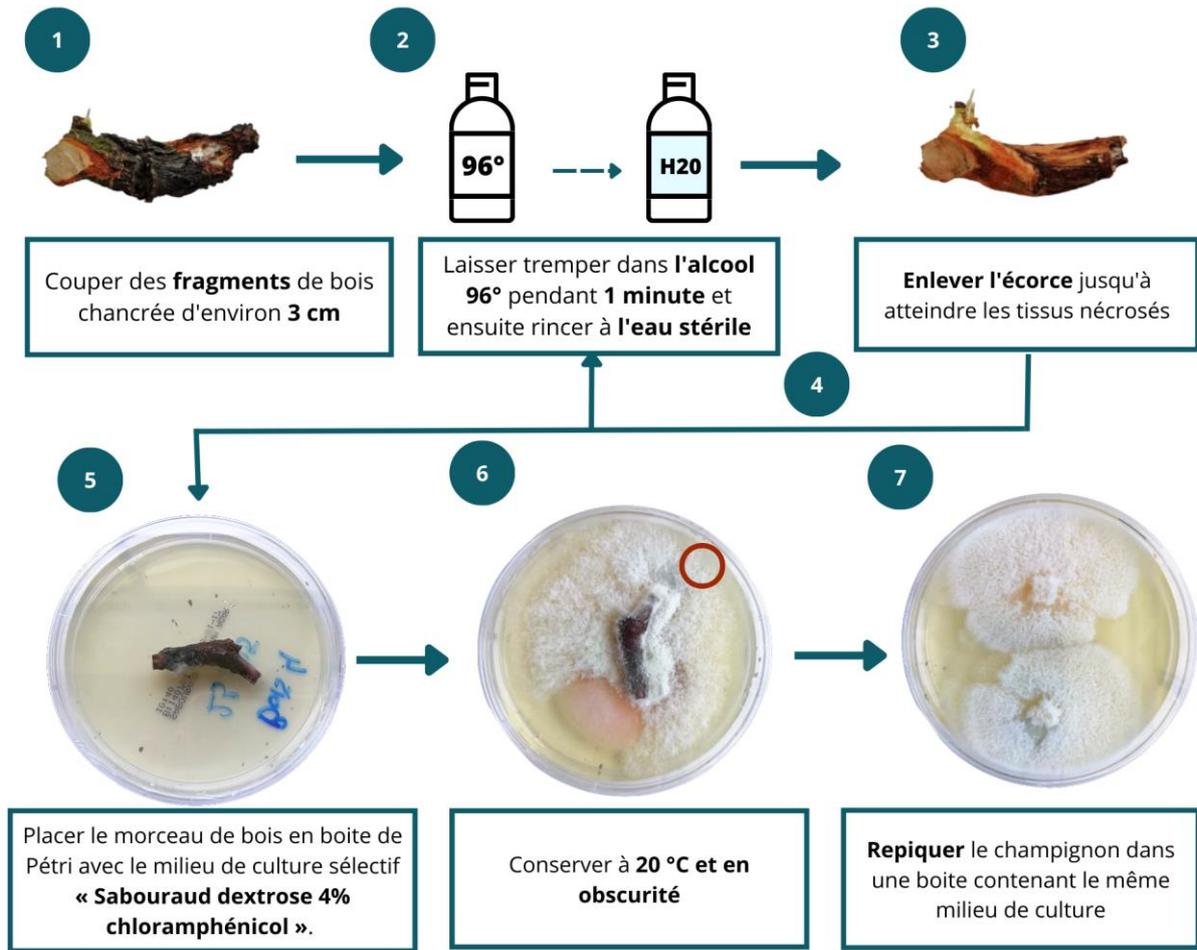


Figure 16 : Schéma illustrant les étapes de l'isolement de *Neonectria ditissima* à partir de morceaux de bois chançrés.

Source : personnel

2.4.2. Test de germination

L'objectif de cette analyse est de déterminer les effets des spécialités phytosanitaires (variable indépendante : qualitative, catégorielle) sur le pourcentage de germination des conidies du pathogène (variable dépendante : quantitative, continue). Dans un premier temps, et à la suite de l'exploration des données, un test non paramétrique de Kruskal-Wallis (distribution des données non normale) a été effectué pour déterminer s'il existe un effet significatif des produits testés sur la germination des conidies. Ensuite, un test de comparaison multiples de Dunn (méthode d'ajustement "Bonferroni") a été réalisé pour déterminer les différences entre les modalités (*Annexe III*).

2.4.3. Test de croissance mycélienne

Les données issues du comptage réalisé à J+5 pour toutes les modalités ont été analysées avec la même méthode décrite pour l'essai précédent. En raison de la non-normalité des données, un test de Kruskal-Wallis a été effectué, suivi d'un test de comparaison multiples de Dunn (méthode d'ajustement "Bonferroni") pour déterminer les différences entre les modalités (*Annexe IV*).

Les spécialités incluant des champignons comme agent de contrôle de *N. ditissima* (cf. *tableau 5*) ont été soumis à des analyses plus approfondies. L'objectif principal de ces analyses a été de déterminer les effets de *Clonostachys rosea* et *Trichoderma harzianum* sur la surface mycélienne totale et nécrosée de *Neonectria ditissima* au cours de 15 jours d'observation.

À cette fin, et en prenant en compte les conditions requises pour sa réalisation un modèle linéaire à effets mixtes a été effectué pour identifier les effets des « Produits » et « Jours post traitement » (variables indépendantes) sur la « surface mycélienne de *N. ditissima* » (variable dépendante). Les variables citées précédemment ont été prises en compte comme facteurs fixes et la variable « Répétition » comme effet aléatoire. L'évolution de la surface nécrosée au pendant les quinze jours a été évalué pour les deux modalités.

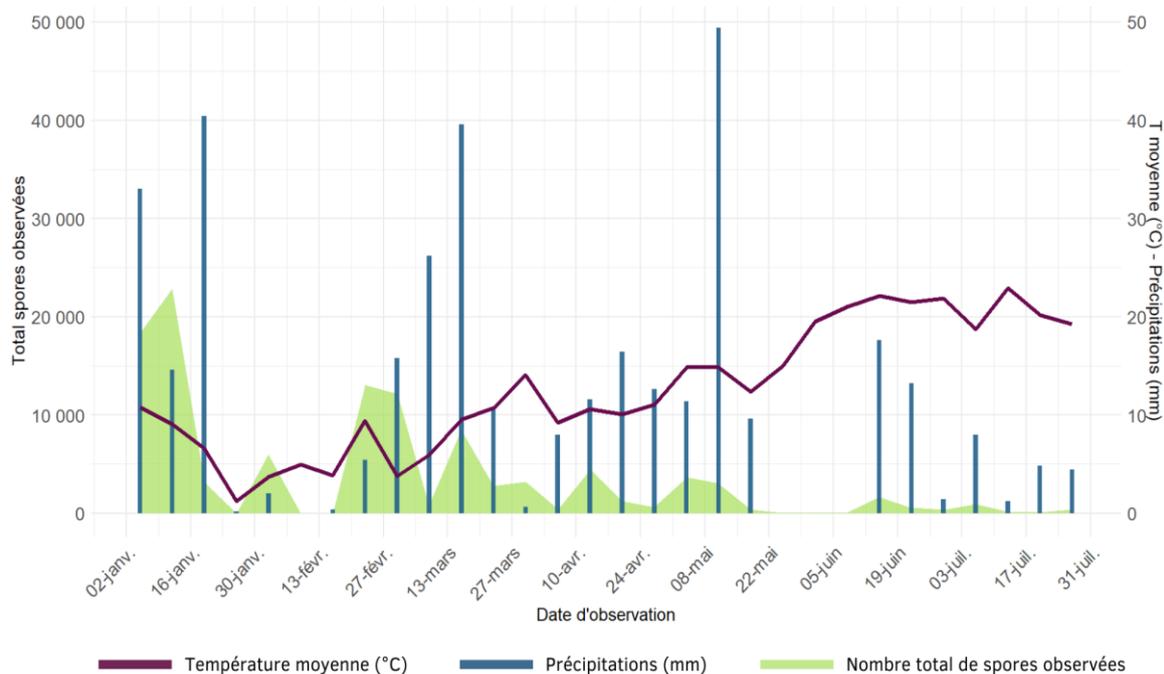


Figure 17 : Graphique combiné montrant le nombre total de spores observées en verger, la température moyenne (°C) et les précipitations (mm) pour la période janvier à juillet 2023.

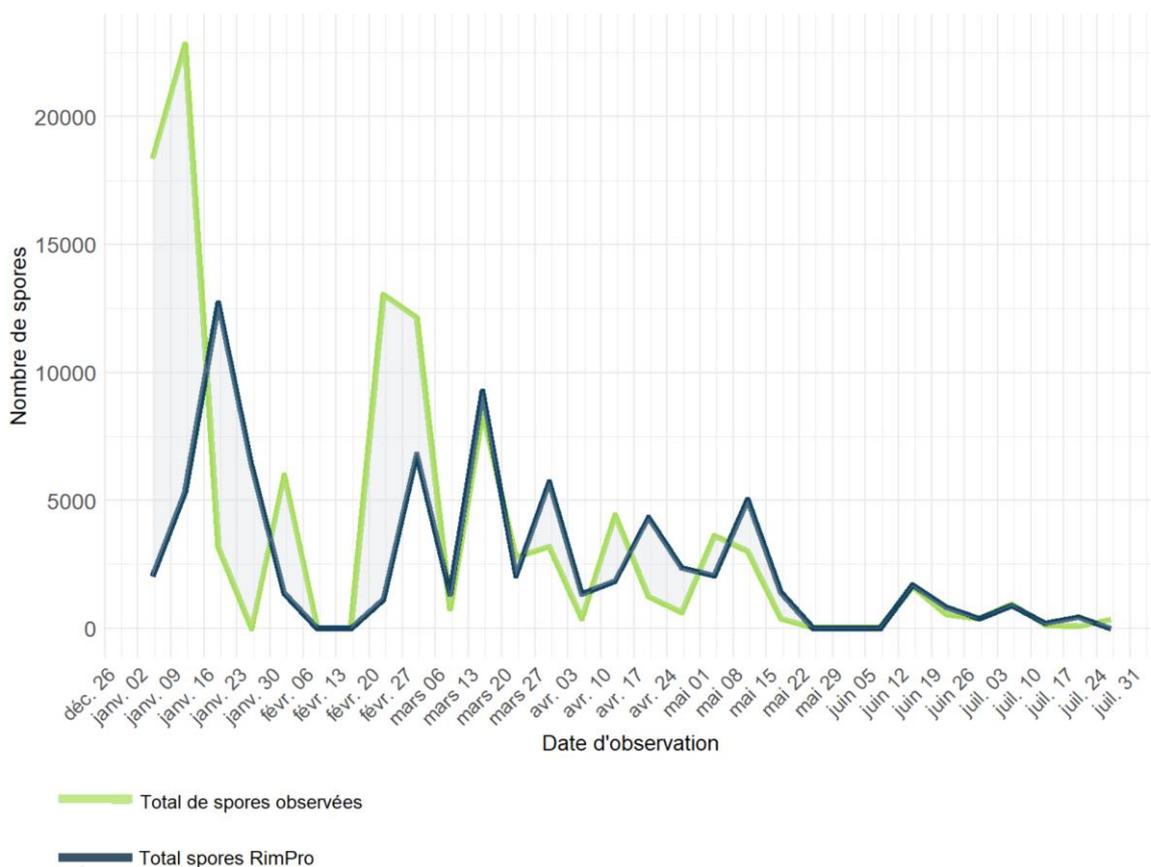


Figure 18 : Évolution du nombre de spores de *Neonectria ditissima* au cours de la période janvier-juillet 2023 correspondant aux observations en verger et aux prédictions du modèle RIMpro.

3. RÉSULTATS

3.2. Suivi des projections de spores en verger et évaluation des OAD

L'ensemble de données météorologiques pour la période de janvier à juillet 2023, comprenant la température moyenne et les précipitations, ainsi que les projections de spores observées en verger, est présenté dans la *figure 17*. La variable « nombre total de spores observées » correspond à la moyenne des ascospores et conidies observées lors des comptages hebdomadaires.

Les périodes avec les projections de spores les plus élevées ont été constatées pendant l'hiver et le début du printemps, où les précipitations sont plus importantes. À mesure que les températures augmentent au cours de l'année, il est observé une tendance à la baisse du nombre total de spores. Les pics de précipitations en fin de printemps ne semblent pas entraîner une augmentation des projections de spores, tandis que la hausse des températures coïncide avec une tendance à la baisse du nombre total de spores observées.

Afin de vérifier la significativité de ces observations, une corrélation entre les variables « Température », « Précipitations » et « Total de spores observées » a été testée. Les résultats des tests de corrélation de Pearson n'ont pas montré de corrélation significative entre le nombre total de spores et les précipitations ($p=0,114$), ni avec la température ($p=0,2$) (voir *Annexe II*).

Les données obtenues pendant la période (janvier-juillet 2023) ne permettent pas de mettre en relation les conditions météorologiques (température moyenne et précipitations) avec le nombre de spores projetées par les chancres en verger.

La *figure 18* représente le total de spores observées au cours de la période de janvier à juillet 2023, au sein du verger, ainsi que les données prédites par le modèle RIMpro. Les deux séries de données atteignent leur maximum en janvier. Cependant, le pic de spores prédit par le modèle est légèrement décalé et moins élevé par rapport aux observations sur le terrain. La représentation graphique des données montre que les prédictions du modèle RIMpro présentent une tendance à la baisse par rapport aux observations en verger, notamment pendant l'hiver. Par la suite, le nombre de spores montre une tendance à l'homogénéisation dans les deux cas.

En raison de la non-normalité des données, un test de Kruskal-Wallis a été réalisé afin d'analyser la significativité des observations. Les résultats de ce test ont montré qu'il n'existe pas de différence significative entre les observations sur le terrain et les prédictions du modèle RIMPro ($p=0,4698$) (voir *Annexe II*).

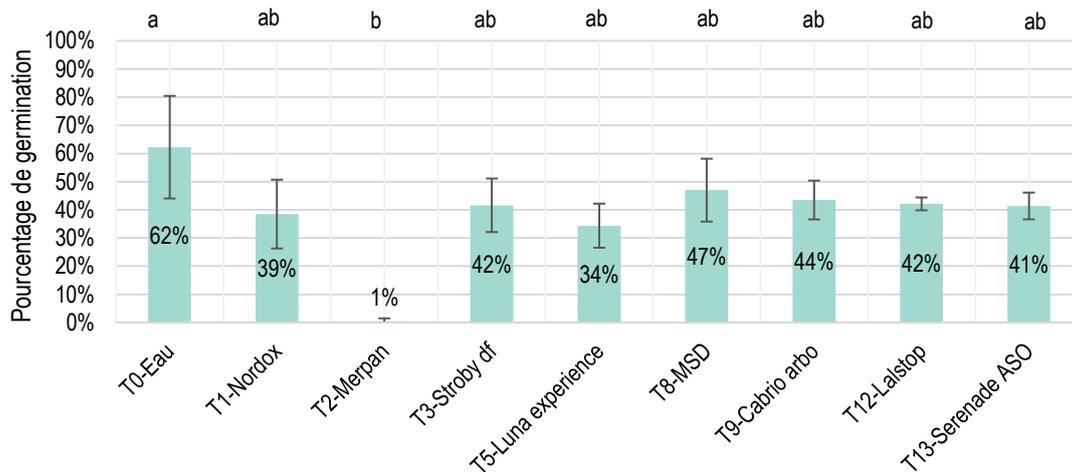


Figure 19 : Moyenne des pourcentages de germination sur 200 conidies des quatre répétitions réalisées par modalité dans le premier test de germination.

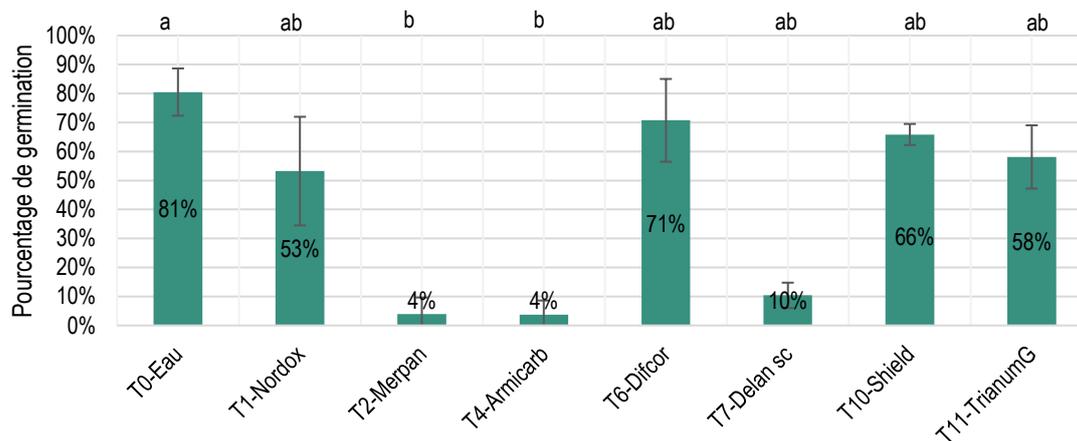


Figure 20 : Moyenne des pourcentages de germination sur 200 conidies des quatre répétitions réalisées par modalité dans le deuxième test de germination.

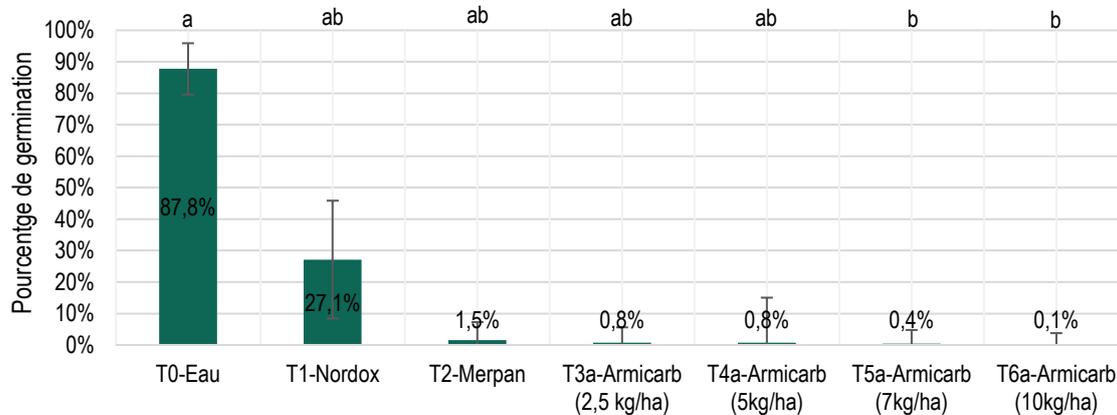


Figure 21 : Moyenne des pourcentages de germination sur 200 conidies des quatre répétitions réalisées par modalité correspondants au test de la spécialité T4-Armicarb à différentes concentrations.

3.3. Screening des spécialités phytosanitaires en laboratoire

3.3.1. Test de germination

Les résultats du premier test (*figure 19*) ont montré un pourcentage de germination des conidies de *Neonectria ditissima* de 62,3 % dans la modalité témoin (T0-Eau). L'analyse statistique initiale a permis de déterminer l'existence d'un effet de la variable indépendante « Produit » sur la variable dépendante « Pourcentage de germination » (*Kruskal-Wallis*, $p\text{-value} = 0,01718$). Concernant les comparaisons multiples entre les modalités de la variable « Produit », la germination des conidies est significativement inférieure au témoin dans la modalité T2-Merpan (*Dunn's test*, $p\text{-value} = 0,019$), avec une valeur moyenne de 0,5 % des conidies germées. Ce n'est pas le cas pour les autres modalités, dont les pourcentages de germination se trouvent entre 38,5 % et 47 % et ne diffèrent pas significativement de ceux trouvés dans le témoin.

La *figure 20* représente la germination moyenne des conidies de *Neonectria ditissima* pour les différentes modalités incluses dans le deuxième test de germination. La même procédure statistique a confirmé que la présence des produits a un effet significatif sur le pourcentage de germination des conidies ($p\text{-value} = 0,0004696$). Le pourcentage de germination le plus élevé (81 %) a été trouvé dans la modalité témoin (T0-Eau). Des différences significatives ont été constatées entre les pourcentages de germination de la modalité T0-Eau et la modalité référence T2-Merpan ($p\text{-value} = 0,031$), ainsi qu'entre T0-Eau et T4-Armicarb ($p\text{-value} = 0,038$). Quatre spécialités (Difcor, Shield, Triatum G et Nordox) montrent un pourcentage de germination des conidiospores compris entre 50 % et 70 %, la modalité Delan sc présente 10,4 % des conidies germées. Cependant, aucune de ces modalités ne présente de différences significatives avec le témoin, selon les tests statistiques effectués.

Les différences significatives trouvées au sein de la modalité T4-Armicarb par rapport à la modalité témoin ont suscité l'intérêt de réaliser un nouveau test de germination, où ce même produit a été testé à différentes doses (2,5 kg/ha ; 5 kg/ha ; 7 kg/ha ; 10 kg/ha) afin de déterminer la dose minimale efficace.

Les résultats de cette expérience sont illustrés dans la *figure 21*, qui représente la moyenne des pourcentages de germination par modalité. Ce pourcentage monte à 87,8 % dans la modalité témoin (T0-Eau). La germination des conidies au sein des modalités contenant la spécialité Armicarb oscille entre 0,8 % et 0,1 %. Concernant les produits de référence, ils présentent des pourcentages de germination de 1,5 % pour la modalité T2-Merpan et 27,1 % pour la modalité T1-Nordox. Les analyses statistiques ont révélé des différences significatives entre le témoin (T0-Eau) et les modalités à des plus fortes doses d'Armicarb : T5a-Armicarb (7kg/ha) ($p\text{-value} = 0,0249$) et T6a-Armicarb (10 kg/ha) ($p\text{-value} = 0,0042$), *Annexe III*.

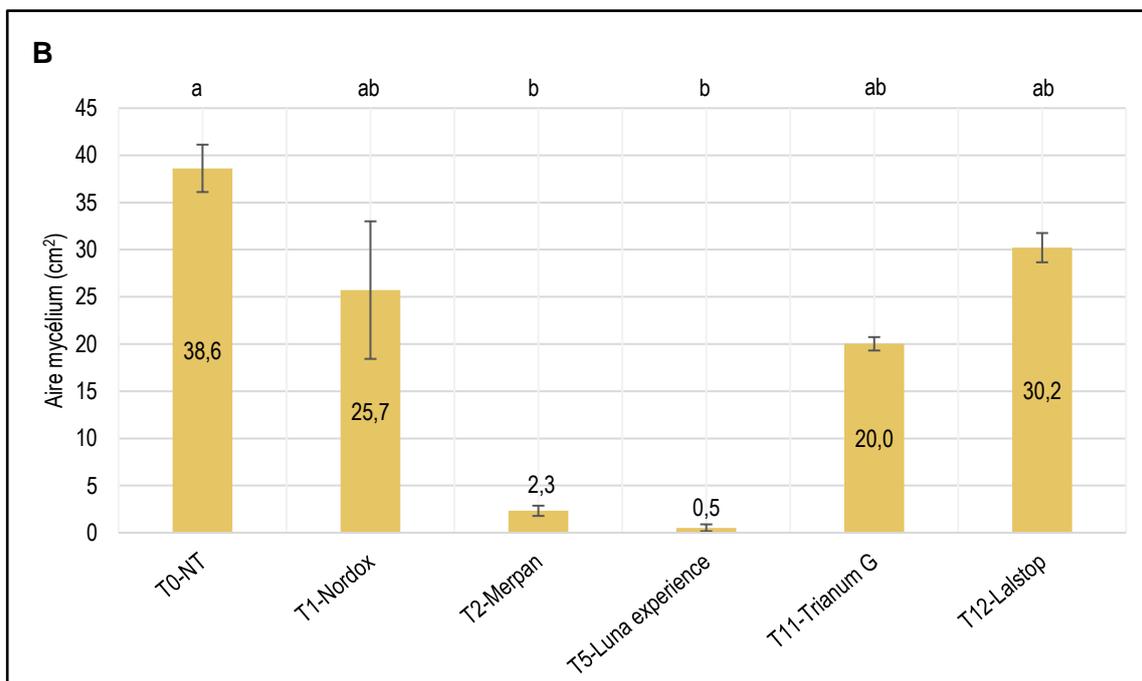
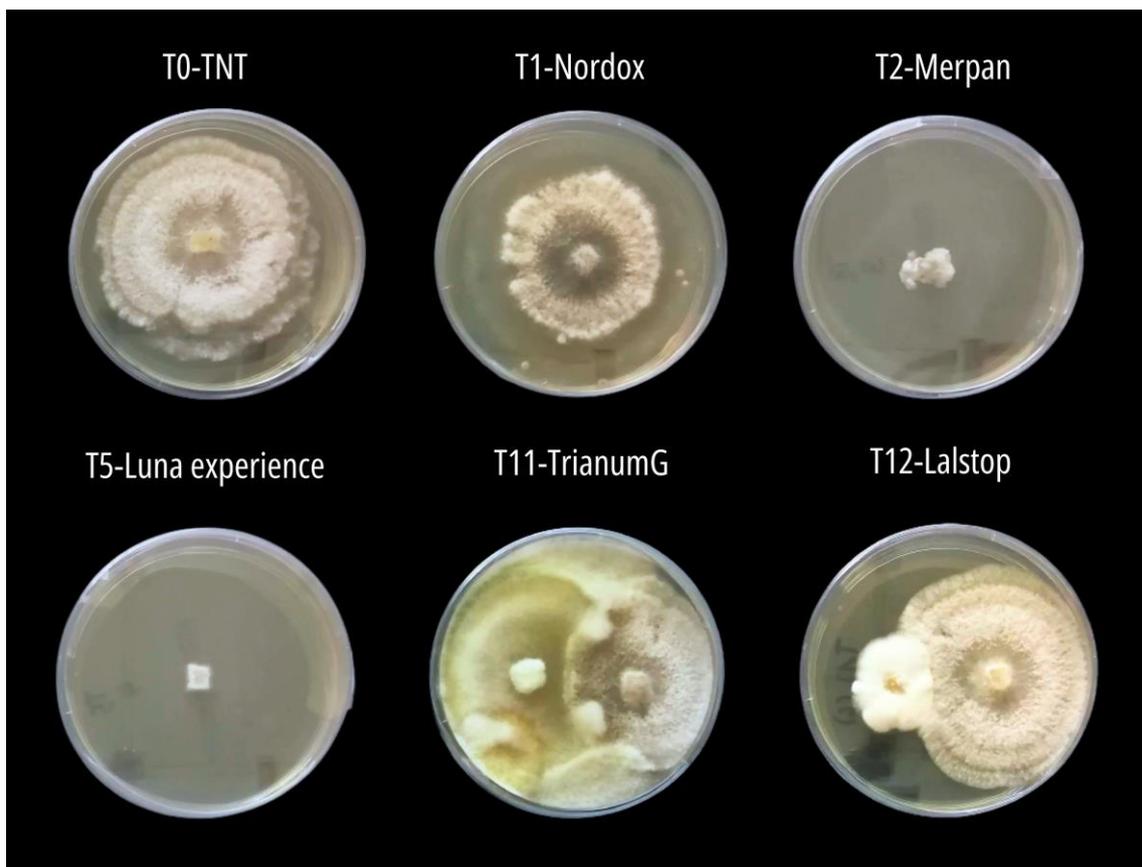


Figure 22 : A : État de croissance mycélienne de *Neonectria ditissima* en présence des différents produits cinq jours après la mise en culture dans le milieu « Sabouraud dextrose 4% chloramphénicol » à 22,5 °C en obscurité. **B** : moyenne des surfaces mycéliennes par modalité

3.3.2. Test de croissance mycélienne

La *figure 22 (A)* montre la croissance de *Neonectria ditissima* en présence des différentes spécialités phytosanitaires cinq jours après le lancement du test. Les moyennes des surfaces mycéliennes par modalité sont représentées graphiquement dans la *figure 22 (B)*. L'aire maximale est observée dans le témoin (T0-TNT), avec une moyenne de 38,6 cm². Les analyses statistiques ne signalent pas des différences significatives entre le témoin et les modalités T1-Nordox, T11-TrianumG et T12-Lalstop, tandis que la surface mycélienne du pathogène est significativement réduite par rapport au témoin en présence du produit de référence T2-Merpan (*p-value* = 0,008) et au sein de la modalité T5-Luna expérience (*p-value* = 0,0005).

Les images correspondantes au second test de croissance mycélienne à J+5 sont présentées dans la *figure 23*. La surface mycélienne maximale est toujours trouvée dans le groupe témoin (T0-TNT) avec une moyenne de 42,1 cm².

Les analyses statistiques ont révélé des différences significatives entre T0-TNT et T2-Merpan (*p-value* = 0,0019), entre T0-TNT et T6-Difcor (*p-value* = 0,0019), mais aussi entre ces deux dernières modalités et T1-Nordox (*p-value* = 0,0198).

Test de confrontation avec les spécialités « TrianumG » et « Lalstop »

Les courbes de croissance mycélienne correspondantes à la mise en confrontation de *N.ditissima* avec *T.harzianum* et *C.rosea*, sont présentées dans les *figures 24* et *25*, respectivement. La surface mycélienne de *T.harzianum* (*figure 24*) arrive à 40 cm² en moyenne après cinq jours de mise en culture et atteint 45 cm² à J+15. Pour cette même période, la surface mycélienne de *N.ditissima* est de 20 cm² à J+5, il est observé une diminution de la surface du pathogène, dû au recouvrement par l'autre champignon. Le pourcentage de recouvrement de *T.harzianum* a été évalué à J+15, la moyenne de recouvrement des quatre répétitions est du 40 % au sein de la modalité T11-TrianumG. Concernant l'évolution de la mise en confrontation avec *C.rosea* (*figure 25*), la surface mycélienne de ce dernier est inférieure à 10 cm² à J+5 et augmente progressivement jusqu'à dépasser les 15 cm² à J+15. Le pourcentage de recouvrement à ce moment-là est de 16 % en moyenne.

Les analyses statistiques ont montré que les variables « Produit » et « Jours post traitement » ont des effets significatifs sur la surface de *Neonectria ditissima*, *p-value* < 2,2⁻¹⁶ et *p-value* = 5,411⁻⁸, respectivement. La *figure 27* illustre l'évolution la surface mycélienne de *Neonectria ditissima* au cours de quinze jours après de la mise en confrontation avec *Trichoderma harzianum* (T11-TrianumG) et *Clonostachys rosea* (T12-Lalstop). Il a été constaté qu'au sein de la modalité témoin, le champignon atteint la surface maximale de la boîte de

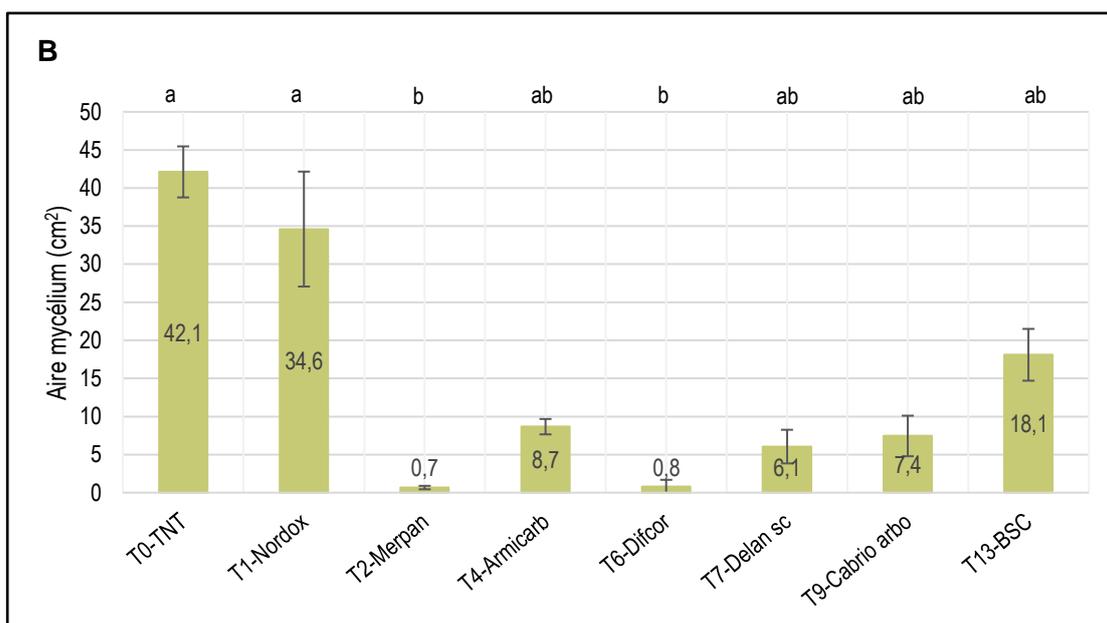
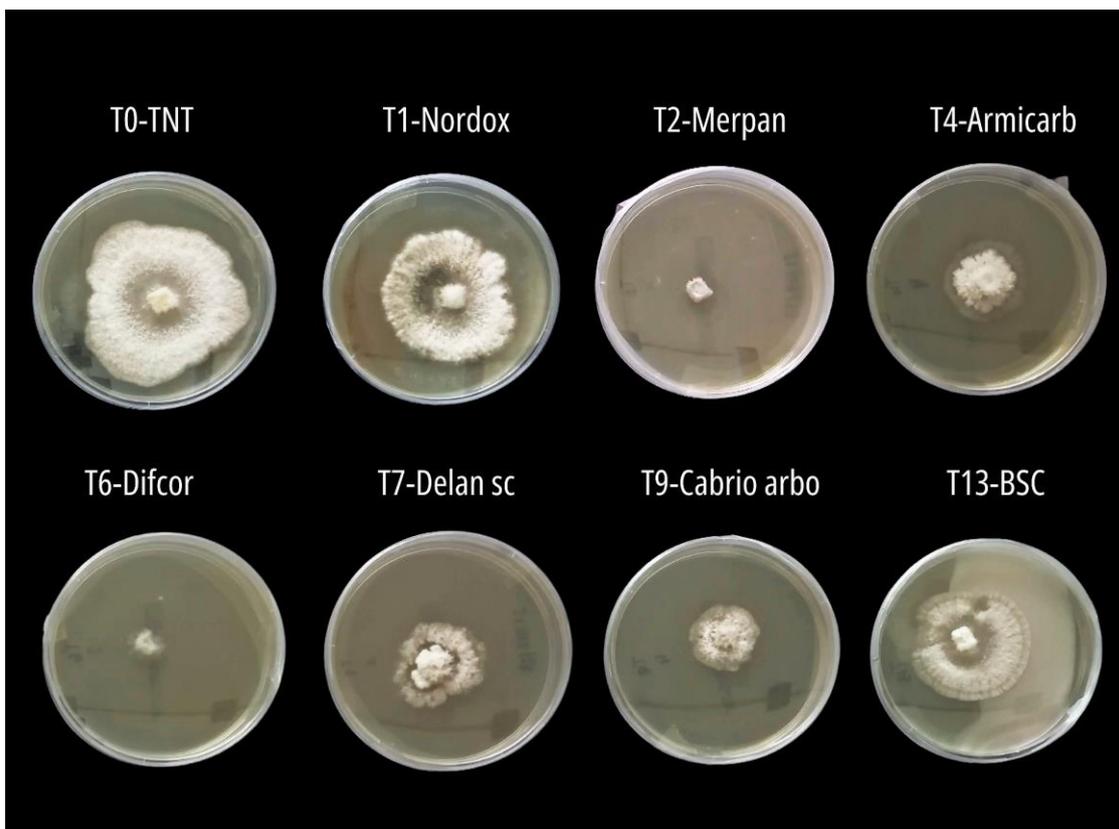


Figure 23 : A : État de croissance mycélienne de *Neonectria ditissima* en présence des différents produits cinq jours après la mise en culture dans le milieu « Sabouraud dextrose 4% chloramphénicol » à 22,5 °C en obscurité. **B :** Moyenne des surfaces mycéliennes par modalité correspondants au deuxième test de croissance mycélienne.

Pétri (environ 62 cm²) après le huitième jour dès la mise en culture. La surface maximale observée dans la modalité T12-Lalstop (autour de 40 cm²) est significativement inférieure à celle du témoin non traité ($p\text{-value} < 2,2^{-16}$). La surface totale du pathogène en présence de *Trichoderma harzianum* est aussi significativement plus basse que les valeurs trouvées dans le témoin non traité (T0-TNT) ($p\text{-value} < 2,2^{-16}$) et elle diffère également de la modalité T12- Lalstop ($p\text{-value} < 2,2^{-16}$).

Concernant l'évaluation de la surface nécrosée de *N.ditissima* au sein des deux modalités en confrontation, il n'a pas été possible de réaliser une comparaison entre les deux produits, dû à l'hétérogénéité des données dans la modalité T12-Lalstop, qui les rends inexploitable. Il a été possible d'illustrer l'évolution de la nécrose dans la confrontation *N.disittima* et *T.harzianum*, cela est montrée dans la *figure 27*. Un effet significatif des « jours post traitement » sur la surface nécrosée a été trouvé à significatifs à J+7 ($p\text{-value} = 0,00679$) et J+8 ($p\text{-value} = 0,000739$). À ces dates, la surface nécrosée dépasse aisément les 50 %.

4. DISCUSSION

4.2. Corrélation des variables météorologiques avec la projection de spores

Lors des analyses réalisées, aucune corrélation n'a été trouvé entre les variables météorologiques (température moyenne et précipitations) et le nombre de spores projetées pour la période janvier à juillet 2023. Ce résultat n'est pas en concordance avec la littérature scientifique sur ce sujet, qui démontre que la température et les précipitations ont des effets significatifs sur la dispersion de *Neonectria ditissima* et l'évolution de l'infection en verger (Xu *et al.*, 1998; Latorre *et al.*, 2002; Beresford et Kim, 2011; Weber, 2014; Weber et Børve, 2021).

La plupart de ces articles abordent l'influence de ces paramètres météorologiques sur l'infection. Pour qu'une infection se produise, la fructification et la sporulation du champignon, ainsi que la projection et la germination des spores sont nécessaires (Weber and Børve, 2021). Les résultats présentés dans ce rapport analysent le phénomène de projection des spores en verger, mais des essais pour étudier le taux de fructification, sporulation ou de germination de spores n'ont pas été mises en place.

Comme abordé précédemment (*cf.* 1.3.1), les conidies sont propagées fondamentalement à partir des éclaboussures de pluie, tandis que les ascospores peuvent aussi être dispersées par le vent (Weber, 2014; Weber et Børve, 2021). Ainsi, les précipitations auront une influence directe sur les projections des deux type de spores (Madden, 1997). Cependant, ce paramètre ne serait pas suffisant pour déterminer la dynamique de projection des ascospores.

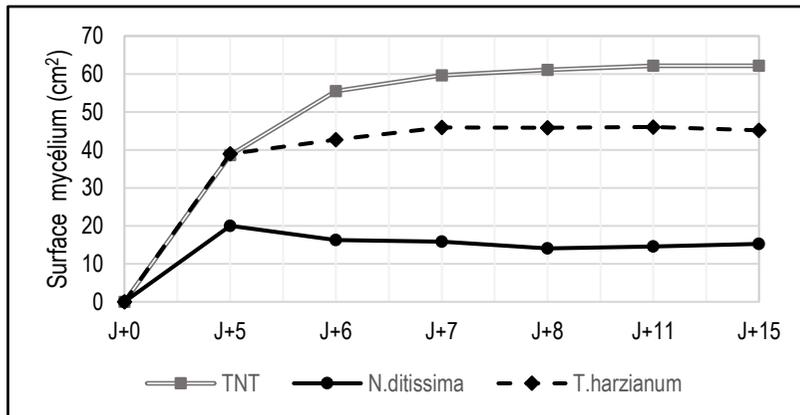
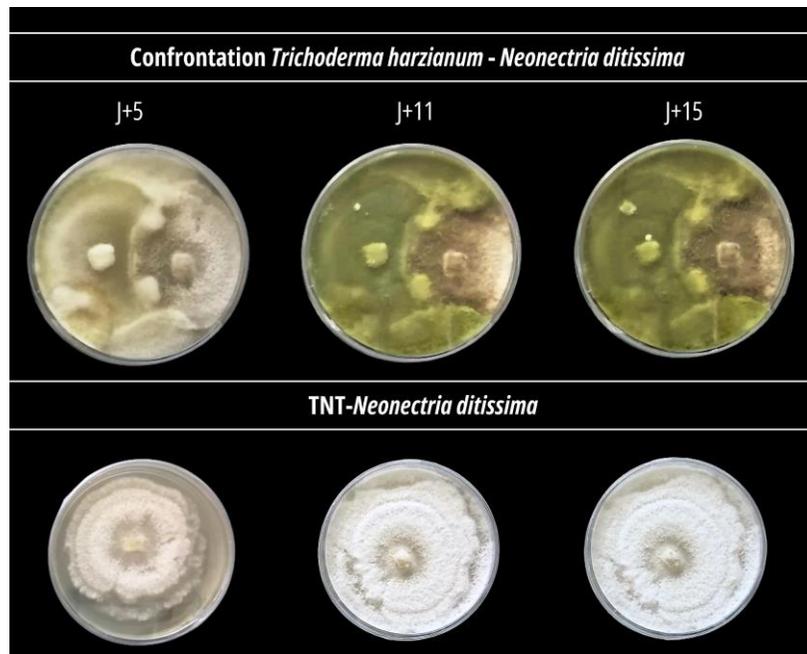


Figure 24 : État de la culture en confrontation de *Trichoderma harzianum* (gauche) et *Neonectria ditissima* (droite) à cinq, onze et quinze jours après la mise en culture, en bas l'évolution du témoin (TNT) dans la même période. **B :** courbes de croissance mycélienne de chacun des champignons mis en confrontation et du témoin non traité (T0-TNT).

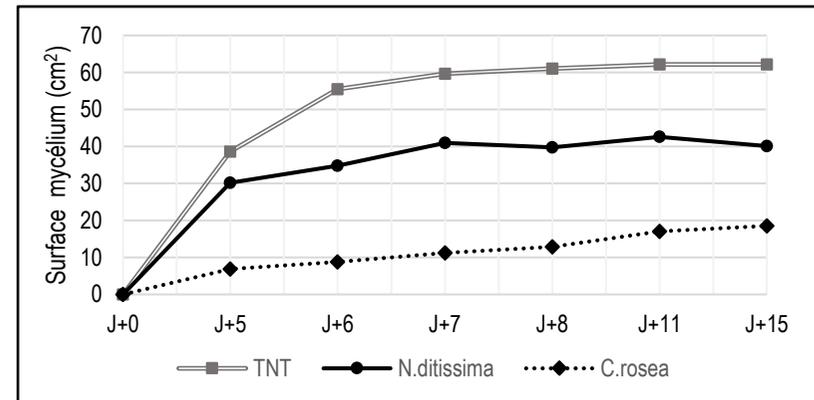
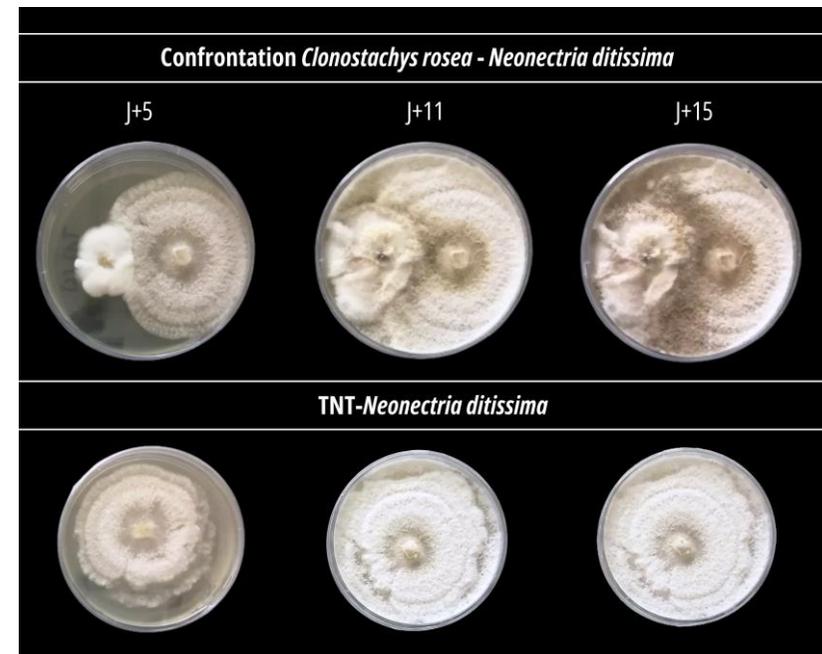


Figure 25 : État de la culture en confrontation de *Clonostachys rosea* (gauche) et *Neonectria ditissima* (droite) à cinq, onze et quinze jours après la mise en culture, en bas l'évolution du témoin (TNT) dans la même période. **B :** courbes de croissance mycélienne de chacun des champignons mis en confrontation du témoin non traité (T0-TNT).

Selon (Ingold, 1985) la propagation des spores à partir des gouttes de rosée n'est pas significative. Contrairement, (Madden, 1997) propose que la rosée et les éclaboussures de pluie ont une influence sur la propagation de la maladie. Les projections seront produites lors des événements de pluie, dû à la nécessité d'un impact qui projettera les gouttes chargées de spores à des entrées potentielles. La présence préalable d'eau libre dans la surface de la blessure lors d'un événement de pluie, favorise la présence des spores dans les gouttes projetés. L'humidité de la rosée peut provoquer le déplacement des spores à l'intérieur des gouttes au sein du même arbre.

Il a été constaté que la température a un effet significatif sur la germination des spores et conséquemment le taux d'infection de la maladie (Dubin et English, 1975; Weber, 2014; Weber et Børve, 2021). Cependant, les effets directs de la température sur les projections de spores sont peu étudiés. À partir de ses observations de terrain, (Lortie et Kuntz, 1963), ont déterminé que la température n'a pas une influence directe dans le phénomène de projection de spores. Cependant, lors de ses essais en laboratoire ils ont remarqué que le pic de libération d'ascospores se produisait au moment où les périthèces commencent à sécher et il se produit une variation de la pression de turgescence. Ainsi, la température a un effet sur le taux de dessiccation des périthèces et a une influence indirecte sur la libération des ascospores.

Cette étude a pris en compte l'ensemble des projections de spores en verger (ascospores et conidies). Des analyses plus approfondies qui prendront en compte la production différentielle des conidies et ascospores au long de l'année serait à envisager pour des études postérieures.

La littérature sur ce sujet affirme que les ascospores sont libérées tout au long de l'année lors des événements de pluie, la libération des spores sexuées atteint son pic dans les mois automnaux (Lortie et Kuntz, 1963; Weber, 2014). Cette période n'a pas été prise en compte dans les analyses effectuées pendant ce stage, ce qui a pu conditionner les résultats obtenus. La production des conidies coïncide avec la période de croissance végétative de la plante et atteint son pic en juin-juillet (Lortie et Kuntz, 1963; Xu *et al.*, 1998; Weber et Børve, 2021). Ces périodes de production de spores ont été décrites par (Weber, 2014) et sont représentées dans la *figure 28*. La libération d'ascospores peut continuer pendant quelques jours après l'événement de pluie (Lortie et Kuntz, 1963), tandis que la plupart des conidies sont libérées dans la première heure après les précipitations, selon (Walter *et al.*, 2018).

La quantité de spores projetées est une variable complexe à déterminer, tant qu'elle dépend de la présence de précipitations et de vent mais également du taux de sporulation du champignon. Le taux de sporulation ne dépend pas seulement des facteurs météorologiques. Il est influencé par la disponibilité de nutriments, la physiologie du champignon, l'état de la plante et la mise en place des défenses, ainsi que par le type de tissu infecté (Sephton-Clark et Voelz, 2018; Walter *et al.*, 2018).

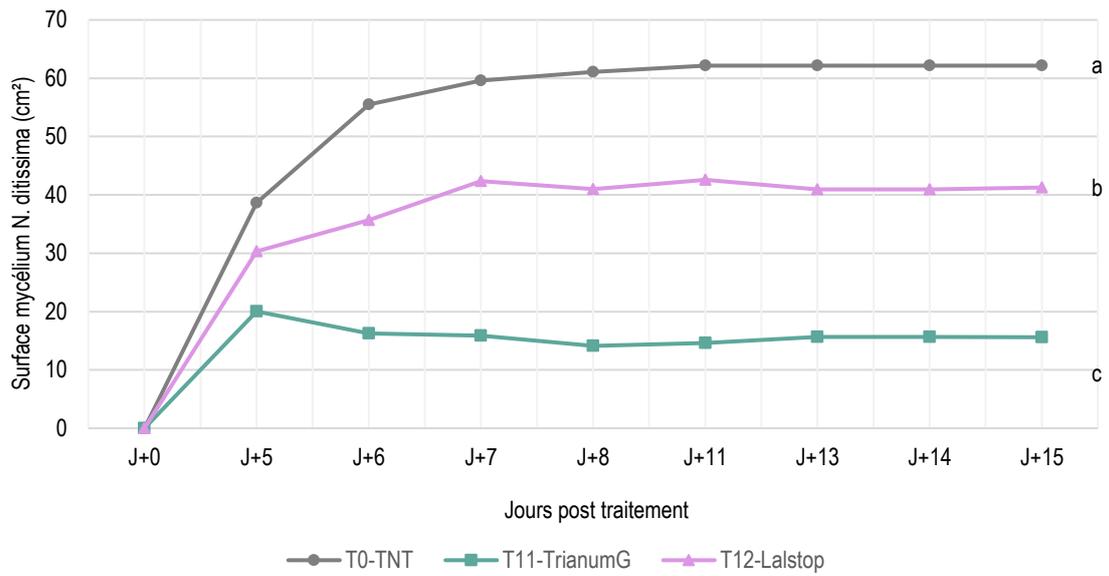


Figure 26 : Évolution des courbes de croissance mycélienne de *Neonectria ditissima* au cours de 15 jours de la mise en confrontation avec *Trichoderma harzianum* (T11-TrianumG) et *Clonostachys rosea* (T12-Lalstop). En conditions d'obscurité et à 22,5 °C.

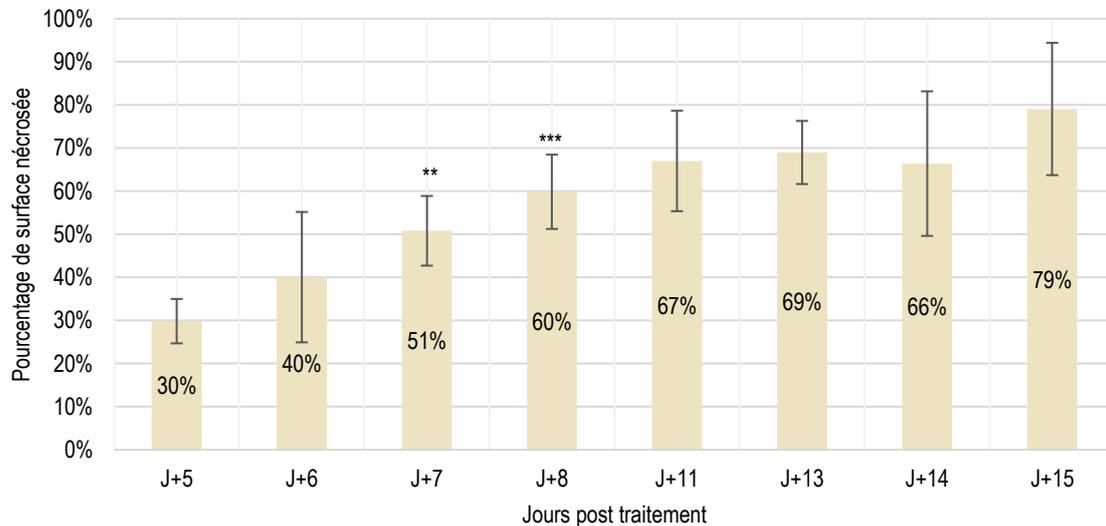


Figure 27 : Évolution de la surface nécrosée de *N. ditissima* mise en confrontation avec *Trichoderma harzianum* au cours de quinze jours.

Cet essai a été mis en place en octobre 2022 en sélectionnant quatre blessures chançrées à différents stades de développement, afin d'obtenir une représentation réelle de la présence des spores en verger. Étant donné que les conidies sont produites principalement sur les chançres jeunes, qui apparaissent au long du printemps et de l'été (Weber, 2014), il serait pertinent de sélectionner un chancre jeune chaque année pour éviter de sous-estimer la production des conidies en verger. L'orientation de la blessure et les caractéristiques de la surface ont aussi un effet sur la puissance des projections de spores (Madden, 1997). Il serait approprié de réviser le positionnement des lames par rapport à la blessure pour assurer la capture des spores. (Amponsah *et al.*, 2017b) ont évalué les projections en verger en utilisant deux types de « pièges à spores ». Il est à évaluer si inclure d'autres types de piégeage de spores est pertinente dans le contexte de cette étude.

4.3. Évaluation du modèle RIMpro sur le chancre européen

Aucune différence significative n'a été trouvée entre les données de projection de spores collectées en verger et celles prédites par le modèle RIMpro (*cf.* 3.1.2). Les études qui abordent l'efficacité de prédiction de ce modèle sur le chancre européen sont rares. Cependant, la validité du modèle a été prouvée sur d'autres maladies fongiques, comme la tavelure du pommier (Varner *et al.*, 2012; Wallhead *et al.*, 2017). Le risque d'infection par *Neonectria ditissima* prédit par RIMpro prend également en compte le nombre de blessures sur les arbres et l'état de cicatrisation de ces dernières, conditions qui se sont avérées d'importance significative dans l'infection des arbres par ce pathogène (Xu *et al.*, 1998; Walter *et al.*, 2016; Amponsah *et al.*, 2017a).

Des études conduites par (Amponsah *et al.*, 2017a) ont montré un effet significatif du cultivar sur le nombre de blessures chançrées. Les prédictions réalisées par RIMpro ne prennent pas en compte cette variabilité de sensibilité entre cultivars. Contrairement, ce paramètre est inclus dans d'autres outils d'aide à la décision intégrant des modèles pour le chancre européen. Il est le cas pour NECTEM, un logiciel développé par Horticulture Research International, au Royaume-Uni. Ses prédictions sont basées sur les données collectées de trois modules : « météorologie », « infection » et « verger ». Le module « verger » inclut des paramètres manquants sur RIMpro, tels que la susceptibilité du cultivar à la maladie ou le stade phénologique des arbres selon la variété (Xu et Butt, 1993).

Les résultats obtenus dans cet essai permettent de valider les prédictions de ce modèle au sein du centre opérationnel La Morinière pour la période étudiée. Il est cependant nécessaire de prendre en compte que les résultats présentés dans cette étude correspondent à des observations sur une variété sensible dans une période définie. Les traitements devront donc être adaptés selon la sensibilité et le stade phénologique de chaque variété.

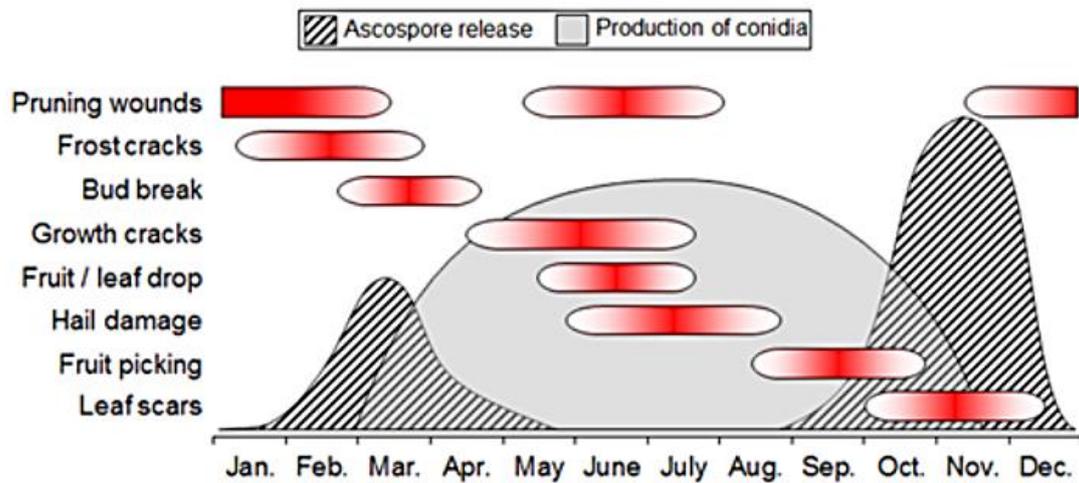


Figure 28 : Synthèse graphique des pics de production d'ascospores et conidies de *Neonectria ditissima* et périodes de disponibilité de blessures en pommier, d'après (Weber, 2014)

4.4. Produits efficaces pour le contrôle de *Neonectria ditissima*

4.4.1. Produits chimiques de synthèse

a) *Merpan*

L'efficacité du produit de référence à base de captane (T2-Merpan) a été confirmée par les résultats obtenus dans les tests de germination et croissance mycélienne, où l'utilisation de cette matière active à une dose de 1.9 kg/ha (soit la dose d'utilisation classique en verger) a montré des réductions significatives sur la germination du pathogène et sur la croissance mycélienne de ce dernier. Cela est en concordance avec les résultats obtenus par (Walter *et al.*, 2019) qui ont montré que des doses d'application préconisées en verger suffisent pour obtenir un effet protecteur.

L'utilisation de captane a été remise en question ces dernières années dû à ses effets cytotoxiques potentiels chez l'humain (Bhat *et al.*, 2020). Actuellement, cette matière active est en prolongation d'approbation, à l'attente d'une décision définitive sur son utilisation par l'Union Européenne (Règlement d'exécution (UE) 2023/918), 2023). Le captane est donc une substance active indispensable dans le calendrier de traitements de plusieurs cultures, mais elle se trouve pourtant dans le collimateur des autorités phytosanitaires Européennes. Cette situation explique la nécessité d'explorer des nouvelles possibilités phytosanitaires qui pourront potentiellement substituer l'utilisation de cette substance.

b) *Nordox*

Concernant « T1-Nordox », la spécialité de référence à base de cuivre, aucune différence significative n'a été trouvée par rapport au témoin dans aucun des tests (*cf.* 3.2.1, *cf.* 3.2.2). Par ailleurs, cette modalité présente une grande hétérogénéité entre les répétitions. Ces résultats ont été obtenus lors des tests en laboratoire et diffèrent des observations réalisées par (Weber et Børve, 2021) en verger, qui ont observé une diminution significative du nombre de chancres par arbre par rapport au témoin après l'application des spécialités cupriques.

La faible solubilité du cuivre a pu impacter son efficacité lors des tests de germination en solution aqueuse. (McCallan, 1949) a conclu de ses études que l'interaction des fongicides à base de cuivre avec des éléments atmosphériques (CO₂, azote) et des exsudats des plantes peut avoir une influence dans son efficacité. Il est aussi suggéré un effet accumulatif du cuivre dans les cellules du pathogène qui conduit à une toxicité majeure. La faible solubilité de ce groupe de fongicides permet la libération progressive de ions Cu²⁺, cela peut être un facteur qui favorisant son efficacité en verger (Xu *et al.*, 2008; Weber et Børve, 2021). Ces éléments n'ont pas été pris en compte dans les tests en laboratoire et mettent en évidence la nécessité de la conduite des tests d'efficacité en verger pour une évaluation complète des spécialités phytosanitaires.

Parmi les autres spécialités testées, trois produits ont présenté des résultats significatifs sur la germination et/ou sur la croissance mycélienne du champignon vis-à-vis du témoin : Armicarb, Luna experience et Difcor.

c) *Armicarb*

L'application d'Armicarb a abouti à des pourcentages de germination significativement inférieures à ceux du témoin (T0-Eau) (cf.3.2.1). Cependant, les différences de surface mycélienne n'ont pas été significatives (cf. 3.2.2).

L'Armicarb est un produit à base de bicarbonate de potassium, matière active autorisée dans le cadre de la réglementation 1107/2009 de l'Union Européenne ('Règlement (CE) N° 1107/2009) et inclus dans la liste des produits de biocontrôle ('E-Phy | Armicarb'). Fongicide de contact multisite, il agit sur la signalisation cellulaire en perturbant la pression osmotique, l'équilibre ionique et le pH. Ainsi, il inhibe la germination par dessèchement des hyphes des agents pathogènes ('Bicarbonate de potassium | Ecophytopic').

En culture de pommier, cette matière active est autorisée et efficace pour le contrôle de la tavelure (*Venturia inaequalis*) ('E-Phy | Armicarb' ; Mitre *et al.*, 2023) et elle a également des effets démontrés sur d'autres maladies fongiques, voir l'oïdium (Redl *et al.*, 2021). En agriculture biologique, ce produit constitue une option étudiée afin de réduire l'utilisation de cuivre et de soufre ('Règlement (CE) N° 404/2008' ; Gomez, 2009).

Les résultats précédemment exposés soutiennent le potentiel de ce produit en tant qu'agent antifongique d'avenir. Toutefois, cela sera à déterminer en fonction de son efficacité sur le chancre européen en verger.

d) *Luna experience*

Concernant « Luna experience », il a été trouvé une réduction significative de la surface mycélienne par rapport au témoin (cf.3.2.2), mais aucune différence significative en termes de germination des conidiospores (cf.3.2.1).

Ce produit est formulé comme un mélange de deux substances actives : le tébuconazole et le fluopyram ('E-Phy | Luna experience). Les deux molécules sont des fongicides systémiques d'ample spectre avec une action protectrice et curative (Yogendraiah Matadha *et al.*, 2021). D'un côté, le tébuconazole agit en inhibant des enzymes clés de la biosynthèse de stéroïdes (Kwok et Loeffler, 1993). D'un autre côté, le fluopyram est un inhibiteur de l'enzyme succinate déshydrogénase, fondamentale dans la chaîne de transport d'électrons de la cellule (Veloukas et Karaoglanidis, 2012).

Peu d'études ont été réalisées sur les effets de ces deux substances sur *Neonectria ditissima* (Walter *et al.*, 2017), pourtant ces molécules s'avèrent efficaces dans la lutte contre d'autres ascomycètes pathogènes (Kang *et al.*, 2001; Labourdette *et al.*, 2011).

Contrairement aux résultats présentés dans ce rapport, (Veloukas et Karaoglanidis, 2012) ont constaté que l'application de fluopyram provoquait une diminution significative de l'élongation du tube germinative. Aussi, que la croissance mycélienne était le stade de développement le moins affectée par l'application du fongicide chez *Botrytis cinerea*.

Les études menés par (Kang et al., 2001) sur *Fusarium culmorum*, ascomycète de la famille *Nectriaceae*, ont montré des effets significatives de l'application de tébuconazole sur le développement hyphal du champignon. Ces derniers résultats sont en concordance avec les observations de cet essai, où l'application de « Luna experience » a provoqué une diminution significative de croissance mycélienne du pathogène.

e) Difcor

« Difcor », comme « Luna experience », n'a pas montré une réduction significative de la germination des conidiospores, mais a présenté des effets significatifs sur la croissance mycélienne du champignon. Il existe une logique dans cette ressemblance des résultats, étant donné que la matière active de « Difcor » est le difénoconazole, une molécule appartenant à la famille chimique des triazoles, le même que le tébuconazole (Nywening et al., 2020). Ainsi, le difénoconazole agit aussi sur la biosynthèse de stérols et est un fongicide efficace pour la lutte contre nombreuses maladies fongiques (Wang et al., 2016; Shukla et al., 2018).

Tandis que « Armicarb » est un produit potentiellement adapté à une agriculture qui tend à la réduction de l'utilisation de produits chimiques à risque environnemental, les produits dérivés des triazoles sont susceptibles d'être remis en question en raison des études conduites sur les risques de son utilisation sur la santé environnementale (Muñoz-Leoz et al., 2011; Zubrod et al., 2011; Chen et al., 2022; Dong et al., 2023) et humaine (Taxvig et al., 2007; Zhang et al., 2013; Gonçalves, 2017; Yang et al., 2018; Nywening et al., 2020).

4.4.2. Produits de biocontrôle

L'analyse réalisée à J+5 pour les modalités T11-TrianumG et T12-Lalstop n'a pas révélé de différences significatives par rapport au témoin. Toutefois, lors de la confrontation, l'évolution de la surface du pathogène est significativement différente de celle du témoin non traité dans les deux situations (cf. 3.2.2),

a) Trianum G

En présence de *Trichoderma harzianum* (T11-TrianumG), la surface occupée par *Neonectria ditissima* est significativement réduite par rapport aux deux autres modalités (T0-TNT et T12- Lalstop).

Des études récentes signalent l'intérêt de l'utilisation *Trichoderma harzianum* en tant qu'agent favorisant la santé des cultures (Consolo et al., 2020; Ali et al., 2022; Guo et al., 2022), et notamment du pommier (Pan et al., 2017; Shuttleworth, 2021).

Ceci est attribuable à ses propriétés en tant qu'agent de biocontrôle, évaluées dans ce rapport, ainsi qu'en grande partie à ses effets positifs sur la physiologie des plantes. Cela favorise une réponse efficace aux stress biotiques et abiotiques des cultures (Pani *et al.*, 2021).

b) *Lalstop*

Concernant les tests de confrontation *Neonectria ditissima* - *Clonostachys rosea* (T12- *Lalstop*), la surface du pathogène est significativement différente de celle du témoin non traité (cf. 3.2.2.). Toutefois, les données issues des observations de l'évolution de la nécrose chez *N.ditissima* n'ont pas pu être exploitées dû à plusieurs conditions.

Premièrement, il a eu une contamination au moment de repiquage, ce qui a provoqué la diminution du nombre de répétitions.

Ensuite, parmi les trois boîtes de pétri non contaminées, une d'entre elles ne présente pas de nécrose au cours des quinze jours, ce qui provoque une grande hétérogénéité des données. Finalement, dans les deux boîtes restantes, l'apparition de nécrose dans le mycélium de *N.ditissima* ne commence qu'à partir du septième jour d'observation et la surface nécrosée augmente lentement. Les caractéristiques du jeu de données (présence des « zéros » et de nombres inférieurs à 1) ont limité la puissance des tests statistiques. Pour cela, il n'a pas été possible de réaliser des analyses statistiques sur les données de surface nécrosée avec cette taille d'échantillon.

L'efficacité démontrée de *C.rosea* dans le contrôle de *N.ditissima* (Elena *et al.*, 2022), ainsi que les propriétés prometteuses de ce champignon comme agent de biocontrôle (Sun *et al.*, 2020) suscitent l'intérêt de répéter les tests de confrontation et de réaliser des essais supplémentaires avec l'objectif d'obtenir des résultats exploitables sur les effets de cet ascomycète dans le développement de *N.ditissima* et évaluer son mode d'action.

5. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

La plantation des variétés à faible sensibilité et les mesures prophylactiques (suppression des rameaux cancrés et curetage) sont des pratiques fondamentales pour la gestion du chancre européen en verger de pommier. L'utilisation des produits phytosanitaires est cependant incontournable dans la lutte contre cette maladie. Ainsi, la prédiction des périodes de risque d'infection est une action primordiale pour l'optimisation de l'application de ces produits. Les résultats de ce rapport ont validé les prédictions du modèle RIMpro pour la période de janvier-juillet 2023, en renforçant ainsi la fiabilité de cet outil d'aide à la décision dans la gestion du chancre européen. Contrairement, les analyses réalisées sur les données météorologiques (température et précipitations) et la projection de spores n'ont pas permis d'établir une corrélation entre ces variables pour la période étudiée. En outre, une première approche à partir de tests de germination et croissance mycélienne en laboratoire a permis de déterminer

l'existence des produits efficaces pour la lutte contre *Neonectria ditissima*, résultats qui seront à confirmer par des analyses ultérieures en verger.

Ce stage a constitué une première étape pour la mise en place des essais en terrain, qui permettront de prouver l'efficacité réelle des produits issus de ce premier criblage. De même, ce rapport comporte une synthèse détaillée de la biologie de *Neonectria ditissima* et une actualisation de l'état des connaissances sur des nouvelles méthodes de lutte envisageables contre ce pathogène. Il contient également une description des techniques utilisées qui faciliteront la réalisation des tests de germination et croissance mycélienne pour des études futurs au sein du centre opérationnel de La Morinière. Des tests plus spécifiques prenant en compte la concentration de produits et le temps d'exposition pourront être considérées pour mieux comprendre le comportement du pathogène face à l'application des fongicides.

La répétition des tests de confrontation est aussi à envisager, afin de comparer l'évolution de la nécrose de *N.ditissima* dans les deux modalités testées et pour réaliser des mesures plus précoces et à des intervalles de temps bien définis.

La suite de cette étude est l'application des produits sélectionnés en verger pour évaluer sa performance en conditions de terrain. Comme mentionné précédemment dans ce rapport, la variété, l'état physiologique de la plante et les conditions météorologiques sont des facteurs ayant une influence notable sur la susceptibilité des arbres à une infection de chancre européen. La possibilité de conduire des essais de produits phytosanitaires sur une parcelle expérimentale où ces conditions sont homogènes permettra d'obtenir des résultats consistants sur l'efficacité des spécialités testées. La méthode d'application des spécialités phytosanitaires sera un élément essentiel à tenir en compte lors des essais au terrain. Les choix des méthodes d'application préconisées pour chaque produit est fondamental pour observer les effets réels des spécialités. Éventuellement, il serait intéressant d'étudier la performance des substances sous différentes méthodes d'application.

La réglementation phytosanitaire actuelle est en constante évolution et vise à explorer des méthodes de lutte et des alternatives aux pesticides chimiques de synthèse. Dans ce contexte, la recherche de nouvelles substances actives pour contrôler les maladies et les ravageurs s'avère essentielle pour la préservation de la santé du verger. De plus, l'évolution des conditions climatiques à l'échelle mondiale justifie la nécessité de mettre en place des suivis périodiques pour surveiller la dynamique des pathogènes et leurs périodes d'incidence. Le chancre européen est une maladie problématique dans des localisations spécifiques. Par conséquent, il est peu étudié en comparaison d'autres maladies et ravageurs du pommier. Un suivi régulier afin d'évaluer le comportement de la maladie sous des conditions spécifiques est nécessaire pour optimiser le control de ce pathogène.

6. BIBLIOGRAPHIE

Agreste. 2021. Enquête Pratiques phytosanitaires en arboriculture en 2018 IFT et nombre de traitements.

Agreste. 2022. Infos rapides -Fruits-Pomme. Agreste conjoncture *in press*.

Ali I, Khan A, Ali A, Ullah Z, Dai D-Q, Khan N, Khan A, Al-Tawaha AR, Sher H. 2022. Iron and zinc micronutrients and soil inoculation of *Trichoderma harzianum* enhance wheat grain quality and yield. *Frontiers in Plant Science* **13**.

Amponsah NT, Scheper RWA, Fisher B, Walter M, Smits JM, Jesson LK. 2017a. The effect of wood age on infection by *Neonectria ditissima* through artificial wounds on different apple cultivars. *New Zealand Plant Protection* **70**, 97–105.

Amponsah NT, Walter BMFM, Frijters L, Hedderley DI, Scheper RWA. 2016. Hot water disinfection treatment to eliminate *Neonectria ditissima* latent infections in apple scion wood. *New Zealand Plant Protection* **69**, 221–229.

Amponsah N, Walter M, Scheper RWA, Beresford R. 2017b. *Neonectria ditissima* spore release and availability in New Zealand apple orchards. *New Zealand Plant Protection* **70**, 78–86.

Beresford RM, Kim KS. 2011. Identification of Regional Climatic Conditions Favorable for Development of European Canker of Apple. *Phytopathology*® **101**, 135–146.

Bhat VS, Cohen SM, Gordon EB, Wood CE, Cullen JM, Harris MA, Proctor DM, Thompson CM. 2020. An adverse outcome pathway for small intestinal tumors in mice involving chronic cytotoxicity and regenerative hyperplasia: a case study with hexavalent chromium, captan, and folpet. *Critical Reviews in Toxicology* **50**, 685–706.

Cech R, Zaller JG, Lyssimachou A, Clausing P, Hertoge K, Linhart C. 2023. Pesticide drift mitigation measures appear to reduce contamination of non-agricultural areas, but hazards to humans and the environment remain. *Science of The Total Environment* **854**, 158814.

Chaverri P, Salgado C, Hirooka Y, Rossman AY, Samuels GJ. 2011. Delimitation of *Neonectria* and *Cylindrocarpon* (Nectriaceae, Hypocreales, Ascomycota) and related genera with *Cylindrocarpon*-like anamorphs. *Studies in Mycology* **68**, 57–78.

Chen L, Wang Z, Zhang C, Jiang W, Li X. 2022. Environmental Hormone Effects and Bioaccumulation of Propiconazole and Difenconazole in *Procypris merus*. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* **109**, 823–830.

Consolo VF, Torres-Nicolini A, Alvarez VA. 2020. Mycosinthesized Ag, CuO and ZnO nanoparticles from a promising *Trichoderma harzianum* strain and their antifungal potential against important phytopathogens. *Scientific Reports* **10**, 20499.

CTIFL. 2020. *Memento Fruits & Légumes*.

De Wolf ED, Isard SA. 2007. Disease Cycle Approach to Plant Disease Prediction. *Annual Review of Phytopathology* **45**, 203–220.

Dong Z, Cui K, Liang J, Guan S, Fang L, Ding R, Wang J, Li T, Zhao S, Wang Z. 2023. The widespread presence of triazole fungicides in greenhouse soils in Shandong Province, China: A systematic study on human health and ecological risk assessments. *Environmental Pollution* **328**, 121637

- Dubin HJ, English H.** 1975. Effects of temperature, relative humidity, and desiccation of germination of *Nectria galligena* conidia. *Mycologia* **67**, 83–88.
- Elena G, Groenenboom-de Haas BH, Houwers I, de Lange E, Schnabel SK, Köhl J.** 2022. Systematic stepwise screening of new microbial antagonists for biological control of European canker. *Biological Control* **174**, 105009.
- FAO.** 2022. *World Food and Agriculture Statistical Yearbook 2022*. S.I.: FAO.
- Gelain J, Alves SAM, Moreira RR, De Mio LLM.** 2020. *Neonectria ditissima* physiological traits and susceptibility of ‘Gala’ and ‘Eva’ detached apple fruit. *Tropical Plant Pathology* **45**, 25–33.
- Gomez C.** 2009. Alternative au cuivre : des pistes interessantes. *Arbo Bio in press*.
- Gómez-Cortecero A, Saville RJ, Scheper RWA, Bowen JK, Agripino De Medeiros H, Kingsnorth J, Xu X, Harrison RJ.** 2016. Variation in Host and Pathogen in the *Neonectria/Malus* Interaction; toward an Understanding of the Genetic Basis of Resistance to European Canker. *Frontiers in Plant Science* **7**.
- Gonçalves SS.** 2017. Global Aspects of Triazole Resistance in *Aspergillus fumigatus* with Focus on Latin American Countries. *Journal of Fungi* **3**, 5.
- Guo R, Li G, Zhang Z, Peng X.** 2022. Structures and Biological Activities of Secondary Metabolites from *Trichoderma harzianum*. *Marine Drugs* **20**, 701.
- Harteveld DOC, Goedhart PW, Houwers I, Köhl J, de Jong PF, Wenneker M.** 2023. Detecting the asymptomatic colonization of apple branches by *Neonectria ditissima*, causing European canker of apple. *European Journal of Plant Pathology*
- Ingold CT.** 1985. Water and spore discharge in ascomycetes and hymenomycetes. *Transactions of the British Mycological Society* **85**, IN1-583.
- Jones JW, Antle JM, Basso B, et al.** 2017. Brief history of agricultural systems modeling. *Agricultural Systems* **155**, 240–254.
- Kang Z, Huang L, Krieg U, Mauler-Machnik A, Buchenauer H.** 2001. Effects of tebuconazole on morphology, structure, cell wall components and trichothecene production of *Fusarium culmorum* in vitro. *Pest Management Science* **57**, 491–500.
- Kwok IM-Y, Loeffler RT.** 1993. The biochemical mode of action of some newer azole fungicides. *Pesticide Science* **39**, 1–11.
- Labourdette G, Lachaise H, Rieck H, Steiger D.** 2011. Fluopyram: efficacy and beyond on problematic diseases. *Modern fungicides and antifungal compounds VI*. 16th International Reinhardsbrunn Symposium, Friedrichroda, Germany, April 25-29, 2010, 75–80.
- Langrell SRH.** 2002. Molecular detection of *Neonectria galligena* (syn. *Nectria galligena*). *Mycological Research* **106**, 280–292.
- Latorre BA, Rioja ME, Lillo C, Muñoz M.** 2002. The effect of temperature and wetness duration on infection and a warning system for European canker (*Nectria galligena*) of apple in Chile. *Crop Protection* **21**, 285–291.

Lee R, den Uyl R, Runhaar H. 2019. Assessment of policy instruments for pesticide use reduction in Europe ; Learning from a systematic literature review. *Crop Protection* **126**, 104929.

Liu J, Ridgway HJ, Jones EE. 2020. Apple endophyte community is shaped by tissue type, cultivar and site and has members with biocontrol potential against *Neonectria ditissima*. *Journal of Applied Microbiology* **128**, 1735–1753.

Lortie M, Kuntz JE. 1963. Ascospore discharge and conidium release by *nectria galligena* bres. under field and laboratory conditions. *Canadian Journal of Botany* **41**, 1203–1210.

Madden LV. 1997. Effects of rain on splash dispersal of fungal pathogens. *Canadian Journal of Plant Pathology* **19**, 225–230.

McCallan SEA. 1949. The nature of the fungicidal action of copper and sulfur. *The Botanical Review* **15**, 629–643.

McCracken AR, Berrie A, Barbara DJ, Locke T, Cooke LR, Phelps K, Swinburne TR, Brown AE, Ellerker B, Langrell SRH. 2003. Relative significance of nursery infections and orchard inoculum in the development and spread of apple canker (*Nectria galligena*) in young orchards. *Plant Pathology* **52**, 553–566.

Milgroom MG, Cortesi P. 2004. Biological control of chestnut blight with hypovirulence: A Critical Analysis. *Annual Review of Phytopathology* **42**, 311–338.

Mitre I, Viorel M, Sestras R, Pop A, Sestras A. 2023. Potassium Bicarbonate in preventing and Control Apple Scab. **66**, 1843–5394.

Muñoz-Leoz B, Ruiz-Romera E, Antigüedad I, Garbisu C. 2011. Tebuconazole application decreases soil microbial biomass and activity. *Soil Biology and Biochemistry* **43**, 2176–2183.

Nywening AV, Rybak JM, Rogers PD, Fortwendel JR. 2020. Mechanisms of triazole resistance in *Aspergillus fumigatus*. *Environmental Microbiology* **22**, 4934–4952.

Olivieri L, Saville RJ, Gange AC, Xu X. 2021a. Limited asymptomatic colonization of apple tree shoots by *Neonectria ditissima* following infection of leaf scars and pruning wounds. *Plant Pathology* **70**, 1838–1849.

Olivieri L, Saville RJ, Gange AC, Xu X. 2021b. Apple endophyte community in relation to location, scion and rootstock genotypes and susceptibility to European canker. *FEMS Microbiology Ecology* **97**, fiab131.

Pan F, Xiang L, Wang S, Li J, Shen X, Chen X, Yin C, Mao Z. 2017. Effects of short-term rotation and *Trichoderma* application on the soil environment and physiological characteristics of *Malus hupehensis* Rehd. seedlings under replant conditions. *Acta Ecologica Sinica* **37**, 315–321.

Pani S, Kumar A, Sharma A. 2021. *Trichoderma harzianum*: An Overview. 32–39.

Redl M, Sitavanc L, Hanousek F, Steinkellner S. 2021. A single out-of-season fungicide application reduces the grape powdery mildew inoculum. *Crop Protection* **149**, 105760.

Règlement (CE) no 1107/2009 du Parlement européen et du Conseil du 21 octobre 2009 concernant la mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques et abrogeant les directives 79/117/CEE et 91/414/CEE du Conseil. *in press*.

Règlement d'exécution (UE) 2023/918 de la Commission du 4 mai 2023 modifiant le règlement d'exécution (UE) no 540/2011 en ce qui concerne la prolongation des

périodes d'approbation des substances actives (Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE). 2023.

Rigling D, Prospero S. 2018. *Cryphonectria parasitica*, the causal agent of chestnut blight: invasion history, population biology and disease control. *Molecular Plant Pathology* **19**, 7–20.

Sacristán S, García-Arenal F. 2008. The evolution of virulence and pathogenicity in plant pathogen populations. *Molecular Plant Pathology* **9**, 369–384.

Scariot FJ, Jahn L, Delamare APL, Echeverrigaray S. 2017. Necrotic and apoptotic cell death induced by Captan on *Saccharomyces cerevisiae*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* **33**, 159.

Schoch CL, Ciufu S, Domrachev M, et al. 2020. NCBI Taxonomy: a comprehensive update on curation, resources and tools. *Database* **2020**, baaa062.

Sephton-Clark PCS, Voelz K. 2018. Spore Germination of Pathogenic Filamentous Fungi. *Advances in Applied Microbiology* **102**, 117–157.

Shukla PK, Bhattacharjee AK, Dikshit A. 2018. Field efficacy of difenoconazole against shoulder browning disease of mango and its residue analysis for safety evaluation in fruit. *Indian Phytopathology* **71**, 147–151.

Shuttleworth LA. 2021. Alternative disease management strategies for organic apple production in the United Kingdom. *CABI Agriculture and Bioscience* **2**, 34.

Subcommittee on Plant Health, Diagnostic Standards (SPHDS), SPHDS. 2018. National Diagnostic Protocol for Detection of *Neonectria ditissima* (European canker).

Sun Z-B, Li S-D, Ren Q, Xu J-L, Lu X, Sun M-H. 2020. Biology and applications of *Clonostachys rosea*. *Journal of Applied Microbiology* **129**, 486–495.

Taxvig C, Hass U, Axelstad M, Dalgaard M, Boberg J, Andeasen HR, Vinggaard AM. 2007. Endocrine-Disrupting Activities In Vivo of the Fungicides Tebuconazole and Epoxiconazole. *Toxicological Sciences* **100**, 464–473.

Trillot M, Masseron A, Mathieu V, Bergougnoux F, Hutin C, Lespinasse Y. 2002. *Le pommier*.

Vanneste JL. 2017. The Scientific, Economic, and Social Impacts of the New Zealand Outbreak of Bacterial Canker of Kiwifruit (*Pseudomonas syringae* *pv.* *actinidiae*). *Annual Review of Phytopathology* **55**, 377–399.

Varner M, Mattedi L, Trapman M, Phillion V, Comai M, Widmann L. 2012. RIMpro: a reliable model for forecasting scab. *Informatore Agrario* **68**, 61–63.

Veloukas T, Karaoglanidis GS. 2012. Biological activity of the succinate dehydrogenase inhibitor fluopyram against *Botrytis cinerea* and fungal baseline sensitivity. *Pest Management Science* **68**, 858–864.

Vorster L, Butler RC, Turner L, Patrick E, Campbell RE, Orchard S, Walter M. 2021. The effect of nitrogen source and quantity on disease expression of *Neonectria ditissima* in apple. *New Zealand Plant Protection* **74**, S20–S33.

Wallhead M, Zhu H, Broders K. 2017. Hyperspectral Evaluation of *Venturia inaequalis* Management Using the Disease Predictive Model RIMpro in the Northeastern U.S. *Agricultural Sciences* **08**, 1358.

- Walter M, Campbell RE, Amponsah NT, Scheper RWA, Butler RC.** 2017. Evaluation of biological and agrichemical products for control of *Neonectria ditissima* conidia production. *New Zealand Plant Protection* **70**, 87–96.
- Walter M, Chevalier CE, Turner L, Campbell RE.** 2018. *Neonectria ditissima* conidium production and release in planta. *New Zealand Plant Protection* **71**, 174–179.
- Walter M, Manktelow DWL, Le Berre F, Campbell RE, Turner L, Vorster L, Patrick E, Butler RC, Northcott GL.** 2019. How much captan is required for wound protection of *Neonectria ditissima* conidial infection in apple? *New Zealand Plant Protection* **72**, 95–102.
- Walter M, Roy S, Fisher BM, Mackle L, Amponsah NT, Curnow T, Campbell RE, Braun P, Reineke A, Scheper RWA.** 2016. How many conidia are required for wound infection of apple plants by *Neonectria ditissima*. *New Zealand Plant Protection* **69**, 238–245.
- Wang H, Huang Y, Wang J, Chen X, Wei K, Wang M, Shang S.** 2016. Activities of azoxystrobin and difenoconazole against *Alternaria alternata* and their control efficacy. *Crop Protection* **90**, 54–58.
- Weber RWS.** 2014. Biology and control of the apple canker fungus *Neonectria ditissima* (syn. *N. galligena*) from a Northwestern European perspective. *Erwerbs-Obstbau* **56**, 95–107.
- Weber RWS, Børve J.** 2021. Infection biology as the basis of integrated control of apple canker (*Neonectria ditissima*) in Northern Europe. *CABI Agriculture and Bioscience* **2**, 5.
- Xu XM, Butt DJ.** 1993. PC-based disease warning systems for use by apple growers. *EPPO Bulletin* **23**, 595–600.
- Xu X-M, Butt DJ, Ridout MS.** 1998. The effects of inoculum dose, duration of wet period, temperature and wound age on infection by *Nectria galligena* of pruning wounds on apple. *European Journal of Plant Pathology* **104**, 511–519.
- Xu X-M, Murray RA, Salazar JD, Hyder K.** 2008. The effects of temperature, humidity and rainfall on captan decline on apple leaves and fruit in controlled environment conditions. *Pest Management Science* **64**, 296–307.
- Xu X, Olivieri L, Gange AC, Vorster L, Rice D, Campbell RE, Walter M.** 2021. Does apple canker develop independently on leaf scars of a single apple shoot? *New Zealand Plant Protection* **74**, S9–S19.
- Yang J-D, Liu S-H, Liao M-H, Chen R-M, Liu P-Y, Ueng T-H.** 2018. Effects of tebuconazole on cytochrome P450 enzymes, oxidative stress, and endocrine disruption in male rats. *Environmental Toxicology* **33**, 899–907.
- Yogendraiah Matadha N, Mohapatra S, Siddamallaiah L.** 2021. Distribution of fluopyram and tebuconazole in pomegranate tissues and their risk assessment. *Food Chemistry* **358**, 129909.
- Zhang J, Zhuang S, Tong C, Liu W.** 2013. Probing the Molecular Interaction of Triazole Fungicides with Human Serum Albumin by Multispectroscopic Techniques and Molecular Modeling. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **61**, 7203–7211.
- Zubrod JP, Bundschuh M, Feckler A, Englert D, Schulz R.** 2011. Ecotoxicological impact of the fungicide tebuconazole on an aquatic decomposer-detritivore system. *Environmental Toxicology and Chemistry* **30**, 2718–2724.
- Zeller SM 1926.** European canker of pomaceous fruit trees. Oregon Agricultural College Experimentation Station, station bulletin 222.

SITOGRAPHIE

Agreste. 2021. Enquête Pratiques phytosanitaires en arboriculture en 2018. IFT et nombre de traitements. Chiffres & données **8**. Disponible [en ligne] sur : [Enquête Pratiques phytosanitaires en arboriculture en 2018 IFT et nombre de traitements \(agriculture.gouv.fr\)](https://agriculture.gouv.fr/enquete-pratiques-phytosanitaires-en-arboriculture-en-2018-ift-et-nombre-de-traitements)

CTIFL. 2023. Le CTIFL en quelques mots. Disponible [en ligne] sur : [Le CTIFL en quelques mots - CTIFL](#)

Ecophytopic. 2023. Bicarbonate de potassium. Disponible [en ligne] sur : <https://ecophytopic.fr/cuivre-viticulture/protoger/bicarbonate-de-potassium>.

E-Phy. 2022. Armicarb De Sangosse. Disponible [en ligne] sur : [20100601000000001423 | ephy \(anses.fr\)](https://20100601000000001423|ephy.anses.fr)

E-Phy. 2023. Luna Experience. Disponible [en ligne] sur : [220113088 | ephy \(anses.fr\)](https://220113088|ephy.anses.fr)

INRAE. 2019. Pomme - Fiches maladies et ravageurs. Disponible [en ligne] sur : [Pomme - Fiches maladies et ravageurs \(inra.fr\)](https://pomme.inra.fr/fiches-maladies-et-ravageurs)

INRAE. 2019. Pomme – *Neonectria ditissima* – Biologie épidémiologie. Disponible [en ligne] sur : [Pomme - Biologie, épidémiologie \(inra.fr\)](https://pomme.inra.fr/biologie-epidemiologie)

FranceAgrimer. 2023. Les chiffres-clés de la filière Fruits & Légumes frais et transformés en 2021. Disponible [en ligne] sur : [BIL FEL Chiffres cles Fruits&Legumes 2021.pdf \(franceagrimer.fr\)](https://franceagrimer.fr/BIL_FEL_Chiffres_cles_Fruits&Legumes_2021.pdf)

La Pomme. 2022. **Consommation en France.** Disponible [en ligne] sur : [Consommation en France | La Pomme](https://lapomme.com/consommation-en-france)

Larousse. 2023. « Chancre ». Disponible [en ligne] sur : [Définitions : chancre - Dictionnaire de français Larousse](https://dictionnaire.larousse.fr/definition/fran%e7ais/chancre)

Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire. 2022. Le plan écophyto, qu'est-ce que c'est ? Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire. Disponible [en ligne] sur : <https://agriculture.gouv.fr/le-plan-ecophyto-quest-ce-que-cest>

RIMpro. 2023. Decision support system for the management of key pests and diseases of apple and grapes. Disponible [en ligne] sur : [Home - RIMpro](https://rimpro.com)

Sheper R. and Walter M. 2015. European canker in New Zealand, pathogen genetics, breeding host resistance and control in the field. Disponible [en ligne] sur : <https://www.youtube.com/watch?v=PljVsgokDsl&t=1834s>

CONTACTS PROFESSIONNELS

La Morninière. 2023. Sources internes et bases de données

ANNEXE I : Tableau de synthèse des expérimentations présentées dans ce rapport et procédure statistique

EXPÉRIMENTATION	OBJECTIF	QUESTION SCIENTIFIQUE	DESCRIPTION	HYPOTHÈSES	VARIABLES	STATISTIQUES
Observation de la projection des spores et comparaison avec prédictions de RIMpro	Suivre les projections de spores sur des différents chancres en verger et comparer les périodes de projection en verger avec ces prédits dans le modèle RIMpro	Quelles conditions de température et pluviométrie sont les plus propices pour la dispersion des spores (conidies et ascospores) de <i>Neonectria ditissima</i> ? A-t-il un écart entre les observations en verger et les prédictions de RIMpro pour une période donnée ?	Sélection de 4 chancres sur le verger et suivi hebdomadaire des projections de spores à partir des lames placées en face de la blessure. Comparaison des données de projection émises par RIMpro et les données collectées en verger pour une période donnée.	H0 : il n'y a pas une corrélation entre la projection des spores et la température/pluviométrie H0 : il n'y a pas des différences significatives entre les projections des 4 chancres sélectionnés.	Température (Quantitative, continue) Pluviométrie (Quantitative, continue) Nombre de spores projetées (Quantitative, continue) Nombre de spores prédites par RIMpro (Quantitative, continue)	Test de corrélation de Pearson (température, pluviométrie et projections) ANOVA - Test non paramétriques si les données climatiques ne remplissent pas les conditions pour la réalisation des tests paramétriques
Screening des produits phytosanitaires en laboratoire à partir des tests de germination des conidies	Déterminer quels produits phytosanitaires testés ont un effet sur la germination des conidies de <i>Neonectria ditissima</i>	A-t-il un effet des produits phytosanitaires testés sur le pourcentage de germination des conidies de <i>Neonectria ditissima</i> ?	Mélange d'une solution des conidies avec des produits phytosanitaires (15 modalités), 4 répétitions par modalité. Comptage de germination à au moment où le pourcentage de germination du témoin dépasse le 50 %.	H0 : Il n'y a pas des différences significatives entre le pourcentage de germination du témoin et ce des modalités phytosanitaires.	Pourcentage de germination (dépendante, quantitative/continue) Produits phytosanitaires (indépendante, catégoriel)	ANOVA Si les conditions pour la réalisation des test paramétriques ne sont pas respectées : Kruskal-Wallis Test de Dunn pour la comparaison entre les groupes
Screening des produits phytosanitaires en laboratoire à partir des tests de croissance mycélienne	Déterminer quels produits phytosanitaires ont un effet sur la croissance mycélienne de <i>Neonectria ditissima</i>	A-t-il un effet des produits phytosanitaires testés sur la croissance mycélienne de <i>Neonectria ditissima</i> ?	Culture en boîte pétri des isolats de <i>Neonectria ditissima</i> en présence des différents produits phytosanitaires et mesure des aires mycéliales au moment où le témoin dépasse le 50 % de la surface de la boîte.	H0 : il n'y a pas de différences entre le rayon des isolats traités avec des produits phytosanitaires et celle du témoin.	Aire de croissance mycélienne (dépendante, quantitative/continue) Produits phytosanitaires (indépendante, catégoriel)	ANOVA Si les conditions pour la réalisation des test paramétriques ne sont pas respectées : Kruskal-Wallis Test de Dunn pour la comparaison entre les groupes
Tests de confrontation	Déterminer les effets de <i>Trichoderma harzianum</i> et <i>Clonostachys rosea</i> sur la croissance mycélienne et la surface necrosée de <i>N. ditissima</i> .	A-t-il un effet de <i>Trichoderma harzianum</i> et <i>Clonostachys rosea</i> sur la croissance mycélienne et la surface necrosée de <i>N. ditissima</i> ?	Culture en confrontation de <i>N. ditissima</i> avec <i>Trichoderma harzianum</i> et <i>Clonostachys rosea</i> . Suivi de la croissance mycélienne des champignons et détermination de l'évolution des aires mycéliennes au cours de 15 jours à partir de l'analyse des images. La surface nécrosée a été évaluée de la même façon.	H0 : il n'y a pas de différences significatives entre l'évolution de la surface de <i>N. ditissima</i> en confrontation avec <i>Trichoderma harzianum</i> , <i>Clonostachys rosea</i> et le témoin non traité au cours de 15 jours.	Surface mycélienne <i>N. ditissima</i> (variable réponse, quantitative) Jours post traitement Modalité (TNT, TriamunG, Lalstop) (Qualitative, catégoriel)	Modèle linéaire a effets mixtes. Les observations ne sont pas indépendantes. Plusieurs mesures sont réalisées sur la même boite à des dates différentes.

ANNEXE II : Analyse des données correspondant à l'essai « Projection »

Matrix de corrélation des variables

```
> print(cor_matrix)
                Précipitations (mm) T moyenne (°C) Total de spores observées
Précipitations (mm)      1.0000000    -0.1626930    0.3365577
T moyenne (°C)           -0.1626930    1.0000000   -0.3089762
Total de spores observées 0.3365577    -0.3089762    1.0000000
```

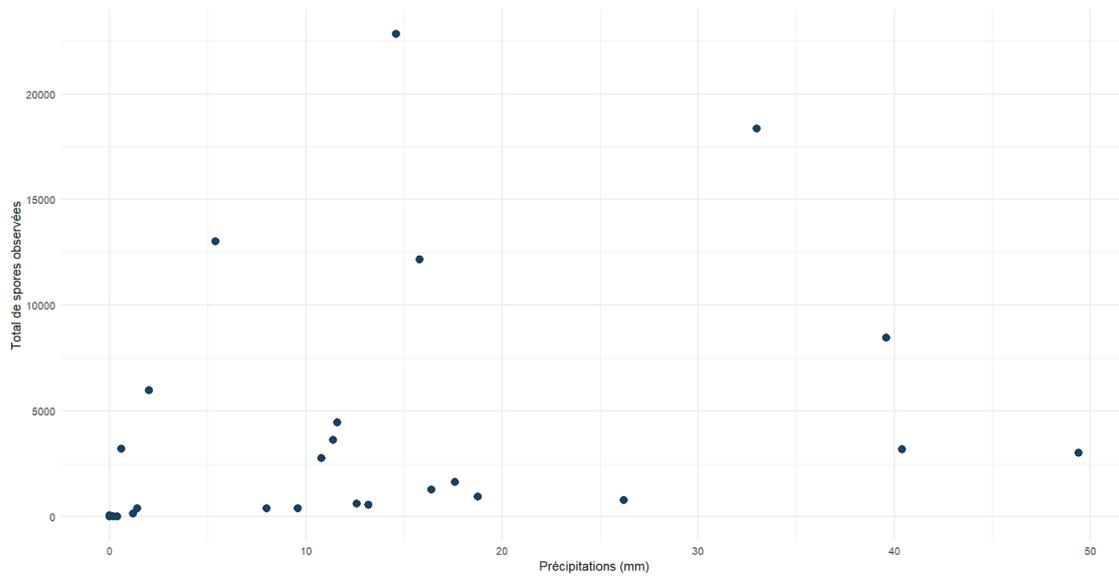
Sortie R des résultats du Test de corrélation de Pearson pour les variables :

- « Précipitations (mm) » et « Total de spores observées »

```
> print(cor_p_prec_spores)

Pearson's product-moment correlation

data:  datos_cor$`Précipitations (mm)` and datos_cor$`Total de spores observées`
t = 1.8912, df = 28, p-value = 0.06898
alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -0.02698332  0.62147250
sample estimates:
      cor
0.3365577
```



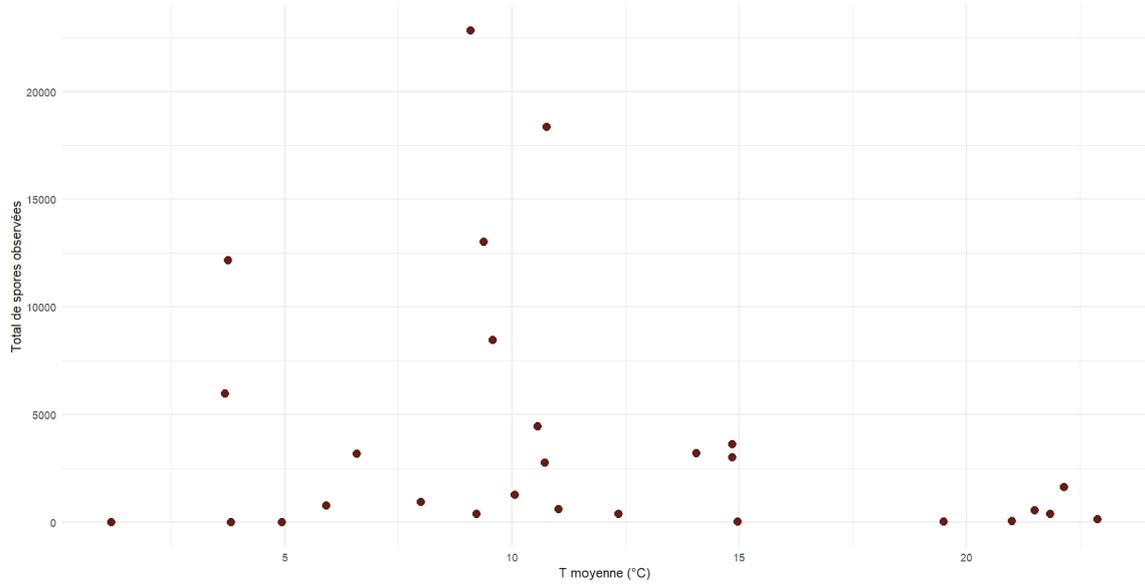
- « Température moyenne (°C) » et « Total de spores observées »

```
> print(cor_p_temp_spores)

Pearson's product-moment correlation

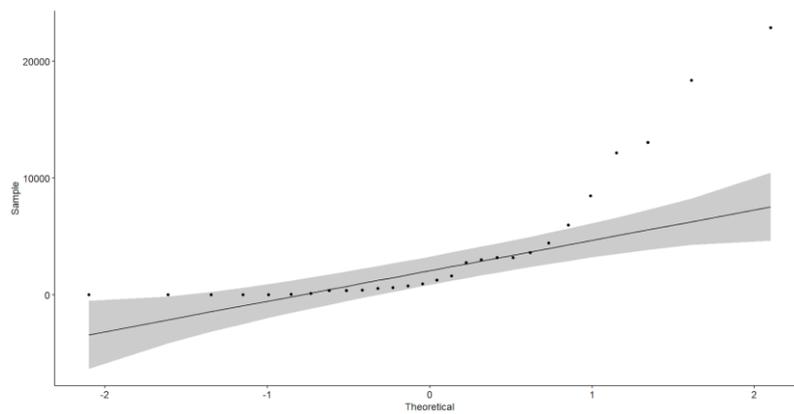
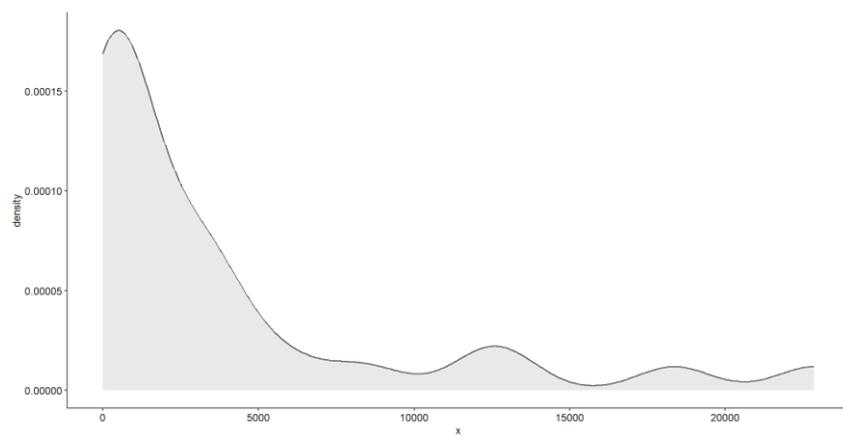
data:  datos_cor$`T moyenne (°C)` and datos_cor$`Total de spores observées`
t = -1.7191, df = 28, p-value = 0.09664
alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -0.6022106  0.0577179
sample estimates:
      cor
```


- Température moyenne (°C) » et « Total de spores observées »



Comparaison du nombre de spores observées en verger et les données prédits par RIMpro

Distribution des données du nombre de spores en verger

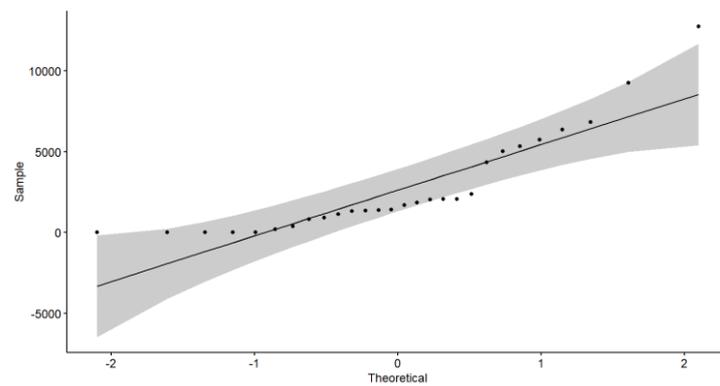
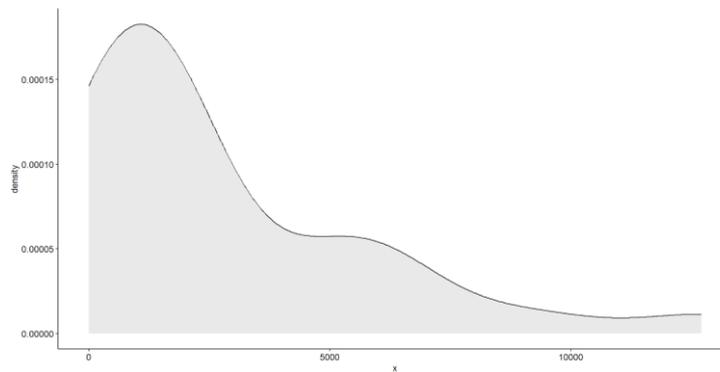


```
> shapiro.test(Prim$`Total de spores observées`)
```

Shapiro-Wilk normality test

```
data: Prim$`Total de spores observées`  
W = 0.68994, p-value = 2.06e-06
```


Distribution des données du nombre de spores prédits par Rimpro



```
> shapiro.test(PPrim$`Total spores RimPro`)
```

Shapiro-wilk normality test

```
data: PPrim$`Total spores RimPro`  
W = 0.8019, p-value = 0.0001153
```

Résultats du Test de Kruskal-Wallis

```
> print(result)
```

Kruskal-wallis rank sum test

```
data: Total spores RimPro by Total de spores observées  
Kruskal-wallis chi-squared = 27, df = 27, p-value = 0.4638
```


ANNEXE III : Analyse des données correspondant à l'essai « Test de germination »

- Test de germination 1

Kruskal-wallis rank sum test

data : Germination (%) by Produit

Kruskal-wallis chi-squared = 18.595, df = 8, p-value = 0.01718

data: x and group
Kruskal-wallis chi-squared = 16.487, df = 6, p-value = 0.01

		Comparison of x by group (Bonferroni)					
Col Mean-	Row Mean	Cabrio a	Eau	Lalstop	Luna exp	Merpan	Nordox
Eau	-1.334027	1.0000					
Lalstop	-0.150616	1.183411	1.0000				
Luna exp	1.075828	2.409856	1.226444	1.0000			
Merpan	2.409856	3.743883	2.560472	1.334027	1.0000		
Nordox	0.537914	1.871941	0.688530	-0.537914	-1.871941	1.0000	
Strobydf	-0.129099	1.204928	0.021516	-1.204928	-2.538955	-0.667013	1.0000

- Test de germination 2

Kruskal-wallis rank sum test

data: Germination (%) by Produit

Kruskal-wallis chi-squared = 26.17, df = 7, p-value = 0.0004696

data: x and group
Kruskal-wallis chi-squared = 26.1699, df = 7, p-value = 0

		Comparison of x by group (Bonferroni)					
Col Mean-	Row Mean	Armicarb	Delan sc	Difcor	Eau	Merpan	Nordox
Delan sc	-0.565696	1.0000					
Difcor	-2.771914	-2.206217	0.0780	0.3832			
Eau	-3.639315	-3.073619	-0.867401	1.0000			
Merpan	0.056569	0.622266	2.828483	3.695885	0.0031*		
Nordox	-1.961082	-1.395385	0.810832	1.678233	-2.017651	0.6108	
Shield	-2.583348	-2.017651	0.188565	1.055967	-2.639918	-0.622266	1.0000
Trianium	-1.961082	-1.395385	0.810832	1.678233	-2.017651	0.000000	1.0000
Col Mean-	Row Mean	Shield					
Trianium	0.622266	1.0000					

- **Test de germination doses Armicarb**

Kruskal-wallis rank sum test

data: Germination (%) by Produit

Kruskal-wallis chi-squared = 19.543, df = 6, p-value = 0.003339

data: x and group

Kruskal-wallis chi-squared = 19.5427, df = 6, p-value = 0

Comparison of x by group (Bonferroni)						
Col Mean- Row Mean	T0-Eau	T1-Nordo	T2-Merpa	T3a-Armi	T4a-Armi	T5a-Armi
T1-Nordo	0.699556 1.0000					
T2-Merpa	2.361004 0.1914	1.661447 1.0000				
T3a-Armi	2.448448 0.1506	1.748892 0.8433	0.087444 1.0000			
T4a-Armi	2.601477 0.0975	1.901920 0.6004	0.240472 1.0000	0.153028 1.0000		
T5a-Armi	3.038700 0.0249*	2.339143 0.2029	0.677695 1.0000	0.590251 1.0000	0.437223 1.0000	
T6a-Armi	3.541506 0.0042*	2.841949 0.0471	1.180502 1.0000	1.093057 1.0000	0.940029 1.0000	0.502806 1.0000

ANNEXE IV : Analyse des données correspondant à l'essai « Test de croissance mycélienne »

- Test 1

Kruskal-Wallis rank sum test

data: Aire CM by Produit

Kruskal-Wallis chi-squared = 23.742, df = 6, p-value = 0.0005825

data: x and group
kruskal-wallis chi-squared = 23.7421, df = 6, p-value = 0

		Comparison of x by group (Bonferroni)					
Col Mean- Row Mean	T0-TNT	T1-Nordo	T11-Tria	T12-Lals	T2-Merpa	T3-Strob	
T1-Nordo	1.291762 1.0000						
T11-Tria	2.316264 0.2157	1.024501 1.0000					
T12-Lals	0.890870 1.0000	-0.400891 1.0000	-1.425393 1.0000				
T2-Merpa	3.340765 0.0088*	2.049002 0.4248	1.024501 1.0000	2.449894 0.1500			
T3-Strob	2.020725 0.4547	0.824786 1.0000	-0.123717 1.0000	1.195939 1.0000	-1.072221 1.0000		
T5-Luna	4.053462 0.0005*	2.761699 0.0604	1.737198 0.8647	3.162591 0.0164*	0.712696 1.0000	1.732050 0.8743	

- Test 2

Kruskal-Wallis rank sum test

data: Aire CM by Produit

Kruskal-Wallis chi-squared = 27.917, df = 7, p-value = 0.0002276

data: x and group
kruskal-wallis chi-squared = 27.9173, df = 7, p-value = 0

		Comparison of x by group (Bonferroni)					
Col Mean- Row Mean	T0-TNT	T1-Nordo	T13-BSC	T2-Merpa	T4-Armic	T6-Difco	
T1-Nordo	0.336010 1.0000						
T13-BSC	1.011027 1.0000	0.600019 1.0000					
T2-Merpa	3.810797 0.0019*	3.192102 0.0198*	2.799769 0.0716				
T4-Armic	1.905398 0.7942	1.428045 1.0000	0.894370 1.0000	-1.905398 0.7942			
T6-Difco	3.810797 0.0019*	3.192102 0.0198*	2.799769 0.0716	0.000000 1.0000	1.905398 0.7942		
T7-Delan	2.566455 0.1438	2.040065 0.5788	1.555427 1.0000	-1.244342 1.0000	0.661056 1.0000	-1.244342 1.0000	
T9-Cabri	2.294255 0.3049	1.788057 1.0000	1.283227 1.0000	-1.516541 1.0000	0.388856 1.0000	-1.516541 1.0000	
Col Mean- Row Mean	T7-Delan						
T9-Cabri	-0.272199 1.0000						

ANNEXE V : Analyse des données correspondant à l'essai « Test de confrontation »

- Évolution de la surface totale de *N.ditissima* en fonction des variables « Modalité » (TrianumG et Lalstop) et « Jours post traitement » (de J+5 à J+15). Les données de surface mycélienne présentent une distribution normale. Un modèle linéaire mixte, où la « répétition » est prise comme variable aléatoire a été réalisé :

```
lmer(`SM total N.ditissima` ~ `Jours post traitement` + Modalité +  
Modalité * `Jours post traitement` + (1 | Répétition), data = CF)
```

Les deux variables explicatives « Modalité » et « jours post traitement » ont des effets significatifs sur la variable réponse « surface mycélienne totale de *N.ditissima* »

Analysis of Deviance Table (Type II Wald chisquare tests)

Response: SM total N.ditissima

	Chisq	Df	Pr(>Chisq)	
`Jours post traitement`	49.365	8	5.411e-08	***
Modalité	1692.977	2	< 2.2e-16	***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Des différences significatives sont observées lors de la comparaison entre les groupes au sein de la variable « Modalité »

Simultaneous Tests for General Linear Hypotheses

Multiple Comparisons of Means: Tukey Contrasts

```
Fit: lmer(formula = `SM total N.ditissima` ~ `Jours post traitement` +  
Modalité + (1 | Répétition), data = CF)
```

Linear Hypotheses:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)	
T.harzianum - C.rosea == 0	-23.966	1.208	-19.84	<2e-16	***
TNT - C.rosea == 0	19.001	1.198	15.86	<2e-16	***
TNT - T.harzianum == 0	42.967	1.198	35.86	<2e-16	***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Adjusted p values reported -- single-step method)

- Évolution de la surface nécrosée de *N.ditissima* en fonction des « jours post traitement » au sein de la modalité « TrianumG »

```
lmer(`Aire necrosée (%)` ~ `Jours post traitement` + (1 |  
Répétition), data = SN)
```


Linear mixed model fit by REML. t-tests use Satterthwaite's method ['lmerModLmerTest']
Formula: `Aire necrosée (%)` ~ `Jours post traitement` + (1 | Répétition)
Data: SN

REML criterion at convergence: -16.9

Scaled residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-1.3925	-0.6054	0.0434	0.5350	1.6700

Random effects:

Groups	Name	Variance	Std.Dev.
Repétition	(Intercept)	0.002668	0.05165
	Residual	0.007206	0.08489

Number of obs: 16, groups: Répétition, 4

Fixed effects:

	Estimate	Std. Error	df	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	0.29843	0.04968	9.84407	6.006	0.000140	***
`Jours post traitement`J+6	0.10212	0.06003	9.00000	1.701	0.123092	
`Jours post traitement`J+7	0.20966	0.06003	9.00000	3.493	0.006799	**
`Jours post traitement`J+8	0.30013	0.06003	9.00000	5.000	0.000739	***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Correlation of Fixed Effects:

	(Intr)	`Jpt`J+6	`Jpt`J+7
`Jptrtm`J+6	-0.604		
`Jptrtm`J+7	-0.604	0.500	
`Jptrtm`J+8	-0.604	0.500	0.500

 	Diplôme: Master Mention : Biologie Végétale (BV) Parcours : Gestion de la Santé des Plantes
Auteur(s) : Elisa RODRIGUEZ GONZALEZ Date de naissance : 10/09/1996	Organisme d'accueil : Centre Interprofessionnel des Fruits et Légumes (CTIFL) Adresse : La Morinière 37800 Saint-Épain, France
Nb pages : 30 Annexe(s) : 5	
Année de soutenance : 2023	Maître de stage : Richard LOTHION
<p>Titre français : Vers une meilleure gestion du chancre européen, causé par l'ascomycète <i>Neonectria ditissima</i>, en verger de pommier</p> <p>Titre anglais : Towards a better management of European Canker, caused by the ascomycete fungus <i>Neonectria ditissima</i>, in apple orchards.</p>	
<p>Résumé : Le chancre européen, provoqué par l'ascomycète <i>Neonectria ditissima</i>, est une maladie d'importance en culture de pommier au niveau mondial. Toutefois, les connaissances sur ce pathogène sont limitées et souvent restreintes au niveau régional. L'incidence de cette maladie dans des vergers pommicoles de la Région Centre-Val de Loire a suscité l'intérêt de son étude, avec l'objectif d'approfondir dans la biologie du pathogène, la dynamique de l'infection et également afin de trouver des matières actives efficaces pour la lutte contre ce champignon. Les projections de spores de quatre chancres ont été étudiés afin de déterminer sa relation avec la température moyenne et les précipitations pour la période janvier-juillet 2023. Les observations des projections des spores en verger ont aussi été comparées avec les données prédites par le modèle RIMpro. En parallèle, des tests de laboratoire ont été mis en place pour évaluer l'efficacité des produits préalablement sélectionnés, sur la germination des conidies et la croissance mycélienne du champignon. Aucune corrélation n'a été trouvée entre les projections de spores et les variables météorologiques étudiées. Les résultats obtenus ont permis de valider les prédictions réalisées par le modèle RIMpro. Parmi les produits testés, Merpan, Nordox, Armicarb, Luna experience, Difcor, Trianum G et Lalstop ont montré des effets inhibiteurs de la germination et/ou de la croissance mycélienne de <i>N. ditissima</i>.</p>	
<p>Abstract : European canker, caused by the ascomycete fungus <i>Neonectria ditissima</i>, is a major disease in apple production worldwide. However, knowledge about this pathogen is limited and often region-specific. The incidence of this disease in Centre-Val de Loire apple orchards has sparked interest in its study, aiming to deepen into the pathogen's biology and infection dynamics, as well as to search for active compounds that could provide efficient control of this fungus. Spore projections from four canker lesions were monitored, and their correlation with mean temperatures and rainfall for the period January-July was tested. Additionally, spore projection data from field observations was compared with the predictions of RIMpro. Simultaneously, laboratory tests were conducted to evaluate the inhibitory effect of the selected products on conidia germination and mycelial growth of <i>Neonectria ditissima</i>. No correlation was found between weather conditions (temperature and rain) and spore projections. There were no significant differences between RIMpro predictions and field observations regarding spore projections. Seven of the tested products (Merpan, Nordox, Armicarb, Luna experience, Difcor, Trianum G and Lalstop) showed inhibitory effects on conidia germination and/or mycelial growth of <i>Neonectria ditissima</i>.</p>	
Mots-clés : <i>Neonectria ditissima</i> , méthodes de lutte, RIMpro, projection de spores, germination, croissance mycélienne.	
Key Words: <i>Neonectria ditissima</i> , control methods, RIMpro, spore projection, germination, mycelial growth.	

