

UNIVERSITE DE BOURGOGNE



UFR des Sciences de la Vie, de la Terre et de l'Environnement

Master Sciences, Technologies, Santé

Mention Biologie Santé

Spécialité Biologie Intégrative des Interactions
Plantes-Microorganismes-Environnement

12 septembre 2023

Loïc Ville-Renon

Etude des maladies du feuillage de l'olivier

Chambre d'Agriculture du Var

Service Arboriculture Maraichage

Encadrant : **Fanny Vernier**

Sommaire

1. Introduction	4
1.1 Choix du sujet.....	4
1.2 La filière oléicole et l'organisme d'accueil.....	4
1.3 Ecophyto II+ : un projet collaboratif	5
1.4 La biologie de l'olivier	5
1.5 Les maladies du feuillage	6
1.6 Les produits cupriques	10
1.7 L'argile calcinée.....	11
1.8 Contexte de l'étude.....	12
1.9 Sujet d'étude	12
2. Matériels et méthodes.....	13
3. Résultats et Discussion.....	16
3.1 Etat des lieux de la pression fongique de l'ensemble des exploitations DEPHY.....	16
3.2 Etude des relations entre les taux de maladies, la défoliation et les traitements	18
3.3 Influence de la conduite des vergers sur la pression fongique	21
3.4 Analyse rétrospective de la contamination de <i>V. oleaginea</i> sur une des parcelles du groupe DEPHY	24
4. Conclusion	26
5. Références bibliographiques.....	28

Remerciements

Un grand merci aux producteurs du réseau DEPHY pour leur accueil et leur confiance sur les vergers. Je remercie Fanny VERNIER qui m'a accompagné pendant toute la durée de mon stage et pour qui la passion des oliviers est une véritable vocation. Ton énergie débordante, ta bonne-humeur et ta motivation ont été pour moi une grande source d'inspiration. Merci pour ton partage d'expérience, ta pédagogie et de m'avoir fait découvrir les beaux paysages varois en musique. Je tiens également à remercier Caroline GOUTINES et Anaïs BASCOUL qui ont été d'une grande aide pour l'orientation des statistiques et des résultats. De même qu'à Laurent BELORGEY sans qui l'accès au modèle Œil de Paon n'aurait pas été possible. Merci au service Arboriculture et Maraîchage pour leur bienveillance et la cohésion d'équipe. Enfin, je remercie toutes les personnes de la Chambre d'Agriculture du Var que j'ai eu le privilège de côtoyer pour cet environnement de travail chaleureux.

Listes des abréviations

ABA : Acide abscissique
ACP : Analyse en Composantes Principales
ATP : Adénosine triphosphate
C : Carbone
CAH : Classification Ascendante Hiérarchique
CAT : Catalase
CIVAM : Centre d'Initiatives pour Valoriser l'Agriculture et le Milieu rural
CO₂ : Dioxyde de carbone
CTO : Centre Technique de l'Olivier
Cu²⁺ : Ion cuivre

DEPHY : Démonstration, Expérimentation et Production de référence sur les systèmes économes en PHYtosanitaires
FAO : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
ICTF : Commission Internationale sur la Taxonomie du Champignon
IFT : Indice de Fréquence de Traitements
JA : Acide jasmonique
K : Potassium
N : Azote
O : Oxygène

O₂ : Dioxygène
ODG : Organisme de Défense et de Gestion
ODP : Œil de Paon
P : Phosphore
PACA : Provence Alpes Côte d'Azur
PFI : Protection Fruitière Intégrée
POD : Peroxydase
PPP : Produits Phytosanitaires Pharmaceutiques
SA : Acide salicylique
SOD : Superoxyde dismutase

DECLARATIONS

Par la présente, je soussigné Loïc Ville-Renon, certifie avoir rédigé mon mémoire de stage intitulé :

Etude des maladies du feuillage de l'olivier

Seul et sans aucune aide interdite. Je ne me suis basé sur aucune autre source que celles mentionnées et citées dans le manuscrit. Ce mémoire n'a ni dans sa forme actuelle, ni dans une forme proche, été soumis à une autre institution (Université, MASTER, ...).

Lieu, Date et Signature

À Vidauban, le 31 août 2023,



Par la présente, je soussignée Fanny VERNIER, conseillère spécialisée à la Chambre d'Agriculture du Var, Maître de stage de Loïc VILLE-RENON certifie avoir lu le manuscrit intitulé

Etude des maladies du feuillage de l'olivier

et être en accord avec son contenu.

Lieu, Date Signature

À Vidauban, le 31 août 2023,



1. Introduction

1.1 Choix du sujet

Lors de ce stage de fin d'études j'ai choisi de m'orienter dans le domaine de l'agriculture et plus particulièrement sur la gestion de vergers oléicoles varois. La principale raison qui m'a poussé à effectuer ce stage, outre le fait de la compatibilité du sujet avec mon cursus actuel, fut l'aspect terrain que proposait l'entreprise. En effet, bien que mon parcours universitaire m'ait permis d'approfondir mes connaissances dans de multiples domaines de la biologie végétale, expérimenter un métier de terrain apporte une vision concrète des connaissances théoriques et pratiques apprises jusqu'à présent. Il me semblait important de faire un état des lieux de mes objectifs fixés initialement au début de mon cursus et de pouvoir si besoin, recentrer le curseur sur mes priorités de carrière à la fin de mes études.

1.2 La filière oléicole et l'organisme d'accueil

J'ai ainsi eu l'opportunité de découvrir une toute nouvelle filière agricole, ses enjeux climatiques, économiques, environnementaux ou encore écologiques (Réglementations phytosanitaires, Réseau DEPHY). Les agriculteurs exploitants ou les prestataires de services, les mouliniers, les pépiniéristes et plus largement les techniciens représentent les principaux acteurs de la filière. Cette filière est coordonnée par France Olive, l'Association Française Interprofessionnelle de l'Olive (anciennement AFIDOL) qui est un organisme reconnu par l'Etat et qui regroupe notamment des pépiniéristes et des producteurs, des organismes de défense et de gestion (ODG), des moulins privés, des coopératives oléicoles et des confiseurs. L'interprofession constitue le cœur du réseau oléicole français avec des missions qui s'articulent autour de six pôles dont le pôle Agronomie piloté par la commission technique de France Olive (Centre Technique de l'Olivier, CTO) en étroite collaboration avec le CIVAM (Centre d'Initiatives pour Valoriser l'Agriculture et le Milieu rural) et les Chambres d'Agriculture Provence Alpes Côte d'Azur (PACA) et Occitanie. Parmi ces établissements, la Chambre d'Agriculture du Var a été mon organisme d'accueil pour toute la durée de mon stage.

La répartition départementale de la Chambre d'Agriculture du Var comprend quatre sites : le siège social situé à Draguignan et les trois antennes de Vidauban, Hyères et Brignoles. Ses domaines d'activités s'articulent autour d'un pôle Territoires comprenant trois services : (1) Foncier, aménagement et territoires, (2) Circuits courts et agritourisme, (3) Installation et transmission. Un autre pôle Technique et Économique regroupe quant à lui six services : (1) Elevage, (2) Horticulture, (3) Formation et emploi, (4) Viticulture, (5) Agronomie et environnement, (6) Arboriculture et maraîchage. Ce grand réseau de techniciens spécialisés et compétents sont amenés à effectuer des interventions d'expertises, que ce soit pour des prestations, du conseil ou des formations auprès de professionnels, d'organismes de gestion ou de particuliers dans tout le département. C'est aux côtés de Fanny Vernier, conseillère arboricole spécialisée en oléiculture, que le stage sur l'étude des maladies du feuillage de l'olivier a eu lieu.

1.3 Ecophyto II+ : un projet collaboratif

Le groupe « Un Dephy en Oléiculture » créé en 2016 et animé par l'Ingénieure Réseau Mme Vernier regroupe une dizaine de producteurs Varois dispersés sur l'ensemble du département. L'objectif principal de ce groupe est la production d'olives de qualité et en quantité suffisante pour la viabilité des exploitations tout en réduisant l'utilisation des produits phytosanitaires pharmaceutiques (PPP) pour les producteurs. Ainsi, une des approches du groupe consiste la diminution des Indices de Fréquence de Traitements (IFT) chimiques et/ou par leur substitution avec des produits de biocontrôle plus respectueux de l'environnement. Cette réduction des PPP passe donc par une meilleure gestion des bioagresseurs (ravageurs et maladies) dont l'intensité de pression est étroitement liée aux conditions climatiques, aux variétés d'oliviers et parfois aux pratiques culturales. Ce groupe de producteurs est essentiellement un lieu d'échanges et de partages d'expériences sur des problématiques de terrain, pratiques agricoles et problèmes sanitaires. La mise en place de protocoles annuels de suivis des bioagresseurs et la rédaction de bilans de campagnes pour chaque exploitation permettent également la bonne conduite de ces missions. Lors de sa création en 2016, le groupe DEPHY s'était fixé comme projet collectif la gestion de la mouche de l'olive (*Bactrocera oleae*) dans les vergers d'oliviers, un ravageur très connu de la filière à cause des dégâts sur les fruits qu'il provoque à la récolte. Etant donné les résultats satisfaisants obtenus en 5 ans, et par suite de son réengagement en 2022 avec le plan Ecophyto II+ le groupe a fait évoluer son suivi vers la gestion des maladies du feuillage dans les oliveraies. Les arbres affectés montrent en effet une chute des feuilles prématurée entraînant parfois une forte défoliation. Cela peut impacter le murissement des fruits et réduire la qualité et le rendement en huile, mais aussi mettre en péril la vie du verger et par extension, celle de la filière en affaiblissant progressivement les arbres qui vont voir leur production diminuer (Avila et al. 2005 ; Lanza et al. 2017 ; Nigro et al. 2002). De ce fait, l'étude des maladies fongiques comme la maladie de l'Œil de Paon (*Venturia oleaginea*) et de la Cercosporiose (*Pseudocercospora cladosporioides*) représente un enjeu de taille pour le groupe « Un Dephy en Oléiculture » de la Chambre d'Agriculture du Var et la filière oléicole française.

1.4 La biologie de l'olivier

L'olivier *Olea europaea* au même titre que le pommier, le poirier ou de nombreux autres arbres fruitiers est une espèce alternante dont la production et le rendement sont liés au potentiel de croissance des rameaux d'une année sur l'autre (L'olivier, CITFL 1999). Cette alternance de production dépend grandement des facteurs extrinsèques (sol, climat, interventions culturales) et intrinsèques (physiologie) de la biologie de l'arbre et peut en partie être réduite suivant les pratiques. En effet, l'olivier possède un cycle bisannuel défini à l'année n par une croissance végétative des rameaux, et à l'année $n+1$ par une initiation de la floraison (**Fig. 1**). En général cette première phase de croissance végétative a lieu au printemps puis une seconde se déroule pendant l'automne si les conditions sont favorables. Les étapes de la floraison s'effectuent à partir du mois de décembre pour l'induction florale, et au printemps vient la formation et l'ouverture des bourgeons floraux. À la fin de l'été, on observe la croissance des fruits

jusqu'à arriver à pleine maturité, ce qui peut durer jusqu'au début de la troisième année selon les variétés (Poli 1979).

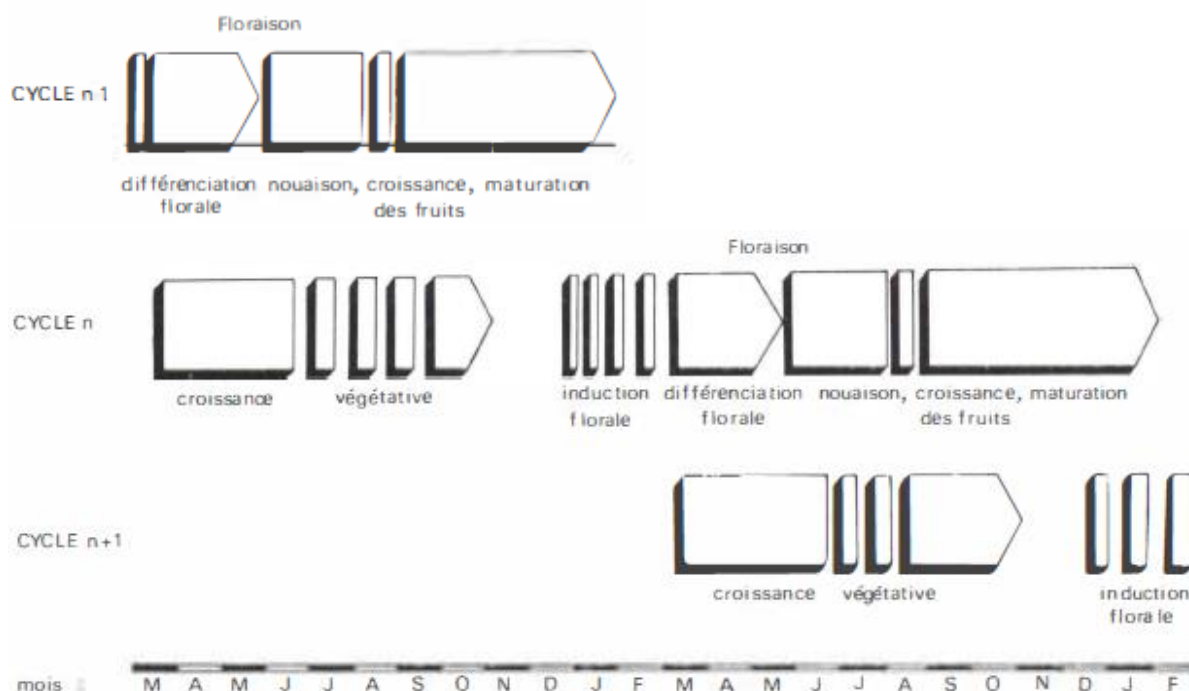


Figure 1 : Cycle biologique d'*Olea europaea*. Observation de deux cycles biologiques des rameaux fructifères ; (n) croissance végétative, (n+1) développement reproductif (Poli 1979).

L'olivier est une espèce semi-persistante, ses feuilles possèdent une durée de vie moyenne de trois ans durant laquelle elles vont contribuer à l'alimentation de l'arbre grâce aux échanges de dioxygène (O₂) et de dioxyde de carbone (CO₂). Il est affirmé qu'environ 90 % de la composition élémentaire d'une plante serait constituée des atomes de carbone (C) et d'oxygène (O) résultant de l'activité de ces mécanismes : photosynthèse, respiration et transpiration (COMIFER 2005). Par conséquent, la majorité de l'alimentation de la plante réside dans la capacité de ses feuilles à effectuer la photosynthèse tandis que le reste est assuré par la nutrition minérale à l'aide du système racinaire généralement localisé dans une profondeur de 50 à 70 cm pour l'olivier selon le sol, et servant principalement outre le rôle d'ancrage à absorber l'eau et les macroéléments : azote (N), phosphore (P), potassium (K) (L'olivier, CITFL 1999). Il semble alors indispensable d'avoir une surface foliaire la plus saine possible tout en prévenant les dégâts liés aux maladies fongiques tels que la présence de tâches sur les feuilles qui limiteraient l'action des chlorophylles et provoqueraient la défoliation, dégât ultime résultant d'une forte infection.

1.5 Les maladies du feuillage

La maladie de l'Œil de Paon

Le champignon a été découvert à Marseille en 1845 sous son premier nom *Cycloconium oleaginum* (Castagne 1845). Au fil des siècles, plusieurs nominations scientifiques ont été utilisées mais Rossman et Crous, s'accordant avec l'étude phylogénétique et la Commission Internationale sur la Taxonomie du Champignon (ICTF), lui donnèrent le nom que nous connaissons aujourd'hui, *V. oleaginea* (Rossman et al. 2015). Sa classification met en évidence un champignon biotrophe qui

appartient à la classe des *Dothideomycetes*, à la sous-classe des *Pleosporomycetidae* et à l'ordre des *Venturiales* (Benitez et al. 2005 ; González-Lamothe et al. 2022). Les pathogènes issus de l'ordre des *Venturiales* sont réputés pour être hautement spécifiques dans le choix de leurs hôtes qui touchent exclusivement les arbres fruitiers (González-Domínguez et al. 2017). Dans ce cas présent, ce sont les oliviers qui ayant des feuilles infectées par *V. oleaginea* montreront comme premiers symptômes des marques appelées « spots » ou « halos » d'environ 5-10 mm de diamètre et principalement de couleur marron et noire sur la face supérieure des feuilles (**Fig. 2**). Des traces également de couleur marron peuvent être visibles sur les fruits lorsqu'ils sont encore verts ou proches de la maturité, quand ils ne flétrissent ou ne tombent pas prématurément. Selon les travaux d'Issa et son équipe, il semblerait que la maladie de l'Œil de Paon réduit grandement la longueur des inflorescences et l'installation des fruits en raison de la défoliation causée par le pathogène, ce qui affecterait sévèrement la production d'olives et la croissance de l'arbre. De plus, l'influence de la maladie corrélée avec une forte défoliation est d'autant plus importante sous la canopée (Issa et al. 2019). Ces conséquences aggravantes font que la maladie de l'Œil de Paon est sans aucun doute l'une des maladies foliaires les plus préoccupantes de la filière oléicole.

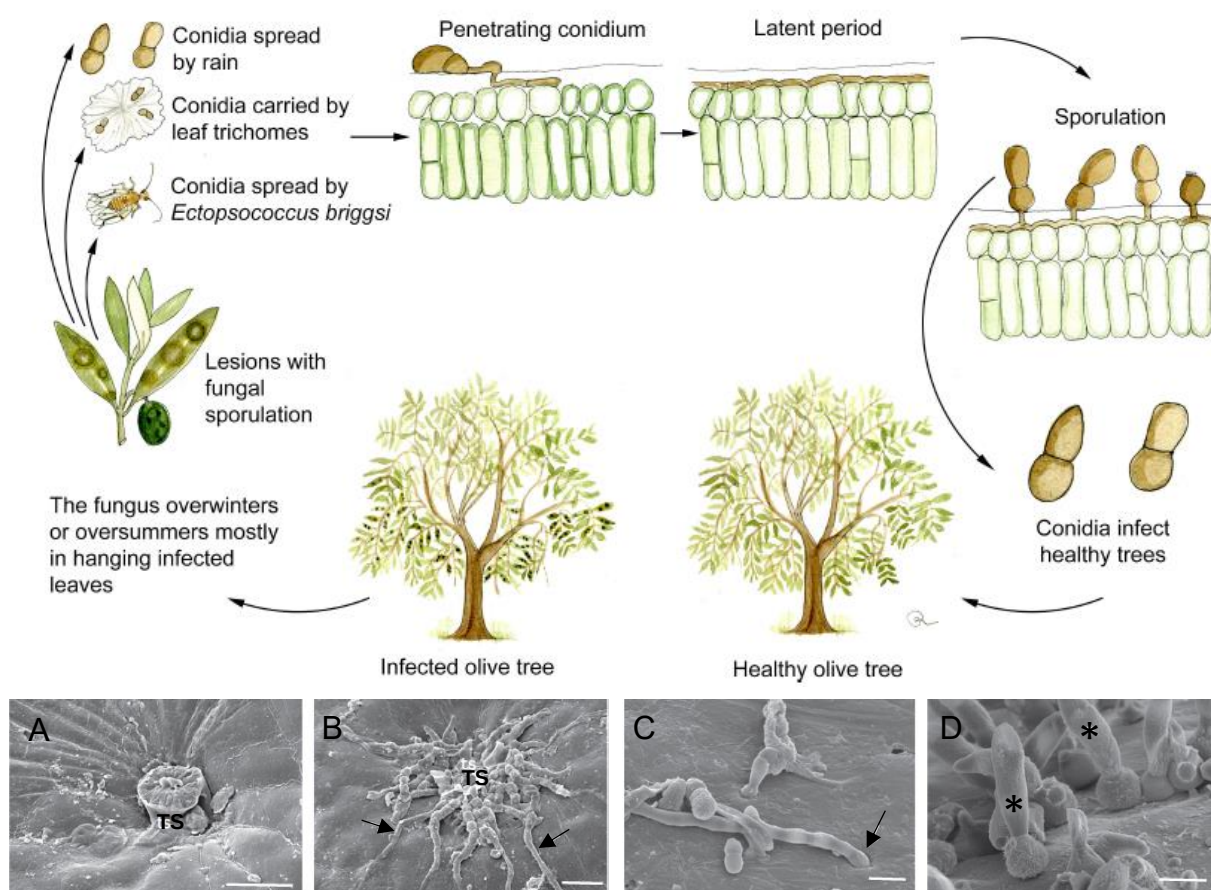


Figure 2 : Cycle biologique de *V. oleaginea* (Buonauro et al. 2023). Observation au microscope à balayage montrant la colonisation de *V. oleaginea* d'une feuille d'olivier : Aperçu du pied du trichome avant infection (A) et après infection (B) par les conidies (flèches noires). Pénétration de l'hyphe à travers la cuticule (C). Formation de conidiophores (D) et conidies (*) sur la face supérieure de la feuille. Echelle : (A-C) 20µm, (D) 10µm. (Lanza et al. 2017).

Le cycle biologique de *V. oleaginea* est décrit selon la figure 2. La formation de conidiophores peut se faire à une température comprise entre 5 et 25°C mais elle devient optimale à forte humidité (> 80 %). En présence d'une humidité relative de 70 %, le taux de sporulation diminue en-dessous de 50 % (Obanor 2006). A l'issue de la sporulation, la majorité des conidies sont dispersées par la pluie et le vent mais elles peuvent être aussi transportées via le psocoptère *Ectopsocus briggsi* qui rend possible une infection à très longue distance (Marzo et al. 1993). En conditions optimales (16 à 21°C) la période de germination commence 6 heures après que les conidies se sont disséminées. Cependant l'échelle de température lors de la phase d'infection du champignon s'adapte en fonction des conditions d'humidité du milieu ambiant. Ainsi, l'infection peut s'initier à 20°C si la période d'humidité est inférieure à 24 heures ou bien à 15°C si la phase d'humidité dure plus longtemps (Obanor et al. 2008 ; Viruega et al. 2011). La pénétration de la cuticule foliaire est rendue possible via la formation d'un appressorium à l'extrémité de l'hyphe qui va venir percer la couche supérieure et qui va s'insérer via le pied du trichome (**Fig. 2C**). Ensuite, la phase d'incubation d'une durée de 1 à 6 mois permet au mycélium de coloniser de façon linéaire la zone comprise entre la couche externe et interne de la cuticule en se nourrissant de lipides, pectines et cellulose présents à la surface de la paroi pectocellulosique des cellules sans jamais y pénétrer (Viruega et Trapero 1997 ; Obanor et al. 2008 ; Viruega et al. 2011 ; Lanza et al. 2017). Comme pour la sporulation et l'infection, la période de latence peut varier dans la durée en fonction des températures et des conditions d'humidité. Pour exemple, en Méditerranée les basses températures en hiver et un climat chaud et sec en été limitent le développement de *V. oleaginea* en prolongeant la période de latence. De manière générale, on s'attend à des épisodes infectieux principalement au printemps lorsque la saison des beaux jours reprend et que les températures remontent, et à l'automne lorsqu'il fait doux et humide (Viruega et al. 2013 ; Graniti 1993). Une récente étude menée au Nord-Ouest de l'Espagne indique un pic infectieux de 706 spores/m³ en été mettant aussi l'accent sur une saisonnalité différente en fonction de la localité (Garrido et al. 2022).

La Cercosporiose

La Cercosporiose est une maladie foliaire cryptogamique causée par l'agent *P. cladosporioides*. Elle a été identifiée par Gonzalez Fragoso en 1925 près de Séville en Espagne mais sa classification a été faite par Saccardo en Italie et remonte aux années 1880 (Del Moral et Medina 1985). D'après les travaux de **Braun (1993)** sur l'étude taxonomique du champignon et de la caractérisation phylogénétique de *P. cladosporioides* par Avila et ses collègues (2005), les espèces *Pseudocercospora* font partie de la famille des *Mycosphaerellaceae* et compte de nombreuses espèces pathogènes des plantes. Cette forte abondance d'espèces au sein du genre fait que la maladie est peu connue, ce qui empêche une description et une identification précise du pathogène. De plus, les symptômes sont difficiles à diagnostiquer car ils sont parfois similaires à une chlorose ferrique, une carence en potassium provoquant un vieillissement naturel de la feuille, ou à d'autres maladies fongiques telles que *V. oleaginea* ou *Colletotrichum gloeosporioides* (l'antracnose de l'olivier) (Le Nouvel Olivier n° 115). Nous retrouvons le pathogène en France, en Australie, en Algérie, en Espagne, au Portugal, en Tunisie, en Grèce et dans d'autres pays ce qui montre une forte pression de la maladie dans les oliveraies à l'échelle mondiale (Sergeeva et al. 2008 ; Triki et Rhouma 2008 ; Chliyah et al. 2014 ; López-Escudero et al. 2008). Constat de cette pandémie, les études sur la Cercosporiose se multiplient notamment en

Espagne, le plus gros producteur d'olives au monde avec plus de 6 millions de tonnes d'olives produites en moyenne depuis les années 2000 par rapport à l'Italie avec ses 3 millions de tonnes (FAO 2021).

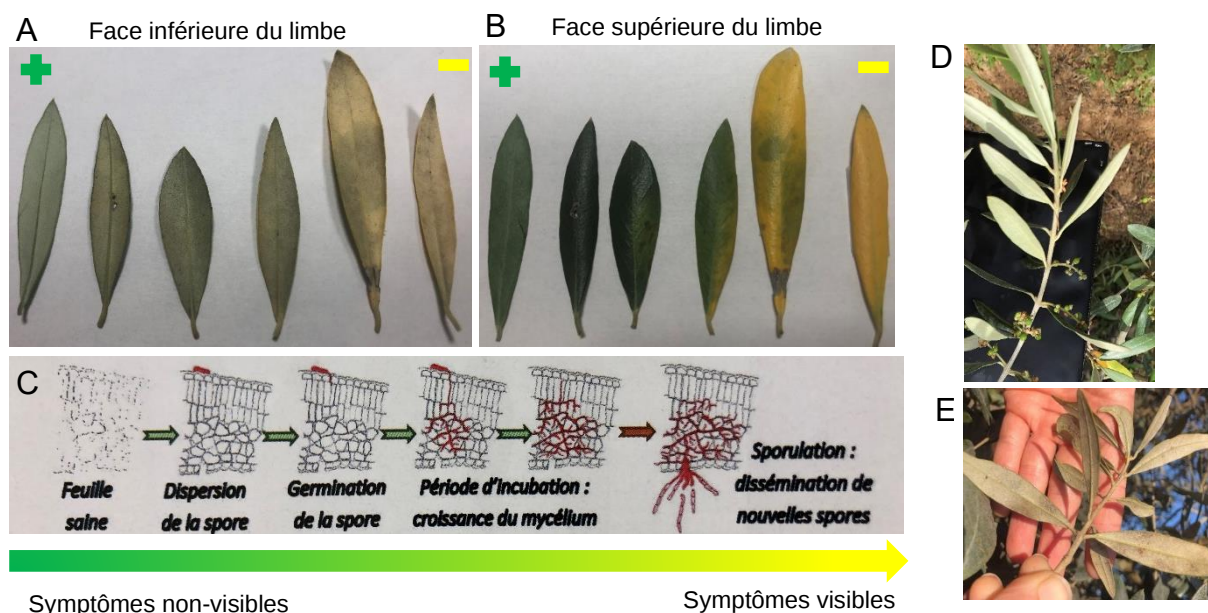


Figure 3 : Biologie de *P. cladosporioides*. Observation de feuilles d'olivier saines (+) et infectées (-) sur la face inférieure (A) et supérieure (B) du limbe. Cycle biologique de *P. cladosporioides* : De l'entrée du pathogène à travers la cuticule foliaire jusqu'à l'apparition de symptômes visibles et dissémination de nouvelles spores (C) (Le Nouvel Olivier n° 115). Photographie d'un rameau sain (D) et d'un rameau totalement contaminé (E) (©LVR).

Le cycle biologique de la Cercosporiose est apparenté à celui de la maladie de l'Œil de Paon. Il est décrit par une première étape de germination des conidies généralement par temps humide et doux. En effet, il a été constaté que les conidies pénètrent par les stomates ou par des blessures (Del Moral et Medina 1985). Ensuite, une période d'incubation commence et peut durer jusqu'à 14 mois après infection. Selon Lacalle et ses collègues (2004), l'étude de *P. cladosporioides* en conditions contrôlées a montré des températures d'incubation allant de 5 à 30°C avec un seuil optimum à 21°C. Le mycélium va alors croître à l'intérieur de la cuticule sans qu'il y ait de symptômes visibles. L'année suivante à l'automne les conidies sont libérées lors de la fructification par les premières pluies ou par la rosée. De jeunes spores peuvent alors contaminer les nouvelles feuilles et le cycle recommence. L'été suivant ce sont les feuilles les plus contaminées qui tombent (Triki et Rhouma 2008). Le champignon est connu sous le nom de « maladie de plomb » en raison du feutrage gris sur la face inférieure des feuilles infectées et symptomatique de la sporulation. Pour les feuilles les plus âgées, on observe également la présence de nécroses sur le limbe supérieur ou bien des tâches jaunes, marrons, rougeâtres caractéristiques d'une infection généralisée (Fig. 3B). Les symptômes sur les fruits sont plus rares mais ils peuvent être marqués également par des lésions ou des creux de couleurs marron et ocre en surface avec une chair liégeuse qui se dessèche (Henricot et al. 2009). La principale période épidémique a lieu à l'automne jusqu'au printemps et elle est corrélée avec les périodes de pluies (dispersion des spores), une forte humidité relative et des températures modérées. En Espagne, la pression fongique atteint son maximum en automne avec 294 spores/m³ et au printemps une deuxième vague d'infection peut avoir lieu quoique moins importante que la première en raison des températures plus élevées (Garrido et al.

2022). La chute des feuilles prématurées au début de l'été aura pour effet une défoliation importante de l'arbre le privant ainsi de la majeure partie de son activité photosynthétique, au moment où la saison des olives commence.

La gestion de ces maladies cryptogamiques est particulièrement délicate notamment pour le cas de la Cercosporiose qui exprime des symptômes peu visibles et tardifs par rapport à la date de contamination. De plus, les changements climatiques de ces dernières années favorisent des hivers plus doux ce qui pourrait avoir un impact positif sur les inocula en diminuant la période d'incubation. Pour cause en PACA, l'hiver 2023 a été marqué par des températures de 2 à 7°C en décembre et janvier soit 1°C de plus au-dessus de la normale (Météo France 2023). C'est pourquoi il est important d'avoir une bonne gestion culturale de son verger et de prendre connaissance des facteurs biotiques limitant la production et la pérennité de la culture. Les dispositions à appliquer contre ces maladies sont des actions de lutte préventive comme la taille sanitaire prophylactique qui aide à limiter les frondaisons denses et superposées propices aux endroits humides, le broyage des bois de taille afin de limiter les inocula et les traitements phytosanitaires préventifs à base de cuivre, principale matière active fongicide utilisée en oléiculture.

1.6 Les produits cupriques

Les composés à base de cuivre sont autorisés en Agriculture Biologique selon l'accord du règlement de l'Union Européenne (CEE n°2092/1991). Ils font partie des produits chimiques les plus utilisés en tant que fongicide de contact dans la lutte préventive contre les maladies du feuillage. Le cuivre est principalement employé sous forme ionique, dans des formulations à base de sels de cuivre (sulfate ou hydroxyde) combinées à divers adjuvants. En effet, la libération d'ions Cu^{2+} est directement responsable de la toxicité liée aux fongicides (Leroux 2003). Ainsi, il existe plusieurs traitements à base de cuivre qui peuvent être appliqués selon les besoins et qui vont se différencier par la forme et la quantité de produit actif présent dont le dosage est conforme à la réglementation européenne en vigueur (4 kg/ha/an). Parmi les différentes formes de cuivre nous pouvons citer l'hydroxyde, le sulfate, l'oxychlorure et l'oxyde cuivreux (Maille 2004). La bouillie bordelaise, un mélange de chaux et de sulfate de cuivre découvert par Alexis Millardet en 1882 est l'un des produits les plus utilisés de nos jours en agriculture (Girard 2004). En effet, suivant la classe de fongicides utilisée il est possible d'inhiber la biosynthèse des stérols fongiques, constituants importants des membranes cellulaires permettant leur fluidité et le maintien de l'intégrité des cellules en promouvant les interactions lipoprotéiques. Il existe également des fongicides anti-microtubules qui agiront de façon à bloquer les divisions cellulaires du pathogène et ainsi l'élongation des hyphes mycéliens. C'est le cas par exemple des benzimidazoles qui peuvent se fixer sur la β -tubuline (sous-unité de la tubuline) de nombreux Ascomycètes (Leroux 2003). Par ailleurs, une partie des fongicides va rentrer dans la classe des inhibiteurs respiratoires en affectant les transporteurs d'électrons et l'ATP synthase de la mitochondrie. Cela aura pour effet d'inhiber la germination des spores des champignons (Leroux 2003). Il a effectivement été constaté que l'utilisation du cuivre permet de réduire la pression fongique en inhibant la germination des conidies et la croissance du tube germinale chez *V. oleaginea* (Obanor et al. 2005). En appui de l'expérience menée par Bourbos et Skoudridakis (1993) sur des oliviers en Crète, il semblerait que le sulfate de cuivre montre une

efficacité de 97,3 % à l'égard de *V. oleaginea* et également une diminution de 90,6 % du nombre de tâches par feuille par rapport au témoin après application de deux traitements début octobre et fin février. En revanche, le cuivre est connu pour avoir un effet phytotoxique sur la plante lorsqu'il pénètre à l'intérieur de la feuille infectée. Les feuilles infectées vont alors tomber au sol et cela aura pour effet une diminution de l'inoculum de l'arbre (Graniti 1993). Il est possible que de jeunes feuilles non infectées tombent à la suite de l'application de bouillie bordelaise mais leur chute représenterait un indice de phytotoxicité négligeable de 8 % (Bourbos et Skoudridakis 1993). Enfin, dans une moindre mesure, les applications de cuivre peuvent avoir une incidence sur la composition et la qualité des olives en réduisant la teneur en polyphénols et donc les propriétés antioxydantes des feuilles d'oliviers (Andrivon et al. 2019). Comme vu précédemment les composés cupriques sont de très bons moyens de lutte contre les maladies du feuillage mais ils restent néanmoins critiqués car ce sont aussi de puissants antibiotiques pouvant avoir un impact négatif sur l'activité microbienne du sol ainsi que sur la biodiversité et les écosystèmes à plus grande échelle (Baize 2000).

1.7 L'argile calcinée

Dans un contexte d'agriculture biologique et durable, l'utilisation de matériaux naturels tels que l'argile calcinée semble intéresser particulièrement les producteurs qui souhaitent se protéger contre divers ravageurs de cultures. Lorsqu'il est correctement appliqué sur la culture, le kaolin fournit une barrière physique protectrice plus efficace qu'un insecticide conventionnel. Les résultats de Saour et Makee (2004) ont démontré que les particules de kaolin avaient une action contre la mouche de l'olive passant de 12 individus en moyenne lors de la dernière application, à 8 individus après 3 semaines, là où la protection fournie par l'insecticide chimique était retombée faisant ainsi augmenter le nombre de mouche à 41 individus. Plus récemment, une étude sur la concentration optimale de 5 % de kaolin appliqué au champ contre la mouche et le psylle de l'olive a révélé une diminution de 80 % des attaques de ravageurs par arbre, une diminution de 50 % de la population d'adultes et une diminution de 60 % de nymphes par rapport au contrôle (Mojdehi et al. 2016). Bien que particulièrement efficace contre plusieurs ravageurs de l'olive, son action contre les maladies cryptogamiques reste peu connue en oléiculture alors que des exemples tendent à montrer une efficacité dans des cas similaires pour d'autres productions pérennes. En effet, sous sa forme initiale les particules de kaolin hydrophobes semblent plus efficaces sur les maladies du pommier et notamment contre la tavelure du pommier (*Venturia inaequalis*), un champignon apparenté à l'Œil de Paon. A contrario, sa forme hydrophile après ajout d'un mouillant ne présenterait plus la même efficacité (Glenn et al. 2001). De la même manière, l'observation au microscope à balayage de l'ultrastructure d'une feuille de vigne a montré qu'une application de 3 % de kaolin suffit à obstruer les stomates d'une feuille fermant ainsi la porte à l'entrée des pathogènes et en empêchant leur adhésion sur la surface de la feuille. L'étude met aussi en avant l'activation des réponses de défense de la vigne face à une potentielle infection par un micro-organisme avec l'augmentation de l'activité des enzymes anti-oxydatives (SOD, POD et CAT), l'augmentation de la chitinase et des phytohormones de signal (ABA, SA et JA) permettant la régulation des gènes de défense (Wang et al. 2022).

1.8 Contexte de l'étude

Le groupe DEPHY a entrepris une étude préliminaire sur les maladies du feuillage en 2022 afin de mieux comprendre les maladies affectant les vergers oléicoles. Les résultats obtenus entre 2022 et 2026 permettront d'approfondir notre compréhension du comportement de ces maladies. Cette connaissance essentielle servira de base pour élaborer progressivement un plan visant à réduire l'utilisation de fongicides dans ces vergers. Les premières observations en 2022 ont révélé une pression accrue des maladies foliaires en février et mai pour la Cercosporiose, ainsi qu'en mai pour l'Œil de Paon. Les analyses en composantes principales (ACP) ont montré des corrélations positives entre les taux d'Œil de Paon et la défoliation en février, mai et août, ainsi qu'entre la défoliation et les maladies en février. Il a été noté que la Cercosporiose reste dominante indépendamment de la stratégie phytosanitaire, soulevant des interrogations sur l'efficacité du cuivre contre ce champignon. Les premières conclusions ont également indiqué qu'une taille annuelle régulière réduit la pression fongique de l'Œil de Paon, et que la gestion de l'enherbement par broyage trisannuel limite l'augmentation des taux de contamination des maladies foliaires.

1.9 Sujet d'étude

Ces antécédents fournissent le cadre pour la poursuite de l'étude. L'objectif du stage est de prolonger les investigations menées en 2022 dans les vergers du groupe DEPHY en incluant les données de l'année 2023. L'étude vise à établir des tendances sur l'évolution de la Cercosporiose et de l'Œil de Paon sur une période s'étendant de 2022 à 2026. Pour ce faire, **i)** un état des lieux de l'ensemble des exploitations par année a été réalisé, **ii)** donnant naissance à des analyses en composantes principales des variables d'intérêts pour des regroupements de vergers à l'aide de classifications ascendantes hiérarchiques (CAH), **iii)** affinant l'étude par l'analyse de l'influence des pratiques agricoles sur ces maladies et enfin, **iiii)** une analyse croisée de diverses données d'une parcelle a été effectuée, incluant les conditions climatiques, les IFT fongiques chimiques ainsi que la quantité de cuivre métal appliquée et les périodes de contamination connues de l'Œil de Paon. Les résultats contribueront à une meilleure compréhension du cycle biologique de ces maladies, notamment à terme, celui de la Cercosporiose, dont les investigations en France sont encore en phase initiale. Les données recueillies, représentatives du climat varois grâce aux diverses exploitations du groupe DEPHY, apporteront un appui précieux aux producteurs et aux techniciens oléicoles en matière d'expertise sur le terrain.

2. Matériels et méthodes

Vergers et matériel végétal

L'étude est réalisée sur 10 vergers du groupe DEPHY répartis sur l'ensemble du territoire (**Fig. 4**). Parmi ces domaines 5 exploitations pratiquent l'Agriculture Biologique (AB) tandis que les 5 autres sont en Agriculture Conventiennelle, Protection Fruitière Intégrée (PFI). Une exception néanmoins pour les vergers de Vins-sur-Caramy, Roquebrune-sur-Argens et Gassin qui possèdent un itinéraire technique fongique biologique mais ne sont pas labélisés.



Figure 4 : Carte du département du Var (83) où sont représentées les différentes exploitations du groupe DEPHY. Les différents repères indiquent les vergers conduits en Agriculture Conventiennelle (●) et en Agriculture Biologique (●). Vidauban est le lieu où se situe l'ingénieur Réseau oléicole (V). Les points cardinaux y sont représentés.

Différentes variétés ont servi à l'observation des maladies sur un total de 340 oliviers. Les variétés majoritaires sont le Bouteillan et l'Aglandau (130 et 80 arbres) alors que les variétés Cailletier, Salonenque, Boussarlu, Picholine et Cayon comptent chacune 20 arbres. La parcelle de Lorgues présente également 20 arbres mais avec un mélange variétal dont certaines variétés anciennes ne sont pas identifiées à ce jour (nommées « Inconnues » pour la suite de l'étude).

Observations

Le protocole utilisé pour le suivi des maladies du feuillage du groupe DEPHY est le même protocole qui a été mis en place par le CTO de France Olive en 2021. La grille de notation est constituée de 4 observations par arbre où chacune prend en compte un rameau par exposition : Nord, Sud, Est et Ouest. La notation se fait sur la pousse de l'année n et celle de l'année n-1 (**Fig. 5**). L'observation commence par un premier comptage des feuilles présentes et absentes du rameau. Dans un second temps le nombre de tâches d'Œil de Paon par feuille est relevé avant de comptabiliser les feuilles atteintes de Cercosporiose. Un dernier relevé est effectué sur les feuilles d'apparence saines c'est-à-

dire ne présentant aucun symptôme des deux maladies précédemment citées. Le protocole est répété sur 2 rangées de 10 arbres d'une même variété en prenant soin d'éviter les arbres de bordure afin de maximiser l'homogénéité de la conduite des arbres sur la parcelle. Les notations sont réalisées tout au long de l'année à raison d'un suivi par saison aux mois de février, mai, août et octobre. Sur la base de ces observations les indicateurs de dégâts en pourcentage (%) sont calculés comme suit :

Défoliation : $\frac{\text{Feuilles manquantes}}{\text{Feuilles observées}}$; **Cercosporiose :** $\frac{\text{Feuilles atteintes}}{\text{Feuilles observées}}$; **Œil de Paon :** $\frac{\text{Feuilles atteintes}}{\text{Feuilles observées}}$

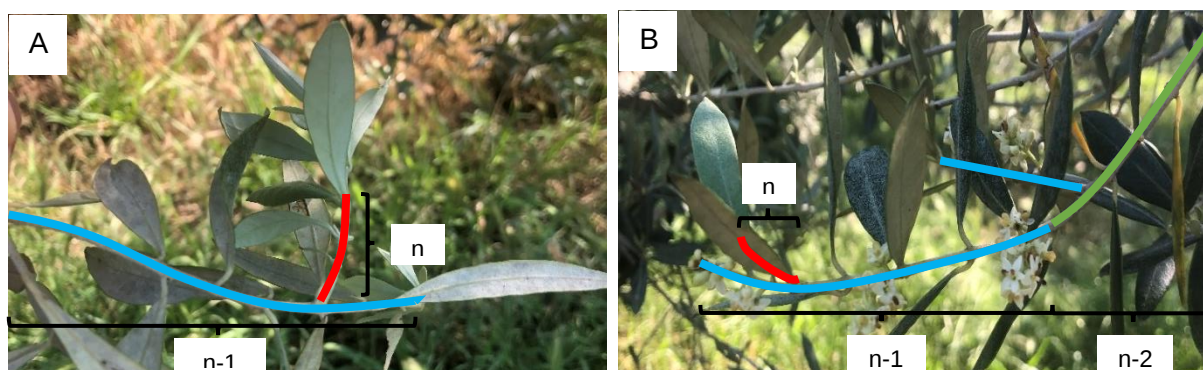


Figure 5 : Photographies de la pousse physiologique d'un rameau d'olivier à l'année n, n-1 et n-2. L'apparition des inflorescences qui en fin de saison donneront les fruits se fait sur le bois de 2 ans (B) (© LVR).

Statistiques

L'application Oléiculteur de France Olive en géolocalisant les vergers et les arbres permet d'assurer la traçabilité du suivi des maladies du feuillage au cours des années. Dans le but d'obtenir les résultats les plus pertinents possibles, l'analyse statistique a d'abord commencé par la caractérisation des différents jeux de données. Le choix d'utiliser un test de Shapiro-Wilk pour l'analyse de la normalité ne semble pas pertinent ici en raison de la très grande taille de l'échantillon ($N < 5000$). En effet, ce test est réputé comme robuste si l'on souhaite analyser un échantillon de petite taille mais il peut être imprudent de l'utiliser lorsque l'on atteint les 5000 individus car le risque de valider une hypothèse à tort augmente de façon significative. Le théorème central limite (TCL) permet d'affirmer une distribution normale des données si la somme des variables étudiées est aléatoire et indépendante. Ce n'est pas le cas ici étant donné que les observations sont liées entre elles dans le temps. Ainsi, pour chaque variable quantitative un graphique de la répartition des valeurs en fonction du nombre d'individus a été réalisé afin de vérifier la distribution normale des données. Pour compléter avec les observations graphiques, un coefficient d'asymétrie a été calculé pour chaque paramètre à l'aide du test de Fisher-Pearson donnant lieu à des asymétries positives (**Annexes, tableau 1**). Concernant l'homoscédasticité des variables, un test de Fligner-Killeen connu pour sa robustesse contre les grands écarts de normalité a été appliqué sur l'ensemble des données mettant en évidence l'hétérogénéité des variances au seuil $P < 0.0001$ excepté pour celles qui sont mentionnées spécifiquement. Les conditions particulières des jeux de données tendent à l'utilisation de tests non paramétriques pour l'étude de significativité des populations ($P < 0.05$). Cette catégorie de tests robustes mais moins puissants s'axe principalement sur des paramètres tels que la médiane, la somme des moyennes des rangs ou encore le coefficient de corrélation, contrairement aux tests paramétriques qui utilisent la moyenne ou la variance d'un échantillon pour dégager des conclusions. Un premier test de Kruskal-Wallis a conduit à la présence de

différences significatives au sein des groupes, tandis qu'un test de Wilcoxon avec une correction de Holm-Bonferroni a permis une comparaison par paire.

Analyses en composantes principales

Le choix des axes des ACP a été défini à partir du critère de Kaiser dont la valeur propre à chaque dimension doit être supérieure à 1. Cela garantit ainsi une meilleure représentativité du jeu de données d'origine dont la somme des variances est de 81,51 % pour l'ACP de février et 85,32 % pour la ACP de mai. Les variables IFT cuivre 6 mois et 14 mois nous renseignent sur les traitements effectués les 6 ou 14 derniers mois précédant la notation dont le calcul est noté ci-après. De cette manière cela nous permet de tester l'efficacité des traitements en fonction de la période d'incubation du champignon. Un test de Spearman dont l'analyse du coefficient de corrélation (Rho) a servi à la détermination des potentielles corrélations entre les variables quantitatives (**Annexes, tableau 2**). Finalement, les classifications ont été établies à partir d'une mesure (euclidienne) de la distance entre les observations permettant ainsi le regroupement des parcelles à partir d'un critère de proximité (**Fig. 8 et 9**). Toutes les analyses statistiques ont été effectuées avec le logiciel R 4.3.0.

Evolution de l'IFT chimique au travers d'un modèle ODP

Les données météorologiques ont été enregistrées jour par jour à partir d'une station météo Weenat P+ (L100325) pour les données de précipitations (mm), températures (°C) et humidité (%). Les indices (%) de risque de contamination et d'apparition de tâches d'Œil de Paon ont été calculés à partir de la dernière version des travaux de Christophe Roubal sur le modèle OPTIPAON (Roubal et al. 2015). L'indice de contamination représente le pourcentage journalier de la probabilité de contamination tandis que l'indice d'apparition de tâches correspond à l'intensité journalière d'apparition de tâches. L'IFT fongique chimique a été calculé comme suit (ministère de l'Agriculture) :

$$\text{IFT traitement} : \frac{\text{Dose appliquée}}{\text{Dose de référence}} \times \frac{\text{Surface traitée}}{\text{Surface de la parcelle}}$$

3. Résultats et Discussion

3.1 Etat des lieux de la pression fongique de l'ensemble des exploitations DEPHY

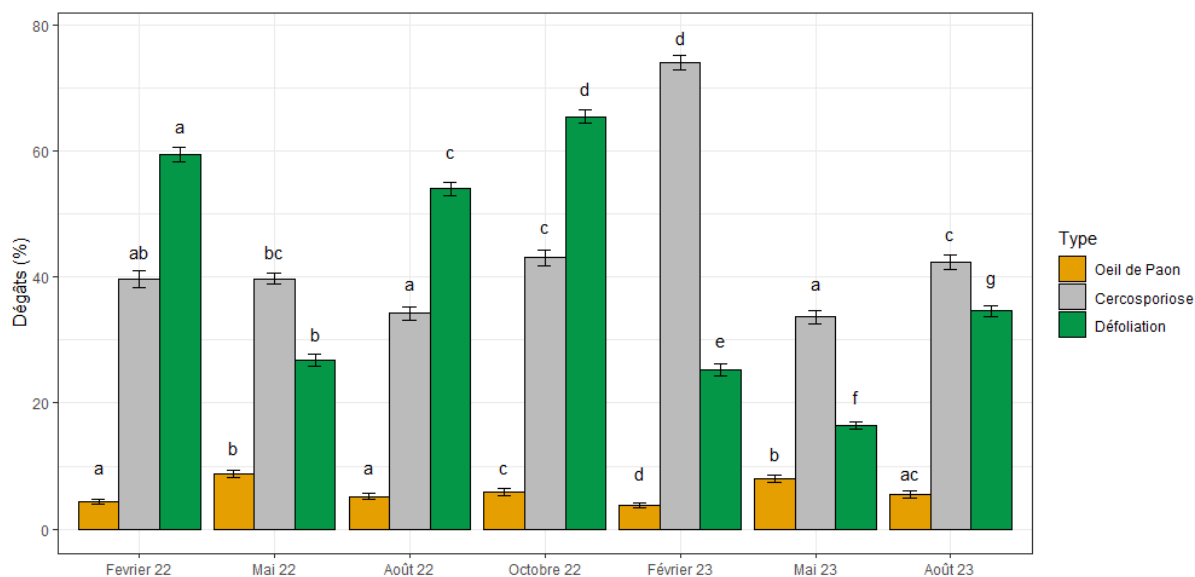


Figure 6 : Mesure de la pression fongique et de la défoliation de l'ensemble des exploitations du groupe DEPHY en fonction des mois d'observation en 2022 et 2023. La moyenne de 1280 observations par notation $\pm$ l'erreur standard est représentée. Différentes lettres indiquent des différences significatives par paire et par année à $P < 0,05$ selon le test de Wilcoxon.

D'après ces résultats, nous remarquons que l'Œil de Paon est significativement plus important aux mois de mai 2022 et 2023 ($8,73 \pm 0,42$ % et $8,07 \pm 0,59$ %) tandis que pour les autres mois la pression est plus faible et notamment pour le mois de février 2023 qui compte $3,75 \pm 0,41$ % de dégâts (**Fig. 6**). On observe également un pic de Cercosporiose en février 2023 avec $74,13 \pm 0,81$ % de dégâts alors qu'en février 2022 la pression était de $39,09 \pm 0,92$ %. Par ailleurs, on constate une pression identique des mois d'août 2022 et mai 2023 ($34,23 \pm 1,06$ % et $33,63 \pm 1,04$ %), et également entre les mois d'octobre 2022 et août 2023 ($43,02 \pm 1,19$ % et $42,36 \pm 1,18$ %). La défoliation des vergers est significativement différente entre les mois de notation. Nous pouvons cependant remarquer une grosse défoliation aux mois de février, août et octobre 2022 ($59,48 \pm 0,86$ %, $55,42 \pm 0,81$ % et $65,44 \pm 0,7$ %) tandis qu'en mai 2022, février, mai et août 2023 les dégâts sont plus modérés ($26,81 \pm 0,90$ %, $25,31 \pm 0,69$ %, $16,82 \pm 0,41$ % et $34,59 \pm 0,92$ %). Pour finir, la chute des feuilles est statistiquement plus importante en 2022 qu'à l'année 2023.

L'incidence des maladies semble particulièrement liée à la saisonnalité des années bien qu'il soit possible d'identifier une certaine tendance pour l'Œil de Paon et la défoliation. Au contraire, la Cercosporiose reste pour l'instant imprédictible sans doute à cause de sa grande période d'incubation qui rend difficile sa caractérisation à court terme. La baisse significative de la défoliation observée en mai 2022 pourrait concorder avec la sortie du stade végétatif de l'arbre et la croissance des jeunes rameaux de printemps (Poli 1979). Etant donné que la notation est faite sur la totalité du rameau de deux ans, le problème soulevé par ces résultats est le haut taux de défoliation de 65 % en octobre 2022, laissant très peu de jeunes feuilles en place pour la mise en réserve des nutriments pendant l'hiver. Cette forte défoliation serait la conséquence des sporulations d'Œil de Paon du printemps dernier et où la contamination était la plus élevée. En effet, il a été observé que les épisodes d'infection et de

sporulation du pathogène se produisent au printemps et à l'automne tandis que les périodes d'incubation pouvant aller jusqu'à 6 mois ont lieu pendant l'été et à l'hiver (Viruega et al. 2013 ; Viruega et al. 2011 ; Graniti 1993). S'agissant de la contamination de *P. cladosporioides*, des taux de dégâts importants sont trouvés pendant les saisons d'automne et d'hiver, ce qui semble être en accord avec la littérature pour des conditions méditerranéennes (Del Moral et medina, 1985 ; Trapero et al. 2011). Cependant le mois de février 2023 est particulièrement inédit au vu de la forte présence de la Cercosporiose dans les vergers provoquant ainsi une précocité dans l'apparition des symptômes les mois suivants. D'après ces premiers constats il semble intéressant d'étudier l'intensité de la Cercosporiose afin de mieux pouvoir caractériser la présence de ce pathogène.

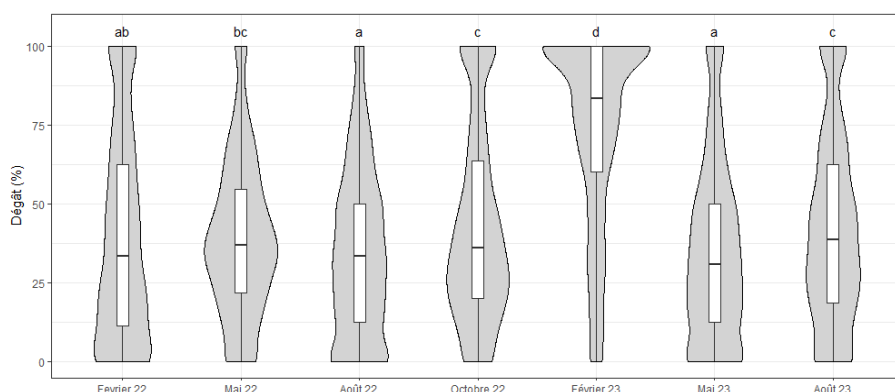


Figure 7 : Diagramme en violon de la répartition des dégâts de Cercosporiose pour les différentes notations des années 2022 et 2023. Au total 9120 observations ont servi à l'analyse. Différentes lettres indiquent des différences significatives à $P < 0,05$ selon le test de Wilcoxon.

Ces résultats indiquent des profils de dégâts pour la Cercosporiose complètement différents au cours du temps. Selon le mois, nous observons vraisemblablement une dispersion des dégâts au sein des vergers soit en février 2022, août 2022, mai 2023 et août 2023. A l'inverse, les profils de mai 2022, octobre 2022 et février 2023 tendent vers une homogénéisation des valeurs à 37,5 %, 25 % et 100% séparément. Finalement, il vient s'ajouter à ces observations une pression constante de 12,5 à 50 % de dégâts pour chaque mois de notation (Fig. 7).

P. cladosporioides est largement présent dans les vergers et ce depuis plusieurs années si on tient compte de la période de latence durant laquelle le champignon se développe. Selon le climat espagnol la première épidémie arrive en octobre sur les jeunes feuilles puis, l'année suivante les symptômes apparaissent sur les feuilles plus âgées. A la suite de ces symptômes une deuxième vague s'installe au printemps de la deuxième année et la chute des premières feuilles contaminées commence à l'été (Romero 2017). Ainsi, les premiers symptômes de la maladie peuvent être visibles 11 mois après inoculation tandis que des défoliations sévères sont observées après 18 mois de contamination (Ávila et al. 2019). Cette stratégie permet au champignon une meilleure adaptation à son environnement en sporulant uniquement lorsque les conditions d'humidité, de température et de pluie sont propices. La pression constante du pathogène dans les vergers affaiblit les arbres qui épuisent leurs ressources déjà faibles à cause des conditions climatiques défavorables de ces dernières années, ce qui les rend de moins en moins résilients. Comme vu précédemment, la similitude des profils d'août et octobre 2022 avec ceux de mai et août 2023 appuie l'hypothèse d'une contamination plus précoce pour l'année 2023 sûrement due aux conditions climatiques de l'automne/hiver 2021. La récolte ayant été fortement impactée, une calamité sécheresse a été exceptionnellement déclarée en 2022, mais ce phénomène

climatique a aussi impacté le renouvellement des jeunes feuilles saines. En conséquence la majorité des feuilles présentes en février 2023 seraient en réalité les pousses de deux ans atteintes de Cercosporiose. De ce fait la défoliation d'août et d'octobre 2023 pourrait avoir de lourdes conséquences sur la tenue des arbres et la récolte des fruits à l'automne 2024. Mais pour cela il semble important d'étudier les différentes relations entre ces pathogènes, la défoliation et les applications de cuivre. Ainsi, l'ACP permet le regroupement des vergers sous forme de cluster aux mois de l'année où les pressions fongiques sont les plus fortes, soit en mai pour l'Œil de Paon et en février pour la Cercosporiose. Ces regroupements de vergers rendent possible la mise en place de diagnostics parcellaires plus poussés.

3.2 Etude des relations entre les taux de maladies, la défoliation et les traitements

3.2.1 La Cercosporiose

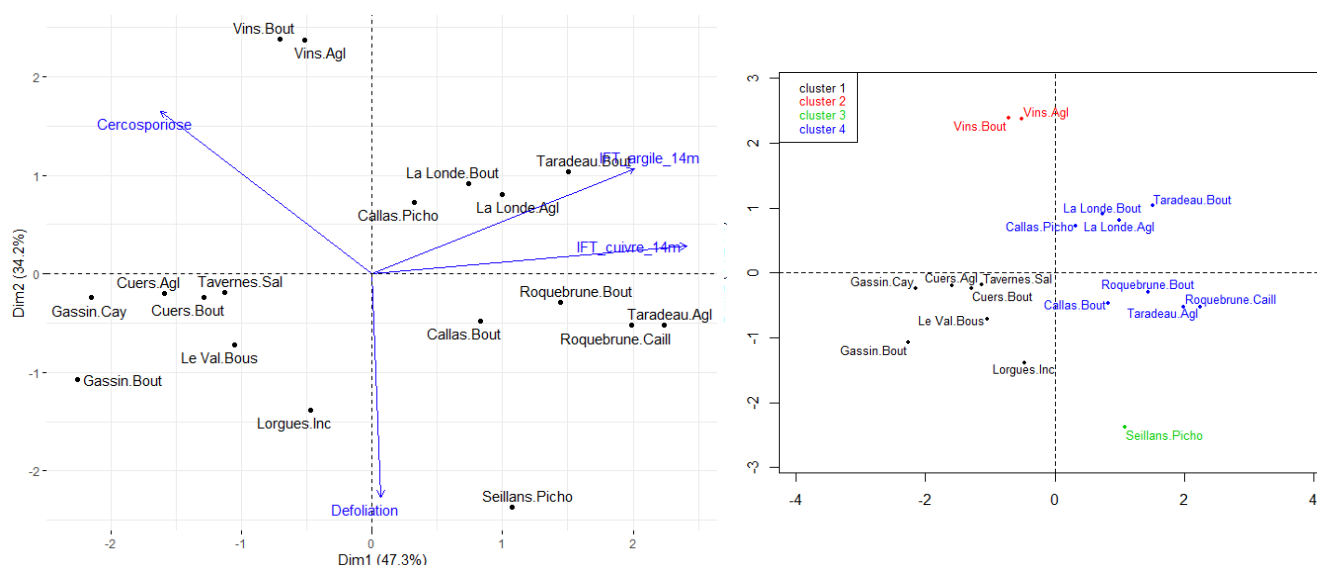


Figure 8 : Caractérisation des parcelles du groupe DEPHY pour la Cercosporiose en février 2022 et 2023. Analyse en composantes principales des variables actives Cercosporiose, Défoliation, IFT cuivre 14 mois et IFT argile 14 mois en bleu pour les mois de février 2022 et 2023 avec la répartition des différentes parcelles du groupe DEPHY en noir **(A)**. L'analyse par classification ascendante hiérarchique des 18 parcelles regroupées en 4 classes (noir, rouge, vert et bleu) en fonction des variables actives **(B)**. Au total 2640 observations.

L'analyse en composantes principales des variables quantitatives Cercosporiose, Défoliation et IFT cuivre 14 mois nous font émettre l'hypothèse qu'il existe bien des relations entre ces variables aux mois de février 2022 et 2023 (**Fig. 8A**). Après détermination des coefficients de corrélation, les variables présentent des corrélations négatives entre elles à l'exception de la variable Défoliation et l'IFT cuivre 14 mois qui sont dissociées ($Rho = 0$). Cependant, ces relations semblent fortuites étant donné qu'aucune significativité n'a pu être déterminée (**Annexes, tableau 2**). La variable IFT argile 14 mois est ici à titre indicatif et ne présente aucune affinité avec les autres modalités, mais elle est cependant nécessaire à la classification des vergers pour vérifier son impact potentiel sur la gestion des maladies du feuillage.

La classification ascendante hiérarchique des 18 parcelles nous permet d'observer la formation de 4 classes distinctes au sein du groupe DEPHY. Le premier cluster en noir regroupe les parcelles qui présentent de la Cercosporiose, de la défoliation et qui ont un IFT cuivre faible. Le deuxième cluster en rouge, indique les parcelles avec le plus de Cercosporiose, pas de défoliation et qui sont faiblement

traitées (IFT cuivre moyens). La troisième classe en bleu caractérise les parcelles qui ont peu ou pas de dégâts et de défoliation mais qui appliquent plus de traitements (IFT cuivre plus élevés). Enfin, la dernière classe en vert est la parcelle où il n'y a pas de dégâts mais une forte défoliation et peu de traitements (**Fig. 8B**). Pour ce qui est des groupes rouge (Vins-sur-Caramy) et vert (Seillans), une seule notation a été faite pour chaque verger là où les autres vergers possèdent 2 notations, ce qui rend leur analyse délicate pour l'instant.

D'un point de vue statistique, les résultats sont étonnants. L'efficacité du cuivre contre l'agent responsable de la Cercosporiose ainsi que la défoliation due à la présence de la maladie ont déjà été confirmées dans la littérature (Nigro et al. 2002 ; Romero 2017 ; Ávila et al. 2019 ; Roca et al. 2007). Les résultats montrent bien un effet de l'IFT 14 mois sur le pathogène mais remet en question l'efficacité du traitement à la période d'application considérée. Pour l'Œil de Paon, de nombreux producteurs connaissent les enjeux économiques et techniques liés aux ravages du pathogène responsable de la maladie et organisent leurs traitements cupriques en fonction de son cycle biologique. Cependant, bien que *P. cladosporioides* possède des facteurs de contagion similaires à *V. oleaginea* leurs périodes de contamination diffèrent entre elles. En effet un passage au cuivre au mois de février et fin août, généralement recommandé contre l'Œil de Paon, ne semble pas suffisant pour lutter efficacement contre la Cercosporiose (Nigro et al. 2002). Sous l'appui des travaux de Bourbos et Skoudridakis (1993) qui ont démontré une phytotoxicité négligeable du cuivre sur la chute des feuilles non infectées, l'indépendance des variables Défoliation et IFT cuivre 14 mois pourrait se justifier en ce sens. Enfin, il reste difficile d'identifier une réelle corrélation entre la Cercosporiose et la chute prématurée des feuilles à l'heure actuelle. On remarque toutefois que la défoliation permet de limiter l'inoculum présent sur l'arbre et que cette chute prématurée des feuilles contaminées est susceptible d'être causée par le cycle plus rapide de l'Œil de Paon.

La classification ascendante hiérarchique des vergers nous permet d'identifier les potentielles causes de contamination par la Cercosporiose et d'apparition de défoliation en croisant leur itinéraire technique. Ainsi, il a été constaté que les parcelles avec le plus de contamination (groupe noir) sont principalement des vergers non irrigués contrairement aux parcelles du groupe bleu qui présentent peu de Cercosporiose et de défoliation et qui sont irriguées. De la même manière les vergers irrigués mettent en place des traitements alors que ceux qui ont le plus de pression fongique n'en font peu (IFT faibles). Aucune divergence notable n'a été observée entre la fréquence de taille et de tonte. Toutefois, il est à préciser que ce n'est qu'un premier pas dans l'établissement des profils de conduite des vergers et qu'il est nécessaire d'acquérir plus de répétitions au fil des années afin de vérifier si ces tendances se confirment. Ces résultats sont aussi à nuancer avec l'âge de la parcelle, sa situation vis-à-vis des conditions météorologiques et la qualité des pratiques qui peuvent être des facteurs décisifs.

3.2.2 L'Œil de Paon

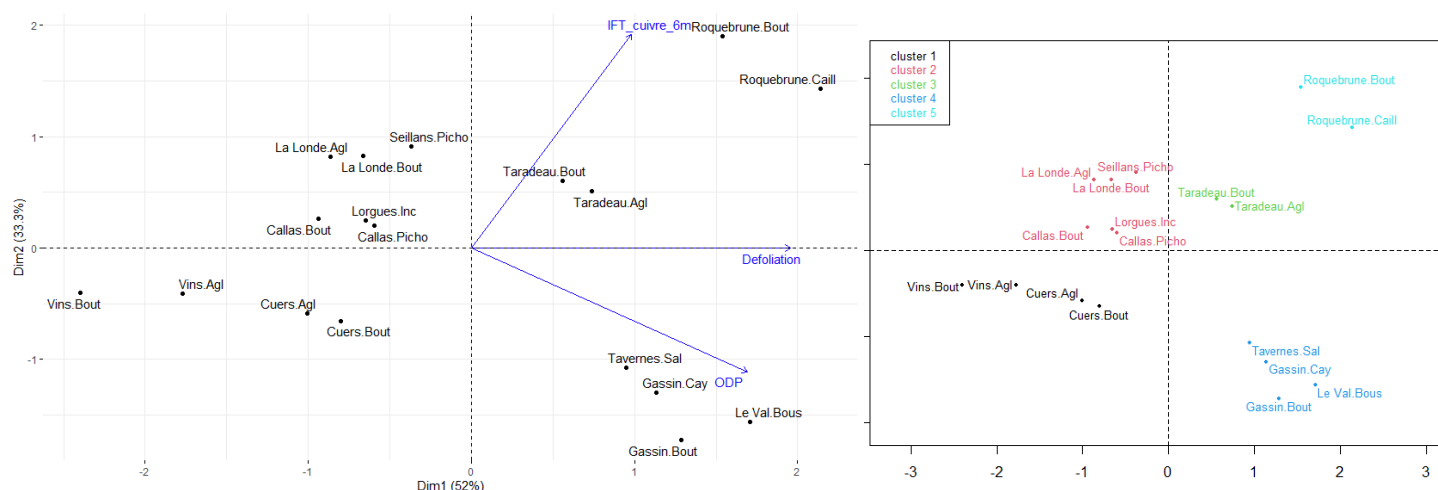


Figure 9 : Caractérisation des parcelles du groupe DEPHY pour l'Œil de Paon en mai 2022 et 2023. Analyse en composantes principales des variables actives Œil de Paon, Défoliation et IFT cuivre 6 mois en bleu pour les mois de mai 2022 et 2023 avec la répartition des différentes parcelles du groupe DEPHY en noir (A). L'analyse par classification ascendante hiérarchique des 18 parcelles regroupées en 4 classes (noir, rouge, vert et bleu) en fonction des variables actives (B). Au total 2640 observations.

Les résultats de l'analyse en composantes principales pour l'Œil de Paon aux mois de mai 2022 et 2023 montrent que les variables IFT cuivre 6 mois et Œil de Paon sont indépendantes, ce que confirme la statistique de corrélation nulle pour ces variables (**Fig. 9A ; Annexes, tableau 2**). Concernant les variables Défoliation et IFT cuivre 6 mois, on remarque une légère interdépendance ($Rho = 0.116$) mais comme avec chacune des variables préalablement décrites, aucune significativité entre les deux n'ont pu être relevée. Finalement, les variables réellement significatives ($P < 0.001$) et qui présentent une corrélation positive ($Rho = 0.553$) sont l'Œil de Paon et la Défoliation (**Annexes, tableau 2**).

La CAH permet d'identifier 5 clusters en fonction de la présence d'Œil de Paon dans les parcelles. Le premier cluster en bleu possède une forte présence d'Œil de Paon, de la défoliation et une absence de traitement. Les groupes de couleurs cyan, vert et noir sont les parcelles qui présentent un taux modéré d'Œil de Paon et où, selon elles se situent sur le plan factoriel, le taux de défoliation et l'application de traitements fluctuent. Le dernier cluster en rouge regroupe toutes les parcelles où il n'y a pas de dégâts et de défoliation et dont l'apport de cuivre est plus ou moins régulier (**Fig. 9B**).

La maladie de l'Œil de Paon est très bien connue du monde oléicole, elle a notamment été étudiée en Espagne, Italie, Nouvelle-Zélande ou en France (Graniti 1993 ; Viruega et Trapero 1997 ; Obanor, 2006 ; Macdonald et al. 2000 ; Roubal et al. 2015). Tous s'accordent à dire qu'une défoliation des arbres s'opère à la suite d'une contamination par l'agent *V. oleaginea* et qui semble être proportionnelle aux conditions météorologiques du territoire. De plus, ces études démontrent également une sensibilité du pathogène aux composés cupriques avec une mention spéciale pour le sulfate de cuivre qui apparait comme le plus efficace (Obanor 2006). En effet, un verger non traité comporte 31,3 % d'Œil de Paon là où un verger traité en contient seulement 1,2 % (Graniti 1993). Les résultats obtenus

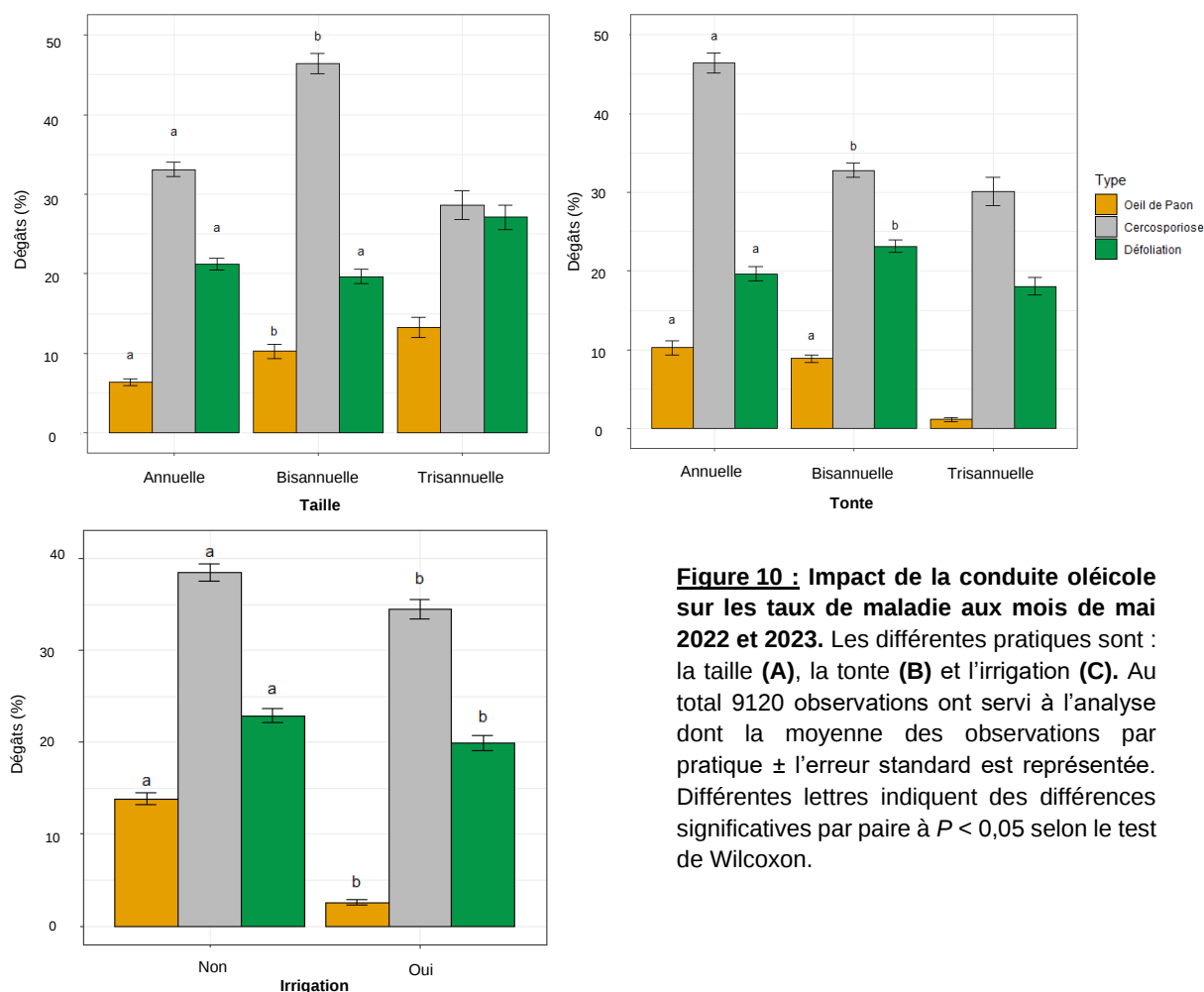
permettent là aussi de recentrer l'intérêt du cuivre dans la gestion des maladies du feuillage et notamment en réévaluant peut-être les doses du cuivre, la fréquence des passages ou encore la période d'application. Ces résultats permettent également de rendre compte des limites de l'IFT pour l'étude de l'efficacité des traitements et il serait peut-être plus intéressant d'étudier les quantités de cuivre métal appliquées à la parcelle pour vérifier les hypothèses. Quoi qu'il en soit, le cycle de contamination et de germination très court du pathogène rend l'application de traitements préventifs complexe pour obtenir un résultat satisfaisant et nécessite l'aide d'un outil prévisionnel.

La classification par groupe permet la mise en avant des pratiques qui pourraient avoir un impact significatif sur la pression d'Œil de Paon. Les parcelles qui présentent le moins de dégâts sont pour la majorité des vergers irrigués pratiquant une taille annuelle et une tonte bisannuelle. Au contraire, les parcelles avec le plus de dégâts sont celles où il n'y a pas d'irrigation mais des pratiques de taille et de tonte différentes. Comme vu précédemment, il existe aussi un effet traitement à prendre en compte en plus de l'efficacité des pratiques dans la gestion de la pression fongique. Les modalités taille et tonte devront être affinées pour être prises en compte dans l'étude. Le reste des groupes où la maladie est peu présente est très hétérogène dans la conduite et ne permettent pas d'aboutir à une tendance. En somme, des analyses factorielles de données mixtes (AFDM) dont la résultante permet une répartition des parcelles en fonction des variables quantitatives et qualitatives qui les composent (modalités décrites ci-dessus) n'ont pas été ajoutées à l'étude en raison de critères qui ne respectaient pas les conditions décrites antérieurement (**matériels et méthodes, analyse en composantes principales**). Finalement, pour étayer les hypothèses on s'intéresse à présent aux détails des pratiques culturales ; taille, tonte et irrigation.

3.3 Influence de la conduite des vergers sur la pression fongique

3.3.1 Les pratiques culturales : taille, tonte et irrigation

Au mois de mai, l'influence des pratiques culturales semble avoir un effet sur les maladies du feuillage dans les vergers, alors que seule la modalité « irrigation » semble influencer sur le taux de maladie d'Œil de Paon avec $5,83 \pm 0,52$ % pour la condition non irriguée et $2,15 \pm 0,27$ % en février. Pour la modalité « taille », une taille annuelle permet un taux moyen de $6,34 \pm 0,43$ % pour d'Œil de Paon et un taux de $33,1 \pm 0,92$ % pour la Cercosporiose, contrairement à une taille tous les deux ans dont les moyennes sont, respectivement de $10,26 \pm 0,91$ % et $46,44 \pm 1,28$ % (**Fig. 10A**). Concernant la modalité « tonte » avec une pratique bisannuelle, des seuils significativement différents ont été déterminés pour la Cercosporiose et la défoliation dont les valeurs moyennes sont de $32,79 \pm 0,92$ % et $23,14 \pm 0,77$ % contrairement à $46,44 \pm 1,28$ % et $19,61 \pm 0,89$ % pour une pratique annuelle (**Fig. 10B**). En définitive, la présence d'irrigation semble faire diminuer les taux de maladie puisque sur les vergers non irrigués l'Œil de Paon est de $13,85 \pm 0,68$ %, la Cercosporiose à $38,51 \pm 0,96$ % et la défoliation de $22,92 \pm 0,76$ % par opposition à $2,55 \pm 0,28$ %, $34,64 \pm 1,06$ % et $19,94 \pm 0,78$ % pour les vergers irrigués (**Fig. 10C**).



Ainsi, l'impact de la conduite culturale sur les maladies n'est que peu marqué en février contrairement au mois de mai. La présence d'irrigation dans les vergers semble être indirectement l'un des facteurs limitants de l'incidence des pathogènes dont les dégâts sont nettement plus faibles pour les vergers irrigués. Les besoins en eau d'un olivier sont principalement à l'automne pour permettre la mise en réserve des ressources utiles pendant l'hiver et au printemps lors de la reprise de la croissance (L'olivier, CITFL 1999). Les arbres irrigués possèdent donc une plus grande vigueur ce qui leur permet un renouvellement des branches plus rapide, des rameaux plus longs (éloignement des entre-nœuds) en limitant les foyers infectieux ce qui les rend plus résilients aux attaques des pathogènes. En février, lors du repos végétatif, les arbres ne poussent pas encore. Il n'y a donc pas encore de réponse physiologique face à ces différentes pratiques. En revanche en mai, la taille annuelle semble bien plus efficace qu'une taille bisannuelle. En effet, un entretien régulier des arbres facilite leur ventilation et réduit l'humidité sous la canopée zone où l'infection à l'Œil de Paon est la plus fréquente (Obanor 2006). La taille permet également une diminution de la pression fongique en retirant le surplus d'inoculum (L'olivier, CITFL 1999). De manière similaire, la présence d'un couvert végétal dans un verger favorise l'humidité du sol (Piñar Fuentes et al. 2021). C'est pourquoi tondre régulièrement sa parcelle permet de limiter l'humidité sous la canopée où les conditions sont susceptibles de déclencher une sporulation. Les pratiques trisannuelles qui n'ont pas été évaluées (non utilisées pour l'analyse statistique en raison

d'un trop faible nombre d'échantillons rendant la pratique non représentative par rapport aux autres conditions annuelles et bisannuelles), offrent néanmoins un aperçu potentiel de leur efficacité et apportent une réflexion dans le cas où les pratiques du groupe DEPHY seraient amenées à changer. La persistance d'une maladie dans une oliveraie peut aussi être liée à l'affinité qu'elle possède avec son hôte et, par extension, à sa variété. En effet, sept variétés différentes sont cultivées dans les vergers du groupe DEPHY, ce qui peut avoir une incidence sur la fréquence et l'intensité des maladies du feuillage.

3.3.2 La sensibilité variétale

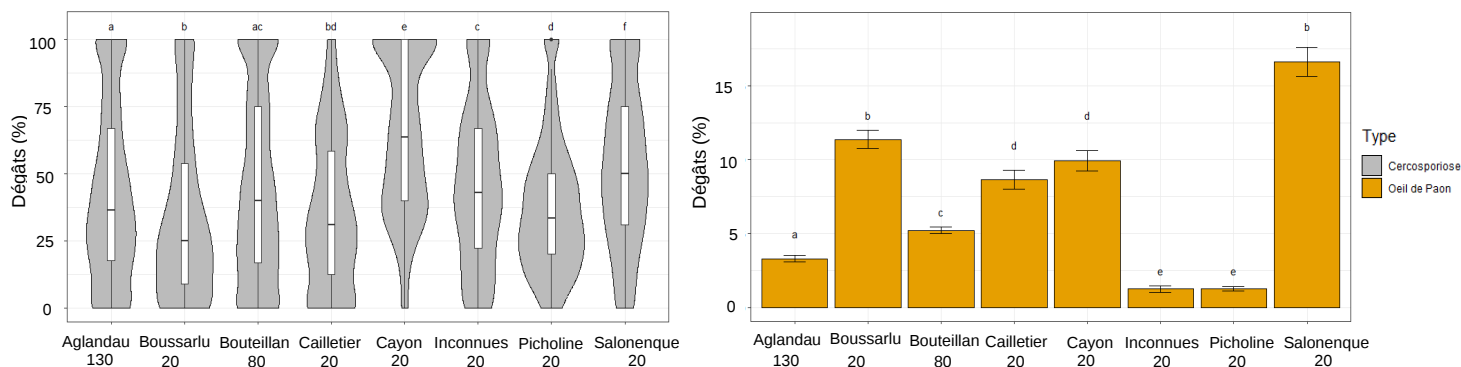


Figure 11 : Effet variétal sur la pression fongique. Représentation en diagramme violon des dégâts de la Cercosporiose (A). Représentation en histogramme des dégâts de la maladie de l'Œil de Paon (B) dont la moyenne des observations par variété $\pm$ l'erreur standard est représentée. Au total 9120 observations ont servi à l'analyse. Le nombre d'arbres observés par variété est indiqué. Différentes lettres indiquent des différences significatives par paire à $P < 0,05$ selon le test de Wilcoxon.

Tout d'abord, nous remarquons deux classes de profils suivant l'analyse statistique et l'étude graphique. Une première classe avec Aglandau, Boussarlu, Bouteillan, Cailletier, Inconnues et Picholine dont la densité des données est maximale en-dessous de 50 % de dégâts de Cercosporiose, et une seconde classe avec les variétés Cayon et Salonenque où la répartition des valeurs est supérieure ou égale à 50 %. La médiane est de 63,64 % pour Cayon et 50 % pour Salonenque. En revanche, la distribution particulière des dégâts de Cercosporiose autour de la variété Picholine semble relativement homogène de 12,5 à 50 % (Fig. 11A). Par la suite, des moyennes maximales de $11,37 \pm 0,58$ % pour Boussarlu et $16,61 \pm 0,99$ % pour Salonenque sont considérées significativement différentes du reste des variétés pour les dégâts à la maladie de l'Œil de Paon. Etant donné qu'il s'agit des seules variétés qui possèdent une valeur de médiane supérieure à zéro (8,33 % et 9,09 % respectivement), la distribution des données des autres variétés est inexploitable (Fig. 11B).

L'étude de la sensibilité variétale des exploitations du groupe DEPHY face aux maladies fongiques donne de manière générale des résultats en accord avec ce que l'on retrouve dans la littérature. En France d'après les observations de terrain, les variétés telles que Picholine, Bouteillan, Cayon et Aglandau sont effectivement connues pour être sensibles à la Cercosporiose (Le Nouvel Olivier n° 115). Dans notre cas, tous ces cultivars possèdent une homogénéité des dégâts au seuil maximal, excepté pour Picholine qui reste cependant sensible en raison de la répartition des dégâts de la Cercosporiose. A l'inverse, cette variété est résistante à l'Œil de Paon et notamment la « Picholine marocaine » qui grâce à son activité enzymatique stimule la biosynthèse de composés phénoliques

(oleuropéine, rutine et tyrosol notamment) nécessaires à l'établissement d'une résistance constitutive (Aabidine et al. 2010). La variété Salonenque est particulièrement sensible aux maladies cryptogamiques et pourrait être à éviter dans certaines conditions (L'olivier, CITFL 1999). Cependant pour remettre en contexte, ces observations ont été réalisées sur une majorité d'Aglandau et de Bouteillan ce qui peut affecter la représentativité des résultats. Au même titre qu'un traitement préventif mal positionné, l'adaptation de la variété aux conditions pédoclimatiques pourrait donc jouer un rôle dans l'activité fongique du verger. C'est pourquoi nous nous intéressons à présent aux données connues d'une des parcelles suivies du groupe DEPHY.

3.4 Analyse rétrospective de la contamination de *V. oleaginea* sur une des parcelles du groupe DEPHY

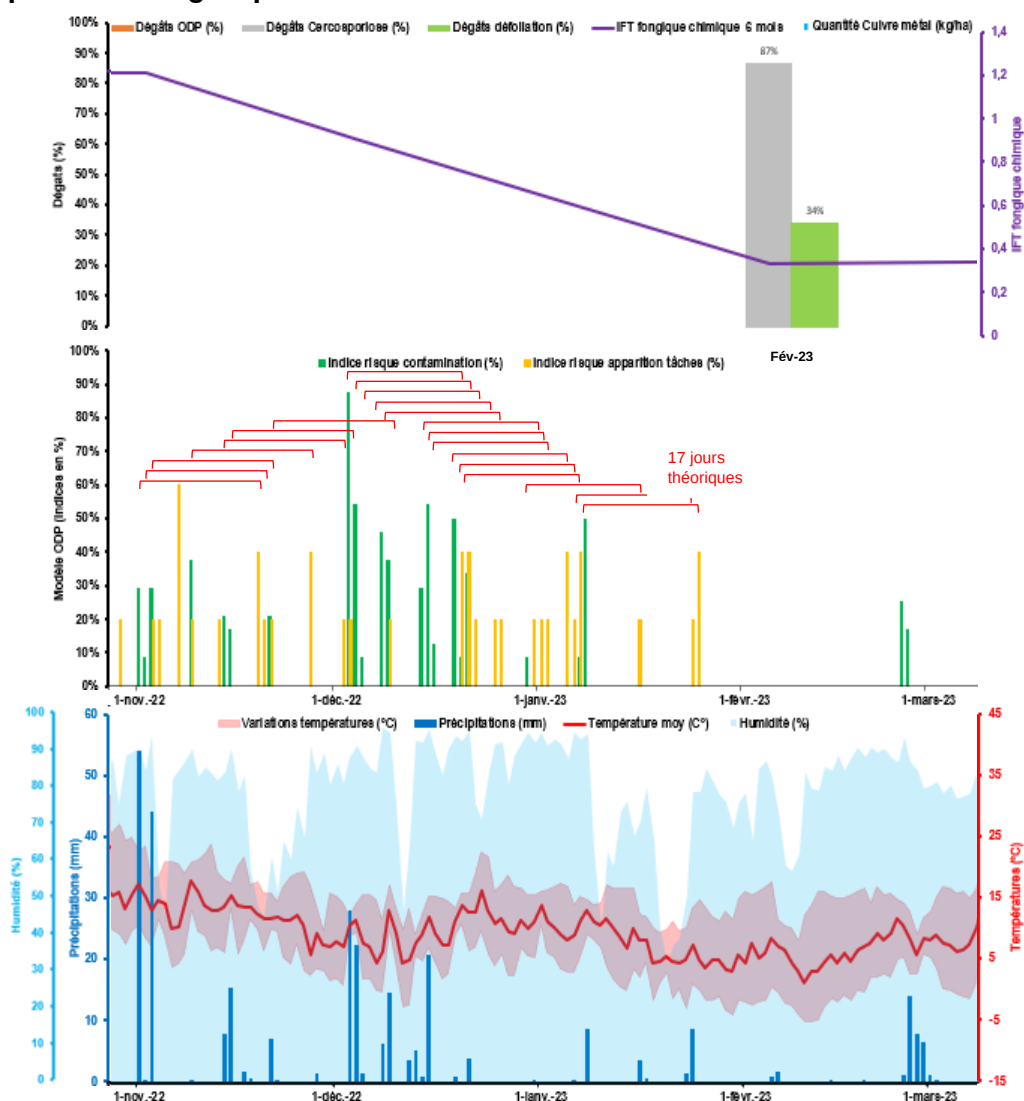


Figure 12 : Graphique de l'évolution de *V. oleaginea* sur une parcelle du groupe DEPHY en fonction des données climatiques, focus de novembre 2022 à mars 2023. Nous retrouvons les indicateurs de dégâts (%) de l'Œil de Paon (histogramme orange), de la Cercosporiose (histogramme gris) et de la Défoliation (histogramme vert clair) ainsi que l'IFT fongique chimique (courbe violette) (A) ; Les indices journaliers (%) de risque de contamination (histogramme vert) et d'apparition de tâches (histogramme jaune) issues du modèle ODP et la période d'incubation de 17 jours (crochet rouge) (B) ; Les précipitations en mm (histogramme bleu), la température moyenne et ses variations en °C (courbe et aire en rouge) ainsi que l'humidité en % (aire bleue claire) du verger (C). La totalité du graphique est présent dans les annexes (Annexes, figure 13).

D'après la chronologie pour le mois de novembre 2022, on observe 7 périodes présentant un risque de contamination à l'Œil de Paon allant 8 à 38 %. Les températures moyennes pour les jours concernés vont de 11,6 à 17,9°C, les précipitations de 0,2 à 54 mm et l'humidité de 63,6 à 97,2 %. Les deux jours où les précipitations sont de 0,2 mm les contaminations théoriques à l'Œil de Paon sont de 8 et 38 %. En décembre nous retrouvons 14 risques de contamination de 8 à 88 % avec des températures moyennes de 7,7 à 13,8°C, des précipitations de 0 à 28 mm et des conditions d'humidité de 91,3 à 99,2 %. Par ailleurs, les 16, 20, 30 décembre et 7 janvier il y a une présence de risque de contamination (≤ 15 %) sans précipitations (0 mm) avec une humidité relative supérieure à 95 % et des températures moyennes comprises entre 9,2 et 13,8°C. Pour les jours où le risque de contamination est supérieur à 50 % les épisodes de pluie sont de 22,4 et 20,6 mm, l'humidité de 94,3 et 99,2 % et la température moyenne de 11,5 et 12,1°C. Nous retrouvons également 50 % de risque de contamination pour le 19 décembre et 8 janvier avec des précipitations de 0,6 et 8,4 mm, une humidité de 97,3 et 97,7 % et avec une température moyenne de 11,2 et 13,2°C respectivement. De plus, on constate que l'indice risque d'apparition de tâches à la suite d'un épisode contaminant intervient 17 jours après la première infection (durée théorique utilisé par le modèle), ce qui revient à une période d'incubation optimale théorique. Enfin, le dernier traitement cuprique a été réalisé en août 2022 (non présent sur la figure) et c'est pourquoi on observe une diminution linéaire de l'IFT fongique chimique cumulé dans la parcelle.

La représentation chronologique de ces événements météorologiques, épidémiologiques et culturels est une première pour la Chambre d'Agriculture du Var. Basée sur un modèle en cours de développement par France Olive, elle permet un travail d'analyse en profondeur des différentes périodes critiques où la maladie de l'Œil de Paon est susceptible de faire des contaminations. Il apparaît que la contamination et donc la dissémination des spores est liée proportionnellement aux épisodes pluvieux mais également aux taux élevés d'humidité et aux températures douces. De nombreux articles décrivent un comportement favorable de *V. oleaginea* à de tels facteurs (Graniti 1993 ; Obanor 2006 ; Obanor et al. 2008 ; Viruega et al. 2011 ; Viruega et al. 2013 ; Roubal et al. 2015). L'étude d'Obanor et son équipe (2008) met également en lumière qu'aucune germination n'est possible sans la présence d'eau, même avec des conditions optimales. Dans notre situation certains épisodes contaminants sont décrits sans précipitations. Ils interviennent entre 3 et 6 heures du matin, moment où la rosée se forme lorsque l'humidité de l'air en excès se dépose sur les feuilles. Ces phénomènes de condensation de l'air ont ou à priori autant d'importance qu'une petite pluie inférieure à 1 mm qui est susceptible d'engendrer un risque de contamination de 50 %. Ainsi l'hypothèse du risque d'infection des feuilles par le pathogène n'est pas systématiquement liée à la précipitation en elle-même mais plutôt au nombre d'épisodes pluvieux journaliers qui peuvent être plus dévastateurs qu'une seule et unique pluie de 50 mm. L'application de cuivre permet de réduire l'incidence d'Œil de Paon de 63 à 93 % à partir du moment où il n'est pas lessivé par la pluie (Obanor et al. 2008). Dans cette configuration où les précipitations se succèdent, les températures sont douces et où il est impossible de traiter à cause de la récolte (délais avant récolte pour éviter des résidus PPP), il semble difficile d'effectuer une protection à cette période avec des produits cupriques comme avec les solutions de biocontrôle récemment homologuées (souffre). D'autres approches existent comme l'utilisation de souches bactériennes mycophages mais leur coût ou efficacité sont moins attractifs et ces techniques sont peu pratiquées.

dans la filière. Dans notre cas le dernier traitement préventif d'août 2022 n'est pas suffisant pour couvrir les contaminations théoriques d'automne. Or les indices de contamination et d'apparition de tâches théoriques calculés sur la base du modèle prédictif Œil de Paon ne correspondent pas précisément à ce qui est observé sur le terrain. La notation de février 2023 n'a révélé aucune sortie de tâches importante malgré des mois de novembre et de décembre propices. Une raison pourrait être la faible présence du pathogène sur le verger couplée à un retard d'expression des symptômes dû aux conditions climatiques hivernales, car des dégâts sont légèrement visibles en mai 2023 (1 % de dégâts). Il est dit que lorsque les conditions climatiques sont réunies, des tâches de sporulation peuvent apparaître deux semaines après l'infection (Graniti 1993). Il pourrait être alors pertinent d'effectuer un test soude sur un échantillon de feuilles afin de révéler les tâches d'Œil de Paon latentes pour conclure sur le taux d'infection à cette période de l'année. En outre, l'attention est portée par les 7 épisodes contaminants de novembre qui ont plus de risque de provoquer des dégâts que les 14 épisodes de décembre en raison des conditions climatiques plus favorables au développement du champignon. Finalement, avec les conditions d'infection plus étendues de *P. cladosporioides* il semble nécessaire de pouvoir établir un modèle Cercosporiose qui servira d'outil supplémentaire à l'analyse de la pression fongique sur les vergers du groupe DEPHY.

4. Conclusion

Pour conclure, cette deuxième étude sur les maladies du feuillage de l'olivier dans le groupe DEPHY approfondit la connaissance du comportement de ces deux pathogènes d'importance. Ainsi, les observations de la pression fongique des années 2022 et 2023 révèlent une tendance dans l'expression de *V. oleaginea* par rapport à la saisonnalité, et notamment au mois de mai où les symptômes sont les plus visibles. De la même manière, la défoliation des arbres est similaire entre les années avec une diminution des dégâts en 2023. Malgré une présence constante de *P. cladosporioides* dans les vergers, sa longue période d'incubation et le manque de suivi dans le temps nous empêche pour l'instant d'établir une tendance représentative du comportement de la Cercosporiose. La présence d'une corrélation positive entre les variables Œil de Paon et Défoliation peut expliquer que les feuilles tombent principalement à cause de *V. oleaginea* dont la période d'incubation est plus courte que *P. cladosporioides*. Pour s'en assurer, le protocole d'observation devra évoluer pour prendre en compte ces distinctions. Les résultats non concluants des variables IFT fongique chimique cumulé 6 et 14 mois questionnent l'efficacité des périodes de traitement qui doivent être adaptées en fonction de sa cible mais aussi la pertinence de l'indicateur lui-même. L'établissement de groupes de vergers a permis de mettre en évidence des pratiques culturales dont l'irrigation, une taille annuelle et une tonte bisannuelle qui permettraient une meilleure gestion des maladies du feuillage. Par ailleurs, le choix de la variété pourrait également avoir un effet sur la persistance de ces maladies et constituerait l'un des premiers leviers de régulation de la pression fongique. Enfin, l'analyse rétrospective sur une des parcelles du groupe DEPHY sert de première approche dans la compréhension de la contamination de *V. oleaginea* face à différents facteurs environnementaux, climatiques et techniques, et présente un grand intérêt pour l'adaptation des pratiques au changement climatique en cours.

Pour aller plus loin, il est à rappeler que cette étude qui se base sur des vergers de producteurs permet seulement de tirer les ficelles du lot sans pour autant apporter des réponses avérées. Afin d'interpréter de manière plus rigoureuse ces résultats, il semble primordial de poursuivre le suivi dans le temps et d'y inclure des sujets témoins pour appuyer les conclusions. Pour finir, il serait intéressant de prendre en compte d'autres facteurs comme la densité de plantation et le type de sol afin de mieux caractériser ces pathogènes, ou encore l'indice photosynthétique des arbres et la quantité d'olives récoltées pour réellement observer l'impact des dégâts de ces maladies sur la biologie des arbres et la rentabilité des exploitations.

Résumé

Cette deuxième étude réalisée en lien avec le projet Ecophyto II+ s'inscrit dans une démarche d'approfondissement des connaissances de deux champignons cryptogamiques de l'olivier : l'Œil de Paon (*Venturia oleaginea*) et la Cercosporiose (*Pseudocercospora cladosporioides*). Ces pathogènes étudiés dans 10 exploitations du groupe DEPHY sont connus pour leurs dégâts importants de défoliation dans les vergers impactant directement la récolte et l'économie de la filière. Les résultats de l'étude montrent des épisodes contaminants à l'Œil de Paon et une baisse de la défoliation aux mois de mai 2022 et 2023 et une présence constante de Cercosporiose annuelle de 12,5 à 50 % de dégâts. Les analyses en composantes principales confirment une corrélation positive entre les variables Œil de Paon et Défoliation mais la limite des IFT fongiques chimiques ne permet pas de conclure sur l'efficacité des traitements cupriques. Concernant les pratiques culturales, la présence d'irrigation, une taille annuelle et une tonte bisannuelle font diminuer la pression fongique et la défoliation du verger. Finalement, l'analyse rétrospective de la contamination de *V. oleaginea* sur une parcelle en fonction de plusieurs facteurs climatiques et culturels nous a permis d'identifier 21 épisodes contaminants en novembre et décembre 2022. À terme, la précision des tendances évolutives de ces maladies en fonction des conditions climatiques et des pratiques du verger permettrait dans le futur l'établissement d'une fiche technique par exploitation afin de fournir une aide décisionnelle dans la lutte contre les maladies du feuillage de l'olivier.

Mots-clés : Œil de Paon, Cercosporiose, défoliation, verger, pratiques culturales

Abstract

This second study, carried out in conjunction with the Ecophyto II+ project, is part of an effort to gain a deeper understanding of two cryptogamic olive fungi: Peacock's Eye (*Venturia oleaginea*) and Cercosporiosis (*Pseudocercospora cladosporioides*). These pathogens, which were studied on 10 DEPHY group farms, are known for their severe defoliation damage in orchards, which has a direct impact on the harvest and the sector's economy. The results of the study show contaminating episodes of Peacock's Eye and a drop in defoliation in May 2022 and 2023, while Cercosporiosis is constant with 12.5 to 50 % all months. Principal component analyses confirm a positive correlation between the Peacock's Eye and defoliation variables, but the limits of the chemical fungal IFT do not allow us to conclude on the effectiveness of copper treatments. About cultural practices, the presence of irrigation, annual pruning and biennial mowing reduced fungal pressure and defoliation in the orchard. Finally, retrospective analysis of *V. oleaginea* contamination in a plot as a function of several climatic and cultural factors enabled us to identify 21 contaminating episodes in November and December 2022. In the long term, the precision of the evolutionary trends of these diseases in relation to climatic conditions and orchard practices will enable us in the future to draw up technical data sheets for each farm to provide a decision support in the fight against olive leaf diseases.

Keywords: Peacock's eye, Cercosporiosis, defoliation, orchard, cultural practices

5. Références bibliographiques

- Aabidine, Amal Zine El, Yves Baissac, Abdelmajid Moukhli, Christian Jay-Allemand, et Cherkaoui El Modafar. « Resistance of Olive Tree to *Spilocaea Oleagina* Is Mediated by the Synthesis of Phenolic Compounds ». *Int. J. Agric. Biol.* 12, n° 1 (2010).
- Andrivon D, Bardin M, Bertrand C, Brun L, Daire X, Fabre F, Gary C, Montarry J, Nicot P, Reignault P, et al. « Peut-on se passer du cuivre en protection des cultures biologiques? » Editions Quae (2019), 126 p.
- Argenson C, Régis S, Jourdain J.M, Vaysse P (1999) L'olivier. CTIFL, Paris
- Ávila, Arantxa, Johannes Z. Groenewald, A. Trapero, et Pedro W. Crous. « Characterisation and Epitypification of *Pseudocercospora Cladosporioides*, the Causal Organism of *Cercospora* Leaf Spot of Olives ». *Mycological Research* 109, n° 8 (août 2005): 881-88. <https://doi.org/10.1017/S0953756205003503>.
- Ávila, Aránzazu, Joaquín Romero, Carlos Agustí-Brisach, Abdellatif Benali, Luis F. Roca, et Antonio Trapero. « Phenotypic and Pathogenic Characterization of *Pseudocercospora Cladosporioides*, Causal Agent of *Cercospora* Leaf Spot of Olives ». *European Journal of Plant Pathology* 156, n° 1 (janvier 2020): 45-65. <https://doi.org/10.1007/s10658-019-01861-5>.
- Baize, Denis. « Teneurs totales en métaux lourds dans les sols français » *Courrier de l'environnement de l'INRA* n°39 (février 2000) : 39-54
- Benitez, Yoselin, Miguel A. Botella, Antonio Trapero, Mohammed Alsalmiya, Jose Luis Caballero, Gabriel Dorado, et Juan Munoz-Blanco. « Molecular Analysis of the Interaction between *Olea Europaea* and the Biotrophic Fungus *Spilocaea Oleagina* ». *Molecular Plant Pathology* 6, n° 4 (juillet 2005): 425-38. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2005.00290.x>.
- Bourbos, V. A., et M. T. Skoudridakis. « Efficacité de quelques fongicides cupriques à l'égard de *Spilocaea oleagina* ». *EPPO Bulletin* 23, n° 3 (septembre 1993): 393-97. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2338.1993.tb01342.x>.
- Buonaurio, Roberto, Leen Almadi, Franco Famiani, Chiaraluce Moretti, Giovanni Enrico Agosteo, et Leonardo Schena. « Olive Leaf Spot Caused by *Venturia Oleaginea*: An Updated Review ». *Frontiers in Plant Science* 13 (9 janvier 2023): 1061136. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1061136>.
- Braun, U. « Taxonomic notes on some species of *Cercospora* complex (III) ». *Mycotaxon* (1993) 48: 275–298.
- Castagne, J. L. M. (1845). Catalogue des plantes qui croissent naturellement aux environs de Marseille. Pont-Moreau, France : Nicot et Pardigon.
- Chliyyeh, Mohamed, Jihane Touati, Karima Selmaoui, Amina Ouazzani Touhami, Abdelkarim Filali, Cherkaoui El Modafar, Abdelmajid Moukhli, Rachid Benkirane, et Allal Douira. « Bibliographic Inventory of the Olive Tree (*Olea Europaea* L.) Fungal Diseases in the World », 2014.
- COMIFER (2005) « La nutrition des plantes ». Unifa <https://fertilisation-edu.fr/nutrition-des-plantes.html#page>. Accès le 03 mai 2023
- FAO (2021). « Production de l'olives : 10 principaux producteurs » <https://www.fao.org/faostat/fr/#data/QCL/visualize> . Accès le 14 avril 2023.
- Garrido, Alejandro, María Fernández-González, Jose A. Cortiñas Rodríguez, Lucía Carrera, Estefanía González-Fernández, Michel Almaguer-Chávez, et Fco. Javier Rodríguez-Rajo. « Fungal Phytopathogenic Spore First Assessment in an Olive Orchard of Northwestern Spain ». *Agronomy* 12, n° 2 (19 janvier 2022): 246. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020246>.
- Girard H. « Cuivre : origines, usages et différentes formes. Journée techniques nationales viticulture biologique ». (2004) p. 76-92
- Glenn, D. Michael, Tom Van Der Zwet, Gary Puterka, Patricia Gundrum, et Eric Brown. « Efficacy of Kaolin-Based Particle Films to Control Apple Diseases ». *Plant Health Progress* 2, n° 1 (janvier 2001): 4. <https://doi.org/10.1094/PHP-2001-0823-01-RS>.
- González-Domínguez, Elisa, Josep Armengol, et Vittorio Rossi. « Biology and Epidemiology of *Venturia* Species Affecting Fruit Crops: A Review ». *Frontiers in Plant Science* 8 (19 septembre 2017): 1496. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01496>.
- González-Lamothe, Roca, Rosa Segura, Antonio Trapero, Luciana Baldoni, Miguel A Botella, et Victoriano Valpuesta. « Phylogeny of the Fungus *Spilocaea Oleagina* , the Causal Agent of Peacock Leaf Spot in Olive ». *FEMS Microbiology Letters* 210, n° 1 (avril 2002): 149-55. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2002.tb11174.x>.
- Graniti, A. « Olive Scab: A Review ». *EPPO Bulletin* 23, n° 3 (septembre 1993): 377-84. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2338.1993.tb01339.x>.
- Henricot, B., C. Gorton, J. Denton, et G. Denton. « *Pseudocercospora Cladosporioides* , the Cause of Leaf Spot on Olive, a Pathogen New to the United Kingdom ». *Plant Pathology* 58, n° 4 (août 2009): 803-803. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2009.02079.x>.
- Issa T., Almadi L., Jarrar S., Tucci M., Buonaurio R., Famiani F. « Factors affecting *Venturia oleaginea* infections on olive and effects of the disease on floral biology » *Phytopathologia Mediterranea* (2019) 58(2): 221-229. doi: 10.14601/Phytopathol_Mediterr-10610
- Lacalle, A Avila De, A Benali, et A Trapero Casas. « Variabilidad morfológica y cultural de *Pseudocercospora cladosporioides*, agente del emplomado del olivo » *Patologia* (2004), 30 :369-384.
- Lanza, B., A. M. Ragnelli, M. Priore, et P. Aimola. « Morphological and Histochemical Investigation of the Response of *Olea Europaea* Leaves to Fungal Attack by *Spilocaea Oleagina* ». *Plant Pathology* 66, n° 8 (octobre 2017): 1239-47. <https://doi.org/10.1111/ppa.12671>.
- Le Nouvel Olivier n° 115. « Bulletin bibliographique n° 2 : la cercosporiose », (2019) p. 14-21
- Leroux, Pierre. « Modes d'action des produits phytosanitaires sur les organismes pathogènes des plantes ». *Comptes Rendus Biologies* 326, n° 1 (janvier 2003): 9-21. [https://doi.org/10.1016/S1631-0691\(03\)00005-2](https://doi.org/10.1016/S1631-0691(03)00005-2).
- López-Escudero, F.J., A. Trapero, et M.A. Blanco-López. « AN OVERVIEW OF THE RESEARCH ON VERTICILLIUM WILT AND OTHER FUNGAL DISEASES OF OLIVE IN SPAIN ». *Acta Horticulturae*, n° 791 (juin 2008): 593-96. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.791.91>.

- MacDonald, A.J., M. Walter, M.C. Trought, C.M. Frampton, et G. Burnip. « Survey of Olive Leaf Spot in New Zealand ». *New Zealand Plant Protection* 53 (1 août 2000): 126-32. <https://doi.org/10.30843/nzpp.2000.53.3664>.
- Maille E. « Enquête phytosanitaire-gironde : Journée techniques nationales viticulture biologique ». (2004) p. 35-46
- Marzo, L., S. Frisullo, F. Lops, et V. Rossi. « Possible Dissemination of *Spilocaea Oleagina* Conidia by Insects (Ectopsocus Briggsi) ». *EPPO Bulletin* 23, n° 3 (septembre 1993): 389-91. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2338.1993.tb01341.x>.
- Météo France. « Bilan climatiques de l'hiver 2023 » (mars 2023)
- Mojdehi M.R.A., Kayhanian A.A., Ahmedieh S. « Application of Kaolin clay for control of Key pests of olive ». *College of Agriculture and Natural Resources* (2016)
- Moral J.D. et Cabezas D.M. « El repilo plumizo del olivo, causado por *Cercospora cladosporioides* Sacc., enfermedad presente en España » *Bol. Serv. Plagas*, 11 :31-36, (1985)
- Nigro, F., A. Ippolito, P. Gallone, G. Romanazzi, P. Carmignano, et G. Laccone. « CERCOSPORIOSIS OF OLIVE IN APULIA AND ATTEMPTS TO CONTROL THE DISEASE ». *Acta Horticulturae*, n° 586 (octobre 2002): 773-76. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2002.586.167>.
- Obanor, E.O., M. Walter, E.E. Jones, et M.V. Jaspers. « In Vitro Effects of Fungicides on Conidium Germination of *Spilocaea Oleagina* the Cause of Olive Leaf Spot ». *New Zealand Plant Protection* 58 (1 août 2005): 278-82. <https://doi.org/10.30843/nzpp.2005.58.4294>.
- Obanor, Friday O., Marlene V. Jaspers, E. Eirian Jones, et Monika Walter. « Greenhouse and Field Evaluation of Fungicides for Control of Olive Leaf Spot in New Zealand ». *Crop Protection* 27, n° 10 (octobre 2008): 1335-42. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2008.04.007>.
- Obanor, Friday O., Monika Walter, E. Eirian Jones, et Marlene V. Jaspers. « Effect of Temperature, Relative Humidity, Leaf Wetness and Leaf Age on *Spilocaea Oleagina* Conidium Germination on Olive Leaves ». *European Journal of Plant Pathology* 120, n° 3 (mars 2008): 211-22. <https://doi.org/10.1007/s10658-007-9209-6>.
- Piñar Fuentes, J.C., Felipe Leiva, Ana Cano-Ortiz, Carmelo M. Musarella, Ricardo Quinto-Canas, Carlos J. Pinto-Gomes, et Eusebio Cano. « Impact of Grass Cover Management with Herbicides on Biodiversity, Soil Cover and Humidity in Olive Groves in the Southern Iberian ». *Agronomy* 11, n° 3 (24 février 2021): 412. <https://doi.org/10.3390/agronomy11030412>.
- Poli, M. « Etude bibliographique de la physiologie de l'alternance de production chez l'olivier (*Olea europaea*) » *Fruits*, (novembre 1979), vol. 34, n°11, p.687-695.
- Roca, Luis F, Juan Moral, José R Viruega, Arantxa Ávila, Rodrigues Oliveira, et Antonio Trapero. « Copper fungicides in the control of olive diseases », n° 26 (2007).
- Romero J. « TITULO: Desarrollo y verificación del modelo epidémico "Repilos" en el olivar andaluz » *UCOPress* (2017)
- Rossmann, Amy Y., Pedro W. Crous, Kevin D. Hyde, David L. Hawksworth, André Aptroot, Jose L. Bezerra, Jayarama D. Bhat, et al. « Recommended Names for Pleomorphic Genera in Dothideomycetes ». *IMA Fungus* 6, n° 2 (décembre 2015): 507-23. <https://doi.org/10.5598/imafungus.2015.06.02.14>.
- Roubal, C, S Regis, et P C Nicot. « Optipaon, a decision support system to predict the risk of peacock eye of olive in southern France» *Plant Protection Society of Serbia* (2015) : 123-127
- Saour, G., et H. Makee. « A Kaolin-Based Particle Film for Suppression of the Olive Fruit Fly *Bactrocera Oleae* Gmelin (Dip., Tephritidae) in Olive Groves ». *Journal of Applied Entomology* 128, n° 1 (février 2004): 28-31. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0418.2003.00803.x>.
- Sergeeva, V, U Braun, R Spooner-Hart, et N Nair. « First Report of *Pseudocercospora Cladosporioides* on Olive (*Olea Europaea*) Berries in Australia » *Australasian Plant Diseases Notes*, (2008), 3, 24.
- Trapero A, Roca L.F, Trapero C, Lopez-Escudero J et Moral J. « Diseases and their control in : Culture and Knowledge inspired by olive oil » (2011)
- Triki, Mohamed Ali, et Ali Rhouma. « First Report of *Pseudocercospora Cladosporioides*, the Causal Agent of *Cercospora* Leaf Spot of Olive Trees, in Tunisia » 47, n° 3 (2021).
- Viruega, J. R., J. Moral, L. F. Roca, N. Navarro, et A. Trapero. « *Spilocaea Oleagina* in Olive Groves of Southern Spain: Survival, Inoculum Production, and Dispersal ». *Plant Disease* 97, n° 12 (décembre 2013): 1549-56. <https://doi.org/10.1094/PDIS-12-12-1206-RE>.
- Viruega, José R., Luis F. Roca, Juan Moral, et Antonio Trapero. « Factors Affecting Infection and Disease Development on Olive Leaves Inoculated with *Fusicladium Oleagineum* ». *Plant Disease* 95, n° 9 (septembre 2011): 1139-46. <https://doi.org/10.1094/PDIS-02-11-0126>.
- Viruega, J.R., et A. Trapero. « EPIDEMIOLOGY OF LEAF SPOT OF OLIVE TREE CAUSED BY *SPILOCAEA OLEAGINA* IN SOUTHERN SPAIN ». *Acta Horticulturae*, n° 474 (avril 1999): 531-34. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1999.474.109>.
- Wang, Ying, Xiao Cao, Yulei Han, Xing Han, Zhilei Wang, Tingting Xue, Qihong Ye, et al. « Kaolin Particle Film Protects Grapevine Cv. Cabernet Sauvignon Against Downy Mildew by Forming Particle Film at the Leaf Surface, Directly Acting on Sporangia and Inducing the Defense of the Plant ». *Frontiers in Plant Science* 12 (10 janvier 2022): 796545. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.796545>.

Annexes

Variable	test de Fligner-Killeen		Test de Fisher-Pearson
	chi-carré (χ^2)	P-value	Asymétrie
Cercosporiose	147,87	2,20e-16***	0,372402
ODP	244,07	2,20e-16***	3,272351
Défoliation	1085,3	2,20e-16***	0,344623

Tableau 1 : Test d'homogénéité des variances et de normalité des données pour les différentes variables étudiées. La comparaison intra-groupe des variances a été faite par notation. Au total 7840 observations par variables ont été testées. *** représente une différence significative de 0,0001.

Variable active 1	Variable active 2	Statistique S	Coefficient de corrélation Rho	P-value
Cercosporiose	Défoliation	1222	-0,2610939	0,8549
Cercosporiose	IFT_cuivre_14m	1477	-0,5248473	0,9873
Défoliation	IFT_cuivre_14m	967	0,0020704	0,4967
ODP	Défoliation	433	0,5532587	0,0086**
ODP	IFT_cuivre_6m	983	-0,0149479	0,5235
Défoliation	IFT_cuivre_6m	856	0,1161402	0,3231

Tableau 2 : Test de Spearman pour la corrélation des variables quantitatives en février et mai. Un total de 2640 observations par variable a servi à l'analyse. ** représente une différence significative de 0,001.



Figure 13 : Graphique de l'évolution de *V. oleaginea* sur une parcelle du groupe DEPHY en fonction des données climatiques, focus de septembre 2022 à août 2023. On y retrouve les indicateurs de dégâts (%) de l'Œil de Paon (barre orange), de la Cercosporiose (barre grise) et de la défoliation (barre verte claire) ainsi que l'IFT fongique chimique cumulé (ligne violette) et la quantité de cuivre métal (air bleue foncée) par hectare (Kg/ha) (A) ; Les indices (%) de risques de contamination (barre verte) et d'apparition de tâches (barre jaune) issues du modèle ODP et la période d'incubation de 17 jours (crochets rouge) (B) ; Les précipitations en mm (barre bleue), la température moyenne et ses variations en °C (ligne et air en rouge) ainsi que l'humidité en % (air bleu clair) du verger (C). Les résultats et l'interprétation se concentrent sur encadré rouge.