

**ÉTABLISSEMENT D'ENSEIGNEMENT ou DE
FORMATION**

Composante/UFR : UFR STGI - DÉPARTEMENT
SCIENCES DE LA VIE ET ENVIRONNEMENT

ORGANISME D'ACCUEIL

Nom : CHAMBRE D'AGRICULTURE DU VAR
70 Avenue du Président Wilson - 83550 VIDAUBAN
Service : Service Arboriculture Maraîchage

ÉTUDE DES MALADIES DU FEUILLAGE DE L'OLIVIER

du 19/02/2024 au 30/08/2024 avec interruption du 31/07/2024 au 19/08/2024

Hugo FUCHS - Master Gestion de l'environnement,
parcours Gestion durable de l'environnement 2e année

Année universitaire 2023/2024

Encadrant : **Fanny VERNIER**
Conseillère Arboricole spécialisée en Oléiculture
Ingénieure Réseau Arboricole DEPHY ECOPHYTO Oléiculture



SOMMAIRE

1 - INTRODUCTION	4
1.1. Le réseau des Chambres d'Agriculture France.....	4
1.1.1. La Chambre Départementale d'Agriculture du Var (83).....	5
1.2. Le Plan ECOPHYTO et le groupe DEPHY FERME.....	5
1.2.1. Le Plan ECOPHYTO.....	5
1.2.2. Le réseau DEPHY FERME : des producteurs, un conseiller, des objectifs personnalisés.....	6
1.2.3. Le groupe DEPHY FERME oléicole varois : "Un DEPHY en Oléiculture".....	6
1.3. L'oléiculture varoise et l'olivier.....	7
1.3.1. L'oléiculture varoise, un patrimoine.....	7
1.3.2. L'olivier ou <i>Olea europaea</i>	7
1.4. Les maladies du feuillage de l'olivier.....	9
1.4.1. La maladie de l'œil de paon.....	9
1.4.2. La cercosporiose.....	10
1.5. Les traitements cupriques.....	12
1.6. Le sujet d'étude.....	13
2 - MATERIELS ET METHODES	13
2.1. Le protocole "notations maladies du feuillage".....	13
2.2. Les statistiques de l'étude.....	15
2.2.1. Etat des lieux de la pression fongique pour la période 2022-2024.....	15
2.2.2. Etude des relations entre taux de maladies, défoliation et traitements.....	16
2.2.3. Classification hiérarchique des parcelles entre taux de maladies, défoliation, traitements et irrigation.....	16
2.2.4. Conséquences de l'irrigation, la taille et la tonte sur la pression fongique et la défoliation.....	16
2.2.5. Étude sur la sensibilité variétale des oliviers aux maladies.....	16
3 - RÉSULTATS	17
3.1. Etat des lieux de la pression fongique pour la période 2022-2024.....	17
3.2. Études des relations entre taux de maladies, défoliation et traitements.....	18
3.2.1. Corrélations pour la maladie de l'œil de paon.....	18
3.2.2. Corrélations pour la cercosporiose.....	19
3.3. Classification hiérarchique des parcelles entre taux de maladies, défoliation, traitements et irrigation.....	20
3.3.1. Classes pour la maladie de l'œil de paon.....	20
3.3.2. Classes pour la cercosporiose.....	21
3.5. Conséquences de l'irrigation, la taille et la tonte sur la pression fongique et la défoliation.....	23
3.5. Sensibilité variétale aux maladies fongiques.....	25
4 - DISCUSSION	27
5 - CONCLUSION	32
RÉFÉRENCES	33
ANNEXES	3

Liste des figures

Figure 1.1. (A) Localisation géographique du département du Var (B) en France. (C) Exploitations varoises engagées dans le groupe DEPHY FERME oléicole pour la période 2022-2026 et localisation du siège et des antennes de la Chambre d'Agriculture du Var ©hugofuchs.....	7
Figure 1.2. Phénologie de l'olivier (Sanz-Cortés et al., 2002).....	8
Figure 1.3. Planche de feuilles d'oliviers témoins (A), (B), (C) et (D) atteintes par la maladie de l'œil de paon. Avec (A) une feuille saine de l'année (n), (B) et (C) des feuilles saines de l'année dernière (n+1) ©hugofuchs.....	9
Figure 1.4. Cycle épidémiologique de <i>Venturia oleaginea</i> (Buonaurio et al., 2023).....	10
Figure 1.5. Planche de feuilles d'oliviers témoins (A), (B), (C) et (D) atteintes par la cercosporiose. Avec (A) une feuille saine de l'année (n), (B) une feuille saine de l'année dernière (n+1) et (C) une feuille saine mais présentant vieillissement naturel ©hugofuchs.....	11
Figure 1.6. Représentation de l'obtention des différentes formes de cuivre (Chambre d'Agriculture, Le cuivre en viticulture biologique, 2021).....	12
Figure 2.1. Feuille de notation pour le suivi des maladies du feuillage de l'olivier ©CA83.....	14
Figure 2.2. Pousse physiologique d'un rameau d'olivier à l'année n, n+1 et n+2 ©hugofuchs.....	15
Figure 3.1. Moyennes de la pression fongiques (œil de paon et cercosporiose) et de la défoliation en (%) de l'ensemble des exploitations du groupe DEPHY en fonction des mois d'observation sur la période 2022-2024.....	17
Figure 3.2. (A) Cercle de corrélation des données taux d'œil de paon et défoliation exposés aux différents traitements, moyenne des mois de mai 2022, 2023 et 2024 et (B) Distribution des individus de l'ACP (Parcelle).....	19
Figure 3.3. (A) Cercle de corrélation des données taux de cercosporiose et défoliation exposés aux différents traitements, moyenne des mois de février 2022, 2023 et 2024 et (B) Distribution des individus de l'ACP (Parcelle)....	20
Figure 3.4. (A) Cercle de corrélation des données taux d'œil de paon et défoliation par rapport aux variable Quantité de cuivre métal sur 6 mois et IFT des 6 derniers mois, moyenne des mois de mai 2022, 2023 et 2024 et (B) Distribution des individus de l'ACP (Parcelle) selon les variables quantitatives et la variable qualitative supplémentaire "Irrigation".....	21
Figure 3.5. Classification des parcelles selon les variables quantitatives et la variable qualitative supplémentaire "Irrigation" (Fig. 3.4. B).....	21
Figure 3.6. (A) Cercle de corrélation des données taux de cercosporiose et défoliation par rapport aux variable Quantité de cuivre métal appliquée sur 14 mois et IFT des 14 derniers mois, moyenne des mois de février 2022, 2023 et 2024 et (B) Distribution des individus de l'ACP (Parcelle) selon les variables quantitatives et la variable qualitative supplémentaire "Irrigation".....	22
Figure 3.7. Classification des parcelles selon les variables quantitatives et la variable qualitative supplémentaire "Irrigation".....	22
Figure 3.8. Histogramme des moyennes des dégâts de la maladie de l'œil de paon, la cercosporiose et la défoliation pour chaque pratique cultural : l'irrigation (A), la taille (B) et la tonte (C).....	24
Figure 3.9. Sensibilité variétale à la maladie de l'œil de paon des parcelles du groupe DEPHY, période 2022-2024. (A) Boîte à moustache des dégâts d'œil de paon selon les variétés.....	25
Figure 3.10. Sensibilité variétale à la cercosporiose des parcelles du groupe DEPHY, période 2022-2024. (A) Boîte à moustache des dégâts de cercosporiose selon les variétés.....	26

Liste des tableaux

Tableau 2.1. Ensemble des variétés par exploitation et nombre d'arbres étudiés.....	14
--	----

Liste des annexes

Annexe 1.1. p-values des comparaisons multiples par des tests de wilcoxon et procédure de Tukey pour la maladie de l'œil de paon.....	37
Annexe 1.2. p-values des comparaisons multiples par des tests de wilcoxon et procédure de Tukey pour la cercosporiose.....	37
Annexe 1.3. p-values des comparaisons multiples par des tests de wilcoxon et procédure de Tukey pour la défoliation.....	37
Annexe 2.1. Description de chaque classe par les variables et les modalités, sous la probabilité critique de 0.05, pour la classification des parcelles dans l'étude de l'œil de paon.....	38
Annexe 2.2. Description de chaque classe par les variables et les modalités, sous la probabilité critique de 0.05, pour la classification des parcelles dans l'étude de la cercosporiose.....	38
Annexe 3.1. p-values des comparaisons multiples par des tests de wilcoxon et procédure de Tukey pour l'irrigation.	38
Annexe 3.2. p-values des comparaisons multiples par des tests de wilcoxon et procédure de Tukey pour la taille.....	38
Annexe 3.3. p-values des comparaisons multiples par des tests de wilcoxon et procédure de Tukey pour la tonte.....	38
Annexe 4.1. p-values des comparaisons multiples par des tests de wilcoxon et procédure de Tukey pour les variétés sensibles à la maladie de l'œil de paon.....	39
Annexe 4.2. p-values des comparaisons multiples par des tests de wilcoxon et procédure de Tukey pour les variétés sensibles à la cercosporiose.....	39
Annexe 5.1. Graphique des données climatiques de décembre 2022 à juin 2024 de Roquebrune sur Argens. Les précipitations en mm (barre bleue), la température moyenne et ses variations en °C (courbe et aire en rouge) ainsi que l'humidité en % (aire bleue clair).....	39
Annexe 5.2. Graphique des données climatiques de décembre 2022 à juin 2024 de La Londe les Maures. Les précipitations en mm (barre bleue), la température moyenne et ses variations en °C (courbe et aire en rouge) ainsi que l'humidité en % (aire bleue clair).....	39
Annexe 6.1. Graphiques des dégâts de la maladie de l'oeil de paon, de la cercosporiose, de la défoliation et des quantités de cuivre métal périodique pour chaque période de notation, de février 22 à avril 24 à Roquebrune sur Argens, pour la variété Bouteillan (A) et Cailletier (B).....	40
Annexe 6.2. Graphiques des dégâts de la maladie de l'oeil de paon, de la cercosporiose, de la défoliation et des quantités de cuivre métal périodique pour chaque période de notation, de février 22 à avril 24 à La Londe les Maures, pour la variété Bouteillan (A) et Aglandau (B).....	41

1 - INTRODUCTION

En France, les effets du changement climatique sont visibles sur les précipitations, les vagues de chaleur, l'enneigement, les sécheresses, et impactent la fréquence et l'intensité des événements extrêmes ; le nombre de journées chaudes (températures maximales supérieures à 25 °C) augmente, tandis que le nombre de jours de gel diminue. Les vagues de chaleur sont devenues plus fréquentes et plus intenses. On observe également une intensification des pluies extrêmes dans les régions méditerranéennes françaises. Une conséquence à cela : l'évaporation des sols s'accroît, induisant des sécheresses plus fréquentes et plus intenses. Été 2021, la France métropolitaine a subi une sécheresse météorologique préoccupante qui s'est poursuivie en début d'année 2023 (**Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des Territoires, Impacts du changement climatique**).

L'année 2022 est exceptionnellement sèche et chaude, avec des records de chaleur et de déficits de précipitations enregistrés. Ces conditions climatiques ont instauré un stress hydrique marqué dans les vergers dès la sortie de l'hiver, les vergers non irrigués étant les plus pénalisés (**France Olive - Afidol, Bulletins de Santé du Végétal 2022**). Dès la sortie d'hiver, l'année 2023 a été marquée par une sécheresse sur l'ensemble du territoire oléicole. Après 2022, il s'agit de l'année la plus chaude depuis 1900. Le Var était concerné par un déficit pluviométrique prononcé malgré les épisodes pluvieux des mois d'avril à juin. Les précipitations ont repris à partir du mois de septembre jusqu'au mois de novembre mais la faible efficacité des pluies n'a pas résolu les problématiques de stress hydrique des vergers non-irrigués (**France Olive - Afidol, Bulletins de Santé du Végétal 2023**). Cette situation se traduit par un assèchement des sols depuis la sécheresse de l'été 2022 qui s'améliore quelque peu avec les pluies de mars 2024 (**France Olive - Afidol, Bulletins de Santé du Végétal 2024**).

Par ailleurs, la sécheresse a rendu les arbres plus vulnérables aux agents pathogènes et aux insectes ravageurs. L'oléiculture varoise, comme la filière au niveau national, souffre de plus en plus des évolutions climatiques en cours notamment en ce qui concerne la sensibilité aux maladies du feuillage. La problématique des maladies du feuillage est en effet très complexe au verger et les défoliations pénalisent la production. Les vergers oléicoles sont depuis longtemps soumis aux ravageurs et aux maladies, dont l'intensité de la pression est très liée aux conditions climatiques, aux variétés d'oliviers et parfois aux pratiques réalisées en verger. La maîtrise du développement des maladies du feuillage a toujours été une nécessité pour les producteurs qui souhaitent maintenir la productivité de leurs vergers. Malheureusement, ces dernières années le contexte climatique, avec une augmentation des périodes potentielles de contamination, et le contexte réglementaire, avec la réduction des doses de cuivre (4 kg cuivre métal/ha/an) (**règlement (UE) 2018/1981**), complexifient fortement la maîtrise du développement de ces maladies dans les vergers.

Ces maladies du feuillage, particulièrement la maladie de l'œil de paon (*Venturia oleagina*) et la cercosporiose (*Pseudocercospora cladosporioides*), toutes deux responsables d'un affaiblissement progressif des arbres qui entraîne un moindre développement des pousses et des olives et une plus faible floraison l'année suivante, sont de plus en plus difficiles à contrôler en verger, rendant quelquefois les producteurs impuissants face à leur développement.

Les maladies des feuilles sont très présentes cette année ; conséquence des précipitations de mars 2024 plus ou moins importantes selon les secteurs, des températures très douces en journée et de l'humidité relative favorable aux contaminations et au développement des maladies. Également des pluies de mai et juin 2023 (favorisant le développement des champignons) mais aussi de la sécheresse de 2022 (oliviers en stress hydrique).

1.1. Le réseau des Chambres d'Agriculture France

Le réseau des Chambres d'Agriculture contribue à l'amélioration de la performance économique, sociale et environnementale des exploitations agricoles et de leurs filières et accompagne, dans les territoires, la démarche entrepreneuriale et responsable des agriculteurs ainsi que la création d'entreprises et le développement de l'emploi. Elles se positionnent comme les entités capables de rassembler les acteurs du monde agricole, les collectivités locales et partenaires institutionnels, pour faire émerger des projets économiques agricoles et porter les ambitions des filières dans les instances locales de décision.

Les établissements qui composent le réseau des Chambres d'Agriculture contribuent au dynamisme de chaque département et de chaque région dans une logique de développement durable et coopèrent en permanence, avec les Pouvoirs publics, les collectivités locales et territoriales, à la réalisation de projets en matière de politique agricole, de gestion des ressources naturelles et de la forêt, à la réduction de l'utilisation des produits phytopharmaceutiques et à la lutte contre le changement climatique, de développement économique, d'environnement. Elles accompagnent les agriculteurs dans leurs projets

d'installation ou de développement de leur exploitation agricole en leur apportant une assistance effective sur les aspects techniques, économiques, administratifs et juridiques de leur exploitation.

Ces établissements sont des établissements publics placés sous la tutelle de l'État et administrés par des élus représentant l'activité agricole, les groupements professionnels agricoles et les propriétaires forestiers (**Code rural, article L510-1**)

Il est recensé 102 établissements avec 88 Chambres Départementales et interdépartementales d'Agriculture dont 5 Chambres d'Agriculture Départementales d'Outre-mer, 13 Chambres d'Agriculture Régionales et de région et 1 structure nationale Chambres d'Agriculture France (Assemblée Permanente des Chambres d'Agriculture – APCA).

1.1.1. La Chambre Départementale d'Agriculture du Var (83)

La Chambre d'Agriculture du Var dépend de la Chambre Régionale d'Agriculture Provence-Alpes-Côte-d'Azur basée à Aix-en-Provence qui oriente, structure et coordonne les actions des Chambres départementales de la région. La Chambre d'Agriculture du Var mène de nombreux projets pilotes et d'avenir au service des agriculteurs :

Le Plan de Reconquête Agricole (PRA) a été créé en 2018 dans le Var pour apporter des solutions concertées et partagées aux problématiques qui freinent, voire empêchent le développement agricole en lien avec l'accès au foncier. Porté par la Chambre d'Agriculture du Var et la Préfecture du Var, en partenariat étroit avec la profession agricole, les collectivités et les services de l'Etat, le PRA propose un plan d'actions quinquennal, reconductible, destiné à accompagner les territoires vers un développement de leur espace agricole, tout en prenant en compte la biodiversité. Il s'agit d'un projet pilote et innovant à l'échelle nationale. L'artificialisation des terres et la déprise agricole ont conjointement contribué à la réduction notable des espaces agricoles varois ces dernières décennies. Le Plan de Reconquête Agricole a permis d'estimer que 10 000 ha (hectares) supplémentaires d'espaces agricoles en production permettraient de satisfaire les besoins des filières existantes ou les marchés locaux à l'horizon 2030 ; ce qui ne représente que 8% de l'espace agricole varois perdu depuis 1960 (**Chambre d'Agriculture PACA, Plan de Reconquête Agricole**).

Le Var a la plus petite surface agricole de France, 12% seulement (**DRAAF PACA, L'agriculture, l'agroalimentaire et la forêt dans le Var**), mais il s'agit aussi du département français le plus offensif dans la préservation des terres agricoles. En effet, plus de 10 ans après la création de la première Zone Agricole Protégée (ZAP) à La Roquebrussanne en 2013, le Var compte maintenant 16 ZAP approuvées, ce qui correspond à 12 284 hectares soit 17% de superficie agricole durablement protégée.

De plus, 37 nouvelles ZAP sont en cours dont 20 en cours de procédure administrative. Ainsi, le Var devrait compter d'ici 2025-2026, 23 372 hectares de nouvelles terres agricoles situées en ZAP soit plus de 33 % de la surface agricole varoise. Enfin, sur les 6 ZAP de plus de 5 ans de Provence Verte (une communauté d'agglomération) ce sont 179 hectares de friches remises en culture et 65 nouveaux agriculteurs qui s'y sont installés (**Chambre d'Agriculture PACA, Bilan de mandature : Foncier**).

Ainsi, de la reconquête de foncier agricole, à la création d'un pôle viticole et oenologique d'excellence en Centre Var, la construction d'un site d'abattage de proximité pour les éleveurs et consommateurs varois, ou encore le développement hydraulique pour donner un accès à l'eau d'irrigation à tous les territoires et toutes les filières, la Chambre d'Agriculture du Var mène de nombreux projets structurants et d'avenir au service des agriculteurs et au bénéfice de tous les producteurs varois.

1.2. Le Plan ECOPHYTO et le groupe DEPHY FERME

1.2.1. Le Plan ECOPHYTO

L'Etat a confié de nouvelles missions aux Chambres d'Agriculture au cours de la dernière mandature 2007-2013. La loi Grenelle II a ainsi confirmé leur mission en matière d'environnement, ceci notamment dans le cadre du plan Ecophyto 2018.

L'impact de l'utilisation des produits phytosanitaires est au cœur des préoccupations des politiques publiques. Lancé en 2009, le plan Ecophyto 2018, est la déclinaison française du plan d'action national imposé aux Etats membres par la Directive 2009/128 dite "utilisation durable des pesticides". Ce plan d'action vise à réduire le recours, les risques et les impacts des produits phytopharmaceutiques. Il avait pour objectif de réduire de 50% en 10 ans le recours aux produits phytosanitaires. Ce plan était construit autour de 9 axes et comportait plus de 110 actions pour tendre vers une utilisation des pesticides compatible avec le développement durable. Il vise à réduire les risques et les effets des produits phytopharmaceutiques sur la santé humaine et sur l'environnement, et encourage l'élaboration et

l'introduction de la lutte intégrée contre les ennemis des cultures et les méthodes ou techniques de substitution en vue de réduire la dépendance à l'égard de l'utilisation des produits phytopharmaceutiques (**Chambre d'Agriculture - France, ECOPHYTO**).

Ce plan Ecophyto 2018 (= Ecophyto I) a fait l'objet d'un processus de révision initié en 2014 par la mission parlementaire confiée à Dominique Potier (député français et agriculteur, chargé du rapport d'évaluation et de révision du plan Ecophyto). Le plan Ecophyto II a été publié en octobre 2015 confirmant les objectifs de réduction de moitié l'utilisation des produits phytosanitaires en 10 ans et consolident certaines actions structurantes de la première période du plan comme le réseau de fermes et d'expérimentation DEPHY : les fermes 30 000 (30 000 exploitations agricoles dans la transition vers l'agro-écologie à bas niveau de produits phytopharmaceutiques), le dispositif de certificat individuel Certiphyto (certificat pour l'achat et l'utilisation de produits phytopharmaceutiques réservés aux professionnels de l'agriculture), les outils de diffusion d'information comme les Bulletins de Santé du Végétal (BSV) ou le portail de la protection intégrée (EcophytoPIC) (**Chambre d'Agriculture - France, Plan Ecophyto 2+**).

Enfin, en novembre 2018, le plan Ecophyto II+ a été publié venant consolider les actions structurantes du plan. Il axe fortement ses objectifs autour de la diffusion et la démultiplication des acteurs professionnels agricoles et des agriculteurs impliqués.

1.2.2. Le réseau DEPHY FERME : des producteurs, un conseiller, des objectifs personnalisés

Dans le cadre du plan Ecophyto décrit plus haut, la France compte actuellement près de 2 050 exploitations volontaires engagées dans un réseau d'acquisition de références et de démonstration. Ces « fermes Ecophyto », dans tous les systèmes de production, permettent de tester et de partager ce qu'il est possible de faire en terme de réduction de l'usage de produits phytosanitaires.

Les fermes DEPHY sont organisées en réseaux de 10 à 12 exploitations (180 groupes au total en 2024) ayant en commun une production (viticulture, maraîchage diversifié, grandes cultures etc..) et un projet collectif. Chaque réseau est suivi par un conseiller spécialisé, qui travaille avec le groupe et chaque agriculteur volontaire pour définir ensemble des objectifs de réduction, suivre l'évolution de la culture, les performances techniques et économiques. L'objectif est de voir ce qui fonctionne mais aussi dans quelles conditions cela fonctionne, de façon à pouvoir ensuite diffuser la stratégie ou la technique au plus grand nombre (**Ecophytopic, Qu'est-ce que le réseau DEPHY ?, 2024**)

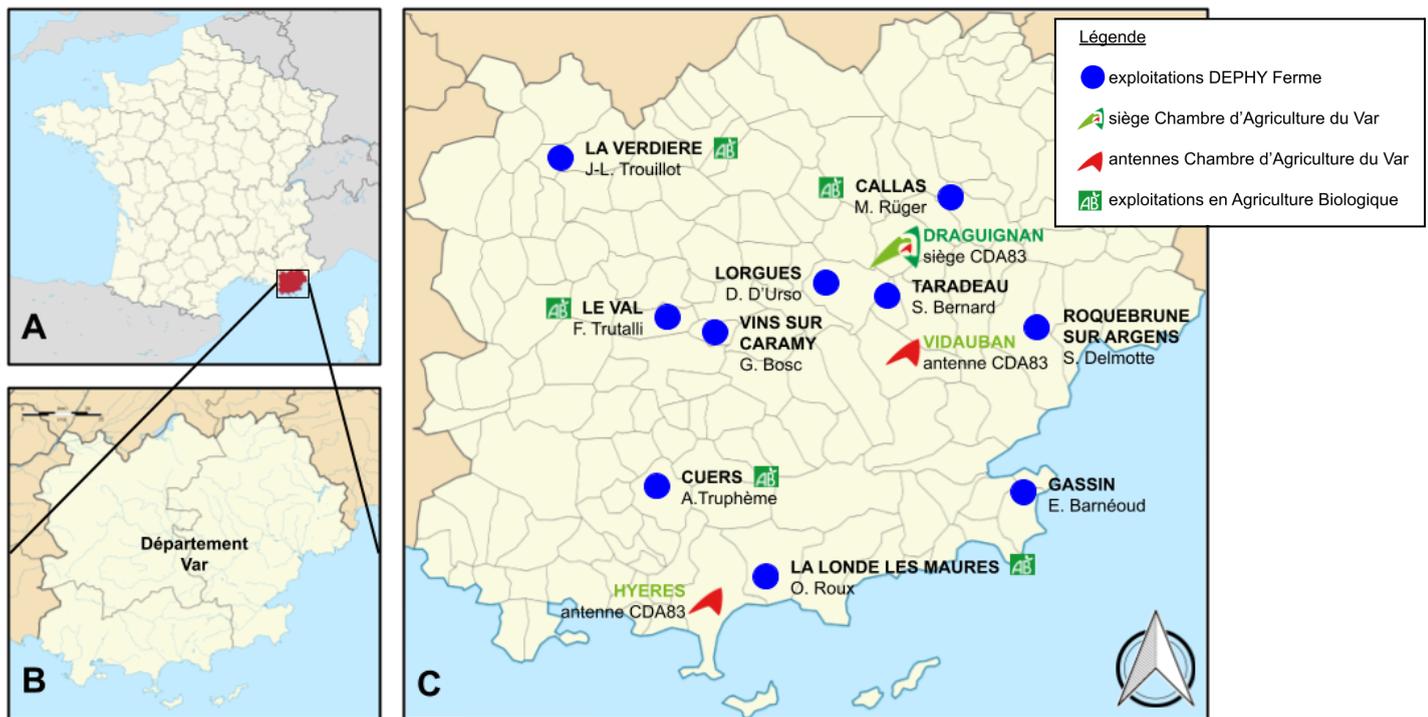
La région Provence-Alpes-Côte d'Azur compte 13 réseaux de fermes DEPHY : 4 concernent le maraîchage, 4 l'arboriculture (dont 1 en oléiculture), 4 la viticulture (dont 1 en raisin de table) et 1 les grandes cultures.

1.2.3. Le groupe DEPHY FERME oléicole varois : "Un DEPHY en Oléiculture"

L'oléiculture est une filière emblématique du département du Var qui bénéficie déjà auprès du grand public d'une image très positive d'un produit sain, naturel et de qualité. L'engagement de la Chambre d'Agriculture du Var dans le réseau DEPHY FERME a pour ambition de conforter cette image, de structurer et sécuriser la filière en améliorant la performance économique, environnementale et sociale des entreprises oléicoles. La filière doit avoir le souci de développer une agriculture tournée vers l'agro-écologie et des systèmes durables à bas intrants.

Le groupe *Un DEPHY en Oléiculture* a émergé en 2016 lors du réengagement du Plan Ecophyto II. Animée par l'Ingénieure Réseau Mme Vernier basée à Vidauban, ce sont 10 exploitations (**Fig. 1.1.**) dont 5 en bio/conversion (les 5 autres sont en Agriculture Conventiennelle, Protection Fruitière Intégrée (PFI)) qui sont engagées dans ce groupe DEPHY sur l'ensemble du département. Ayant la volonté de relever le défi de mieux lutter contre la mouche de l'olive, ce collectif d'agriculteurs échange sur les pistes possibles d'améliorations de la lutte, adapte localement des pratiques parfois innovantes et partage ses résultats avec le plus grand nombre lors des journées ou démonstrations techniques.

Les membres du groupe *Un DEPHY en Oléiculture* se sont réengagés pour la période 2022-2026. Le Projet Collectif du groupe évolue vers la gestion des maladies du feuillage que sont la maladie de l'œil de paon et la cercosporiose (**Ecophytopic, Un DEPHY en Oléiculture, 2024**).



1.3. L'oléiculture varoise et l'olivier

1.3.1. L'oléiculture varoise, un patrimoine

Dans ce département, les variétés d'oliviers sont historiquement très nombreuses et on compte énormément d'amateurs (sens noble du terme, une personne qui n'est pas agriculteur ou exploitant agricole au sens administratif, juridique, fiscal et social) : cela donne à la profession un caractère atypique où chaque verger est unique.

L'oléiculture est une activité emblématique du Var et de la culture méditerranéenne. 142 communes varoises sur 153 sont productrices d'huile d'olive. De nombreuses variétés d'oliviers sont cultivées dans le département, dont certaines spécifiques à son terroir comme par exemple La Belgentiéroise, olive verte à la forme allongée et à chair ferme que l'on retrouve à Belgentier ou encore le Boussarlu au Val, le Ribier à Callas ou le Bouteillan à Aups.

Le Var est le département qui compte le plus de producteurs et de moulins à huile en France, avec une cinquantaine de moulins, dont près de la moitié sont des coopératives et moulins communaux. Si certains moulins sont résolument modernes, d'autres sont restés traditionnels.

1.3.2. L'olivier ou *Olea europaea*

L'olivier appartient à la famille des Oléacées, qui comporte environ 30 genres et 600 espèces. Les oliviers forment dans la sous-espèce *europaea* de *Olea europaea* un ensemble complexe de formes cultivées (var. *europaea*) et sauvages dénommées oléastres (var. *sylvestris*). Espèce très thermophile au comportement héliophile (Rameau, Mansion et al., FFF, 2008), les dimensions et les formes de l'olivier varient avec les conditions climatiques, l'exposition, la fertilité du sol et les variétés. L'olivier est une espèce alternante ; elle 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 (Ctifl - Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes, L'Olivier, 1999).

Sur les jeunes arbres, le tronc est droit et circulaire et à mesure de son vieillissement à croissance lente, il se déforme en donnant naissance à des "cordes" qui sont des zones successives de dépressions lui donnant un aspect tourmenté, caractéristique de l'olivier. L'olivier cultivé, très rameux, dispose d'un tronc noueux et d'une écorce brune crevassée. L'on y différencie les charpentières, de grosses ramifications destinées à former la charpente de l'arbre et les sous-charpentières qui se développent sur ces

charpentières et qui porteront des rameaux fructifères. Ces rameaux fructifères, dont la croissance s'est poursuivie tout au long du printemps et de l'automne de l'année précédente, portent les fleurs puis les fruits. Le port de l'arbre dépend de la croissance de l'ensemble de ces rameaux, c'est un caractère variétal, qui peut être soit érigé, soit pendant ou pleureur (**Ctifl, L'Olivier, 1999**).

Le développement du système racinaire de l'arbre est surtout fonction des caractéristiques physico-chimiques du sol. L'olivier adapte son système racinaire à la profondeur du sol, suivant sa texture et sa structure. Il peut atteindre 6m de longueur dans les sols sablonneux avec un système pivotant. Dans les sols argileux, les racines ont un développement latéral fasciculé pouvant atteindre 60m. Lorsque les terrains sont lourds, les racines sont proches de la surface de 0.1 à 0.6m de profondeur (**Ctifl, L'Olivier, 1999**).

De forme oblongue ou ovale lancéolée, la feuille est simple, entière, dénuée de stipules, présentant une nervure centrale seule et se terminant par un mucron, avec une durée de vie de trois ans (**Fig. 1.2. A**). Le pétiole est court, le limbe est glabre sur la surface supérieure, luisante et coriace, de couleur vert foncée. La face inférieure présente un aspect argenté consécutif à la présence de trichomes.

Les fleurs printanières, regroupées en petites grappes, sont blanches avec un calice constitué de quatre sépales soudées, une corolle de quatre pétales ovales soudées, deux étamines, deux carpelles et un ovaire de forme arrondie (**Fig. 1.2. B**) (**Ctifl, L'Olivier, 1999**).

Le fruit, l'olive, est une drupe charnue de forme et de teneur en huile assez variable selon la variété considérée, d'abord verte puis devient noire à maturité complète (**Fig. 1.2. C**).

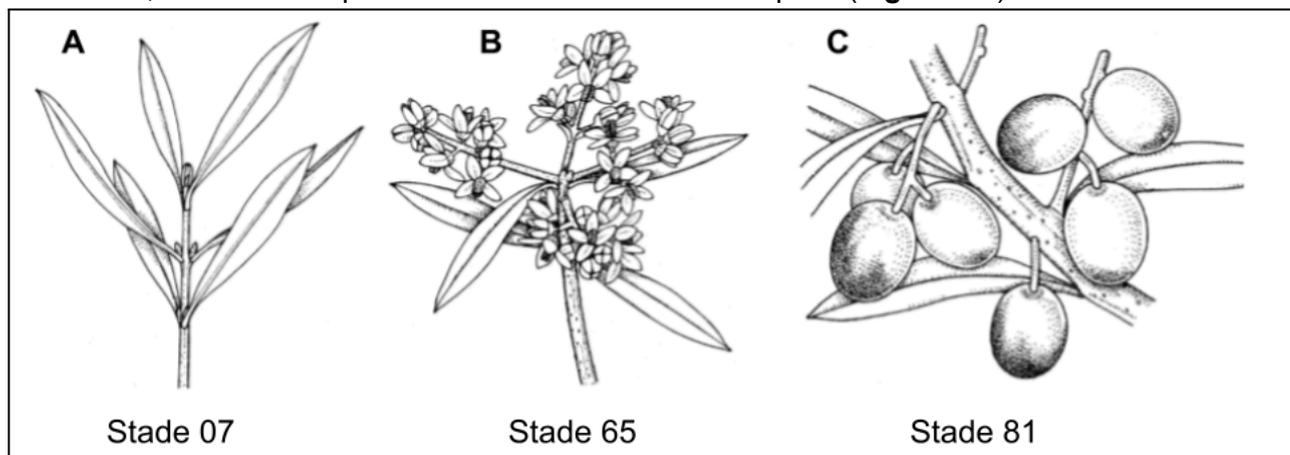


Figure 1.2. Phénologie de l'olivier (**Sanz-Cortés et al., 2002**)

Les variétés d'olivier sont apparues avec la domestication lorsque les humains ont cherché à multiplier les arbres qui leur donnaient le plus de satisfaction parmi ceux que leur environnement naturel leur présentait. L'ensemble des variétés actuelles résulte de toutes les domestications ainsi que de la reproduction sexuée de l'olivier à l'état domestiqué, sous la pression sélective de l'utilisation humaine. Ainsi, les variétés les plus performantes pour la production d'olives et d'huile sont multipliées, alors que les variétés moins performantes sont délaissées et parfois oubliées. Selon la destination des fruits de cet arbre, on retrouve des variétés à olives de table ou des variétés à olives à huile ou les deux, des variétés dites "à deux fins".

Le Var bénéficie d'un climat caractérisé par des étés chauds et secs, des hivers doux et une faible pluviosité, ce qui est propice au développement de l'olivier. La physiologie de l'olivier dans le Var montre une grande résistance à la sécheresse grâce à ses mécanismes d'adaptation, tels que la réduction de la transpiration et un système racinaire profond capable de puiser l'eau en profondeur (**Toussaint et al., 2010**). De plus, l'olivier présente une activité photosynthétique optimisée pour les conditions de forte luminosité, ce qui lui permet de maintenir une croissance lente mais continue, même en période de stress hydrique (**Mancuso, 2000**). L'olivier possède également des adaptations physiologiques telles que la réduction de la surface foliaire, l'épaississement de la cuticule des feuilles et la capacité à limiter la transpiration, ce qui lui permet de minimiser les pertes d'eau en période de stress hydrique (**Fabrizi et al., 2004; Tognetti et al., 2009**). En revanche, les épisodes de gel, bien que rares, peuvent avoir un impact néfaste sur la physiologie de l'arbre, en endommageant les tissus et en réduisant la production d'olives (**Rapoport et al., 2014**). Enfin, la composition des sols du Var, souvent calcaires et pauvres en matière organique, est compensée par la capacité de l'olivier à s'adapter à des conditions édaphiques variées, ce qui lui confère une grande résilience dans ce département (**Loussert et Brousse, 1978**).

1.4. Les maladies du feuillage de l'olivier

Les maladies du feuillage, la maladie de l'œil de paon et la cercosporiose, sont causées par deux champignons. Ils infectent principalement les feuilles qui chutent prématurément. La défoliation peut être importante, surtout lorsque les deux champignons s'attaquent à la même feuille, réduisant ainsi la capacité photosynthétique de l'arbre et entraînant un moindre développement des pousses et des olives et une plus faible floraison l'année suivante. Il en résulte un affaiblissement général de l'arbre, impactant ainsi la récolte en cours et la récolte à venir. Pour ces deux maladies, les périodes de contamination tendent à être remises en question ; conséquence des effets du changement climatique.

1.4.1. La maladie de l'œil de paon

La maladie de l'œil de paon (= tavelure de l'olivier) est une maladie fongique foliaire (cryptogamique) préoccupante de l'olivier causée par le développement du champignon *Venturia oleaginea* (dénomination actuelle).

Chez les champignons il existe souvent deux formes de reproduction, une forme sexuée et une forme asexuée, ce qui complique leur identification et entraîne de nombreux changements de noms. Au fur et à mesure de l'avancée des connaissances ce champignon a changé de nom : initialement nommé *Cycloconium oleaginum* (Castagne, 1845) puis *Spilocaea oleaginea* (Hughes, 1953) et *Fusicladium oleaginum* (Schubert et al., 2003) ; En 2011 ce champignon a été renommé *Venturia oleaginea* sur la base de nouveaux critères de nomenclature (Rossman et al., 2015).

Concernant la maladie de l'œil de paon, bien que l'existence d'une forme sexuée ne puisse pas être complètement exclue, il n'est connu pour l'instant qu'une reproduction asexuée dont les spores (pour les champignons, les spores ont une fonction proche de celles des graines pour les plantes, elles lui permettent de se multiplier et sont disséminées pour se développer ailleurs) sont appelées conidies.

Venturia oleaginea est un champignon ascomycète de la famille des Venturiacées. Ce champignon provoque des taches rondes (Fig. 1.3. D), donnant un aspect comparable aux ocelles des plumes de paon sur la face supérieure de la feuille, puis cause leur chute prématurée. Cela impacte la pousse et la récolte (Afidol, L'Oliver - Les fiches techniques de l'AFIDOL, L'œil de paon, 2018).



Figure 1.3. Planche de feuilles d'oliviers témoins (A), (B), (C) et (D) atteintes par la maladie de l'œil de paon. Avec (A) une feuille saine de l'année (n), (B) et (C) des feuilles saines de l'année dernière (n+1) ©hugofuchs

Le cycle biologique du champignon est décrit selon la **Figure 1.4.** et comprend 3 phases :

- la sporulation qui correspond à l'apparition des taches et à l'émission de spores ;
- la germination de la spore qui permet la contamination d'une nouvelle feuille ;
- la croissance du mycélium pendant la période d'incubation (de latence).

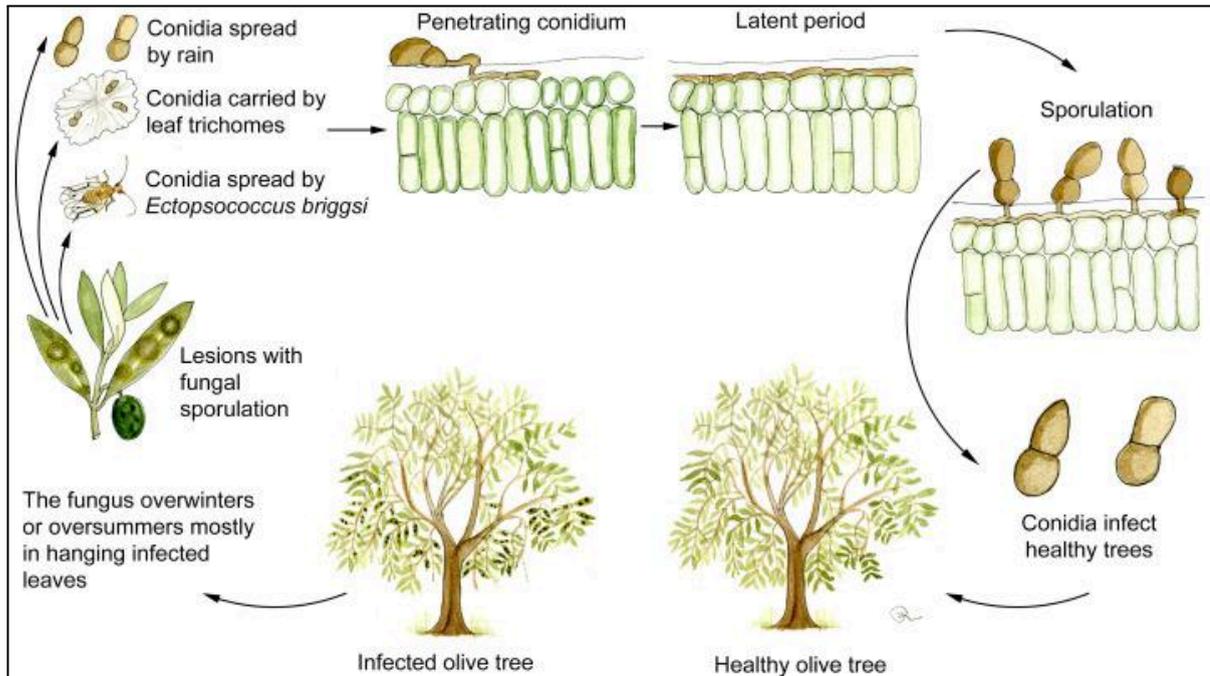


Figure 1.4. Cycle épidémiologique de *Venturia oleaginea* (Buonauro et al., 2023)

Ce sont essentiellement les feuilles tachées de spores sur les arbres qui sont à l'origine de l'émission de nouvelles spores qui vont contaminer d'autres feuilles. La dispersion est majoritairement assurée par la pluie sur des distances de quelques mètres ; mais aussi par des insectes, via le psocoptère *Ectopsocus briggsi*, pourraient être à l'origine de dispersions sur de plus longues distances (Buonauro et al., 2023).

La contamination correspond à la germination d'une conidie déposée sur la feuille et pénétrant dans la cuticule sous certaines conditions (Graniti, 1993).

Les spores peuvent germer entre 3°C et 25°C, mais la germination est optimale entre 15°C et 25°C. Elle nécessite au minimum 12h d'eau liquide sur la feuille. Lorsque le champignon a pénétré dans l'épaisseur de la feuille il s'y développe de manière invisible, c'est la période d'incubation (ou de latence) où les symptômes ne sont pas visibles mais où le champignon se développe sous la cuticule (Graniti, 1993). Cette phase ne dure que quelques semaines à 15°C. Elle reste assez rapide (12 jours) entre 10 et 20°C mais devient très lente (174 jours) en dessous de 10°C ou autour de 25°C. Cette phase achevée, le champignon émet de nouvelles spores à la face supérieure de la feuille : la tâche apparaît. La sporulation peut se dérouler entre 5°C et 25°C, mais elle est maximale à 15°C. Elle nécessite une forte humidité relative (HR) de l'air, proche de 100%. Par contre, s'il y a de l'eau liquide sur la feuille la sporulation est bien plus faible. Enfin, si l'humidité de l'air diminue la sporulation diminue aussi, en dessous de 70% HR elle est inexistante (Viruega et al., 2011).

Le champignon est donc bien adapté au climat méditerranéen, où les pluies les plus fréquentes sont en automne, en hiver et au début du printemps quand les températures sont basses. En effet, la possibilité pour le champignon, pendant la période de latence, de rester présent dans les feuilles à des températures où il ne croît plus ou très peu (> à 25°C en été et < à 5°C en hiver), lui permet d'être prêt à sporuler aux meilleurs moments : au printemps et en automne voire même lors des hivers doux et humides (Viruega et al., 2011).

Les feuilles tachées tombées au sol n'ont rapidement plus de rôle épidémiologique (Viruega et al., 2017).

1.4.2. La cercosporiose

La cercosporiose ou maladie de plomb de l'olivier est l'une des principales maladies des feuilles due au développement du champignon *Pseudocercospora cladosporioides* (dénomination actuelle). Ce champignon a été identifié pour la première fois par Saccardo en 1882 (Saccardo, 1882) sous le nom *Cercospora cladosporioides*.

Pseudocercospora cladosporioides est un champignon ascomycète de la famille des Mycosphaerellaceae. Cette maladie s'observe sur la face inférieure de la feuille qui se couvre d'un feutrage grisâtre caractéristique (d'où son nom de « emplomado » ou de maladie du plomb en espagnol), voire presque noir (Fig. 1.5. D), lié à la multiplication des conidies (Ávila et al., 2004) et qui tend à se nécroser progressivement, notamment à la pointe et sur les côtés. Les symptômes sur la face supérieure de la

feuille, d'abord un éclaircissement puis un jaunissement d'une partie de la feuille, ne sont pas très faciles à identifier avec certitude. Ils peuvent facilement être confondus avec une chlorose ferrique, une carence en potassium ou avec le vieillissement naturel de la feuille et d'autres maladies (**Romero et al., 2017**), ce qui ne facilite pas le diagnostic.

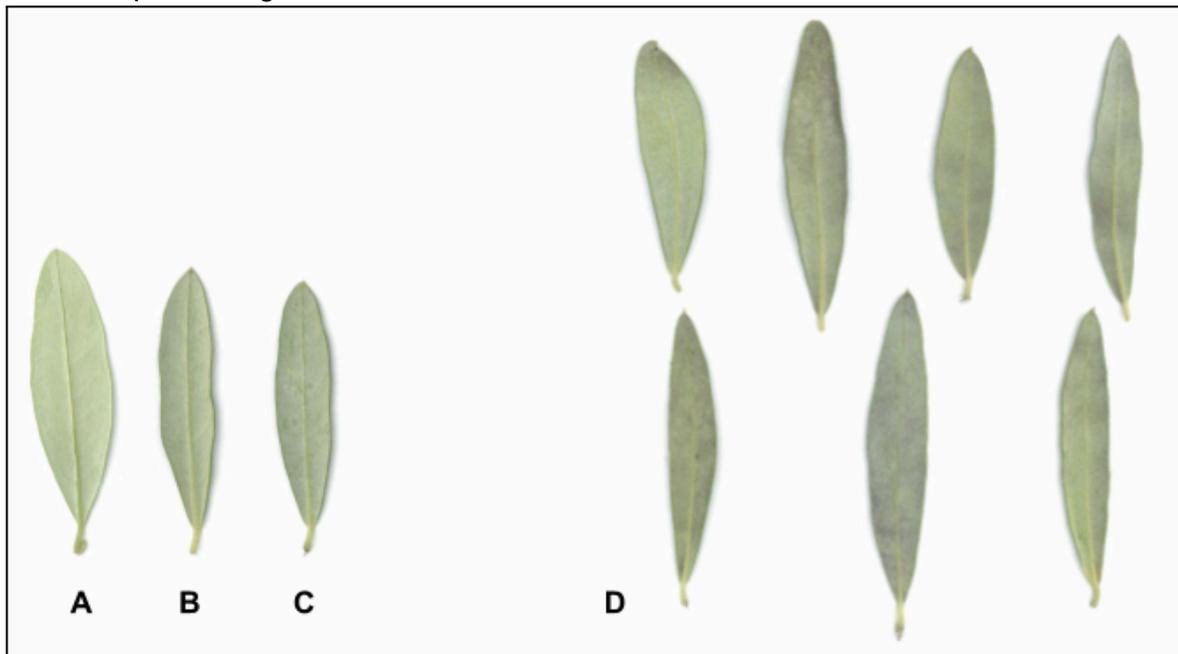


Figure 1.5. Plaque de feuilles d'oliviers témoins (A), (B), (C) et (D) atteintes par la cercosporiose. Avec (A) une feuille saine de l'année (n), (B) une feuille saine de l'année dernière (n+1) et (C) une feuille saine mais présentant vieillissement naturel ©hugofuchs

Ce champignon utilise préférentiellement la voie asexuée pour se reproduire : les spores, asexuées, sont appelées « conidies ». Il est généralement considéré que le cycle biologique de la cercosporiose suit le même schéma que celui de la maladie de l'œil de paon (*Venturia oleaginea*) : en premier lieu une contamination de la feuille par une spore, puis vient une période d'incubation et survient enfin l'apparition des symptômes sur les feuilles.

Toutefois, chez la Cercosporiose, malgré une infection qui touche les feuilles jeunes (de moins de 1 an) les symptômes n'apparaissent que sur des feuilles âgées en raison de la longue période d'incubation. Ce fonctionnement permet au champignon de survivre dans les feuilles infectées et de sporuler quand les conditions sont favorables à la contamination. Comme pour la maladie de l'œil de paon, les feuilles au sol perdent graduellement leur potentiel de production de spores avec une proportion de spores viables qui décroît rapidement (**Romero et al., 2017**).

Pour germer, les spores de *Pseudocercospora cladosporioides* ont besoin d'une humidité relative supérieure à 80%, de température moyenne de 5 à 30°C avec un optimal entre 15 et 25°C. Pour la période d'incubation, le champignon se développe également sous les mêmes conditions, une humidité relative supérieure à 80% et une température entre 5 et 30°C. À noter que le champignon se développe plus rapidement à des températures comprises entre 15 et 25°C avec un optimum à 21°C. La croissance du mycélium est stoppée par des températures supérieures à 30°C. Enfin, suite à l'incubation, le champignon prend une forme sporulante qui va avoir lieu sous une humidité relative toujours supérieure à 80% et une température moyenne entre 10 et 20°C. La production de conidies est variable dans l'année et, elles sont dispersées par la pluie et le vent (**Romero et al., 2017**).

Ce large spectre de températures (5 à 30°C) avec un optimum assez haut (21°C) et l'existence d'une période de latence très longue distingue la cercosporiose de la maladie de l'œil de paon. Ces différences biologiques entre les deux champignons pourraient expliquer pourquoi les stratégies de lutte contre *Venturia oleaginea* ne sont parfois pas que modérément efficaces contre *Pseudocercospora cladosporioides*.

Une sensibilité variétale importante à la maladie est constatée. Certaines variétés réputées assez résistantes à la maladie de l'œil de paon s'avèrent très sensibles à la cercosporiose (**Romero et al., 2017**).

1.5. Les traitements cupriques

La capacité antifongique du cuivre est démontrée depuis le début du XIX^{ème} siècle, mais c'est en France en 1885 qu'a été introduit l'usage du sulfate de cuivre (sous forme de bouillie bordelaise) pour lutter initialement contre le mildiou de la vigne. L'utilisation du cuivre contre les maladies des feuilles s'est par la suite énormément développée avec l'introduction de nouvelles formes de sels de cuivre (oxychlorures, hydroxydes, oxydes). En raison de son caractère naturel, c'est l'un des seuls biocides à être autorisé contre les maladies cryptogamiques en agriculture biologique (AB) pour l'olivier.

Le mode d'action des sels de cuivre est dû aux ions cuivre qui peuvent s'accumuler et se concentrer dans la cellule du champignon et s'associer aux composés des protéines. Il va donc, en s'insérant dans les enzymes, les aminoacides et les peptides perturber de nombreuses voies du métabolisme. L'effet du cuivre s'explique par sa capacité à bloquer la germination des spores. Cet effet est lié à la concentration de cuivre, mais aussi à la solubilité du cuivre utilisé. Il peut également réduire le potentiel germinatif et la viabilité des spores produites. En effet, la spore est sensible au cuivre, car elle absorbe passivement les ions Cu^{2+} en milieu aqueux (quelle que soit la formulation du produit), sans pouvoir les expulser, jusqu'à dépasser le seuil de toxicité entraînant une perturbation des activités respiratoires, enzymatiques et membranaires. Le cuivre a une action dite « multi-sites » (il agit à différents niveaux du métabolisme), ce qui évite les risques d'apparition de résistance (Il n'y a pas de résistance au cuivre répertoriée contre l'œil de paon (**Chambre d'Agriculture, Le cuivre en viticulture biologique, 2021**)).

Les produits cupriques agissent bien en préventif puisqu'ils empêchent la germination des spores. Pour être efficace, il faut donc les appliquer avant les pluies contaminatrices qui dispersent les spores (qui ne peuvent germer et pénétrer dans les feuilles qu'en milieu aqueux). Une fois dans la feuille, le cuivre ne peut plus bloquer le développement de la maladie.

Le cuivre présent dans les produits phytosanitaires n'est pas ou peu absorbé par la plante (sauf dans les engrais foliaires). C'est sa présence sur la surface des feuilles qui va les protéger d'une éventuelle contamination. L'ion cuivreux est très stable : il n'est ni dégradé par la chaleur, ni par la lumière. La rémanence du cuivre est ainsi très grande tant qu'il n'est pas lessivé par la pluie ou les frottements dus au vent (**Chambres d'Agriculture, Les principaux produits cupriques, 2023**).

On retrouve différentes formulations du cuivre (**Fig. 1.6.**), telles que les sulfates de cuivre (les bouillies bordelaises par exemple), les hydroxydes de cuivre, les oxydes cuivreux et les oxychlorures de cuivre.

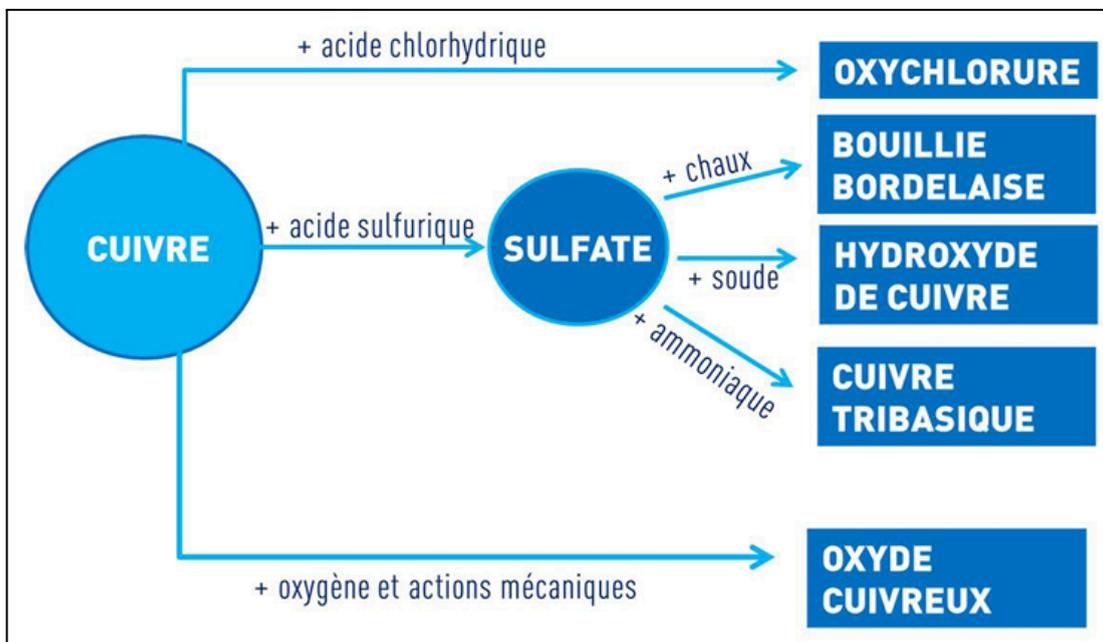


Figure 1.6. Représentation de l'obtention des différentes formes de cuivre (**Chambre d'Agriculture, Le cuivre en viticulture biologique, 2021**)

A l'exception de l'oxyde de cuivre formé à partir d'oxygène et d'actions mécaniques, les autres formes sont obtenus par la solubilisation du cuivre avec de l'acide sulfurique, donnant du sulfate de cuivre, le sel de l'acide sulfurique et du cuivre formé au second degré d'oxydation, puis neutralisation. Dans le détail :

- l'hydroxyde de cuivre est obtenu par mélange de sulfate de cuivre (cuivre + acide sulfurique) et de soude ;

- l'oxychlorure de cuivre à partir de l'acidification du cuivre avec de l'acide chlorhydrique puis neutralisation ;
- la bouillie bordelaise obtenue par mélange de sulfate de cuivre et chaux ;
- le sulfate de cuivre tribasique, obtenu par sulfate de cuivre neutralisé par de l'ammoniac. Les cuivres tribasiques ne contiennent que le complexe cuprique « brochantite » qui est une forme cristallographique de l'hydrosulfate (sulfate + chaux) de cuivre considérée comme la plus active.

La bibliographie internationale révèle que l'hydroxyde de cuivre serait plus efficace que les autres formes de cuivre et le sulfate de cuivre serait le moins efficace pour empêcher la croissance du champignon *Pseudocercospora cladosporioides*, responsable de la cercosporiose. Pour empêcher la germination de la spore cette fois, l'oxyde de cuivre et le sulfate de cuivre sont les formes de cuivre les plus efficaces (**Romero et al., 2017**).

Cependant, à cause de sa stabilité décrite plus haut, le cuivre se retrouve dans les sols et s'accumule (**Agosteo et al., 2015**) : on peut voir des toxicités apparaître dans certains sols, et le cuivre peut être une source de pollution non négligeable (**Chambres d'Agriculture, Les principaux produits cupriques, 2023**).

C'est ainsi que depuis quelque temps, le cuivre est « montré du doigt » par les instances européennes et nationales. Le cuivre est aujourd'hui limité à 4 kg de cuivre métal/ha/an (moyenne lissée sur 7 ans soit 28 kg/ha en 7 ans) en AB (Agriculture Biologique) et conventionnelle (**règlement (UE) 2018/1981**) ce qui peut placer certains producteurs en AB face à une impasse technique, n'ayant qu'un seul complément (le Curatio®) en cas de fortes pressions fongiques .

1.6. Le sujet d'étude

Dans le cadre de l'animation de son groupe DEPHY FERME oléicole, la Chambre d'Agriculture du Var désire trouver des solutions efficaces pour les oléiculteurs du département. en lien étroit avec le réseau national des Techniciens Oléicoles et les essais menés par le Centre Technique de l'Olivier (FRANCE OLIVE) La poursuite du travail initié en 2022 doit permettre de mieux cerner les cycles biologiques de ces maladies foliaires en conditions réelles et de proposer des stratégies de lutte adaptées aux différentes pressions sanitaires rencontrées sur le terrain. Il sera, dans un premier temps, présenté un état des lieux de la pression fongique sur la période 2022-2024 des vergers de l'étude (toutes parcelles confondues). Dans un second temps, une étude statistique sur les relations entre les dégâts des maladies et les pratiques culturales ainsi que la classification des parcelles suivant les deux maladies et ces mêmes pratiques permettra une meilleure connaissance de la gestion des vergers pour le contrôle des maladies cryptogamiques. A cela, il sera étudié l'influence des pratiques culturales comme l'irrigation, la taille et la tonte sur la pression fongique et la défoliation. Enfin, une comparaison des variétés cultivées et les dégâts associées aux deux champignons de l'étude mettra en évidence des sensibilités variétales.

2 - MATERIELS ET METHODES

2.1. Le protocole “notations maladies du feuillage”

L'étude est réalisée sur les 10 vergers du groupe DEPHY (**Fig. 1.1.**) répartis sur l'ensemble du territoire. Différentes variétés ont servi à l'observation des maladies :

Sur un total de 340 arbres (**Tableau 2.1.**), les variétés majoritaires sont le Bouteillan (140 arbres) et l'Aglandau (80 arbres), d'autres variétés ont été étudiées comme le Boussarlu, la Picholine, le Cailletier et le Cayon (20 chacunes). Enfin, les parcelles de La Verdière et Lorgues présentent un mélange variétal avec comme variété principale la Salonenque et le Beccu respectivement.

Tableau 2.1. Ensemble des variétés par exploitation et nombre d'arbres étudiés

VERGER	Variété n°1	Nb	Variété n°2	Nb
LA VERDIERE	Mélange (Salonenque)	20	/	-
LE VAL	Boussarlu	20	/	-
VINS SUR CARAMY	Bouteillan	20	Aglandau	20
CUERS	Bouteillan	20	Aglandau	20
LA LONDE LES MAURES	Bouteillan	20	Aglandau	20
LORGUES	Mélange (Beccu)	20	/	-
CALLAS	Bouteillan	20	Picholine	20
TARADEAU	Bouteillan	20	Aglandau	20
ROQUEBRUNE SUR ARGENS	Bouteillan	20	Cailletier	20
GASSIN	Bouteillan	20	Cayon	20

Le protocole utilisé pour le suivi des maladies du feuillage du groupe DEPHY est celui qui a été mis en place par le Centre Technique de l'Olivier (CTO) de France Olive en 2021 (Fig. 2.1), en lien avec le réseau des techniciens oléicoles. Il s'agit de sélectionner 4 rameaux par arbre à différentes expositions : Nord, Sud, Est, Ouest. L'observation se fait sur la pousse de l'année n et celle de l'année n+1 (Fig. 2.2.). Avec des feuilles qui restent normalement 3 années sur l'arbre chez l'olivier (Ctifi, L'Olivier, 1999) ; il doit y avoir sur les rameaux toutes les feuilles de l'année en cours (2024) et toutes celles de l'année précédente (2023). Les rameaux sélectionnés devront être situés à hauteur d'homme, horizontaux, de vigueur moyenne (non érigés et non pendulaires, variable selon les variétés). Pour chacun des rameaux sélectionnés, il faudra compter :

- Le nombre total de feuilles,
- Le nombre de feuilles manquantes (x)
- Le nombre de feuille avec symptômes d'œil de paon,
- Le nombre de feuilles avec des symptômes de cercosporiose.

L'observation est répétée sur 20 arbres de la même variété.

Date :		VERGER					Variété n°1	Variété n°2	
Arbre	Rameau	Nbr de feuilles présentes	Nbr Feuilles saines	Oeil de paon		Cercosporiose Nbr feuilles AVEC spores	Nbr de feuilles manquantes	Note de défeuillaison	Note de défeuillaison
				Nbr feuille AVEC tache	Nbr de taches				
1	N								
	E								
	S								
	O								
2	N								
	E								
	S								
	O								
3	N								
	E								
	S								

Figure 2.1. Feuille de notation pour le suivi des maladies du feuillage de l'olivier ©CA83

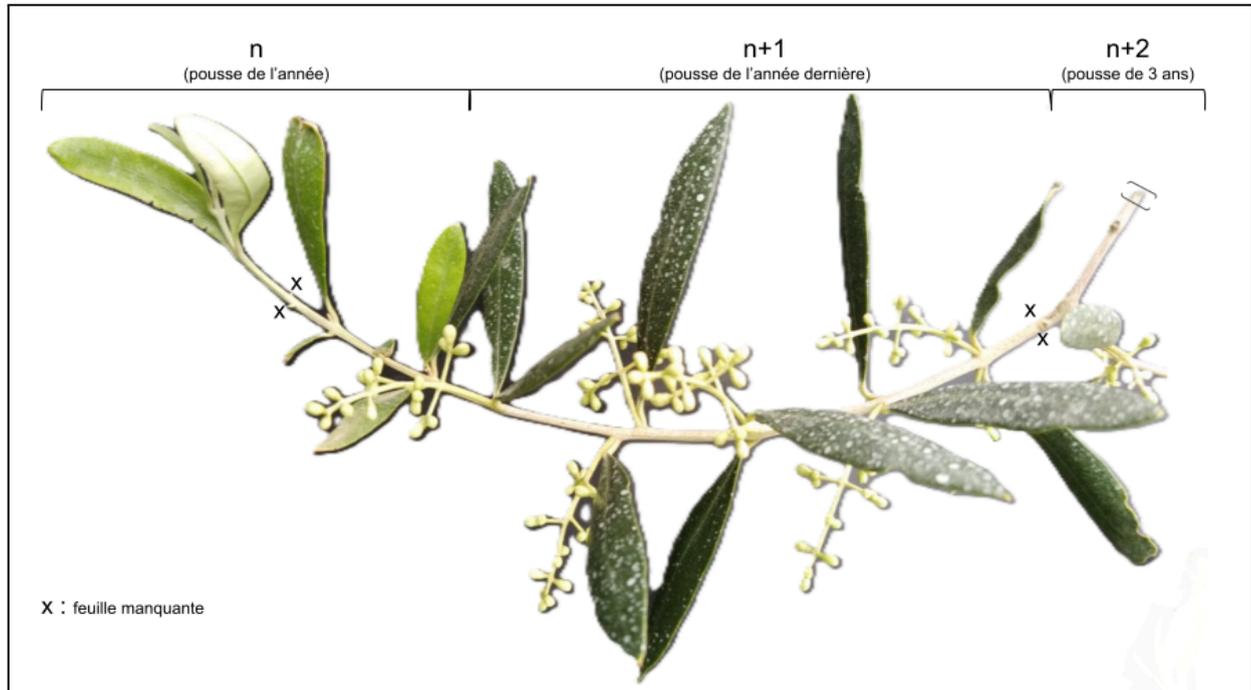


Figure 2.2. Pousse physiologique d'un rameau d'olivier à l'année n, n+1 et n+2 ©hugofuchs

Le protocole est répété sur 2 rangées de 10 arbres d'une même variété en évitant les arbres de bordures pour une meilleure représentativité 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 :** $\frac{\text{Feuilles atteintes}}{\text{Feuilles observées}}$

2.2. Les statistiques de l'étude

L'ensemble des tests statistiques a été réalisé avec le logiciel R v.4.3.2 (© 2023 The R Foundation for Statistical Computing), toutes les variables considérées ont été vérifiées pour leur homoscedasticité et leur distribution normales.

Tous les tests statistiques ont été considérés comme significatifs à $P \leq 0,05$.

2.2.1. Etat des lieux de la pression fongique pour la période 2022-2024

Les moyennes des variables (œil de paon, cercosporiose et défoliation) issues des indicateurs de dégâts du protocole maladies du feuillage pour l'ensemble des exploitations à chaque période de notation (février, mai, août et octobre) depuis 2022 permettent l'appréciation, par caractérisation graphique de type histogramme, de l'état sanitaire général des vergers du groupe DEPHY.

Dans cette situation de rejet des hypothèses de normalité et d'homogénéité des résidus, il est possible de comparer ces moyennes (fonction [summarySE](#)) à l'aide d'une ANOVA non paramétrique, ou test de Kruskal-Wallis. Afin d'évaluer quelles sont les moyennes qui diffèrent entre elles, il est nécessaire de réaliser des comparaisons multiples. Ces comparaisons multiples sont réalisées à l'aide du test de Wilcoxon, avec ajustement des p-values par la méthode de Holm (en employant la fonction [pairwise.wilcox.test](#)), qui est également un tests non-paramétrique, et en comparant toutes les moyennes deux à deux (procédure de Tukey).

Pour synthétiser les résultats d'une comparaison de moyennes, il a été réalisé un histogramme sur lequel il est reporté les comparaisons réalisées, et pour les résultats des tests statistiques employés, il a été utilisé des lettres.

La convention veut que si deux moyennes partagent une même lettre alors elles ne sont pas significativement différentes, et au contraire, si deux moyennes ne partagent pas une même lettre alors elles sont significativement différentes. Une fonction (nommée [tri.to.squ](#)) publiée sur le blog de Fabio Marroni qui, couplée à la fonction [multcompLetters](#) du package [multcompView](#), permet facilement d'employer des lettres pour indiquer les résultats des comparaisons.

2.2.2. Etude des relations entre taux de maladies, défoliation et traitements

Une exploration des données est réalisée par ACP (Analyse en Composantes Principales) pour l'étude et la visualisation des corrélations entre les variables quantitatives. Les deux maladies sont traitées séparément. Les variables quantitatives étudiées sont : les dégâts de la maladie de l'œil de paon (DegatODP), les dégâts de cercosporiose (Degatcerco), le taux de défoliation (Degatdefo), exprimés en pourcentage, les IFT (Indice de Fréquence de Traitements phytosanitaires) cuivre sur 14 mois (IFT_cuivre14) et 6 mois (IFT_cuivre6), les IFT argile sur 14 mois (IFT_argile14) et 6 mois (IFT_argile6) et la quantité de cuivre métal appliquée sur 14 mois (Qt_cuivre14) et 6 mois (Qt_cuivre6) en Kg/ha. Les variables IFT Curatio® sur 14 mois (IFT_curatio14) et 6 mois (IFT_curatio6) seront aussi étudiées, le Curatio® est un traitement complémentaire au soufre. Les différentes parcelles du groupe DEPHY seront réparties selon ces variables. L'IFT est calculé comme suit :
$$\text{IFT} = \frac{\text{dose appliquée}}{\text{dose de référence}} \times \frac{\text{surface traitée}}{\text{surface de la parcelle}}$$
 L'IFT comptabilise le nombre de doses de référence utilisées par hectare au cours d'une campagne culturale (1 pleine dose correspond à un IFT de 1).

Les variables sous 14 mois et 6 mois nous renseignent sur les traitements effectués les 6 ou 14 derniers mois précédant la notation. Cela permet de tester l'efficacité des traitements en fonction de la période d'incubation du champignon (6 mois pour l'œil de paon et 14 mois pour la cercosporiose).

La corrélation de Spearman (équivalent non-paramétrique) avec l'analyse de coefficient de corrélation (Rho) a servi à la détermination des corrélations entre les variables quantitatives. Si la corrélation propose une valeur p inférieure ou égale au niveau de signification (0.05), le résultat est alors défini comme statistiquement significatif (H1). Les ACP ont été réalisées avec les packages [FactoMineR](#) pour les méthodes d'analyses de données et [Factoshiny](#) pour la construction des graphes.

2.2.3. Classification hiérarchique des parcelles entre taux de maladies, défoliation, traitements et irrigation.

Une classification hiérarchique des parcelles est ensuite réalisée. Les deux maladies sont traitées séparément. Les variables quantitatives étudiées sont : les dégâts de la maladie de l'œil de paon (DegatODP), les dégâts de cercosporiose (Degatcerco), le taux de défoliation (Degatdefo), exprimés en pourcentage, les IFT (Indice de Fréquence de Traitement) cuivre sur 14 mois (IFT_cuivre14) et 6 mois (IFT_cuivre6), et la quantité de cuivre métal appliquée sur 14 mois (Qt_cuivre14) et 6 mois (Qt_cuivre6) en Kg/ha. Les différentes parcelles du groupe DEPHY seront réparties selon ces variables quantitatives ainsi que la variable qualitative supplémentaire "Irrigation". Un plan factoriel des individus sera colorié en fonction de la classe à laquelle ils appartiennent sous la probabilité critique de 0.05. La classification a été réalisée avec le package [Factoshiny](#) pour la construction des graphes.

2.2.4. Conséquences de l'irrigation, la taille et la tonte sur la pression fongique et la défoliation.

Les moyennes des dégâts pour la maladie de l'œil de paon, la cercosporiose et la défoliation pour chaque pratique culturale (irrigation, taille et tonte) ont été calculées (fonction [summarySE](#)), tous les mois et années confondus. Des comparaisons multiples sont réalisées à l'aide du test de Wilcoxon, avec ajustement des p-values par la méthode de Holm (en employant la fonction [pairwise.wilcox.test](#)), et en comparant toutes les moyennes deux à deux (procédure de Tukey).

Pour synthétiser les résultats d'une comparaison de moyennes, il a été réalisé des histogrammes sur lesquels sont reportées les comparaisons réalisées, et pour les résultats des tests statistiques employés, il a été utilisé des lettres.

2.2.5. Étude sur la sensibilité variétale des oliviers aux maladies.

Les moyennes des dégâts pour la maladie de l'œil de paon et la cercosporiose pour chaque variété sur les parcelles de l'étude ont été calculées (fonction [summarySE](#)), tous les mois et années confondus. Des comparaisons multiples sont réalisées à l'aide du test de Wilcoxon, avec ajustement des p-values par la méthode de Holm (en employant la fonction [pairwise.wilcox.test](#)), et en comparant toutes les moyennes deux à deux (procédure de Tukey).

Pour synthétiser les résultats d'une comparaison de moyennes, il a été réalisé des boîtes à moustache sur lesquelles sont reportées les comparaisons réalisées, et pour les résultats des tests statistiques employés, il a été utilisé des lettres.

3 - RÉSULTATS

3.1. Etat des lieux de la pression fongique pour la période 2022-2024

Pour la maladie de l'œil de paon, la cercosporiose et la défoliation, la p-value des tests de Kruskal-Wallis (p-value < 2.2e-16) étant inférieure à 0.05, l'hypothèse de l'égalité des moyennes est rejetée. On conclut donc que les moyennes des 11 groupes sont globalement différentes pour chacune des trois variables. Les p-values des comparaisons multiples réalisées à l'aide de tests de Wilcoxon et de la procédure de Tukey sont détaillés en **Annexe 1.1.**, **1.2.** et **1.3.** pour les trois variables.

La maladie de l'œil de paon est significativement plus importante (**Fig. 3.1**) aux mois de mai 2022, 2023 et 2024 ($8.73\% \pm 0.42$, $7.63\% \pm 0.38$ et $7.67\% \pm 0.39$ respectivement) tandis que pour les autres mois la pression est plus faible et notamment pour les mois de février et octobre 2023 ($3.12\% \pm 0.25$ et $1.83\% \pm 0.13$).

La cercosporiose a une moyenne significativement équivalente (~40%) pour toute la période 2022-2023 excepté le pic en février 2023 à $74.16\% \pm 0.81$ et une baisse statistiquement significative en octobre 2023 ($26.90\% \pm 0.63$). On constate une reprise en février 2024 ($39.18\% \pm 0.70$) et un retour en mai 2024 à la moyenne d'octobre 2023.

La défoliation est importante aux mois de février, août et octobre 2022 ($59.60\% \pm 0.86$, $55.51\% \pm 0.81$ et $65.49\% \pm 0.71$). En mai 2022, février, mai et août 2023 et février et mai 2024, la défoliation est plus modérée (entre 15 et 30%), une plus forte défoliation est toutefois constatée en août et octobre 2023 ($35.43\% \pm 0.63$ et $39.19\% \pm 0.51$) et août 2024 ($33.08\% \pm 0.49$).

Statistiquement la défoliation est plus importante en 2022 comparée aux années 2023 et 2024.

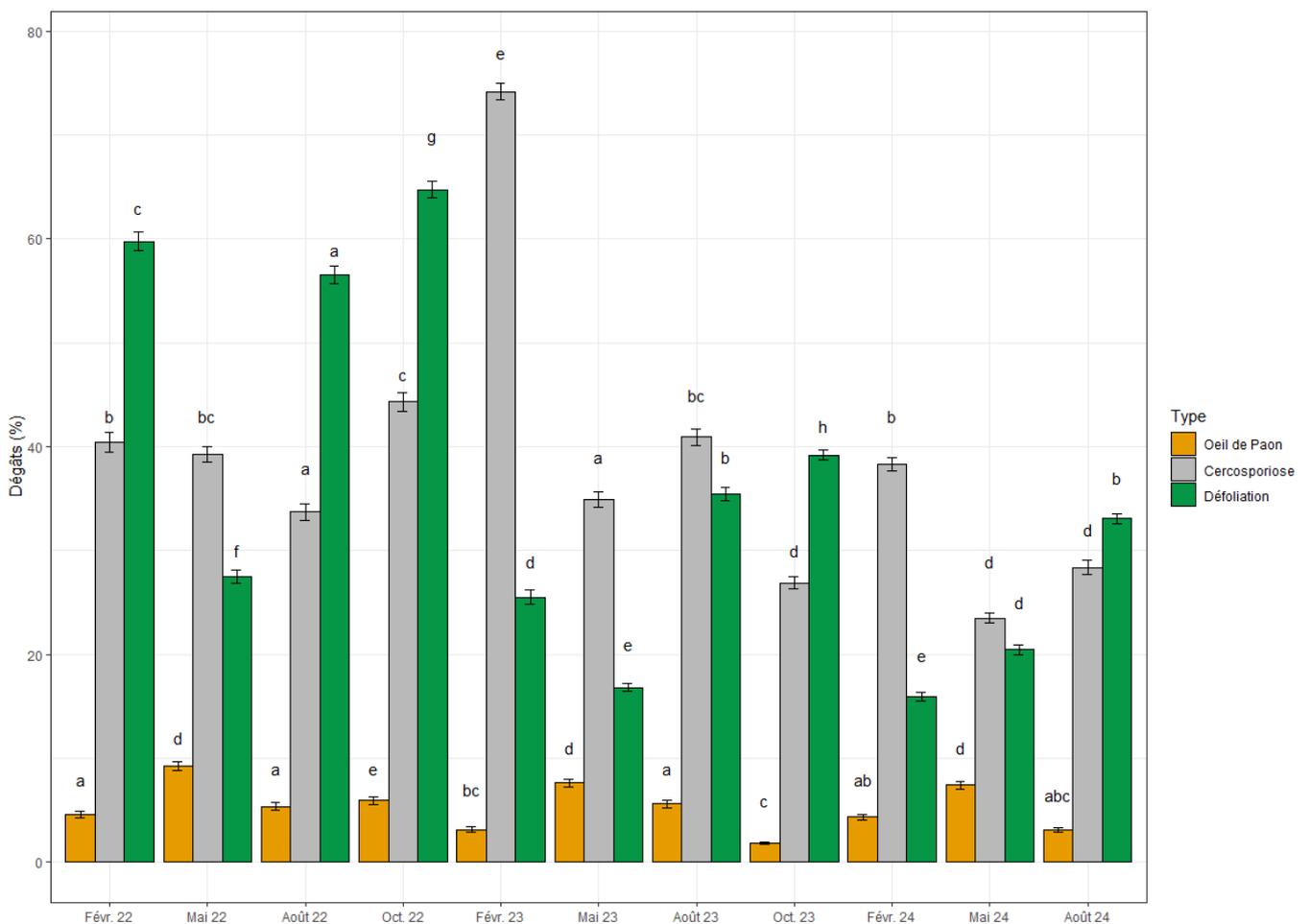


Figure 3.1. Moyennes de la pression fongiques (œil de paon et cercosporiose) et de la défoliation en (%) de l'ensemble des exploitations du groupe DEPHY en fonction des mois d'observation sur la période 2022-2024. L'erreur standard est représentée. Différentes lettres indiquent des différences significatives par comparaison multiple à $P > 0.05$ selon le test de Wilcoxon (et procédure de Tukey).

3.2. Études des relations entre taux de maladies, défoliation et traitements.

Les résultats présentés ont été sélectionnés pour leurs représentativités, à la fois présentant des taux de maladies élevés et significativement différents des autres mois ainsi que des pratiques culturales équivalentes entre chaque verger.

3.2.1. Corrélations pour la maladie de l'œil de paon

La figure (**Fig. 3.2.A**) nous fournit les informations suivantes :

- les dégâts de la maladie de l'œil de paon et le taux de défoliation semble corrélés ;
- les dégâts de la maladie de l'œil de paon et la défoliation ne semblent pas liés avec l'IFT argile ;
- l'IFT Curatio® ne semblent pas liés à l'IFT cuivre ;
- l'IFT cuivre, la quantité de cuivre appliqué et l'IFT argile semblent corrélés ;
- l'IFT cuivre, la quantité de cuivre appliqué et l'IFT Curatio® semblent anti-corrélés aux dégâts de de la maladie de l'œil de paon et au taux de défoliation.

La corrélation observée entre les dégâts de la maladie de l'œil de paon et le taux de défoliation est de $Rho = 0.2$ et puisque la valeur $p < 2.2e-16$ est considérablement inférieure à 0.05, l'hypothèse nulle (il n'y a pas de corrélation) est rejetée, l'hypothèse alternative (H1) est acceptée, il y a une faible corrélation positive et significative entre les dégâts de la maladie de l'œil de paon et le taux de défoliation.

De même, les corrélations entre dégâts de la maladie de l'œil de paon et l'IFT cuivre et quantité de cuivre métal appliquée sont de $Rho = -0.3$ pour les deux variables et $p < 2.2e-16$ respectivement, H1 étant acceptée, il y a une corrélation négative moyenne et significative entre la maladie de l'œil de paon et l'IFT cuivre et quantité de cuivre métal appliquée.

De plus, il y a bien une corrélation négative ($Rho = -0.2$ et -0.3) et significative ($p < 2.2e-16$) entre le taux de défoliation et l'IFT cuivre et la quantité de cuivre appliquée

Il n'y a pas de corrélation ($Rho = -0.01$ mais $p = 0.3396 > 0.05$) entre les dégâts de la maladie de l'œil de paon et l'IFT argile. Le taux de défoliation et l'IFT argile est très faiblement corrélé négativement ($Rho = -0.09$) et significatif car la p-value ($5.772e-08$) rejette H0.

Concernant le Curatio®, la corrélation entre cette variable et les dégâts de la maladie de l'œil de paon est de $Rho = -0.3$ et $p < 2.2e-16$, il y a une corrélation négative moyenne et significative entre la maladie de l'œil de paon et les IFT Curatio®. De même, la corrélation entre l'IFT Curatio® et le taux de défoliation est de $Rho = -0.09$ et $p = 2.082e-07$, il y a donc une très faible corrélation négative et significative entre les deux variables.

Entre traitements, la corrélation entre l'IFT cuivre et la quantité de cuivre métal appliqué est très élevée ($Rho = 0.8$), positive et significative ($2.2e-16 < 0.05$). Les corrélations entre l'IFT cuivre et la quantité de cuivre métal avec l'IFT argile sont bien positives ($Rho = 0.1$ et 0.2 respectivement) et significatives (p-values = $1.225e-13$ et $2.2e-16$). Il y a une très faible corrélation négative ($Rho = -0.04$) et significative (p-value = 0.00617) entre l'IFT Curatio® et l'IFT cuivre. Enfin, il y a une faible corrélation ($Rho = 0.2$), positive et significative ($p < 2.2e-16$) entre l'IFT Curatio® et quantité de cuivre métal appliqué.

De ces observations, nous pouvons conclure que l'axe 1 oppose l'IFT cuivre et quantité de cuivre métal appliqué aux symptômes des maladies du feuillage alors que l'axe 2 correspond plutôt à l'IFT Curatio® et IFT argile.

Ainsi, il est possible par la **Fig. 3.2.B** de caractériser les exploitations qui traitent le plus et qui expriment moins de symptômes à celles qui traitent le moins et qui expriment le plus de symptômes ainsi que les parcelles qui utilisent du Curatio®.

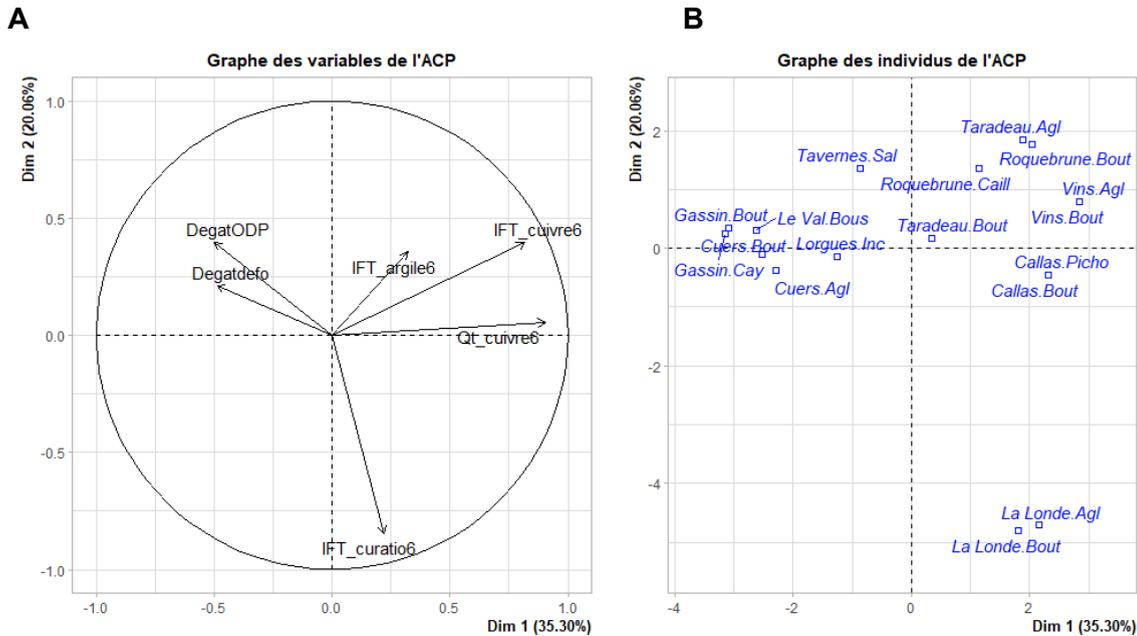


Figure 3.2. (A) Cercle de corrélation des données taux d'œil de paon et défoliation exposés aux différents traitements, moyenne des mois de mai 2022, 2023 et 2024 et (B) Distribution des individus de l'ACP (Parcelle). L'axe 1 projette 35.30% de la variabilité totale des données et l'axe 2, 20.06%.

3.2.2. Corrélations pour la cercosporiose

La figure (**Fig. 3.3.A**) nous fournit les informations suivantes :

- le taux de défoliation ne semble pas lié avec les dégâts de cercosporiose ;
- l'IFT Curatio® ne semblent pas liés à l'IFT cuivre ;
- les dégâts de cercosporiose ne semblent pas liés avec l'IFT argile ;
- l'IFT cuivre, la quantité de cuivre métal appliquée et l'IFT argile semblent corrélés ;
- l'IFT cuivre et la quantité de cuivre métal semblent anti-corrélés aux dégâts de cercosporiose et au taux de défoliation ;
- l'IFT Curatio® et le taux de défoliation semblent anti-corrélés ;
- l'IFT Curatio® et les dégâts de cercosporiose semblent corrélés.

La corrélation observée entre les dégâts de la cercosporiose et le taux de défoliation est de $Rho = 0.04$ et puisque la valeur $p = 0.003$ est légèrement inférieure à 0.05, l'hypothèse nulle (il n'y a pas de corrélation) est rejetée, l'hypothèse alternative (H1) est acceptée, il y a une très faible corrélation positive et significative entre les dégâts de la cercosporiose et le taux de défoliation.

De même, les corrélations entre dégâts de la cercosporiose et l'IFT cuivre et quantité de cuivre métal appliquée sont de $Rho = -0.3$ pour les deux variables et $p < 2.2e-16$ respectivement, H1 étant acceptée, il y a une corrélation négative moyenne et significative entre la cercosporiose et l'IFT cuivre et quantité de cuivre métal appliquée.

De plus, il y a bien une corrélation négative ($Rho = -0.1$ et -0.3) et significative ($p = 1.423e-13$ et $p < 2.2e-16$) entre le taux de défoliation et l'IFT cuivre et la quantité de cuivre appliquée. Il y a également une corrélation négative ($Rho = -0.1$) et significative ($p = 1.423e-13$) entre le taux de défoliation et l'IFT Curatio®.

La corrélation entre l'IFT argile et les dégâts de la cercosporiose est faible, négative ($Rho = -0.2$) et significative $p < 2.2e-16$. La corrélation entre l'IFT argile et le taux de défoliation est également faible, négative ($Rho = -0.1$) et significative, $p = 1.499e-14$.

A l'inverse, la corrélation entre les traitements au Curatio® et les dégâts de cercosporiose est très faible, positive et significative ($Rho = 0.1$ avec $p = 3.602e-11$)

Les corrélations relevées entre l'IFT cuivre, la quantité de cuivre métal appliquée, l'IFT argile et l'IFT Curatio® sont positives et significatives ($Rho > 0.1$ et H_0 rejeté car p -value < 0.05).

De ces observations, nous pouvons conclure que l'axe 1 oppose à nouveau l'IFT cuivre et quantité de cuivre métal appliqué aux symptômes des maladies du feuillage alors que l'axe 2 correspond plutôt à l'IFT Curatio® et IFT argile.

Ainsi, il est possible par la **Fig. 3.3.B** de caractériser une fois de plus, les exploitations qui traitent le plus et qui expriment moins de symptômes à celles qui traitent le moins et qui expriment le plus de symptômes ainsi que les parcelles qui utilisent du Curatio®.

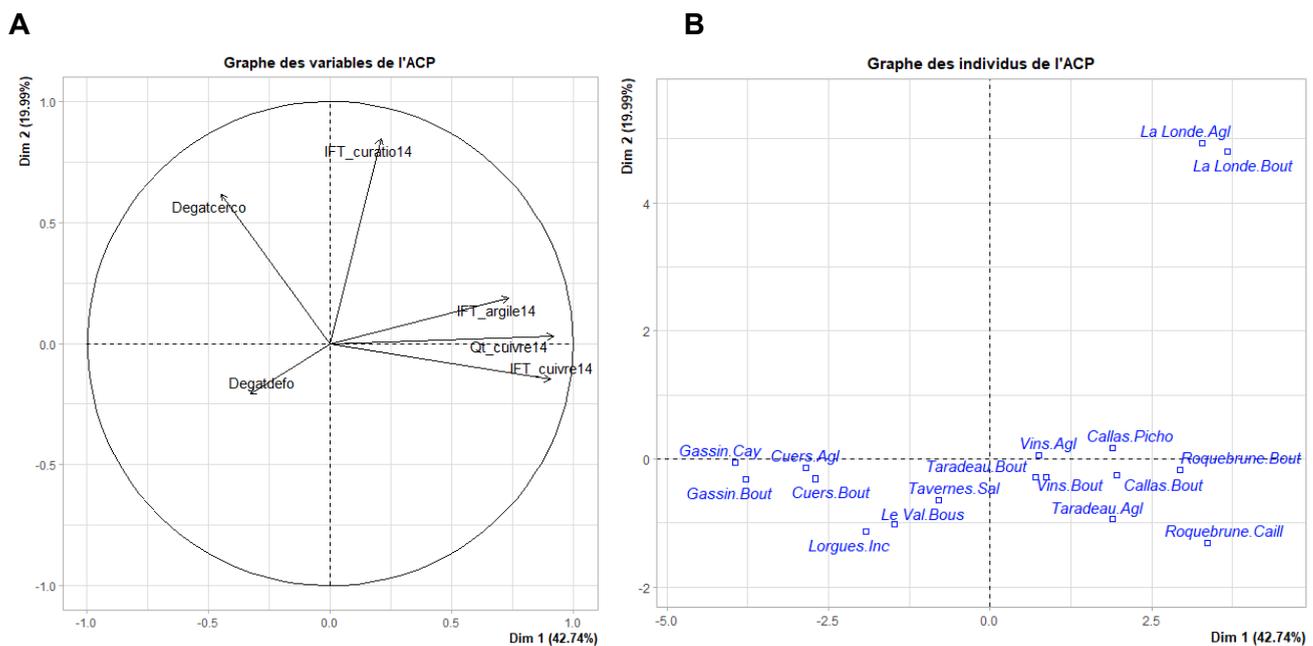


Figure 3.3. (A) Cercle de corrélation des données taux de cercosporiose et défoliation exposés aux différents traitements, moyenne des mois de février 2022, 2023 et 2024 et (B) Distribution des individus de l'ACP (Parcelle). L'axe 1 projette 42.74% de la variabilité totale des données et l'axe 2, 19.99%

3.3. Classification hiérarchique des parcelles entre taux de maladies, défoliation, traitements et irrigation.

3.3.1. Classes pour la maladie de l'œil de paon

La classification hiérarchique des parcelles pour la maladie de l'œil de paon nous permet d'observer la formation de 6 classes distinctes au sein du groupe DEPHY (**Fig. 3.5.**). En **Annexe 2.1.**, la description de chaque classe par les variables et les modalités sous la probabilité critique de 0,05. Le premier cluster en noir regroupe les parcelles qui n'irriguent pas, qui ne traitent pas et qui souffrent plus d'œil de paon et de défoliation. Le deuxième en rouge, celles qui, avec ou sans irrigation, ne traitent pas ou peu et avec de petites doses de cuivre métal et qui ont moins d'œil de paon mais plus de défoliation. Le troisième en vert, sans irrigation, montre celle qui traite peu avec de petites doses de cuivre métal et présente plus de maladie de l'œil de paon mais peu de défoliation. Le quatrième cluster en bleu, regroupe les vergers qui irriguent, qui traitent fréquemment et à de forte dose de cuivre métal et présentent peu à modérément d'œil de paon mais plus de défoliation. En cyan, le cinquième cluster, ce sont ceux qui irriguent, qui traitent modérément avec des doses classiques de cuivre métal et présentent moins d'œil de paon et de défoliation. Enfin, le dernier cluster en magenta est sans irrigation, traite plus fréquemment avec des doses normales et présente moins d'œil de paon et de défoliation.

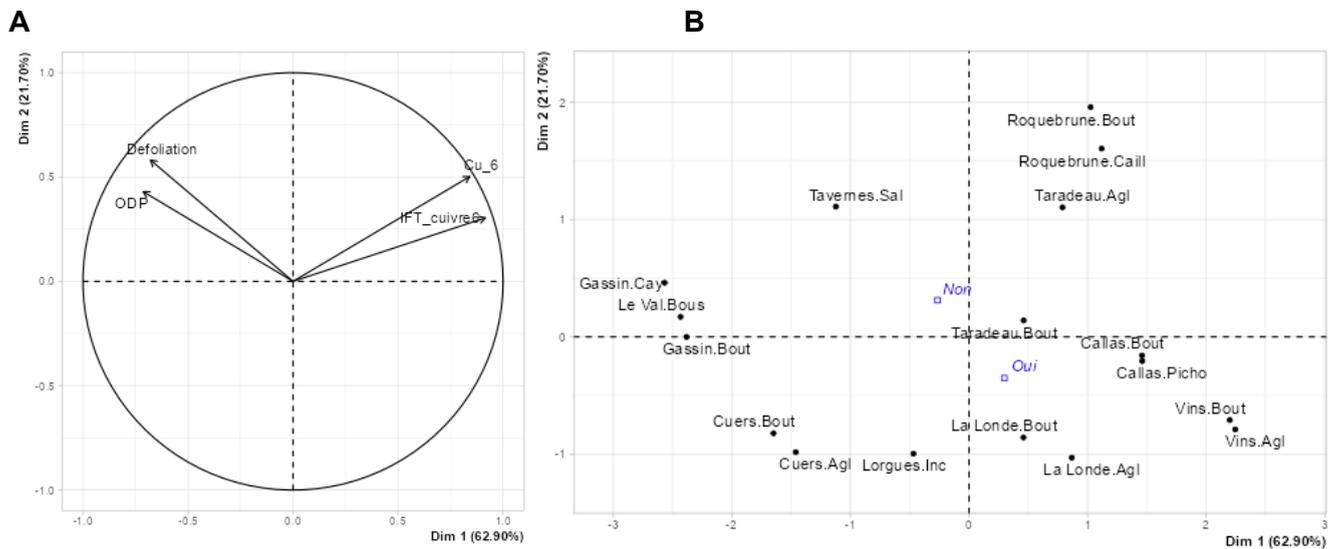


Figure 3.4. (A) Cercle de corrélation des données taux d'œil de paon et défoliation par rapport aux variables Quantité de cuivre métal sur 6 mois et IFT des 6 derniers mois, moyenne des mois de mai 2022, 2023 et 2024 et (B) Distribution des individus de l'ACP (Parcelle) selon les variables quantitatives et la variable qualitative supplémentaire "Irrigation". L'axe 1 projette 62.90% de la variabilité totale des données et l'axe 2, 21.70%

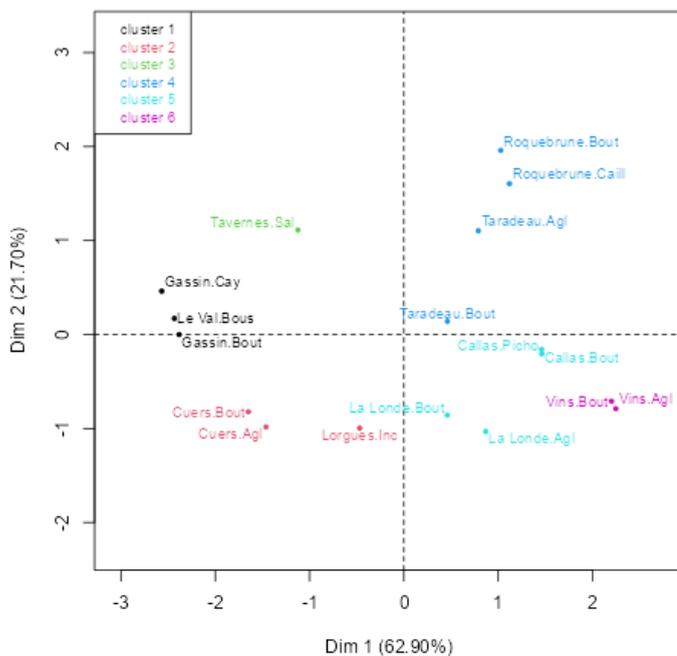


Figure 3.5. Classification des parcelles selon les variables quantitatives et la variable qualitative supplémentaire "Irrigation" (Fig. 3.4. B). L'axe 1 projette 62.90% de la variabilité totale des données et l'axe 2, 21.70%.

3.3.2. Classes pour la cercosporiose

La classification hiérarchique des parcelles pour la cercosporiose nous permet d'observer la formation de 5 classes distinctes au sein du groupe DEPHY (Fig. 3.7.). En Annexe 2.2. la description de chaque classe par les variables et les modalités sous la probabilité critique de 0,05. Le premier cluster en noir regroupe les parcelles avec ou sans irrigation, qui ne traitent peu à pas du tout, avec de petites doses de cuivre métal et qui souffrent plus de cercosporiose et de défoliation. Le deuxième en rouge, celles qui, sans irrigation, ne traitent peu à pas du tout et avec de petites doses de cuivre métal et qui ont moins de cercosporiose mais plus de défoliation. Le troisième en vert, sont ceux qui irriguent, qui traitent modérément et à de plus fortes doses de cuivre métal et présentent de la cercosporiose et de la défoliation. Le quatrième cluster en bleu est celui qui n'irrigue pas, traite modérément avec des doses normales de cuivre et présente de la cercosporiose mais moins de défoliation. Enfin, en cyan, le cinquième cluster, sont

ceux qui avec ou sans irrigation, traitent plus fréquemment avec de fortes doses de cuivre et présentent moins de cercosporiose et de défoliation.

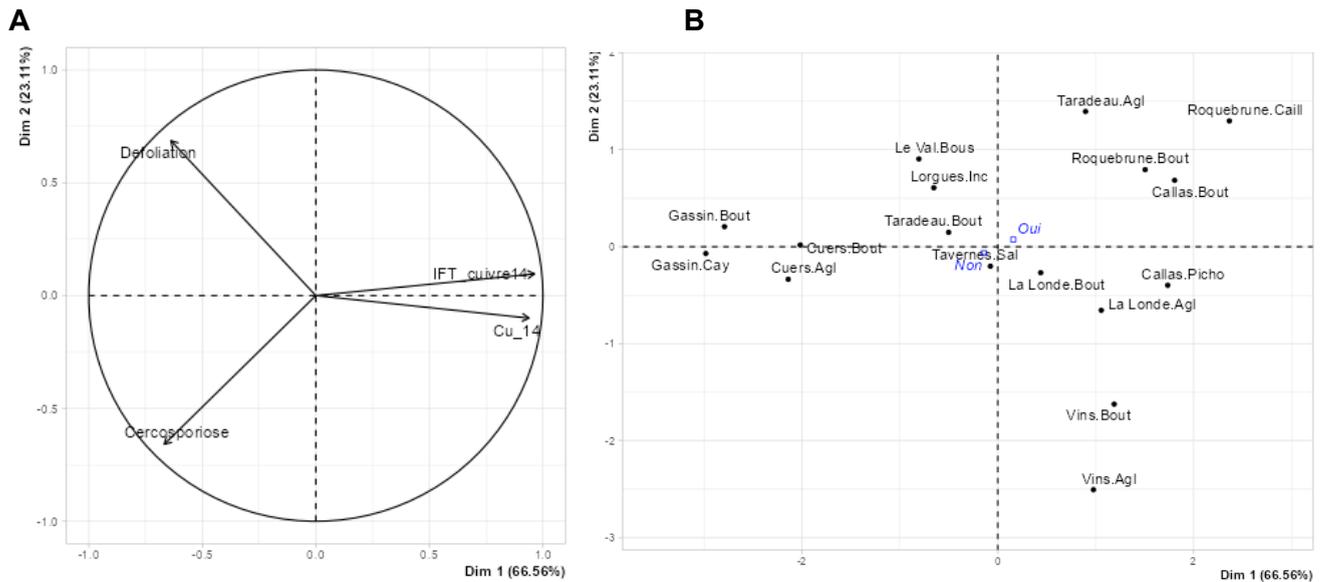


Figure 3.6. (A) Cercle de corrélation des données taux de cercosporiose et défoliation par rapport aux variables Quantité de cuivre métal appliquée sur 14 mois et IFT des 14 derniers mois, moyenne des mois de février 2022, 2023 et 2024 et (B) Distribution des individus de l'ACP (Parcelle) selon les variables quantitatives et la variable qualitative supplémentaire "Irrigation". L'axe 1 projette 66.56% de la variabilité totale des données et l'axe 2, 23.11%

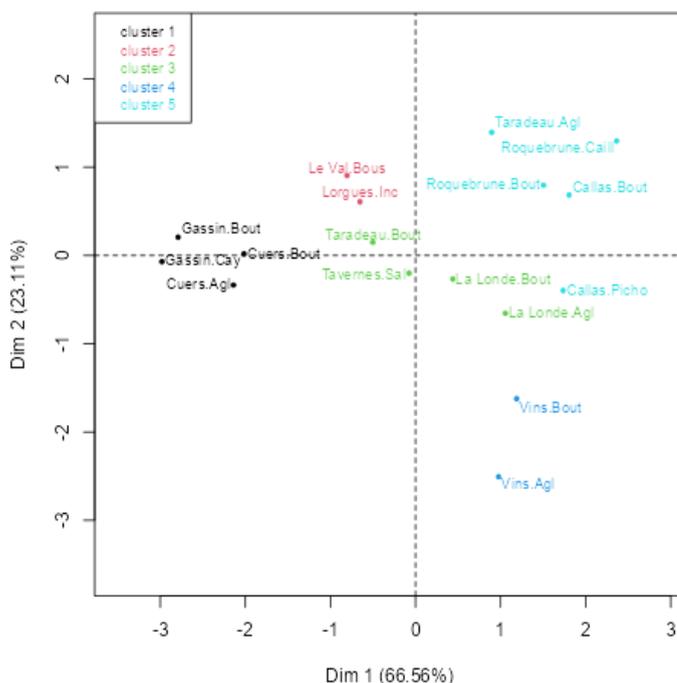


Figure 3.7. Classification des parcelles selon les variables quantitatives et la variable qualitative supplémentaire "Irrigation" (Fig. 3.4. B). L'axe 1 projette 66.56% de la variabilité totale des données et l'axe 2, 23.11%.

3.5. Conséquences de l'irrigation, la taille et la tonte sur la pression fongique et la défoliation.

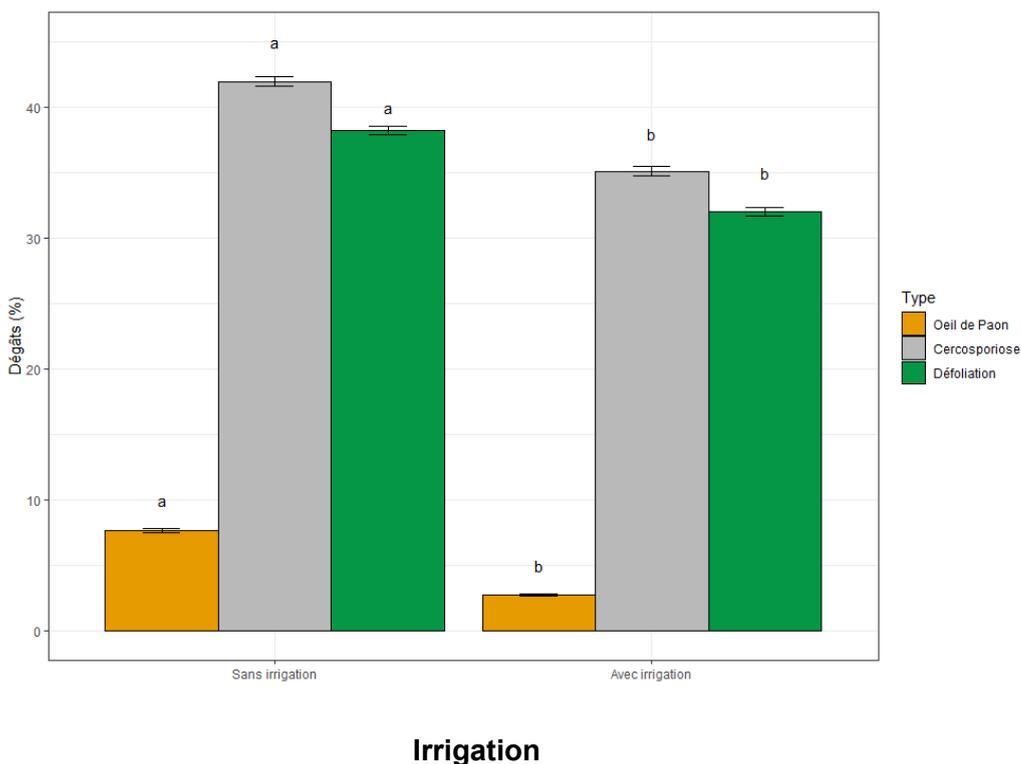
Pour la maladie de l'œil de paon, la cercosporiose et la défoliation, les p-values des tests de Kruskal-Wallis (p-values < 2.2e-16) étant inférieures à 0.05, l'hypothèse de l'égalité des moyennes est rejetée. On conclut donc que les moyennes des différents groupes sont globalement différentes pour les deux maladies et la défoliation. Les p-values des comparaisons multiples réalisées à l'aide de tests de Wilcoxon et de la procédure de Tukey sont détaillés en **Annexes 3.1.**, et **3.2.**

Concernant l'irrigation (**Fig. 3.8. A**), la maladie de l'œil de paon est significativement moins présente, avec $7.68\% \pm 0.17$ de dégâts sans irrigation contre $2.73\% \pm 0.09$ avec irrigation. La cercosporiose est également moins présente $41.92\% \pm 0.36$ contre $35.09\% \pm 0.35$ avec irrigation. De même, pour le taux de défoliation qui sans irrigation est de $38.23\% \pm 0.32$ contre $32.00\% \pm 0.33$.

Pour la taille (**Fig. 3.8. B**), la maladie de l'œil de paon est moins présente avec une taille par an, $4.46\% \pm 0.12$, par rapport à une taille tous les deux ans ($5.88\% \pm 0.20$) ou encore une taille tous les trois ans ($7.42\% \pm 0.34$). Une taille tous les trois ans présente moins de dégâts de cercosporiose ($28.99\% \pm 0.63$) par rapport aux autres fréquences de taille (~40%). A l'inverse, une taille tous les trois ans présente un taux de défoliation plus important ($40.44\% \pm 0.62$) par rapport aux autres fréquences de taille (~34%).

Enfin, pour la tonte (**Fig. 3.8. C**), il y a moins de dégâts de la maladie de l'œil de paon ($0.72\% \pm 0.08$) avec trois tontes par an, contrairement aux autres fréquences de tonte. Trois tontes par an présente également moins de cercosporiose, 32.90% (contre 38 et 40%) et moins de défoliation (30.73% contre 33.18 et 37.19%).

A



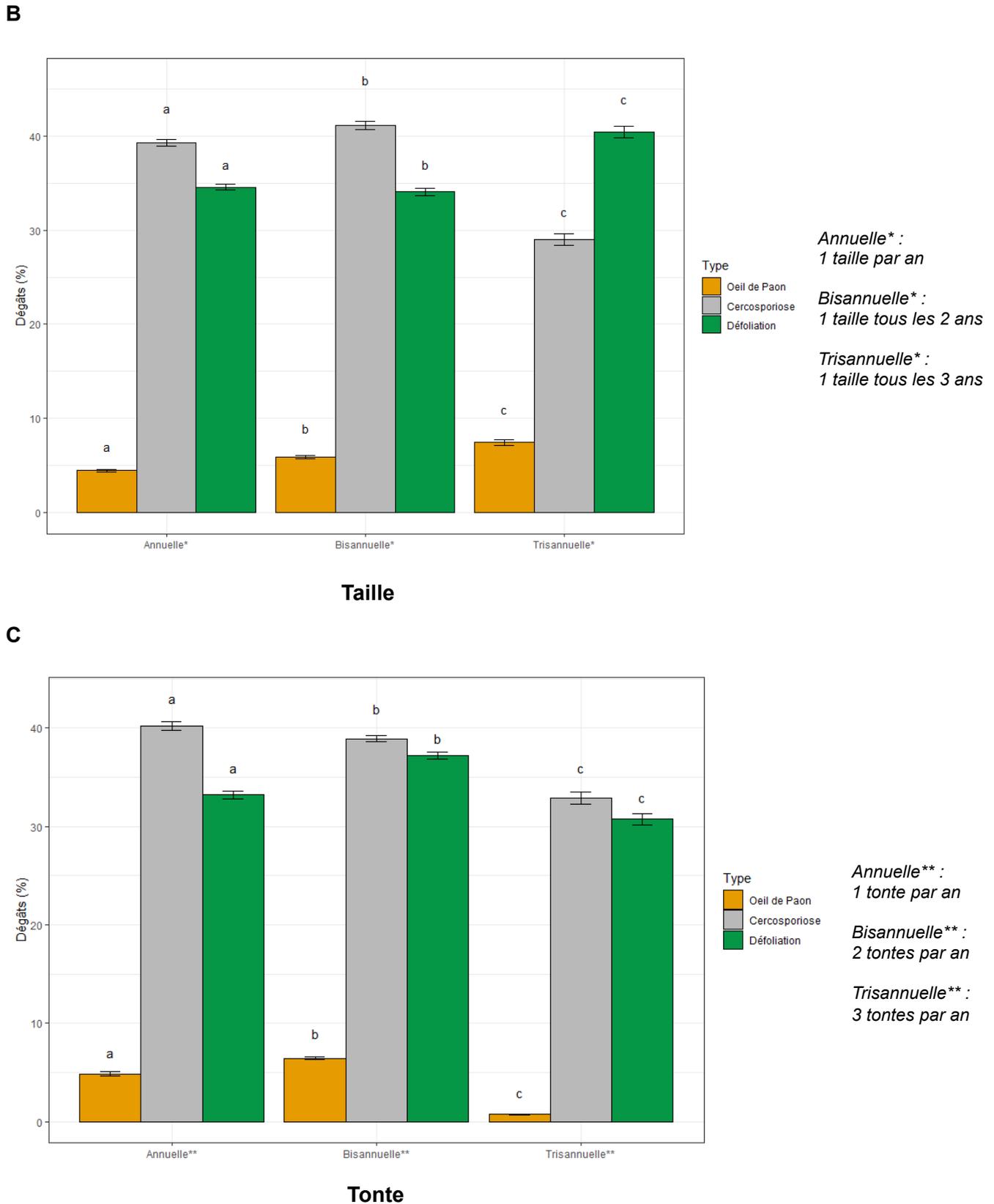


Figure 3.8. Histogramme des moyennes des dégâts de la maladie de l'œil de paon, la cercosporiose et la défoliation pour chaque pratique cultural : l'irrigation (A), la taille (B) et la tonte (C). Différentes lettres indiquent des différences significatives par comparaison multiple à $P > 0.05$ selon le test de Wilcoxon (et procédure de Tukey). L'erreur standard est représentée.

3.5. Sensibilité variétale aux maladies fongiques.

Pour la maladie de l'œil de paon et la cercosporiose, la p-value des tests de Kruskal-Wallis (p-value < 2.2e-16) étant inférieure à 0.05, l'hypothèse de l'égalité des moyennes est rejetée. On conclut donc que les moyennes des 8 groupes sont globalement différentes pour les deux maladies. Les p-values des comparaisons multiples réalisées à l'aide de tests de Wilcoxon et de la procédure de Tukey sont détaillés en **Annexes 4.1.**, et **4.2.**

3.5.1. Sensibilité variétale à la maladie de l'œil de paon

Pour l'ensemble des variétés, la p-value des tests de Kruskal-Wallis (p-value < 2.2e-16) étant inférieure à 0.05, l'hypothèse de l'égalité des moyennes est rejetée. On conclut donc que les moyennes des 8 groupes sont globalement différentes pour chacune des trois variables. Les p-values des comparaisons multiples ont été réalisées à l'aide de tests de Wilcoxon et de la procédure de Tukey.

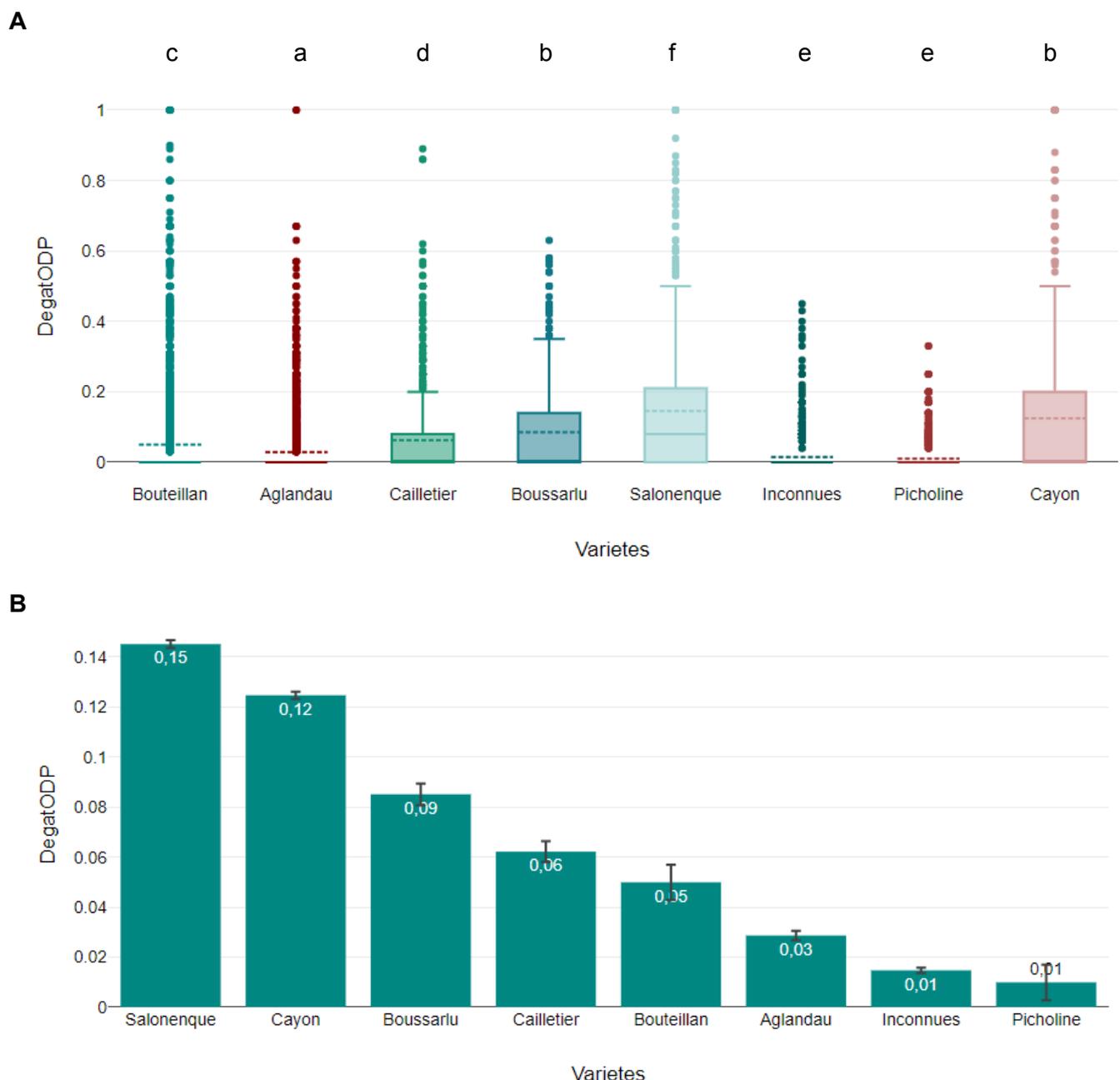


Figure 3.9. Sensibilité variétale à la maladie de l'œil de paon des parcelles du groupe DEPHY, période 2022-2024. **(A)** Boîte à moustache des dégâts d'œil de paon selon les variétés. Différentes lettres indiquent des différences significatives par comparaison multiple à $P > 0.05$ selon le test de Wilcoxon (et procédure de Tukey). **(B)** Histogramme des moyennes. L'erreur standard est représentée.

3.5.2. Sensibilité variétale à la cercosporiose

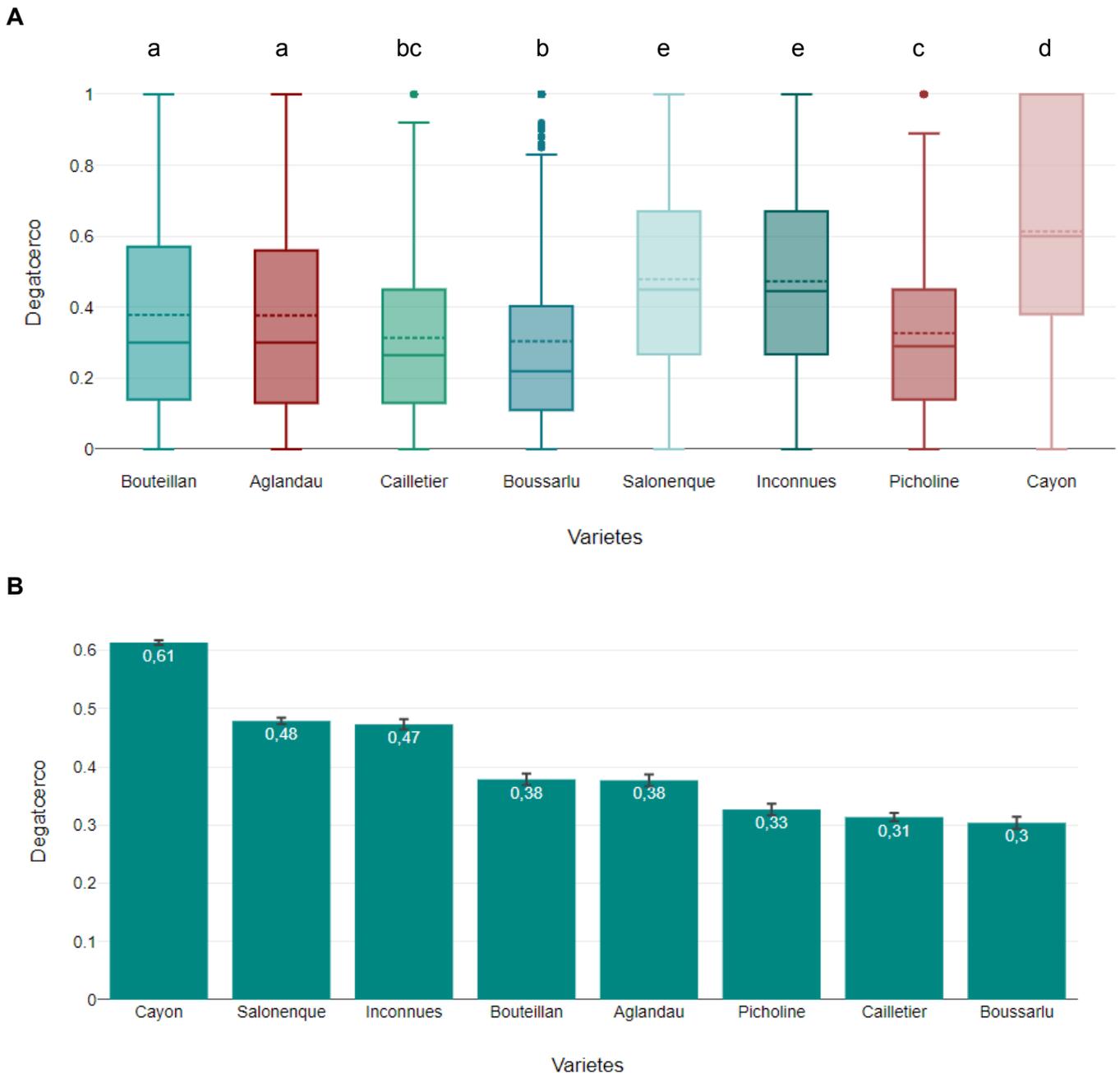


Figure 3.10. Sensibilité variétale à la cercosporiose des parcelles du groupe DEPHY, période 2022-2024. **(A)** Boîte à moustache des dégâts de cercosporiose selon les variétés. Différentes lettres indiquent des différences significatives par comparaison multiple à $P > 0.05$ selon le test de Wilcoxon (et procédure de Tukey). **(B)** Histogramme des moyennes. L'erreur standard est représentée.

Une boîte à moustache indique la plage dans laquelle se situent les 50 % intermédiaires de toutes les valeurs. Ainsi, l'extrémité inférieure de la boîte correspond au 1er quartile et l'extrémité supérieure correspond au 3e quartile. Dans le boxplot, la ligne pleine indique la médiane et la ligne pointillée indique la moyenne.

Parmi les variétés sensibles à la maladie de l'œil de paon (**Fig. 3.8.**), l'on peut constater que les oliviers de la variété Salonenque sont pour 50% d'entre eux atteints de 0 (q1) à 21% (q3) par la maladie de l'œil de paon et 25% de ces oliviers présentent plus de 21% de dégâts, jusqu'à 50%. Avec une moyenne de 15 % de dégâts pour cette variété. Le Cayon a quant à lui, 50% de ses arbres entre 0 et 20% de présence d'œil de paon et 25% entre 21% à 50% de feuilles atteintes par la maladie (12 % en moyenne). 50% des oliviers de la variété Boussarlu ont entre 0 à 14% de leurs feuilles atteintes d'œil de paon et 25% des arbres de cette variété présentent plus de 14% à 35% de dégâts. Enfin, la variété Cailletier à 50% de ces individus entre 0 et 8% de feuilles infectées et 25 % ont plus de 8% jusqu'à 20% de feuilles malades.

Pour la cercosporiose (**Fig. 3.9.**), la variété Cayon a pour 50% d'individus de 38% à 100% de feuilles malades. Avec une moyenne de 61 % de dégâts pour cette variété La Salonenque comme le mélange (variété Inconnue) ont 50% d'oliviers présentant 27 à 67% de cercosporiose et 25% des arbres jusqu'à 100% (dégâts à 48% en moyenne pour ces variétés). De même, Bouteillan et Aglandau ont 50% de leurs arbres atteint de 13 à 57% de cercosporiose et 25 % des oliviers jusqu'à 100%. Enfin, Cailletier, Boussarlu et Picholine ont 50% de leurs arbres avec 11 à 45% de leurs feuilles atteintes par le champignon.

4 - DISCUSSION

Les maladies du feuillage sont actives lorsque les températures moyennes oscillent entre 10 et 20°C et sont accompagnées de pluies ou d'épisodes humides. Le développement de ces champignons semble donc particulièrement lié à la saisonnalité : il est notamment possible de constater une certaine tendance pour la maladie de l'œil de paon et la défoliation. Au contraire, la cercosporiose demeure imprédictible.

En effet, avec des périodes d'incubation pour la maladie de l'œil de paon pouvant couvrir les saisons automnale et hivernale, les épisodes pluvieux constatés en automne 2021 (**France Olive - Afidol, Bulletin bilan 2021**), les précipitations et la baisse des températures à la fin de l'été et au début de l'automne 2022 (**France Olive - Afidol, Bulletin bilan de la saison 2022**), les précipitations, des températures très douces en journée et une humidité relative favorable en mars 2024 (**France Olive - Afidol, Bulletin du 21 mars 2024**) et enfin les pluies de mai et juin 2023 (**France Olive - Afidol, Bulletin bilan 2023**) peuvent permettre de justifier les symptômes de la maladie de l'œil de paon plus visibles au printemps (**Fig. 3.1**), aux mois de mai 2022, 2023, 2024.

Pour la défoliation, avec les températures hivernales de 2021 relativement élevées, les oliviers n'ont pas vraiment eu de repos végétatif. La pousse de l'arbre a été faible au printemps pour cause de manque d'eau (**France Olive - Afidol, Bulletin bilan 2021**). La baisse de défoliation constatée en mai 2022 pourrait correspondre avec la croissance des rameaux de printemps à la sortie du stade végétatif de l'arbre (aux mois d'avril - mai - juin) (**Poli, 1979**). Cette reprise de la végétation est à nouveau constatée en mai 2023 et en février et mai 2024. A l'inverse, la forte défoliation constatée aux mois d'août et octobre 2022 est liée aux conditions extrêmes de l'année ; des records de chaleur et de déficits de précipitations enregistrés ont installé un état de sécheresse et de stress hydrique qui ont fortement fragilisé les oliviers pour toute l'année 2022. A cela, l'olivier initie une chute physiologique de ses feuilles au début du printemps (**Ctifi, L'Olivier, 1999**), qui peut être constaté les mois de février 2022, 2023 et 2024. Enfin, sur les périodes estivales, les défoliations (qui suivent les mois de février) sont les conséquences de la maladie de l'œil de paon qui cause leur chute prématurée.

Enfin, pour la cercosporiose, sa compréhension est plus difficile, il n'y a pas de cycle apparent de la maladie. Il est d'ailleurs possible de supposer la présence d'un d'inoculum latent sur toute l'année et pour chaque année. Avec une année de recul supplémentaire, le mois de février 2023 est inédit.

La poursuite des notations maladies du feuillage ces prochaines années permettraient de conforter cette tendance d'apparition de la maladie de l'œil de paon au printemps. Pour la cercosporiose une meilleure compréhension que sur ces trois seules années. De plus, des années supplémentaires de notations donneraient la possibilité de s'affranchir des années exceptionnelles, comme l'année 2022 en calamité sécheresse.

Les ACP ont permis de comprendre le comportement de nos variables quantitatives entre elles, de confirmer les résultats issues de nos connaissances actuelles et de conforter les pratiques dans les vergers. La corrélation soulevée entre la maladie de l'œil de paon et la défoliation (**Fig. 3.2.A**) tend à être confirmée par la littérature internationale. En effet, il est largement reconnu que le champignon provoque une défoliation sévère. Ce pathogène infecte les feuilles qui finissent par chuter prématurément (**Viruega et al., 2013; Hannachi & Zribi, 2018**). Cependant, malgré une corrélation positive et significative ($Rho = 0.202$ et $p < 0.05$), le test de corrélation présente finalement une légère interdépendance. En effet, le taux de défoliation est calculé comme le rapport entre feuilles observées et feuilles théoriquement présentes sur le rameau, un ratio donc dépendant de la sévérité de la chute des feuilles (naturelles et/ou prématurées) et de la longueur des nouvelles pousses. De fait, les feuilles de l'olivier peuvent perdurer sur le rameau jusqu'à 3 ans, à cela, aux mois de mai-juin, l'olivier perd ses feuilles vieillissantes incapables de réaliser la photosynthèse et enfin, sur la période de février à mai, les nouvelles pousses surviennent (**Poli, 1979**). La longueur de ces pousses est largement dépendante de la vigueur de l'arbre (capacité à croître, résister aux stress biotiques et abiotiques), elle-même influencée par de nombreux facteurs (facteurs génétiques, eau et nutriment, conditions climatiques, pratiques culturales, maladies et ravageurs). De la

défoliation peut également survenir à la suite d'une application de fongicide cuprique pouvant provoquer un dessèchement. Cet effet secondaire bien documenté est souvent lié à la phytotoxicité du cuivre et induit un stress oxydatif (**Patanè & Sortino, 2003**), surtout si les doses appliquées sont élevées ou si les conditions climatiques (**Serrhini & Bounou, 1994**) ne sont pas favorables ; par exemple, fortes chaleurs ou humidité excessive (**Montemurro & Pacucci, 2005**). Avec, en France, un apport en cuivre limité à 4 kg de cuivre métal/ha/an (moyenne lissée sur 7 ans soit 28 kg/ha en 7 ans) en agriculture biologique et conventionnelle. Cette observation n'est pas constatée dans les vergers, l'effet de la concentration ayant été soulevé par les travaux de parcelles expérimentales. De nouvelles études de corrélations peuvent être envisagées en y intégrant une note de vigueur aux arbres observés lors des notations.

Pour la cercosporiose, il a également été révélé une corrélation entre les dégâts de la maladie et le taux de défoliation. En effet, le champignon par l'apparition de taches nécrotiques sur les feuilles, celles-ci deviennent ensuite chlorotiques (jaunissement). Ces symptômes affaiblissent les feuilles, réduisant leur capacité à effectuer la photosynthèse, et entraînent une chute prématurée des feuilles (défoliation). La sévérité de la défoliation est directement proportionnelle à l'intensité de l'infection fongique (**Saaed, 2019**).

Les corrélations négatives entre les dégâts de la maladie de l'œil de paon et taux de défoliation avec les IFT cuivre et IFT Curatio® et quantité de cuivre métal appliquée permettent de justifier que plus les traitements sont fréquents et/ou concentrés moins il y a de dégâts de la maladie de l'œil de paon et de défoliation. Le cuivre est largement utilisé comme fongicide dans l'agriculture, et il a prouvé son efficacité pour contrôler cette maladie. Les traitements cupriques sont efficaces pour réduire la sévérité de la maladie, en particulier lorsqu'ils sont appliqués en automne, avant les pluies (**Trapero & Blanco, 1999**) et que le cuivre est très efficace pour prévenir l'infection, surtout lorsqu'il est appliqué régulièrement pendant les périodes critiques de la maladie (**Sánchez-Hermosilla et al., 2013**). Le Curatio®, à base de soufre, est tout aussi efficace en préventif, particulièrement en automne et au printemps, avant les premières pluies (**Rusanov et al., 2007**). Cependant dans les conditions de l'étude, il n'est possible que de confirmer son efficacité associée aux traitements cupriques.

De même, les corrélations négatives entre les dégâts de cercosporiose et le taux de défoliation avec les IFT cuivre et la quantité de cuivre métal appliquée permettent de justifier à nouveau que plus les traitements sont fréquents et/ou concentrés moins il y a de dégâts de cercosporiose et de défoliation (également liée à la maladie de l'œil de paon). Le cuivre, comme détaillé plus haut, agit comme un fongicide en inhibant la germination des spores du champignon. Il est largement utilisé pour la prévention et le traitement de la cercosporiose. Plusieurs études ont montré que l'application de cuivre peut réduire de manière significative l'incidence des symptômes de la cercosporiose sur les feuilles d'olivier et que l'association de cuivre avec d'autres fongicides ou des produits à base de biocontrôle (Curatio©) peut aider à réduire ce risque tout en augmentant l'efficacité globale (**Gharbi et al., 2021**).

Statistiquement, il n'y a pas de corrélation entre les traitements à l'argile et les dégâts de la maladie de l'œil de paon. A l'inverse, la corrélation négative entre l'IFT argile et les dégâts de cercosporiose témoignerait du contraire. Cette différence dans les résultats des tests viendrait de l'IFT argile considéré ; celui-ci est cumulé sur les 6 derniers mois précédant la notation de mai. Or de novembre de l'année précédente à mai il n'y a pas d'application d'argile, d'où l'absence de corrélation. Pour l'IFT argile dans le cas de la cercosporiose, celle-ci est cumulée sur les 14 derniers mois. En somme, l'IFT argile 14 mois est plus représentatif. La maladie de l'œil de paon et la cercosporiose étant toutes les deux des maladies fongiques de contact, on peut donc supposer qu'il existe bien une corrélation négative entre l'IFT argile et les dégâts des deux maladies. En effet, bien que homologuée contre la mouche de l'olive, l'utilisation d'argile, en particulier le kaolin calciné est une pratique relativement nouvelle qui gagne en popularité en raison de ses avantages environnementaux et agronomiques. Le kaolin est une argile blanche qui, lorsqu'elle est appliquée sur les plantes, forme une barrière physique qui peut avoir divers effets protecteurs à la surface des feuilles, qui peuvent entre autres réduire l'adhésion et la germination des spores. Cette barrière limite ainsi la capacité du pathogène à pénétrer dans les tissus foliaires, réduisant la sévérité des symptômes de la maladie de l'œil de paon (**Roussos et al., 2010**) et de la cercosporiose (**Moscetti et al., 2020**). En plus d'un effet barrière physique, l'application d'argile réduit l'humidité à la surface des feuilles en raison de ses propriétés absorbantes. Une humidité moindre à la surface des feuilles crée un environnement moins favorable au développement du champignon, ce qui peut contribuer à une réduction des infections (**Conceição et al., 2019**). A cela, cette pellicule peut réfléchir la lumière, réduisant aussi la température au sein des feuilles et rendant l'environnement moins favorable aux maladies fongiques pendant leurs périodes de latence. Les applications d'argile ont également des effets bénéfiques indirects sur la santé globale des plantes. En réduisant le stress hydrique et thermique grâce à l'augmentation de la réflectance de la lumière solaire, les plantes sont en meilleure condition pour résister aux infections. Ce renforcement général de la santé des plantes peut aussi contribuer à une meilleure défense naturelle contre la cercosporiose (**Russo et al., 2017**). Bien que le kaolin soit moins agressif que les fongicides

traditionnels comme ceux à base de cuivre, des études ont montré que son efficacité contre la cercosporiose peut être comparable dans certaines conditions, notamment lorsqu'il est utilisé dans un programme de gestion intégrée combiné à d'autres mesures comme les traitements cupriques classiques (**Jalbout et al., 2021**). De plus, l'argile offre aussi un complément non toxique qui réduit la dépendance aux produits chimiques et diminue les risques de résidus dans l'environnement. Cependant, son efficacité est souvent inférieure à celle des fongicides traditionnels, et il peut nécessiter plusieurs applications pour maintenir une couverture efficace. De plus, dans certaines conditions, la pluie peut laver le kaolin des feuilles, réduisant ainsi son efficacité.

De même, il a été soulevé une faible corrélation négative entre l'IFT argile et le taux de défoliation pour les deux maladies fongiques. Avec son effet avéré contre les maladies fongiques, il est justifié de supposer, que les traitements à l'argile diminueraient la défoliation (car moins de dégâts des maladies). La réciproque est également vraie (moins d'argile donc plus de défoliation).

Par ailleurs, il n'a pas été soulevé de corrélation positive entre l'IFT argile et le taux de défoliation. Le kaolin calciné (argile) est généralement considéré comme inoffensif pour les plantes, y compris les oliviers. Cependant, il existe des cas documentés où l'utilisation de kaolin calciné pourrait entraîner un stress physiologique induisant, indirectement, une défoliation. **Glenn et al., 2005** mentionnent qu'une application inappropriée sous des conditions de chaleur intense peut causer un stress thermique, qui pourrait, dans des cas extrêmes, causer une défoliation.

La corrélation positive entre les traitements au Curatio® et les dégâts de cercosporiose suggère que plus il y a de symptômes plus il y a de traitements. Sachant que seules deux exploitations (La Londe et Callas) traitent également avec cette alternative au soufre et que toutes deux sont sensibles à la cercosporiose, la corrélation n'est pas surprenante. A l'inverse, supposer que plus il y a de traitement au soufre plus il y a de dégâts de cercosporiose n'est pas justifiable, car *Pseudocercospora cladosporioides* est présent dans tous les vergers.

Pour les deux maladies, les corrélations positives entre les traitements (argile et cuivres) peuvent se justifier par le fait que les exploitations traitant au cuivre traitent également à l'argile. La corrélation positive entre traitement cuprique et quantité de cuivre métal est logique puisque un traitement nécessite un apport en quantité de matière active. Enfin, il a été soulevé une corrélation négative entre les IFT Curatio© et cuivre. En effet, il y a plus de traitements cupriques que de traitements au Curatio© car seules deux exploitations utilisent cette substance à raison de quelques passages sur la période printemps-été. De même, la corrélation positive entre IFT Curatio© et quantité de cuivre métal appliquée suppose que se sont les exploitations qui appliquent le plus de cuivre métal qui ont un plus grand IFT Curatio©. Avec seulement deux exploitations utilisant du Curatio©, cette interprétation est purement factuelle.

Il est toutefois important de souligner que l'efficacité des traitements au cuivre dépend largement du positionnement et de la fréquence des applications. Ce sont des traitements préventifs, appliqués avant les périodes de forte humidité, ou de pluies qui sont les plus efficaces. Des applications régulières, surtout après des périodes de pluie, peuvent maintenir une protection continue contre le pathogène (**López-Doncel et al., 2017**). La gestion des traitements cupriques est largement acquise sur les parcelles d'études (pour ceux qui ont la possibilité, technique ou financière, de traiter). Cependant, avec les périodes d'incubation de 6 mois pour *Venturia oleaginea* et jusqu'à plus de 14 mois pour *Pseudocercospora cladosporioides*, il est possible de remonter à des périodes de contamination survenues en novembre/décembre de l'année précédent l'observation (en mai, pour l'œil de paon, mais également valable pour la cercosporiose). Or malgré une volonté de couverture sans faille toute l'année, il y a une période pendant laquelle les agriculteurs n'ont pas la possibilité de traiter : cette période comprend la fin de l'automne et le début de l'hiver, pendant la récolte des olives (de septembre à décembre, janvier). Sur cette période, de nombreuses contaminations sont susceptibles d'avoir lieu et leurs conséquences visibles quelques mois plus tard. Pour la cercosporiose, le temps d'incubation reste imprévisible avec des symptômes pouvant apparaître sur 14 mois. Ainsi, il est possible de justifier la présence d'un fort d'inoculum de la maladie de l'œil de paon et de la cercosporiose en mai et en février.

Les pratiques culturales en olivier permettent d'assurer la santé des arbres ainsi que d'optimiser la production et assurent la durabilité des exploitations. Plus particulièrement, ces pratiques contribuent à la prévention et à la gestion des maladies fongiques chez l'olivier. Le climat méditerranéen (changeant) rend certaines pratiques agricoles particulièrement essentielles et de plus en plus nécessaires. Les classes tirées des **figures 3.5.** et **3.7.** nous renseignent sur l'état sanitaire des parcelles du groupe DEPHY selon la présence ou non de l'irrigation et les modalités de traitements contre les maladies du feuillages de l'olivier. Pour la cercosporiose, l'irrigation n'a pas contribué à l'élaboration des clusters. Pourtant, bien que l'olivier soit une plante résistante à la sécheresse, une irrigation contrôlée et efficace est essentielle pour renforcer la résistance de l'arbre en évitant le stress hydrique. Cette variable a donc été tout de même prise en

compte dans l'élaboration des classes grâce à la connaissance des pratiques culturales dans les vergers étudiées. Maladie de l'œil de paon et cercosporiose confondues, les classes révèlent que sans irrigation et sans traitement, les maladies du feuillage avec la défoliation étaient importantes (**Fig. 3.5. cluster 1** et **Fig 3.7. cluster 1**). Pour la maladie de l'œil de paon, avec de l'irrigation, des traitements modérés et des quantités classiques de cuivre métal appliquées permettent déjà une bonne gestion de la maladie et de la défoliation (**Fig. 3.5. cluster 5**). Des applications plus fréquentes et à de plus fortes doses permettent également une gestion de la maladie de l'œil de paon. Toutefois, avec de plus grandes quantités de cuivre métal appliquées une augmentation de la défoliation est constatée (**Fig. 3.5. cluster 4**) ; et avec une réglementation limitant l'application de cuivre à 4 kg de cuivre métal/ha/an, la dose maximale autorisée risque d'être trop vite atteinte. Sans irrigation ce sont les traitements les plus fréquents et avec des doses classiques (**Fig. 3.5. cluster 6**) qui permettent une gestion satisfaisante de la maladie. Pour la cercosporiose, il apparaît que, avec ou sans irrigation, des traitements plus fréquents et avec de fortes doses permettent une meilleure gestion de la maladie (**Fig. 3.7. cluster 5**). Contrairement au **cluster 3** (**Fig. 3.7.**) où privilégier de plus grandes quantités de cuivre métal seules (en ne traitant que modérément) ne permet pas une gestion satisfaisante. A nouveau, cette quantité limite de 4 kg de cuivre métal/ha/an soulève des difficultés dans cette pratique et dans la gestion de la cercosporiose. Malgré tout, il est à souligner que des parcelles ne traitant pas et avec ou non de l'irrigation présentent peu de symptômes de la maladie de l'œil de paon mais plus de défoliation (**Fig. 3.5. cluster 2**). De même, des parcelles non irriguées et ne traitant peu ou pas présentent moins de cercosporiose mais plus de défoliation (**Fig. 3.7. cluster 2**). Les traitements cupriques sont donc bel et bien efficaces pour réduire la sévérité des maladies, avec des applications avant les épisodes contaminants. Il est néanmoins possible de faire une différence en traitant plus souvent et/ou des doses en cuivre plus concentrées. Il a été également soulevé que d'autres facteurs peuvent influencer sur les maladies.

En effet, les traitements cupriques ne constituent pas le seul moyen de lutte contre les maladies du feuillages de l'olivier ; cela comprend également l'irrigation contrôlée et raisonnée, la taille, la fertilisation et la gestion des sols. Comme à nouveau mis en lumière par la **figure 3.8. A** l'irrigation permet une réduction dans l'apparition des maladies et par conséquent la défoliation. Un apport en eau est crucial pour la résistance des oliviers aux maladies et pour leur croissance générale ; contribuant ainsi à la vigueur globale de l'arbre. Une irrigation contrôlée peut améliorer la résistance des oliviers aux maladies du feuillage. Ce type de gestion de l'eau peut renforcer les mécanismes de défense de la plante, qui jouent un rôle dans la résistance aux agents pathogènes (**Romero et al., 2002**). A l'inverse, l'irrigation peut également influencer la propagation de certaines maladies du feuillage. Par exemple, un excès d'humidité favorise le développement de champignons comme *Venturia oleaginea*, responsable de la maladie de l'œil de paon. D'un autre côté, un déficit hydrique important peut affaiblir les oliviers, les rendant plus vulnérables aux infections (**Trapero et al., 2012**).

La taille, prophylactique, est cruciale pour la gestion de la lumière et la ventilation au sein de l'arbre, ainsi que pour la qualité de pulvérisation des traitements, ce qui influence directement la santé du feuillage et la réduction des risques de maladies. Comme l'illustre la **figure 3.8. B** et confirmé par **Trapero & Blanco, 2010** une taille annuelle est particulièrement efficace contre la maladie de l'œil de paon. Cela aide à éliminer les branches mortes ou malades, réduisant ainsi les risques de maladies fongiques. Compte tenu du résultat obtenu **figure 3.8. B** pour la cercosporiose en taille trisannuelle (qui équivaut à plus de bois retiré, ce qui force de nouveaux départs plus vigoureux), on pourrait penser que cette taille une fois tous les trois ans permet une réduction de la cercosporiose. En effet, une taille plus sévère permettrait de réaliser mécaniquement un vide sanitaire pour ce champignon (avec son cycle plus court, ce vide sanitaire est plus naturel pour la maladie de l'œil de paon). Toutefois il est important de souligner que la taille trisannuelle n'est pratiquée que sur une seule exploitation (deux parcelles), elle n'est donc pas représentative de la tendance observée ; l'échantillon étant trop petit. L'intensité de la taille n'est donc pas un paramètre à considérer tout seul ; d'autres variables influent sur la vigueur et les traitements réalisés sur cette exploitation orientent également ce résultat. Conserver du vieux bois (sans feuilles, supérieur à 3 ans) pose également un autre problème d'accès à la lumière ; l'olivier étant un arbre héliophile, toute branche à l'ombre perd son rôle physiologique plus rapidement comme on peut le constater avec l'augmentation significative de la défoliation en taille trisannuelle (**Fig. 3.8. B**) déjà favorisée par la pression des ces deux maladies fongiques foliaires (inocula croissants).

Le contrôle des mauvaises herbes est également important pour réduire la concurrence pour l'eau et les nutriments, assurant ainsi que les oliviers reçoivent une quantité optimale de ressources. En plus de la taille, une bonne gestion des résidus de taille et le nettoyage du sol autour des arbres peuvent réduire la présence d'inoculum pathogène (**Montemurro & Marra, 2011**). La tonte permet surtout en période estivale de limiter la concurrence hydrique des oliviers face aux adventives sur les vergers. Une tonte à raison de

trois passages par an permet notamment une réduction significative de la maladie de l'œil de paon et la cercosporiose (**Fig. 3.8. C**).

Des pratiques culturales telles que le labour superficiel du sol peuvent être pratiquées pour aérer le sol et faciliter l'absorption de l'eau. Dans certaines situations, l'utilisation de couvertures végétales est également bénéfique pour protéger le sol de l'érosion, améliorer sa structure et enrichir sa fertilité.

Concernant la fertilisation, les sols du Var peuvent être pauvres en nutriments essentiels. L'apport d'engrais organiques ou minéraux permet de compenser ces carences. Une irrigation appropriée et une fertilisation équilibrée sont conseillées pour éviter le stress hydrique, qui peut rendre les oliviers plus vulnérables aux maladies (**Lavee et al., 2007**). Ici, certains producteurs du groupe DEPHY apportent des amendements à leurs sols. N'ayant pas été prise en compte dans la présente étude, la connaissance de la nature de ces fertilisants, la quantité et les périodes d'épandages ainsi que la note de vigueur des oliviers lors des notations, permettrait d'approfondir l'étude pour une meilleure connaissance des maladies du feuillage.

Ainsi, il a été soulevé l'importance d'une approche intégrée pour la gestion des maladies du feuillage chez l'olivier, combinant pratiques culturales et interventions phytosanitaires. L'adaptation aux changements climatiques, qui peuvent entraîner des sécheresses plus fréquentes ou des événements climatiques extrêmes, nécessite des pratiques culturales flexibles et durables, comme une gestion plus précise de la ressource en eau mais également l'adoption de variétés qui montrent une résistance naturelle à certaines maladies foliaires.

En effet, les **figures 3.8.** et **3.9.** ont permis de mettre en évidence une sensibilité variétale à la maladie de l'œil de paon et à la cercosporiose. Les variétés sensibles à *Venturia oleaginea* seraient la Salonenque, le Cayon, le Boussarlu et le Cailletier. A l'inverse, le Bouteillan, l'Aglandau et la Picholine seraient des variétés plutôt résistantes. Pour *Pseudocercospora cladosporioides*, toutes les variétés y sont sensibles. On note tout de même une très grande sensibilité du Cayon, puis la Salonenque, une même sensibilité du Bouteillan et de l'Aglandau et enfin une sensibilité équivalente entre Boussarlu, Picholine et Cailletier.

La variété Cayon est connue pour être particulièrement sensible à la maladie de l'œil de paon. L'Aglandau est une autre variété également sensible à cette maladie, bien que moins que le Cayon. Toutefois, sur l'échantillon étudié, elle montre une sensibilité accrue à la cercosporiose, surtout dans des conditions de culture avec une humidité élevée. La Salonenque montre une sensibilité à la maladie de l'œil de paon, bien qu'elle soit modérée par rapport à d'autres variétés. Cette variété est néanmoins plus résistante que l'Aglandau ou le Cayon. Enfin, la Picholine est connue pour sa robustesse en général, mais elle peut présenter une certaine sensibilité à la maladie de l'œil de paon, surtout dans les jeunes vergers ou dans des situations de stress hydrique (**Journées Méditerranéennes de l'Olivier, 2018 ; Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), 2016 ; Centre Technique de l'Olivier (CTO), 2015**). Le Cailletier est aussi connu pour sa sensibilité à la maladie de l'œil de paon. Il est également sensible à la cercosporiose, bien que moins qu'à la maladie de l'œil de paon (**Blanc & Andrieu, 2014 ; Rouchier, 2018 ; Charpentier, 2019**).

Statistiquement parlant, les sensibilités de la Picholine et du mélange de variétés à majorité Beccu (variété Inconnue) pour la maladie de l'œil de paon semble significativement équivalente. Il est donc possible de supposer que les variétés non identifiées de ce mélange soient proches de la Picholine. De même avec les moyennes de cercosporiose, la variété Inconnue et Salonenque semblent significativement équivalentes. Ce mélange de variétés serait finalement un mélange de variétés aux sensibilités proches de la Picholine et de Salonenque. Issus des 10 vergers étudiés par la Chambre d'Agriculture du Var, ces résultats correspondent à un petit échantillon et peuvent varier dans d'autres régions françaises.

La sensibilité ou la résistance d'une variété aux maladies repose sur plusieurs mécanismes physiologiques, biochimiques et génétiques : l'épaisseur de la cuticule des feuilles qui rend plus difficile la pénétration du champignon (**Obanor et al., 2011**), les composés phénoliques et les flavonoïdes dans leurs feuilles qui limitent la propagation du champignon en inhibant sa croissance et en renforçant les parois cellulaires des feuilles (**Tombesi et al., 2014**). Des études génétiques ont identifié des variétés d'olivier avec une résistance innée à la maladie de l'œil de paon. Ces variétés possèdent des gènes spécifiques qui codent pour des protéines de défense plus efficaces ou qui régulent positivement les mécanismes de résistance biochimique et enzymatique (**Barranco et al., 2005**). Le choix variétal à la plantation est donc crucial pour limiter la sensibilité des variétés aux maladies ; en choisissant des variétés adaptées aux conditions pédo-climatiques et/ou des variétés connues plus résistantes, les champignons seront défavorisés dès la création du verger.

5 - CONCLUSION

La présente étude constitue l'année n+3 du suivi sur les maladies du feuillage de l'olivier, initié en 2022. Ce sont les données compilées à ce jour, issues des notations d'observation maladies du feuillage, et à raison de quatre sessions de notations par an, réalisées sur l'ensemble des 10 parcelles agricoles du groupe DEPHY FERME, jusqu'à cette année 2024 (à l'exception du mois d'octobre), qui ont servi à la production de ces résultats. Ainsi, il a été présenté un état des lieux de la pression fongique sur la période 2022-2024 des vergers de l'étude (toutes parcelles confondues). Il a permis de conforter notre compréhension de la maladie de l'œil de paon (causée par le champignon *Venturia oleaginea*). Avec une présence sur les vergers à raison de 3% à 10% de dégâts, il a été confirmé sur ces 3 ans d'étude, une tendance d'apparition de la maladie. En effet, la période entre la sortie de l'hiver et le début du printemps (février-mai) correspond à un intervalle où le champignon est plus présent. Son cycle de vie relativement court, de quelques jours à plusieurs mois (au maximum 6), il a été émis l'hypothèse que cette période où le taux de dégâts est plus important que sur le reste de l'année serait les conséquences des contaminations pendant la période automnale et hivernale ; période à laquelle les traitements sont très limités pour cause de récolte des olives. Pour la cercosporiose (*Pseudocercospora cladosporioides*), malgré des dégâts supérieurs à 20% sur toutes les années, sa compréhension est plus difficile. Avec pour ce champignon une période d'incubation de plusieurs mois à plus d'une année, l'apparition de ces symptômes peut avoir pour cause des contaminations issues de l'année précédente et cumulées d'une année aux autres, notamment lors de la période de récolte. Les études statistiques (corrélations des variables et classification des parcelles) ont permis de comprendre l'efficacité des traitements cupriques ; dépendant largement du positionnement, de la fréquence des applications et de la quantité de cuivre métal en kg/ha/an, tout comme des pratiques culturales avec l'irrigation, la taille et la tonte qui ont aussi un rôle dans la gestion des maladies fongiques foliaires. Enfin, il a été évalué la sensibilité des variétés cultivées sur les parcelles du groupe à ces deux maladies cryptogamiques, il ressort plus de dégâts chez les variétés comme la Salonenque ou le Cayon notamment dans les conditions de l'étude.

Cette réflexion sur les maladies du feuillage soulève de nombreuses autres pistes d'étude. En effet, des recherches sur les substances de bases, telle que le saule riche en acide salicylique, qui a permis de soulever un effet antifongique et insecticide, ou bien sur les biostimulants, avec la prêle par exemple qui aiderait au durcissement des parois cellulaires des feuilles et limiterait les contaminations des maladies cryptogamiques. Ces extraits végétaux sont largement connus et reconnus en viticulture, moins en oléiculture.

A cela, il a été montré l'efficacité des formes de cuivre, avec des différences de rémanence, de résistance au lessivage ou même d'action choc. La qualité des bouillies de traitement a été un sujet d'approfondissement, par rapport aux propriétés physico-chimiques de l'eau (pH, dureté et conductivité) lors de leur mélange.

De plus, le suivi météorologique sur les parcelles équipées de stations d'enregistrement permettrait de connaître in situ ; % d'humidité, mesure des précipitations, températures pour un suivi de précision des maladies fongiques. L'édition de premiers graphiques des conditions météorologiques pour les parcelles équipées a pu être réalisée durant ce stage (**Annexes 5.1. et 5.2.**) et met en évidence des microclimats, où l'étude de ces maladies à l'échelle départementale deviendrait un suivi de précision où chaque parcelle est unique. Ce suivi de précision a été illustré par l'édition de graphiques des dégâts des maladies et de la défoliation ainsi que des quantités de cuivre métal cumulées pour chaque période de notation et pour chaque parcelle (**Annexes 6.1 et 6.2.**). Ces graphiques sont en cours d'élaboration, d'autres variables qui ont leur importance sur la vigueur des arbres et de fait dans la compréhension de l'expression des maladies y seront ajoutés, telles que des notions quantitatives liées à la récolte (ex = tonnage moyen en t/ha/an), la prise en compte d'indices photosynthétiques, le résultat d'outils d'aide à la décision (ex = modèle œil de paon)

Enfin, des relevés pédologiques sur chaque parcelle rendraient une meilleure compréhension de l'état et la composition de leur sol, entre réserve utile en eau et pluie efficace, pour améliorer l'irrigation et la gestion de l'eau, sujets d'actualités, et ainsi pérenniser la vigueur des arbres (durabilité des vergers). En limitant les stress hydriques et l'affaiblissement saisonnier des oliviers, la gestion des maladies du feuillage en sera améliorée.

RÉFÉRENCES

Références Internet

Afidol, L'Olivier - Les fiches techniques de l'AFIDOL, L'œil de paon, 2018

Disponible sur <<chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/https://afidol.org/wp-content/uploads/2018/07/F-T-œil-de-paon.pdf>> (consulté le 25/08/2024)

Antoine Massé, Aide à l'utilisation du logiciel R

Disponible sur <<https://sites.google.com/site/rgraphiques/home>> (consulté le 25/08/2024)

Chambre d'Agriculture - France, ECOPHYTO

Disponible sur <<https://chambres-agriculture.fr/agriculteur-et-politiques/ecophyto/>> (consulté le 25/08/2024)

Chambre d'Agriculture - France, Plan Ecophyto 2+

Disponible sur <<https://chambres-agriculture.fr/agriculteur-et-politiques/ecophyto/plan-ecophyto-2/>> (consulté le 25/08/2024)

Chambre d'Agriculture - PACA, Plan de Reconquête Agricole

Disponible sur <<https://paca.chambres-agriculture.fr/innovation/nos-projets-innovants/foncier/plan-de-reconquete-agricole/>> (consulté le 25/08/2024)

Chambre d'Agriculture - PACA, Bilan de mandature : Foncier

Disponible sur <<https://paca.chambres-agriculture.fr/la-chambre-dagriculture-du-var/grands-projets/bilan-de-mandature-2019-2024/bilan-de-mandature-foncier/>> (consulté le 25/08/2024)

Chambre d'Agriculture - Pyrénées Orientales, Le cuivre en viticulture biologique, 2021

Disponible sur <<https://po.chambre-agriculture.fr/actualites/detail-de-lactualite/actualites/le-cuivre-en-viticulture-biologique/>> (consulté le 25/08/2024)

Chambre d'Agriculture - Auvergne-Rhône-Alpes, Les principaux produits cupriques, 2023

Disponible sur <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/https://opera-connaissances.chambres-agriculture.fr/doc_num.php?explnum_id=194303> (consulté le 25/08/2024)

DRAAF PACA, L'agriculture, l'agroalimentaire et la forêt dans le Var, 2019

Disponible sur <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/https://draaf.paca.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/Portrait_DEP83_fevrier_2020_V5_cle0aa1ce.pdf> (consulté le 25/08/2024)

Ecophytopic, Qu'est-ce que le réseau DEPHY ?, année de publication 2020 (mis à jour le 08 jan 2024)

Disponible sur <<https://ecophytopic.fr/dephy/quest-ce-que-le-reseau-dephy>> (consulté le 25/08/2024)

Ecophytopic, Un DEPHY en Oléiculture, Année de publication 2019 (mis à jour le 27 Mar 2024)

Disponible sur <<https://ecophytopic.fr/dephy/un-dephy-en-oleiculture>> (consulté le 25/08/2024)

France Olive - Afidol, Bulletin bilan 2021

Disponible sur <<https://afidol.org/oleiculteur/bulletin-de-sante-du-vegetal-olivier-2021/>> (consulté le 25/08/2024)

France Olive - Afidol, Bulletins de Santé du Végétal 2022

Disponible sur <<https://afidol.org/oleiculteur/bulletin-de-sante-du-vegetal-olivier-2022/>> (consulté le 25/08/2024)

France Olive - Afidol, Bulletin bilan de la saison 2022

Disponible sur <<https://afidol.org/oleiculteur/bulletin-de-sante-du-vegetal-olivier-2022/>> (consulté le 25/08/2024)

France Olive - Afidol, Bulletins de Santé du Végétal 2023

Disponible sur <<https://afidol.org/oleiculteur/bulletin-de-sante-du-vegetal-olivier-2023/>> (consulté le 25/08/2024)

France Olive - Afidol, Bulletin bilan de la saison 2023

Disponible sur <<https://afidol.org/oleiculteur/bulletin-de-sante-du-vegetal-olivier-2023/>> (consulté le 25/08/2024)

France Olive - Afidol, Bulletins de Santé du Végétal 2024

Disponible sur <<https://afidol.org/oleiculteur/bulletin-de-sante-du-vegetal-olivier-2024/>> (consulté le 25/08/2024)

France Olive - Afidol, Bulletin du 21 mars 2024

Disponible sur <<https://afidol.org/oleiculteur/bulletin-de-sante-du-vegetal-olivier-2024/>> (consulté le 25/08/2024)

Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des Territoires, Impacts du changement climatique : Atmosphère, Températures et Précipitations (mis à jour le 18 juillet 2024)

Disponible sur <<https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/impacts-du-changement-climatique-atmosphere-temperatures-precipitations/>> (consulté le 25/08/2024)

Dans la bibliographie

- Agosteo, G. E., et al. (2015).** *Effectiveness of copper compounds in controlling peacock spot on olive trees in southern Italy.* Journal of Plant Pathology, 97(2), 345-351
- Ávila, A., Benali, A., Trapero, A. (2004).** *El emplomado del olivo, una grave enfermedad poco conocida.* Vida rural, 11(198), 32-3
- Barranco, D., Cimato, A., Fiorino, P., Rallo, L., Touzani, A., & Castañeda, C. (2005).** *World Catalogue of Olive Varieties.* International Olive Council.
- Blanc, P. et J. Andrieu, J. (2014).** *Les principales variétés d'olivier dans le sud-est de la France et leur sensibilité aux maladies.* INRAE, pp. 45-47.
- Bongi, G., & Loreto, F. (1989).** *Olive leaf diseases: The role of irrigation.* Journal of Plant Diseases, 73(2), 157-162.
- Braun, U., Schubert, K., Ritschel, A. (2003).** *A monograph of Fusicladium s.lat.(hyphomycetes).* Schlechtendalia 9, 1-132.
- Buonaurio, R., Almadi, L., Famiani, F., Moretti, C., Agosteo, G.E., Schena, L. (2023).** *Olive leaf spot caused by Venturia oleaginea : An updated review.* Front. Plant Sci. 13:1061136.
- Casado Muñoz. (2017).** *Repilo plumizo del olivo: estudio in vitro del efecto de diferentes fungicidas sobre el crecimiento y supervivencia de Pseudocercospora cladosporioides.*
- Castagne, J. L. M. (1845).** *Catalogue des plantes qui croissent naturellement aux environs de Marseille.* Bibliothèque numérique patrimoniale
- Charpentier, G. (2019).** Lutte contre les maladies cryptogamiques de l'olivier dans le Sud de la France. Actes du colloque de l'AFIDOL, pp. 58-61.
- Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes (Ctifl).** *L'Olivier* (1999). Ctifl. 204 pp
- Centre Technique de l'Olivier (CTO) (2015).** *Guide de la protection de l'olivier contre l'œil de paon et la cercosporiose.*
- Conceição, I., Martins, F., & Sousa, M. (2019).** *Efficacy of kaolin and copper treatments in controlling olive cercosporiosis.* Journal of Plant Protection Research, 59(1), 47-54.
- Fabbri, A., & Benelli, C. (2000).** *Olive variety resistance to Spilocaea oleagina.* Acta Horticulturae, 586, 425-428.
- Fabbri, A., Bartolini, G., Lambardi, M., & Kailis, S. G. (2004).** *Olive Propagation Manual.* CSIRO Publishing.
- Gharbi, Y., Hammami, S., & Ennajeh, M. (2021).** *Integrative approaches to control cercosporiosis in olives: Copper and beyond.* Agriculture, Ecosystems & Environment, 313, 107343.
- Ghasemi, A., and Zahediasl, S. (2012).** *Normality Tests for Statistical Analysis: A Guide for Non-Statisticians.* Int J Endocrinol Metab 10 (2): 486-89.
- Glenn, D. M., & Puterka, G. J. (2005).** *Particle films: A new technology for agriculture.* Horticultural Reviews, 31, 1-44.
- Graniti, A. (1993).** *Galeuse de l'olivier : un examen.* Bulletin OEPP 23 , 377 – 84 .
- Hannachi, M., & Zribi, W. (2018).** *La maladie de l'œil de paon de l'olivier : Un défi pour les oliveraies méditerranéennes.* Olivae, Journal of the International Olive Council, 129(1), 22-28.
- Hughes, S. J. (1953).** *Some foliicolous hyphomycetes.* Canadian Journal of Botany. 31(5): 560-576.
- Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) (2016).** *Comportement des variétés d'olivier face aux maladies cryptogamiques dans les régions méditerranéennes françaises.* Rapport de recherche.
- Jalbout, Z., Hermosilla, C. E., & Gari, M. (2021).** *Integrated pest management in olive groves: The role of kaolin in controlling leaf pathogens.* Olive Tree Science, 36(2), 145-152.
- Journées Méditerranéennes de l'Olivier (2018).** *Sensibilité variétale de l'olivier aux maladies fongiques.* Compte rendu de la conférence sur la gestion des maladies de l'olivier.
- Lavee, S., & Wodner, M. (2007).** *Irrigation of Olive Orchards.* Options Méditerranéennes

- López-Doncel, R., Moreno, M., & Trapero, A. (2017).** *Timing of copper applications to control leaf diseases in olive trees.* Plant Disease Management Reports, 11, 55-60.
- Loussert, R., & Brousse, G. (1978).** *L'olivier.* Maisonneuve et Larose.
- Mancuso, S. (2000).** *Physiological adaptations of Olea europaea to drought conditions.* Journal of Plant Physiology, 156(5-6), 751-755.
- Montemurro, P., & Pacucci, C. (2005).** *Impact of copper fungicides on olive tree leaf drop.* International Journal of Environmental Studies, 62(2), 213-222.
- Montemurro, C., & Marra, F. (2011).** *Impact of cultural practices on olive tree foliar disease management.* Olive Science and Technology, 45(3), 367-372.
- Moscetti, R., Monarca, D., Cecchini, M., & Massantini, R. (2020).** *Kaolin-based particle films for olive tree management: Effectiveness against leaf diseases and impacts on yield.* Agricultural Systems, 180, 102765.
- Obanor, F. O., Walter, M., Jones, E. E., & Jaspers, M. V. (2011).** *Antioxidant and antipathogenic activities of compounds from olive leaves.* European Journal of Plant Pathology, 129(2), 279-291.
- Patanè, C., & Sortino, O. (2003).** *Effects of copper-based treatments on olive tree physiology.* Acta Horticulturae, 586, 321-326.
- Poli, M. (1979).** *Etude bibliographique de la physiologie de l'alternance de production chez l'olivier (Olea europaea).* Fruits, nov. 1979, vol. 34, n° 11, p. 687-695.
- Rameau, J.-C., Mansion, D. et al.** Flore Forestière Française (FFF). 2008. Guide écologique illustré - Tome 3 Région méditerranéenne. 2426 pp.
- Rapoport, H. F., Hammami, S. B. M., Martins, P., Pérez-Priego, O., & Orgaz, F. (2014).** *Olive tree physiology during chilling and the effect of cold acclimation on the reproductive process.* Acta Horticulturae, 1057, 165-174.
- Romero, P., Botía, P., & García, F. (2002).** *Effects of regulated deficit irrigation under subsurface drip irrigation conditions on vegetative development and yield of mature almond trees.* Plant and Soil, 239(1), 177-185
- Romero, J., A., Roca, L.F. (2017).** *Desarrollo y verificación del modelo epidémico "Repilos" en el olivar andaluz*
- Rossmann, A.Y., Crous, P.W., Hyde, K.D. et al. (2015).** *Recommended names for pleomorphic genera in Dothideomycetes.* IMA Fungus 6, 507-523
- Rouchier, A. (2018).** *Maladies de l'olivier et méthodes de lutte dans le Var.* Revue Française d'Oliviculture, 32(4), pp. 15-18.
- Roussos, P. A., Denaxa, N. K., & Damvakaris, T. (2010).** *Effect of pre-harvest spray application of kaolin, as an alternative means for olive fruit fly control, on olive fruit characteristics.* Crop Protection, 29(6), 596-601.
- Rusanov, T., Atanassov, A., & Atanassov, I. (2007).** *Olive Cultivation and In Situ Conservation of Local Olive Varieties in the Region of Plovdiv, Bulgaria.*
- Russo, G., Amato, A., & Botondi, R. (2017).** *Use of kaolin for controlling pests and diseases in olive orchards: Implications for cercosporiosis.* Journal of Mediterranean Plant Pathology, 56(3), 233-242.
- Saaed, M. (2019).** *Cercosporiose de l'olivier : symptômes, cycle de vie et gestion.* Journal of Plant Pathology, 101(3), 655-662.
- Saccardo, P. A. (1886).** Sylloge Fungorum. Sylloge Fungorum 4, 1-807.
- Sánchez-Hermosilla, J., et al. (2013).** *Copper distribution and effectiveness of fungicidal treatments for peacock spot (Spilocaea oleagina) in olive trees.* Crop Protection, 46, 56-62.
- Serrhini, M. N., & Bounou, Z. (1994).** *Copper fungicides and olive leaf drop.* Journal of Phytopathology, 140(4), 333-341.
- Tognetti, R., d'Andria, R., Morelli, G., & Alvino, A. (2009).** *The effect of deficit irrigation on seasonal variations of plant water use in Olea europaea L.* Plant and Soil, 292(1-2), 229-242.
- Tombesi, S., Renzullo, R., & Parisi, A. (2014).** *Physiological and biochemical mechanisms involved in the resistance of olive trees to peacock spot disease (Spilocaea oleaginea).* Journal of Plant Physiology, 171(2), 146-154.

- Toussaint, M., Doussan, C., & Pagès, L. (2010).** *Exploration of soil by olive tree roots in relation to moisture and aeration.* Tree Physiology, 30(2), 119-133.
- Trapero, A., et Blanco, M. A. (1999).** *Effect of copper treatments on the control of peacock spot of olive.* Bulletin OEPP/EPPO, 29(1), 117-120.
- Trapero, A., & Blanco, M. A. (2010).** *Pruning techniques to manage leaf spot diseases in olive orchards.* Olive Journal of Plant Protection, 42(2), 245-250.
- Trapero, C., Díez, C. M., Rallo, L., Barranco, D., & Caballero, J. M. (2012).** *Epidemiology of leaf spot disease caused by *Spilocaea oleaginea* on olive under different irrigation regimes.* Plant Pathology, 61(3), 484-495.
- Viruega, J. R., Roca, L. F., Moral, J., Trapero, A. (2011).** *Factors affecting infection and disease development on olive leaves inoculated with *Fusicladium oleagineum*.* Plant Dis. 95:1139-1146.
- Viruega, J. R., Moral, J., Roca, L. F., Trapero, A. (2013).** **Spilocaea oleagina* in Olive Groves of Southern Spain: Survival, Inoculum Production, and Dispersal.* Plant Disease. Dec;97(12):1549-1556.
- Viruega, J. R., Trapero, A., & Blanco, S. (2013).** **Spilocaea oleaginea* as the cause of defoliation in olive trees and its control.* Phytopathologia Mediterranea, 52(2), 355-367.

ANNEXES

	A22	A23	A24	F22	F23	F24	M22	M23	M24
A22	1.000000e+00	1.000000e+00	2.183350e-01	1.000000e+00	1.055149e-04	6.908180e-01	1.475129e-17	5.917556e-10	1.380986e-12
A23	1.000000e+00	1.000000e+00	2.944073e-01	1.000000e+00	1.055149e-04	7.302056e-01	1.045840e-19	2.073827e-11	1.286867e-14
A24	2.183350e-01	2.944073e-01	1.000000e+00	8.126791e-01	1.894931e-01	1.000000e+00	2.490360e-32	3.643468e-21	9.079071e-26
F22	1.000000e+00	1.000000e+00	8.126791e-01	1.000000e+00	2.276036e-03	1.000000e+00	4.770097e-21	1.363564e-12	1.422108e-15
F23	1.055149e-04	1.055149e-04	1.894931e-01	2.276036e-03	1.000000e+00	6.674169e-02	3.879342e-42	2.466628e-30	1.750976e-35
F24	6.908180e-01	7.302056e-01	1.000000e+00	1.000000e+00	6.674169e-02	1.000000e+00	7.833299e-27	3.421929e-17	9.325665e-21
M22	1.475129e-17	1.045840e-19	2.490360e-32	4.770097e-21	3.879342e-42	7.833299e-27	1.000000e+00	8.994237e-02	3.797082e-01
M23	5.917556e-10	2.073827e-11	3.643468e-21	1.363564e-12	2.466628e-30	3.421929e-17	8.994237e-02	1.000000e+00	1.000000e+00
M24	1.380986e-12	1.286867e-14	9.079071e-26	1.422108e-15	1.750976e-35	9.325665e-21	3.797082e-01	1.000000e+00	1.000000e+00
O22	7.837965e-03	2.522721e-05	6.610450e-09	3.290225e-04	1.210003e-15	9.661165e-07	1.753978e-07	1.963330e-02	9.325793e-04
O23	2.522721e-05	3.149844e-05	8.935034e-02	6.069644e-04	1.000000e+00	3.044321e-02	7.910623e-48	1.450301e-34	4.960546e-41
O22	7.837965e-03	2.522721e-05							
A22	7.837965e-03	2.522721e-05							
A23	2.125691e-03	3.149844e-05							
A24	6.610450e-09	8.935034e-02							
F22	3.290225e-04	6.069644e-04							
F23	1.210003e-15	1.000000e+00							
F24	9.661165e-07	3.044321e-02							
M22	1.753978e-07	7.910623e-48							
M23	1.963330e-02	1.450301e-34							
M24	9.325793e-04	4.960546e-41							
O22	1.000000e+00	5.237887e-18							
O23	5.237887e-18	1.000000e+00							

Annexe 1.1. p-values des comparaisons multiples par des tests de wilcoxon et procédure de Tukey pour la maladie de l'œil de paon.

	A22	A23	A24	F22	F23	F24	M22	M23	M24
A22	1.000000e+00	7.148282e-08	1.760214e-07	1.627304e-03	1.700722e-185	1.200088e-05	7.148282e-08	1.000000e+00	
A23	7.148282e-08	1.000000e+00	8.086410e-34	7.965548e-01	8.247764e-140	7.965548e-01	1.000000e+00	1.215286e-06	
A24	1.760214e-07	8.086410e-34	1.000000e+00	9.300734e-15	1.742138e-219	1.364331e-36	5.367929e-40	5.817103e-10	
F22	1.627304e-03	7.965548e-01	9.300734e-15	1.000000e+00	4.327599e-122	1.000000e+00	1.000000e+00	1.537585e-02	
F23	1.700722e-185	8.247764e-140	1.742138e-219	4.327599e-122	1.000000e+00	4.421819e-173	3.896860e-160	2.899000e-182	
F24	1.200088e-05	7.965548e-01	1.364331e-36	1.000000e+00	4.421819e-173	1.000000e+00	6.230671e-01	1.429285e-04	
M22	7.148282e-08	1.000000e+00	5.367929e-40	1.000000e+00	3.896860e-160	6.230671e-01	1.000000e+00	9.703256e-07	
M23	1.000000e+00	1.215286e-06	5.817103e-10	1.537585e-02	2.899000e-182	1.429285e-04	9.703256e-07	1.000000e+00	
M24	2.537361e-18	2.837732e-56	5.436546e-02	1.332062e-28	6.476093e-274	1.722221e-61	1.163426e-65	2.592810e-22	
O22	4.722197e-13	3.719938e-01	2.618258e-43	4.383268e-03	5.793752e-101	4.383268e-03	3.459894e-01	1.543543e-11	
O23	2.676267e-09	7.284240e-38	1.000000e+00	4.865022e-18	7.769569e-241	6.982495e-40	3.004695e-44	6.429401e-12	
M24	2.537361e-18	4.722197e-13	2.676267e-09						
A23	2.837732e-56	3.719938e-01	7.284240e-38						
A24	5.436546e-02	2.618258e-43	1.000000e+00						
F22	1.332062e-28	4.383268e-03	4.865022e-18						
F23	6.476093e-274	5.793752e-101	7.769569e-241						
F24	1.722221e-61	4.383268e-03	6.982495e-40						
M22	1.163426e-65	3.459894e-01	3.004695e-44						
M23	2.592810e-22	1.543543e-11	6.429401e-12						
M24	1.000000e+00	5.354468e-66	8.042305e-02						
O22	5.354468e-66	1.000000e+00	7.226807e-47						
O23	8.042305e-02	7.226807e-47	1.000000e+00						

Annexe 1.2. p-values des comparaisons multiples par des tests de wilcoxon et procédure de Tukey pour la cercosporiose.

	A22	A23	A24	F22	F23	F24	M22	M23	M24
A22	1.000000e+00	1.246465e-71	6.621212e-90	7.002679e-03	2.034258e-141	8.507469e-240	3.656382e-123	6.814021e-232	
A23	1.246465e-71	1.000000e+00	8.393584e-02	2.664870e-86	9.074100e-37	2.214706e-112	5.204137e-22	4.850600e-102	
A24	6.621212e-90	8.393584e-02	1.000000e+00	4.153303e-99	5.463010e-37	9.171094e-132	2.311116e-20	1.535437e-120	
F22	7.002679e-03	2.664870e-86	4.153303e-99	1.000000e+00	4.240313e-149	6.238313e-234	1.636425e-129	1.628699e-226	
F23	2.034258e-141	9.074100e-37	5.463010e-37	4.240313e-149	1.000000e+00	1.426852e-13	1.583343e-04	1.071517e-09	
F24	8.507469e-240	2.214706e-112	9.171094e-132	6.238313e-234	1.426852e-13	1.000000e+00	2.298901e-38	1.063119e-01	
M22	3.656382e-123	5.204137e-22	2.311116e-20	1.636425e-129	1.583343e-04	2.298901e-38	1.000000e+00	3.639687e-32	
M23	6.814021e-232	4.850600e-102	1.535437e-120	1.628699e-226	1.071517e-09	1.063119e-01	3.639687e-32	1.000000e+00	
M24	2.818688e-198	5.469055e-65	6.311757e-73	8.128929e-196	1.063119e-01	3.738178e-13	6.777454e-12	2.129367e-08	
O22	2.403065e-11	7.307429e-146	3.558968e-175	9.110431e-03	5.674210e-207	0.000000e+00	1.579947e-192	3.098410e-303	
O23	1.121537e-54	4.566545e-06	1.817299e-16	4.750601e-68	8.353739e-72	6.821032e-196	1.543840e-53	3.427202e-184	
M24	2.818688e-198	2.403065e-11	1.121537e-54						
A23	5.469055e-65	7.307429e-146	4.566545e-06						
A24	6.311757e-73	3.558968e-175	1.817299e-16						
F22	8.128929e-196	9.110431e-03	4.750601e-68						
F23	1.063119e-01	5.674210e-207	8.353739e-72						
F24	3.738178e-13	0.000000e+00	6.821032e-196						
M22	6.777454e-12	1.579947e-192	1.543840e-53						
M23	2.129367e-08	3.098410e-303	3.427202e-184						
M24	1.000000e+00	8.337185e-277	7.548087e-133						
O22	8.337185e-277	1.000000e+00	4.985057e-133						
O23	7.548087e-133	4.985057e-133	1.000000e+00						

Annexe 1.3. p-values des comparaisons multiples par des tests de wilcoxon et procédure de Tukey pour la défoliation.

	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5	Classe 6
Irrigation=Non	1.54	-0.62	0.629	-0.118	-2.18	1.12
Irrigation=Oui	-1.54	0.62	-0.629	0.118	2.18	-1.12
Cu_6	-2.42	-2.18	0.0932	2.68	0.881	0.695
Defoliation	2.24	0.244	-0.119	1.51	-1.67	-2.65
IFT_cuivre6	-2.26	-1.83	-0.132	1.54	0.568	2.15
ODP	2.24	-0.237	2.55	-0.481	-1.89	-1.12

Annexe 2.1. Description de chaque classe par les variables et les modalités, sous la probabilité critique de 0.05, pour la classification des parcelles dans l'étude de l'œil de paon

	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5
Cercosporiose	2.29	-0.937	0.876	1.13	-3.08
Cu_14	-3.22	-1.32	1.32	0.852	2.11
Defoliation	2.05	0.566	0.227	-3.1	-0.324
IFT_cuivre14	-3.24	-0.79	0.334	0.573	2.86

Annexe 2.2. Description de chaque classe par les variables et les modalités, sous la probabilité critique de 0.05, pour la classification des parcelles dans l'étude de la cercosporiose

ODP	Cercosporiose		Défoliation	
	Non	Oui	Non	Oui
Non	1.000000e+00	4.260442e-143	1.000000e+00	1.439264e-30
Oui	4.260442e-143	1.000000e+00	1.439264e-30	1.000000e+00

Annexe 3.1. p-values des comparaisons multiples par des tests de wilcoxon et procédure de Tukey pour l'irrigation

ODP	Cercosporiose		
	Annuelle	Bisannuelle	Trisannuelle
Annuelle	1.000000e+00	3.692103e-15	1.520987e-36
Bisannuelle	3.692103e-15	1.000000e+00	3.890320e-09
Trisannuelle	1.520987e-36	3.890320e-09	1.000000e+00

Défoliation	Cercosporiose		
	Annuelle	Bisannuelle	Trisannuelle
Annuelle	1.000000e+00	1.032172e-02	3.136149e-27
Bisannuelle	1.032172e-02	1.000000e+00	1.458698e-19
Trisannuelle	3.136149e-27	1.458698e-19	1.000000e+00

Annexe 3.2. p-values des comparaisons multiples par des tests de wilcoxon et procédure de Tukey pour la taille

ODP	Cercosporiose		
	Annuelle	Bisannuelle	Trisannuelle
Annuelle	1.000000e+00	1.432855e-18	1.069426e-56
Bisannuelle	1.432855e-18	1.000000e+00	1.759141e-101
Trisannuelle	1.069426e-56	1.759141e-101	1.000000e+00

Défoliation	Cercosporiose		
	Annuelle	Bisannuelle	Trisannuelle
Annuelle	1.000000e+00	6.951273e-07	1.823372e-02
Bisannuelle	6.951273e-07	1.000000e+00	1.217005e-08
Trisannuelle	1.823372e-02	1.217005e-08	1.000000e+00

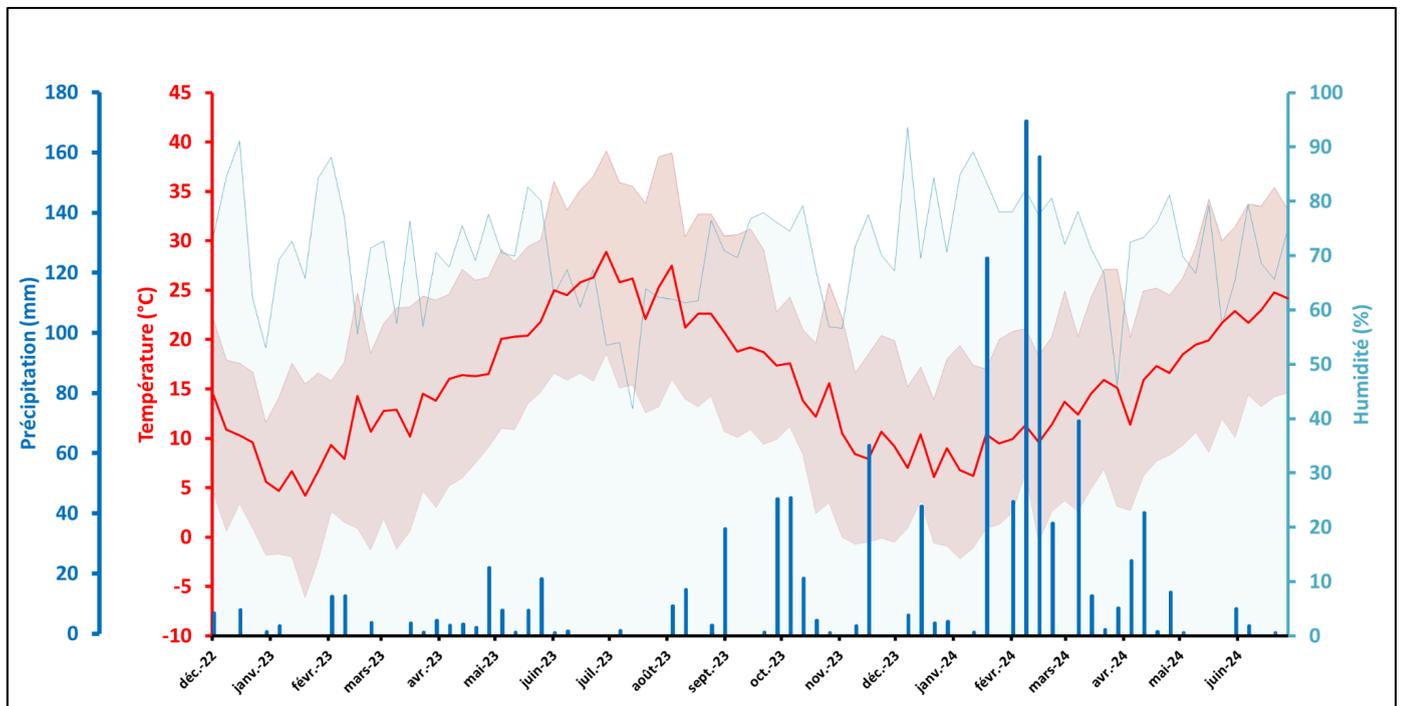
Annexe 3.3. p-values des comparaisons multiples par des tests de wilcoxon et procédure de Tukey pour la tonte

	Aglandau	Boussarlu	Bouteillan	Cailletier	Cayon	Inconnues	Picholine	Salonenque
Aglandau	1.000000e+00	1.142548e-67	1.137597e-11	2.576025e-18	1.569479e-60	4.467316e-08	2.536624e-11	1.426315e-116
Boussarlu	1.142548e-67	1.000000e+00	6.375651e-37	1.556842e-08	5.350129e-01	1.221217e-61	9.130686e-69	7.116896e-07
Bouteillan	1.137597e-11	6.375651e-37	1.000000e+00	3.747391e-05	4.873628e-35	5.117297e-20	1.311855e-24	1.181491e-80
Cailletier	2.576025e-18	1.556842e-08	3.747391e-05	1.000000e+00	4.736081e-09	7.746649e-28	5.347085e-33	1.166094e-24
Cayon	1.569479e-60	5.350129e-01	4.873628e-35	4.736081e-09	1.000000e+00	1.646295e-55	2.776863e-61	5.197327e-04
Inconnues	4.467316e-08	1.221217e-61	5.117297e-20	7.746649e-28	1.646295e-55	1.000000e+00	5.350129e-01	4.817428e-88
Picholine	2.536624e-11	9.130686e-69	1.311855e-24	5.347085e-33	2.776863e-61	5.350129e-01	1.000000e+00	1.294433e-95
Salonenque	1.426315e-116	7.116896e-07	1.181491e-80	1.166094e-24	5.197327e-04	4.817428e-88	1.294433e-95	1.000000e+00

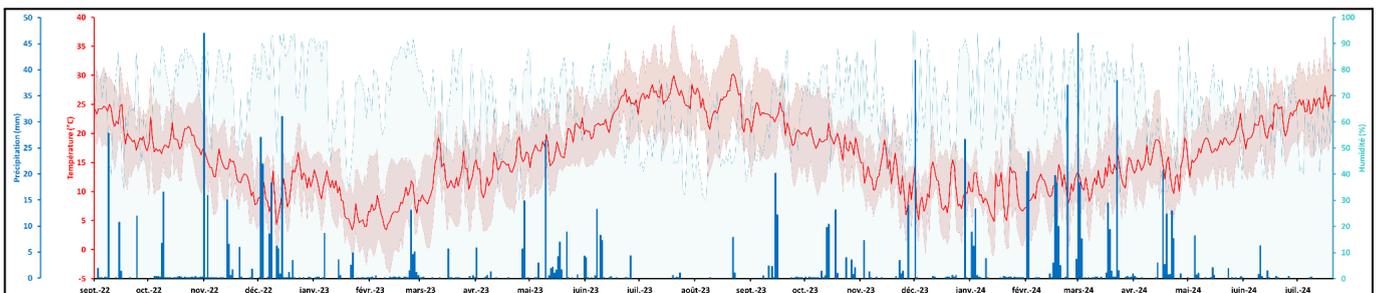
Annexe 4.1. p-values des comparaisons multiples par des tests de wilcoxon et procédure de Tukey pour les variétés sensibles à la maladie de l'œil de paon.

	Aglandau	Boussarlu	Bouteillan	Cailletier	Cayon	Inconnues	Picholine	Salonenque
Aglandau	1.000000e+00	1.511751e-08	2.029189e-01	2.359928e-04	1.504588e-80	4.199618e-20	2.472986e-02	8.698153e-22
Boussarlu	1.511751e-08	1.000000e+00	2.555097e-13	2.060771e-01	4.169962e-88	3.636569e-36	5.081602e-03	2.102543e-38
Bouteillan	2.029189e-01	2.555097e-13	1.000000e+00	1.694774e-07	7.604372e-81	9.780845e-18	1.312658e-04	2.756853e-19
Cailletier	2.359928e-04	2.060771e-01	1.694774e-07	1.000000e+00	7.837973e-82	1.443530e-29	5.273856e-01	3.973305e-31
Cayon	1.504588e-80	4.169962e-88	7.604372e-81	7.837973e-82	1.000000e+00	3.564684e-18	6.329354e-81	9.780845e-18
Inconnues	4.199618e-20	3.636569e-36	9.780845e-18	1.443530e-29	3.564684e-18	1.000000e+00	3.720224e-28	8.310276e-01
Picholine	2.472986e-02	5.081602e-03	1.312658e-04	5.273856e-01	6.329354e-81	3.720224e-28	1.000000e+00	1.006306e-29
Salonenque	8.698153e-22	2.102543e-38	2.756853e-19	3.973305e-31	9.780845e-18	8.310276e-01	1.006306e-29	1.000000e+00

Annexe 4.2. p-values des comparaisons multiples par des tests de wilcoxon et procédure de Tukey pour les variétés sensibles à la cercosporiose.

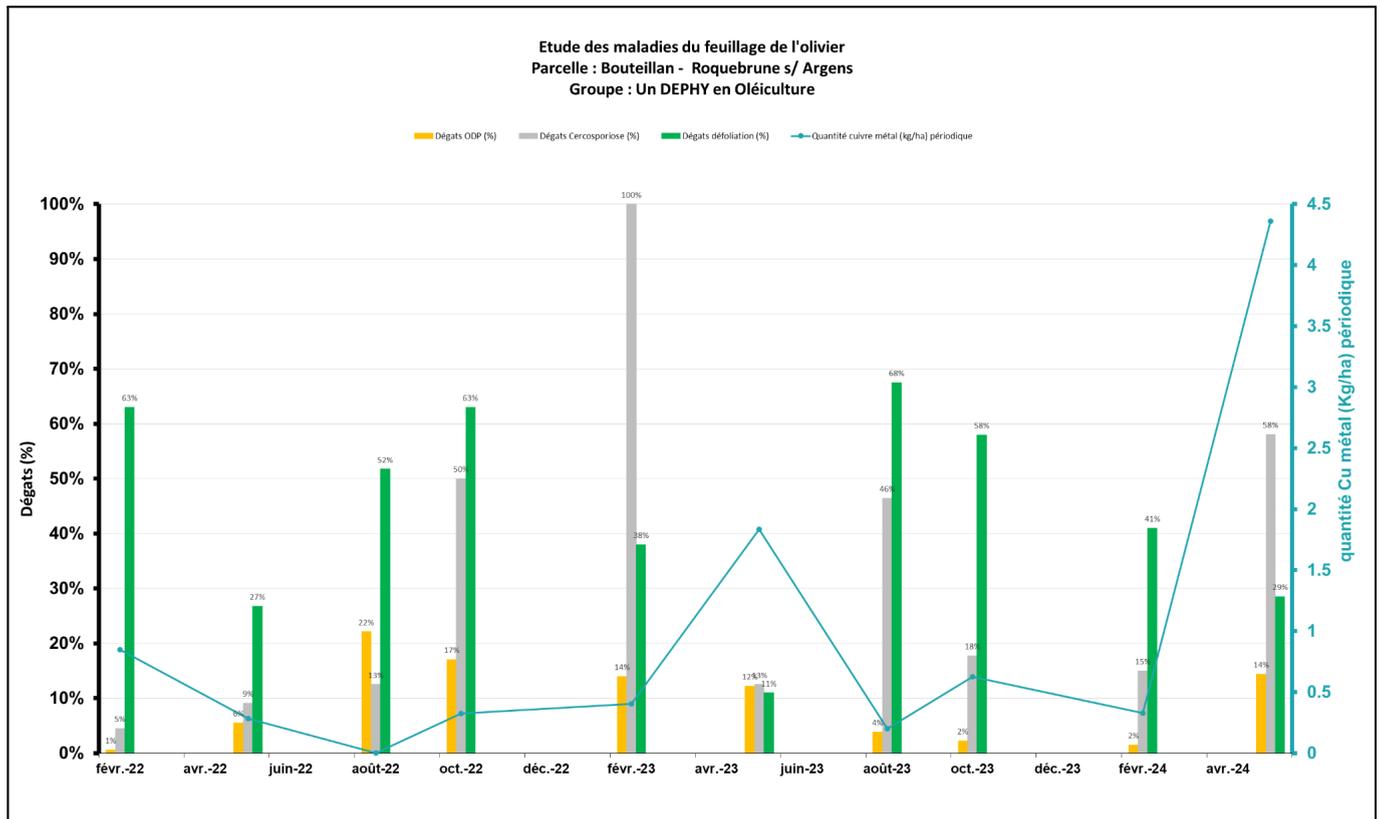


Annexe 5.1. Graphique des données climatiques de décembre 2022 à juin 2024 de Roquebrune sur Argens. Les précipitations en mm (barre bleue), la température moyenne et ses variations en °C (courbe et aire en rouge) ainsi que l'humidité en % (aire bleu clair).

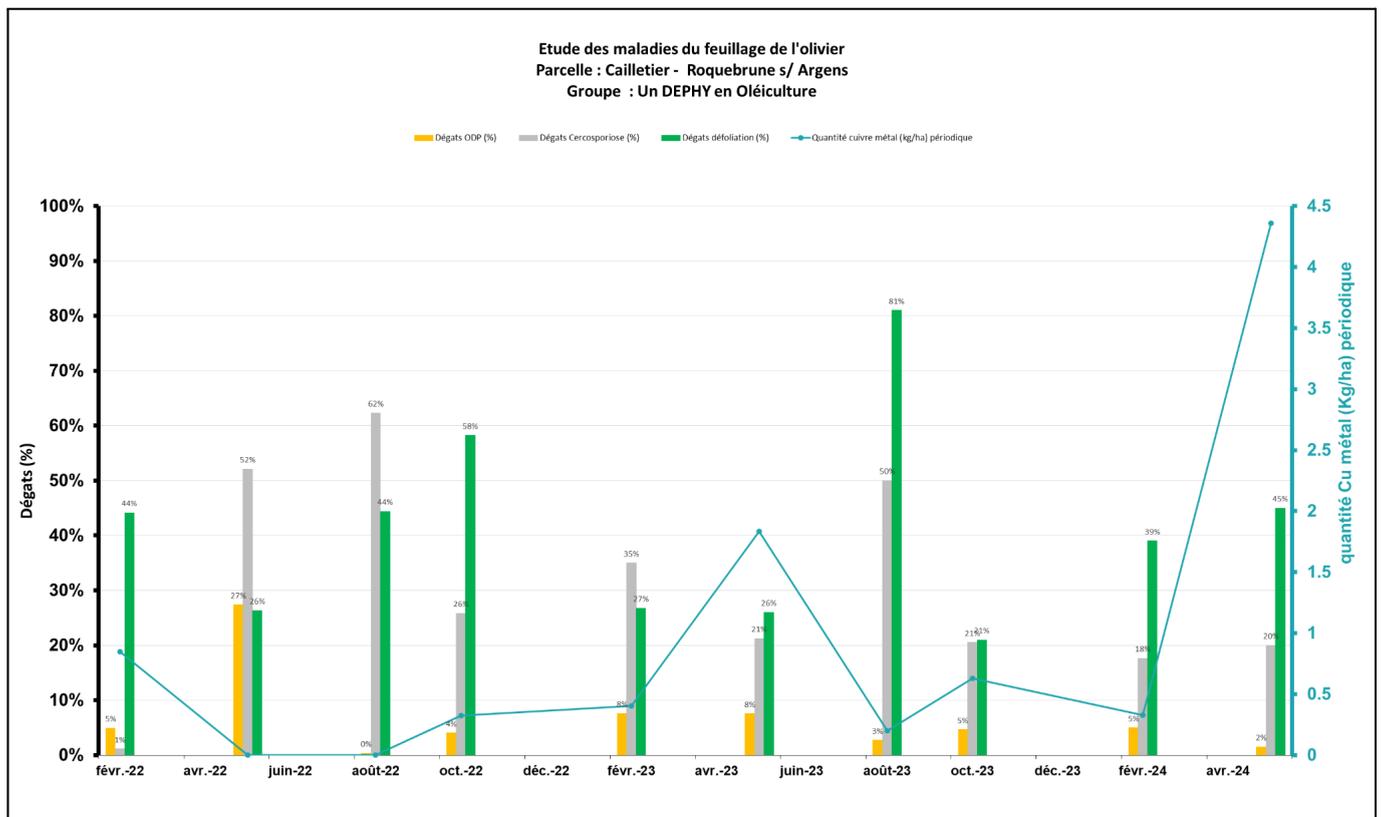


Annexe 5.2. Graphique des données climatiques de décembre 2022 à juin 2024 de La Londe les Maures. Les précipitations en mm (barre bleue), la température moyenne et ses variations en °C (courbe et aire en rouge) ainsi que l'humidité en % (aire bleu clair).

A

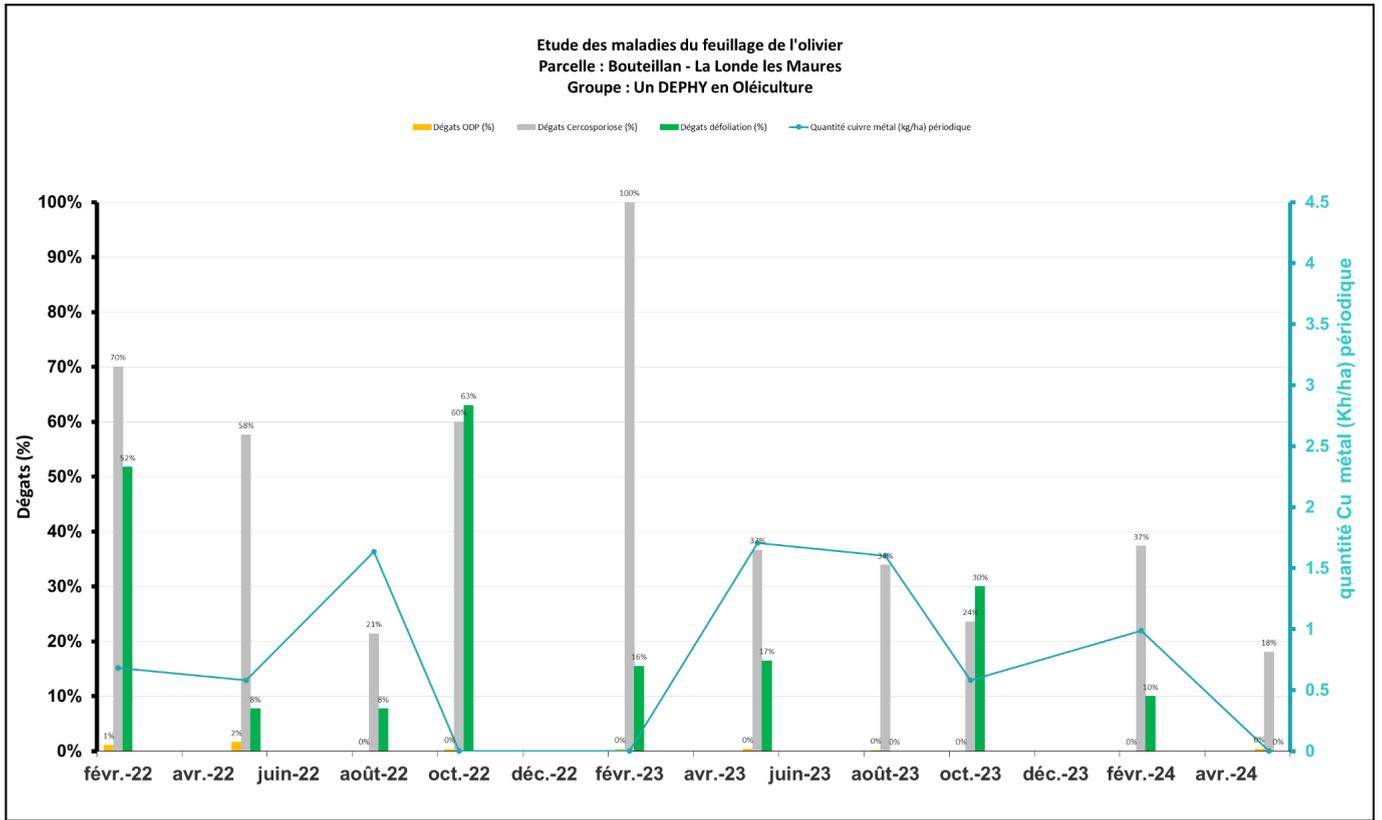


B

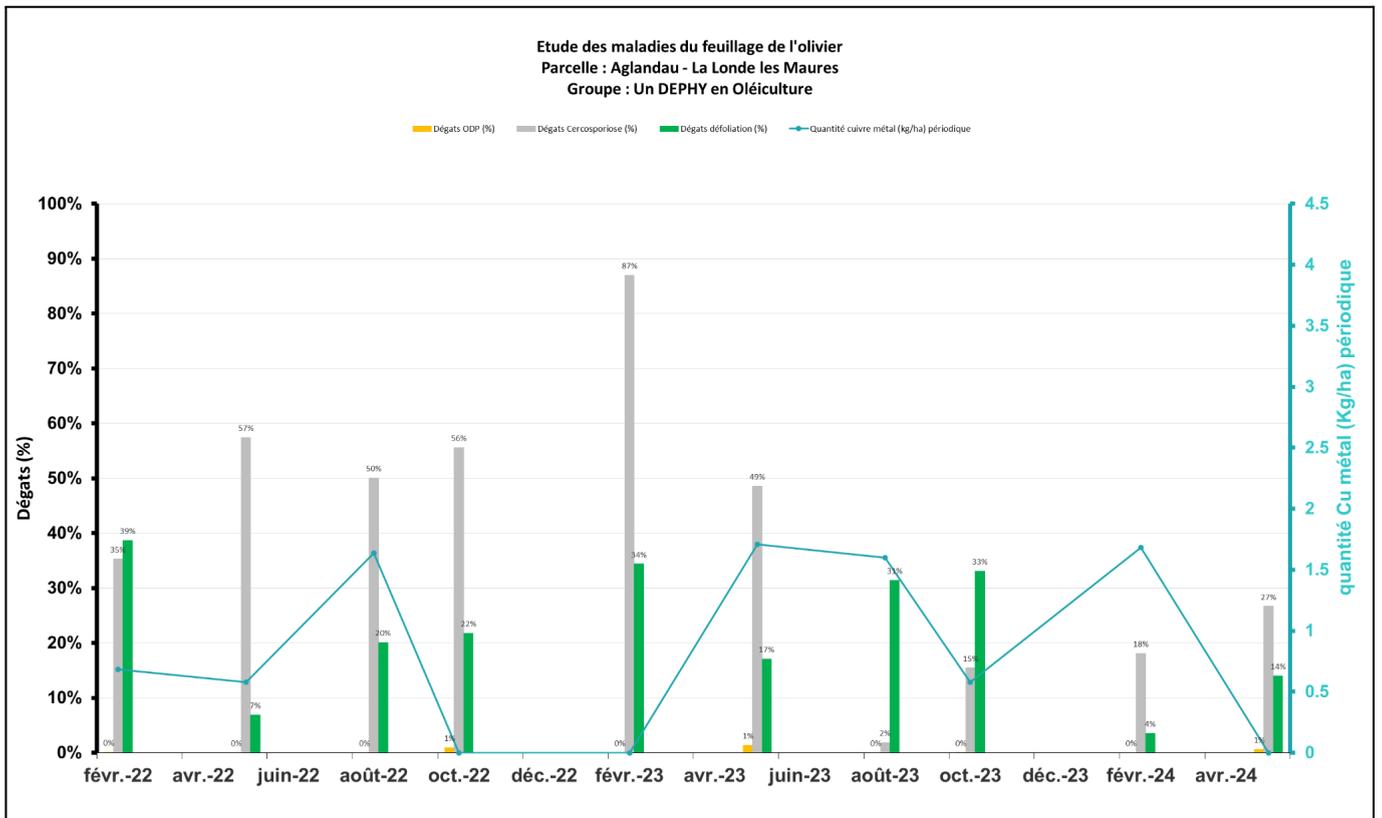


Annexe 6.1. Graphiques des dégâts de la maladie de l'oeil de paon, de la cercosporiose, de la défoliation et des quantités de cuivre métallique périodique pour chaque période de notation, de février 22 à avril 24 à Roquebrune sur Argens, pour la variété Bouteillan (A) et Cailletier (B).

A



B



Annexe 6.2. Graphiques des dégâts de la maladie de l'oeil de paon, de la cercosporiose, de la défoliation et des quantités de cuivre métallique périodique pour chaque période de notation, de février 22 à avril 24 à La Londe les Maures, pour la variété Bouteillan (A) et Aglandau (B).

<u>ÉTABLISSEMENT D'ENSEIGNEMENT ou DE FORMATION</u>	<u>ORGANISME D'ACCUEIL</u>
<p>Composante/UFR : UFR STGI - DÉPARTEMENT SCIENCES DE LA VIE ET ENVIRONNEMENT</p> <p>Formation : Master Gestion de l'environnement, parcours Gestion durable de l'environnement 2e année</p> <p>Encadrement du stagiaire par l'établissement d'enseignement : GILBERT Daniel</p>	<p>Nom : CHAMBRE D'AGRICULTURE DU VAR Adresse : 70 Avenue du Président Wilson - 83550 VIDAUBAN</p> <p>Service : Service Arboriculture Maraîchage</p> <p>Encadrement du stagiaire par l'organisme d'accueil : VERNIER Fanny</p>
SUJET DE STAGE : Etude des maladies du feuillage de l'olivier	
Nb de pages : 29	Annexe(s) : 6
<p>Résumé : L'oléiculture varoise, comme la filière au niveau national, souffre de plus en plus des évolutions climatiques en cours notamment en ce qui concerne la sensibilité aux maladies du feuillage : maladie de l'œil de paon et cercosporiose de l'olivier. La maîtrise du développement des maladies du feuillage a toujours été une nécessité pour les producteurs qui souhaitent maintenir la productivité de leurs vergers. Malheureusement ces dernières années le contexte climatique, avec une augmentation des périodes potentielles de contamination, complexifie fortement la maîtrise du développement de ces maladies dans les vergers. La poursuite du travail initié en 2022 doit permettre de mieux cerner les cycles biologiques de ces maladies foliaires en conditions réelles et de déployer des stratégies de lutte adaptées aux différentes pressions sanitaires rencontrées sur le terrain. Cette étude constitue l'année n+3 du suivi sur les maladies du feuillage de l'olivier. Initié en 2022, ce sont les données compilées à ce jour, issues des notations d'observation maladies du feuillage, et à raison de quatre sessions de notations par an, réalisées sur l'ensemble des 10 parcelles agricoles du groupe DEPHY FERME, jusqu'à cette année 2024 (à l'exception du mois d'octobre), qui ont servi à la production de ces résultats. Il est présenté un état des lieux de la pression fongique sur la période 2022-2024 des vergers de l'étude (toutes parcelles confondues) qui a permis de conforter la compréhension de la maladie de l'œil de paon (causée par le champignon <i>Venturia oleaginea</i>). Avec une présence sur les vergers à raison de 3% à 10% de dégâts, il a été confirmé sur ces 3 ans d'étude, une tendance d'apparition de la maladie. En effet, la période entre la sortie de l'hiver et le début du printemps (février-mai) correspond à un intervalle où le champignon est plus présent. Pour la cercosporiose (<i>Pseudocercospora cladosporioides</i>), malgré des dégâts supérieurs à 20% sur toutes les années, sa compréhension est plus difficile. Avec pour ce champignon une période d'incubation de plusieurs mois à une année ; l'apparition de ces symptômes peut avoir pour cause des contaminations issues de l'année précédente et cumulables d'une année aux autres. Les études statistiques (corrélations des variables et classification des parcelles) ont permis de comprendre l'efficacité des traitements au cuivre ; dépendant largement du positionnement, de la fréquence des applications et de la quantité de cuivre métal appliquée en kg/ha, tout comme des pratiques culturales avec l'irrigation, la taille et la tonte qui ont aussi un rôle dans la gestion des maladies fongiques foliaires. Enfin, il a été évalué la sensibilité des variétés cultivées sur les parcelles du groupe à ces deux maladies cryptogamiques, il ressort plus de dégâts chez les variétés comme la Salonenque ou le Cayon notamment dans les conditions de l'étude.</p>	
<p>Mots-clés : <i>Venturia oleaginea</i>, œil de paon, <i>Pseudocercospora cladosporioides</i>, cercosporiose, champignons, maladies cryptogamiques, cuivres, olivier, Var</p>	