

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département d'Agronomie



Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union

## Mémoire de fin d'études

Présenté par :

BETTELDJA Amina  
MEHAL Mohammed Amine

En vue de l'obtention du diplôme de Master Professionnel en Sciences  
Agronomiques

**Spécialité :** Technologies Avancées pour l'Agriculture de Précision

### Thème

***Etude de la réflectance spectrale de feuilles d'olivier (*Olea europaea* L.)  
atteintes de cercosporiose (*Pseudocercospora cladosporioides* Sacc.).***

Soutenu publiquement le : 15.10.2024

### Devant le jury :

Président : Mr BOUZOUINA Mohammed	Professeur	Université Mostaganem
Examineur : Mr ABED Mansour	MCA	Université Mostaganem
Encadrant : Mr MAHIOUT Djamel	MCA	Université Mostaganem

Année universitaire : 2023-2024

# Remerciements

En préambule à ce modeste travail, nous remercions ALLAH, le tout puissant et miséricordieux, qui nous nous a guidé et nous a doté de patience et de courage durant ces longues années d'étude.

Nos vifs remerciements vont à monsieur BOUZOUINA Mohammed qui a bien voulu présider ce jury.

En second lieu, nous tenons à remercier notre encadreur, Monsieur MAHIOUT Djamel, maître de conférences "A", du département d'Agronomie, université de Mostaganem, qui a accepté de diriger ce travail de recherche, pour tous les conseils qu'il nous a prodigués, ses orientations, sa patience, enfin toutes ces qualités qui ont fait que ce travail soit mené au bon port. Qu'il trouve dans ce travail un hommage vivant à sa haute personnalité.

Nos vifs remerciements vont également à monsieur Abed Mansour, maître de conférences « A », au département d'électronique, université de Mostaganem, qui a voulu accepter de d'examiner ce travail, pour l'intérêt qu'il a porté à nos recherches et pour les précieux conseils et les orientations qu'il n'a cessé de nous prodigués durant la réalisation de nos expérimentations en laboratoire et lors de la rédaction de ce mémoire.

A tous les enseignants du département d'Agronomie, particulièrement monsieur BOUZOUINA Mohammed, et tout le personnel du laboratoire de recherche de protection des végétaux, pour leur accueil, leur aide et leur accompagnement durant toute la durée de travail de laboratoire, je cite particulièrement monsieur Nabil BERRAHAL, ingénieur biologiste, doctorant en sciences halieutiques.

# Dédicaces

Nous dédions ce travail :

***A nos très chères parents,***

***Nos mères*** qui ont œuvré pour notre réussite, de par leur amour, leur soutien, tous les sacrifices consentis et leurs précieux conseils, pour toute leur assistance et leurs présences dans notre vie, reçue à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de nos sentiments et nos éternelles gratitude.

***Nos pères***, qui peuvent être fiers et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour nous aider à avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit ; merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de vous.

***A nos frères et sœurs*** leurs soutiens et leurs présences à nos coté, ils font le bonheur de notre vie.

***Aux personnes*** qui nous ont toujours aidés et encouragés et qui étaient toujours à nos côtés, nos aimables amis, frères et sœurs de cœurs, veuillez croire à notre profond respect et nos grandes amitiés

***A tous*** ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce travail soit possible, je vous dis

**Et a tous nos amies de la promotion de Master de**

**L'agriculture de précision**

**BETTELDJA AMINA; MEHAL MOHAMED AMINE**

## Liste des Figures

Figure 1	Aire de répartition de l'olivier dans le monde	6
Figure 2	Répartition de la production de l'olivier par continent durant l'année 2020	7
Figure 3	Les feuilles de l'olivier cultivé	9
Figure 4	Les fleurs d'olivier	10
Figure 5	Les fruits d'olivier	10
Figure 6	Coupes schématiques d'un fruit d'olive	11
Figure 7	Cycle de développement de l'olivier	12
Figure 8	Feuilles d'olivier affectées par la cercosporiose	18
Figure 9	Symptômes de la cercosporiose de l'olivier sur fruit	18
Figure 10	Conidies de <i>Pseudocercospora cladosporioides</i> ; B Strome de <i>P. cladosporioides</i>	20
Figure 11	Cycle biologique de <i>Pseudocercospora cladosporioides</i>	21
Figure 12	Le spectre électromagnétique et le spectre lumineux	23
Figure 13	Vue d'ensemble des technologies de capteurs actuellement utilisées pour la détection et l'identification automatisées des interactions hôte-plante	24
Figure 14	L'interaction du tissu foliaire avec la lumière dépend des propriétés structurelles et chimiques de la feuille	27
Figure 15	Le JETI SpectraVal1501	28
Figure 16	Alimentation du JETI spectraVal 1501	29
Figure 17	Le spectraVal-LAN	30
Figure 18	Mode de mesure Luminance/ Radiance du JETI LiVal	31
Figure 19	LE CAPTEUR DUALEX FORCE A	33
Figure 20	Description de DUALEX	34
Figure 21	Localisation géographique de la wilaya Mostaganem	37
Figure 22	Site d'étude situé dans la commune de Mazargan	38

<b>Figure 23</b>	<b>Insemencement des boîtes de milieu de culture avec des explants de feuilles d'olivier</b>	<b>40</b>
<b>Figure 24</b>	<b>Echelle de la maladie utilisée</b>	<b>41</b>
<b>Figure 25</b>	<b>L'appareil JETI Spectraval 1501 pendant la prise des mesures dans le laboratoire de recherche « protection des végétaux ».</b>	
<b>Figure 26</b>	<b>Signatures spectrales caractéristiques de feuilles d'olivier atteintes de cercosporiose avec différents sévérités (S0 , S1 , S2 , S3 , S4 , S5) et mesurées à 500 nm, 580 nm, 690 nm, 840 nm et 965 nm</b>	<b>48</b>
<b>Figure 27</b>	<b>Evolution du taux d'Azote (NBI), chlorophylle (CHLR) et des flavonols dans les feuilles atteintes de cercosporiose</b>	<b>50</b>

## **Liste de tableaux**

<b>Tableau 1 : Principales variétés d'oliviers cultivées en Algérie</b>	<b>14</b>
<b>Tableau 2 Mesures de moyenne des variants indices ( NBI,CHLR,FLV)</b>	<b>50</b>

## Liste des abréviations

<b>FAO</b>	Food And Agriculture Organization
<b>UV</b>	Ultra violet
<b>IR</b>	Infra rouge
<b>RMN</b>	Raisonnante Magnétique Nucléaire
<b>GPS</b>	Géo Positionnement Spatiale
<b>ITAFV</b>	Institut Technique de l'Arboriculture Fruitière et de la Vigne
<b>USB</b>	Universal Serial Bu

## Résumé

L'olivier est l'un des plus anciens arbres cultivés dans les pays méditerranéens. Notre travail consiste à recenser la Cercosporiose de l'olivier (ou plomberie de l'olivier) est une maladie fongique grave qui affecte les oliveraies. L'objectif de cette étude est de détecter la présence du champignon *Pseudocercospora cladosporioides* dans les feuilles de l'olivier en utilisant l'appareil JETI Spectraval 1501 et le capteur DUALEX Scientific (FORCE A).

Afin d'atteindre cet objectif, on a recueilli des feuilles de l'olivier inoculées par *Pseudocercospora cladosporioides* et des feuilles saines. L'appareil JETI Spectraval 1501 a été utilisé pour effectuer les mesures hyper-spectrales, qui permettent de mesurer la réflectance des rayonnements lumineux sur une plage de longueurs d'onde allant de 380 nm à 780 nm. Cette étude vise à repérer la présence du champignon *Pseudocercospora cladosporioides* dans les feuilles de l'olivier en utilisant l'appareil JETI Spectraval 1501 et le capteur DUALEX Scientific (FORCE A). Il est crucial de détecter l'infection fongique de manière précoce afin d'assurer une gestion efficace des maladies. De plus, le capteur optique Dualex offre une mesure facile, rapide et non destructrice de la chlorophylle, des flavanols et les anthocyanes présents dans les feuilles.

A partir des variabilités des pics de réflectances, de leurs moyennes et écarts-type, les analyses effectuées peuvent servir à indiquer la présence de champignon par rapport aux examens spectraux des feuilles saines et les mesures des indices de la chlorophylle, les flavonols et Anthocyanines et NBI (Index de Balance Nitrogène) donc réagir avant que ce champignon envahit la plante et l'endommagement.

**Mots clés:** *Pseudocercospora cladosporioides*, détection précoce, analyse spectrale, olivier, réflectance, JETI spectraval 1501, Dualex (Force A) .

## Abstract

The olive tree is one of the oldest cultivated trees in Mediterranean countries. Our work consists of cataloging *Cercospora* leaf spot of the olive tree (or olive pluming) is a serious fungal disease that affects olive groves. The objective of this study is to detect the presence of the fungus *Pseudocercospora cladosporioides* in olive leaves using the JETI SpectraVal 1501 device and the DUALEX Scientific sensor (FORCE A). In order to achieve this objective, we collected leaves from the olive tree inoculated with *Pseudocercospora cladosporioides* and healthy leaves. The JETI SpectraVal 1501 device was used to perform hyperspectral measurements, which allow for measuring the reflectance of light radiation over a wavelength range of 380 nm to 780 nm. This study aims to detect the presence of the fungus *Pseudocercospora cladosporioides* in olive leaves using the JETI SpectraVal 1501 device and the DUALEX Scientific sensor (FORCE A). It is crucial to detect fungal infections early in order to ensure effective disease management. Furthermore, the Dualex optical sensor provides an easy, quick, and non-destructive measurement of chlorophyll, flavanols, and anthocyanins present in the leaves.

Based on the variability of reflectance peaks, their averages, and standard deviations, the analyses conducted can indicate the presence of fungi in relation to the spectral examinations of healthy leaves and the measurements of chlorophyll indices, flavonols, anthocyanins, and NBI (Nitrogen Balance Index), thus allowing for a response before this fungus invades and damages the plant.

**Keywords:** *Pseudocercospora cladosporioides*, early detection, hyperspectral analysis, olive tree, reflectance, JETI SpectraVal 1501, Dualex (Force A).

# Sommaire

Introduction générale	1
Chapitre I- Partie bibliographique	
I. Généralités sur l'olivier ( <i>Olea europea</i> L.)	4
1. Historique et origine de l'olivier	5
1.2. Importance de l'oléiculture	6
1.2.1. Dans le monde	6
1.2.2. En Algérie	7
2. Classification	7
3. Morphologie générale de l'olivier	8
3.1. L'arbre	8
3.2. Le système racinaire	8
3.3. Les organes aériens	8
4. Cycle annuel de développement de l'olivier	11
5. Exigence agro-écologiques de l'olivier	12
6. Les principales variétés cultivées en Algérie	13
Chapitre II : La cercosporiose de l'olivier	
1. Généralités	17
2. Cercosporiose de l'olivier	17
2.1. Etiologie de la maladie, Symptômes	17
2.2. Morphologie et taxonomie de <i>Pseudocercospora cladosporioides</i>	19
2.3. Cycle biologique	20
Chapitre III : Analyse spectrale de stress chez les plantes	
1. Le spectre électromagnétiques	23
2. Analyse spectrale	23
2.1. Capteurs optiques pour la détection des maladies des plantes	25
2.1.1. Imagerie RVB	25
2.1.2. Capteurs de réflectance multi et hyperspectraux	26
2.1.3. Capteurs thermiques	26
3. Les propriétés optiques des feuilles	27
4. Exemple d'un dispositif d'analyse spectrale des stress chez les plantes	28
4.1. Jeti spectral 1501 spectroradiomètre VIS	28
4.1.1. Composition électronique de Jeti spectral 1501	28
4.1.2. Caractéristiques	28
4.1.3. Installation du matériel	29
4.2. Le logiciel JETI Lival	30
4.2.1. Démarrage rapide	32
4.2.2. Mode de mesure Luminance, radiance	31
4.2.3. Procédure de mesure	32

5. Le capteur Dualex Scientific	32
5.1. Description	33
5.2. Les caractéristiques	34
5.3. Les principes de Fonctionnement	34
5.3.1. Mesure de chlorophylle	35
5.3.2. Mesure des flavonols et des anthocyanines	35
5.3.3. Mesure NBI	35
Chapitre IV : Matériels et méthodes	
1. Description des sites d'étude	37
1.1. Echantillonnage	
2. Technique de diagnostic de laboratoire	38
2.1. Matériel utilisé	38
2.2. Obtention de l'agent pathogène ( <i>Pseudocercospora cladosporiodes</i> )	39
2.2.1. Observation directe entre lame et lamelle	39
2.2.2. Isolement à partir des feuilles	39
2.2.3. Désinfection des échantillons	39
2.3. Ensemencement et incubation	
3. La mesure à l'aide de l'appareil JETI spectral 1501	40
3.1. Choix des symptômes	40
3.2. Préparation des feuilles	41
4. La mesure à l'aide de capteur Dualex (Force A)	42
Chapitre V : Résultats et discussions	
1. Synthèse et interprétation des caractéristiques spectrales	45
1.1. La réflectance des feuilles d'olivier à 500 nm	45
1.2. La réflectance des feuilles d'olivier à 580 nm	45
1.3. La réflectance des feuilles d'olivier à 690 nm	46
1.4. La réflectance des feuilles d'olivier à 840 nm	46
1.5. La réflectance des feuilles d'olivier à 965 nm	46
2. Résultats statistiques	49
Interprétations	50
Conclusion générale	52
Références bibliographiques	54
Annexe	

# ***Introduction générale***

## Introduction générale

L'olivier, l'arbre emblématique des civilisations méditerranéennes tout au long des siècles, qui a alimenté les légendes et qui a inspiré les philosophes, les savants et les rois pour longtemps ; a acquis cette place privilégiée grâce aux multiples biens qu'il fournit aux populations. Son importance vient de la qualité alimentaire de ses dérivés pour les populations locales qui ont incorporé l'huile d'olive et les olives dans leur alimentation quotidienne et son bois dans la construction et le chauffage.

L'Algérie a connu l'oléiculture dès l'antiquité. Cette activité est présente actuellement dans tout le nord du pays où le climat (climat méditerranéen) est en faveur à son développement.

L'Algérie se classe au quatrième rang mondial en termes de production d'olives et de superficie cultivée après l'Espagne, l'Italie et la Tunisie (**FAO, 2020**).

Bien que l'olivier possède de grandes capacités d'adaptation, il est toujours soumis à plusieurs contraintes qu'il doit surmonter et ce partout dans l'aire géographique occupée par cette culture spécifiquement en Algérie. La première limitation réside dans l'environnement avec ses contraintes comme le manque dans le sol de différents éléments nutritifs, le stress hydrique.

La seconde contrainte qui limite les rendements de la culture est celle causée par divers agents biotiques qui nuisent à l'intégrité de l'arbre et à sa croissance. Effectivement, l'olivier est sensible à de nombreux ravageurs tels que les insectes, les oiseaux et les chenilles, les acariens, ainsi que les parasites tels que les nématodes, les bactéries, les virus et les champignons.

L'olivier est notamment sensible à de nombreuses maladies fongiques comme la tavelure dite Œil de paon (*Venturia oleagina*), la cercosporiose (*Pseudocercospora cladosporioides*), la verticilliose (*Verticillium dahliae*) et bactériennes tel que la maladie dite tuberculose de l'olivier (*Pseudomonas syringae* ssp. *savastanoi*).

La cercosporiose (ou plomb de l'olivier) est une maladie assez commune. La maladie affecte prioritairement le feuillage et plus rarement les fruits. Au niveau du feuillage, les symptômes s'observent généralement de l'automne au printemps sur des feuilles âgées de plus d'un an : la face supérieure des feuilles montre une chlorose de couleur jaune tendant à se nécroser progressivement, notamment à la pointe et sur les côtés, alors que la face inférieure se couvre d'un feutrage grisâtre caractéristique lié à la multiplication des conidies.

Il est essentiel d'identifier rapidement et de manière précise les infections par la cercosporiose afin de prendre des mesures de lutte adéquates et de réduire au minimum les pertes de rendement.

Les progrès technologiques ont donné naissance à des techniques d'analyse et de diagnostic nouvelles, c'est le cas des techniques hyperspectrale, qui représentent une approche prometteuse pour détecter précocement les maladies des plantes.

Grâce à la technologie hyperspectrale, il est possible de recueillir des données précises sur la réflectance de la lumière à diverses longueurs d'onde, ce qui permet d'avoir une vision globale des caractéristiques optiques des tissus végétaux.

L'objectif de notre étude consiste à établir une échelle de sévérité de la cercosporiose de l'olivier et mesurer la réflectance spectrale des feuilles selon l'indice de la maladie affectée à la feuille, en commençant par l'indice 0 (feuille saine) jusqu'à l'indice de sévérité le plus élevé. L'objectif est d'examiner la corrélation entre chaque degré d'attaque et la réflectance correspondante, nous espérons ainsi utiliser la signature spectrale dans le diagnostic précoce de la maladie.

Ainsi, l'objectif de notre travail vise à analyser et à exploiter les données du spectroradiomètre hyperspectrale JETI SpectraVal 1501 ainsi que le capteur DUALEX SCIENTIFIC (FORCE A). La technologie brevetée de ce capteur optique permet de mesurer de façon facile, rapide et non destructive la chlorophylle, les flavanols et les anthocyanes présents dans les feuilles.

Nous espérons que cette étude aidera à progresser dans ce domaine de la détection précoce des maladies et des ravageurs dans les plantes et les champs grâce à l'analyse hyperspectrale.

Notre mémoire comprend cinq chapitres :

**Chapitre 1** : est une présentation générale de l'olivier, y compris son origine et historique, description botanique, ses exigences, son importance économique en Algérie et dans le monde, et enfin les variétés cultivées en Algérie.

**Chapitre 2** : décrit les principales maladies de l'olivier ainsi que la cercosporiose.

**Chapitre 3** : décrit l'analyse spectral et les différents capteur optique pour la détection des maladies des plantes (imagerie RVB, capteurs de réflectance multi et hyperspectraux, thermiques et les appareils de la détection précoce du stress chez les plantes ( le JETI SPECTRAVAL 1501 et Dualex (force A) .

**Chapitre 4** : traite des matériaux et des techniques employés dans l'étude spectrale. Il explique de manière approfondie la méthode expérimentale, incluant la collecte d'échantillons de feuilles de l'olivier saines et infectées, les conditions de mesure avec le JETI SpectraVal 1501 et DUALEX (FORCE A).

**Chapitre 5** : Décrit les résultats et ses interprétations obtenus à partir de la mesure de réflectance.

Ce travail se termine par la conclusion

***Chapitre I :***  
***Généralités sur l'olivier***  
***(Olea europea L.)***



## 1. Historique et origine de l'olivier

L'olivier (*Olea europaea* L.) est l'une des plus anciennes cultures de la région méditerranéenne où il a occupé, depuis la préhistoire, une place majeure dans cette région.

Au début de l'âge de bronze, la culture de l'olivier est introduite dans le proche orient après la découverte d'anciennes huileries, de grains de pollen, de bois et de noix d'olivier dans les sédiments (**ZOHARY et SPIEGEL-ROY, 1975 ; LIPHSCHITZ et al. 1991**). À partir du Chalcolithique, les processus de domestication et l'apparition de l'agriculture et des pratiques de sélection ont été identifiés pour la région nord-ouest grâce à l'analyse des noyaux d'olives archéologiques (**TERRAL, 2000 ; TERRALET al., 2004**). Aujourd'hui, l'olivier s'est largement répandu au-delà de son aire d'origine (Figure 1), en raison de sa propagation par l'homme aux États-Unis, en Australie, à la Nouvelle-Zélande et même dans les îles du Pacifique (**GREEN, 2002**).

La présence de l'oléastre en Afrique du Nord est probablement antérieure au XII<sup>e</sup> millénaire et le mot « **Azemmour** » qui désigne l'olivier en berbère ne peut être associé à aucune racine sémitique, ce qui suggère que la culture de l'olivier remonte à l'époque pré phénicienne (XI<sup>e</sup> siècle avant J.-C.) (**CHABOUM, 2003**).

Selon **CAMPS-Fabrer (1984)**, il est confirmé que dès le Villafranchien, *étage le plus ancien du quaternaire*, *Olea europaea* L. est présent dans de nombreux sites sahariens. Les analyses de charbon et de pollens conservés dans certains gisements ibéromaurusiens (Taforalt, Grotte Rassel, Courbet) ou capsien (Ouled Djellal, Relilāï) confirment que l'oléastre était présent en Afrique du Nord dès le XII<sup>e</sup> millénaire et probablement bien avant.

À l'arrivée des Romains en Afrique du Nord, les Berbères savaient greffer les oléastres, alors que dans le territoire occupé par les Carthaginois une véritable culture avait commencé à se répandre. En Algérie, la culture de l'olivier remonte à la plus haute antiquité. Nos paysans s'y consacraient avec art durant plusieurs siècles (**ALLOUM, 1974**).



Figure 1 : Aire de répartition de l'olivier dans le monde ([www.internationaloliveoil.org](http://www.internationaloliveoil.org)).

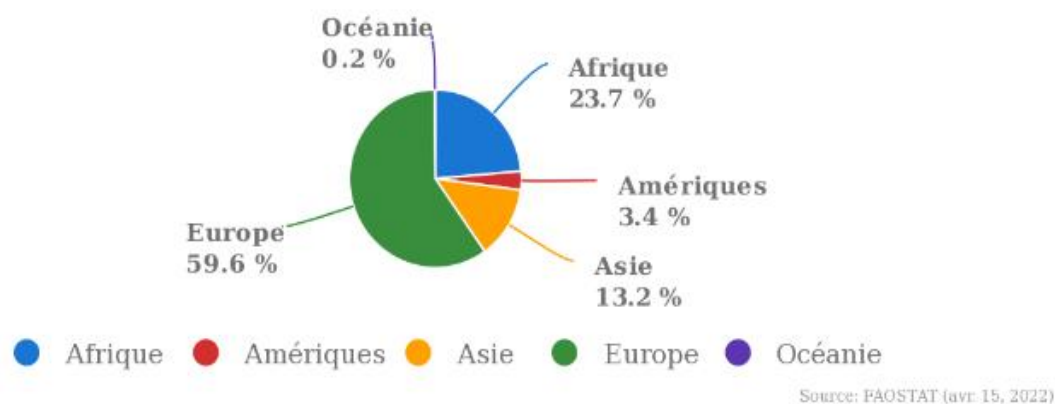
## 1.2. Importance de l'oléiculture

### 1.2.1. Dans le monde

Les oliviers couvrent plus de 11 millions d'hectares dans 47 pays des cinq continents. L'olivier étant cultivé dans les deux hémisphères, la première récolte des olives pour la production d'huile se déroule entre octobre et avril dans l'hémisphère Nord et la deuxième, entre avril et juillet dans l'hémisphère Sud. Toutefois, 98 % de la production mondiale est concentrée dans le bassin Méditerranéen. On compte environ 12.000 huileries dans le monde, dont plus de 80 pour cent fonctionnent au moyen de systèmes de centrifugation. L'huile d'olive est aujourd'hui consommée dans plus de 160 pays.

Selon **FAO STAT (2020)**, la quantité d'olives produites dans le monde était de 20.872.788 tonnes. L'olivier une superficie mondiale de 10.804.517 hectares. Le principal continent oléicole est l'Europe avec 59,6 % de la production mondiale, suivi par l'Océanie avec seulement 0.2% (Figure 2) (**FAOSTAT, 2020**).

L'Espagne, l'Italie et la Tunisie sont les plus grands producteurs dans le monde, produisant dans l'année 2020, 6.549.499; 2.720.488 et 2.576.891 tonnes d'olives respectivement (**FAO STAT, 2020**).



**Figure 2 :** Répartition de la production de l'olivier par continent durant l'année 2020 (FAO STAT, 2020).

### 1.2.2. En Algérie

L'oléiculture représente une filière stratégique pour l'agriculture et l'économie Algérienne. Depuis 2014, la production d'olives a augmenté de 12,1% sur un an. En 2020, le pays était classé 4ème parmi les pays les plus producteurs dont la production d'olives était de 8 687 551 qx, avec un rendement de 75,92 kg/arbre (ITAFV, 2019).

La production d'huile durant la campagne 2019 est de 1 062 234 hl avec un rendement de 18,5l /ql. Les principales régions productrices sont : Bejaia 18,33% (194713 hl), Jijel 10,34% (109791hl), Tizi-Ouzou 9,7% (103074hl) (ITAFV, 2019).

## 2 . Classification

L'olivier appartient à la famille des Oléacées, genre *Olea* qui comprend 35 espèces (CORDEIRO et al., 2008). La seule espèce portant des fruits comestibles est l'*Olea europea* L.

Selon la systématique moléculaire de STRIKIS et al. (2010), la classification de l'olivier (*Olea europea* L.) est la suivante :

**Règne:** Plantae

**Sous Règne:** Tracheobionta

**Division :** Magnoliophyta

**Classe :** Magnoliopsida

**Sous-classe :** Asteridae

**Ordre** : Scrophulariales

**Famille** : Oleaceae

**Genre** : *Olea*

**Espèce** : *Olea europaea* L.

**Variété** : *Olea europaea* subsp. *europaea* var. *europaea*

*Olea europaea* est un complexe de 6 sous-espèces supposées inter-fertiles (**BRETON et al., 2006a ; RUBIO de CASAS et al., 2006**) dont l'une comporte 2 variétés : subsp. *europaea* (var. *europaea*, pour l'olivier cultivé ; var. *sylvestris*, pour l'olivier sauvage), subsp. *cerasiformis*, subsp. *cuspidate*, subsp. *guanchica*, subsp. *laperrinei*, subsp. *maroccana*. Ce complexe se différencie par ses caractères phénotypiques, génotypiques et sa répartition géographique (**GREEN, 2002; TERRAL et al., 2004**). Les cultivars sont dans la plupart du temps diploïdes ( $2n = 2x = 46$ ) (**BESNARD et al., 2008**).

### 3 . Morphologie générale de l'olivier

#### 3.1 . L'arbre

L'olivier cultivé est un arbre à feuilles persistantes. Selon **TRIGUI (1983)**, le port et la forme de l'arbre sont des caractéristiques propres à chaque variété, mais leur croissance varie en fonction des conditions climatiques, de la qualité du sol et des techniques de culture. Les caractéristiques sélectionnées pour décrire l'arbre incluent : la force (faible, moyenne ou élevée), le port (retombant, étalé, dressé), la densité des feuillages qui est considérée comme lâche, moyenne ou compacte, ainsi que la longueur des entre-nœuds qui peut varier entre court, moyen ou long. L'olivier possède un tronc régulier et lisse, généralement gris, qui devient irrégulier, rugueux et tortueux avec l'âge (**COI, 1997; BARRANCO et al., 2000 ; VILLA, 2003**).

#### 3.2. Le système racinaire

Le système racinaire de l'arbre évolue principalement en fonction des propriétés physico-chimiques du sol. En effet, l'olivier ajustera son système racinaire en fonction de la profondeur du sol, de sa texture et de sa structure. Étant doté d'un système souterrain puissant et étendu, ce réseau de racines crée une souche ligneuse, connue sous le nom de "matte", qui offre la possibilité de puiser une quantité considérable de sève dans le sol (**LOUSSERT et BROUSSE, 1978**).

#### 3.3. Les organes aériens

- **Le tronc**

Sur les jeunes arbres, le tronc est droit et circulaire puis il se déforme, au fur et à mesure de leur vieillissement, pour donner naissance à des cordes (zones successives de dépressions donnant au tronc un aspect tourmenté, caractéristique de l'olivier).

- **Les charpentières**

Composées des charpentières maitresse et sous-charpentières ; des branches : trois sortes : branches à bois, branches à fruits et branches mixtes (**LOUSSERT et BROUSSE, 1978**).

- **Les feuilles**

Les feuilles d'olivier sont persistantes avec une durée de vie de l'ordre de trois ans (**LOUSSERT et BROUSSE, 1978**) et possédant des caractères nettement xérophytiques (épiderme supérieur fortement cutinisé et épiderme inférieur recouverts de poils) (Figure 3).



**Figure 3** : Les feuilles de l'olivier cultivé (**BRETON et BERVILLE, 2006**).

- **La fleur**

Selon **LOUSSERT et BROUSSE (1978)**, les fleurs sont regroupées en petites grappes dressées à l'aisselle des feuilles. La fleur est constituée de 4 sépales, 4 pétales, 2 étamines et 2 carpelles (Figure 4).



Figure 4 : Les fleurs d'olivier (HADDOU, 2017).

- **Le fruit**

Le fruit est une petite drupe ovoïde, noir violacé à maturité, riche en huile (Figure 5) .



Figure 5 : Les fruits d'olivier (BRETON et BERVILLE, 2006).

Le fruit comporte trois parties (figure 6) :

- **Epicarpe (peau)** : recouverte d'une matière cireuse imperméable à l'eau (la pruine). Le changement de couleur est dû à une oxydation par des phénols oxydases.
- **Mésocarpe (pulpe)** : charnue et riche en matière grasse stockée durant la lipogenèse de la fin d'août jusqu'à la véraison (LOUSSERT et BROUSSE, 1978).
- **Endocarpe (noyau)** : osseux et dur, formé d'une enveloppe qui se sclérifie en été (à partir de la fin juillet) et contient une amande avec ovaires, dont l'un est généralement stérile et non fonctionnel. Cette graine produit un embryon, qui donnera un nouvel olivier si les conditions sont favorables.

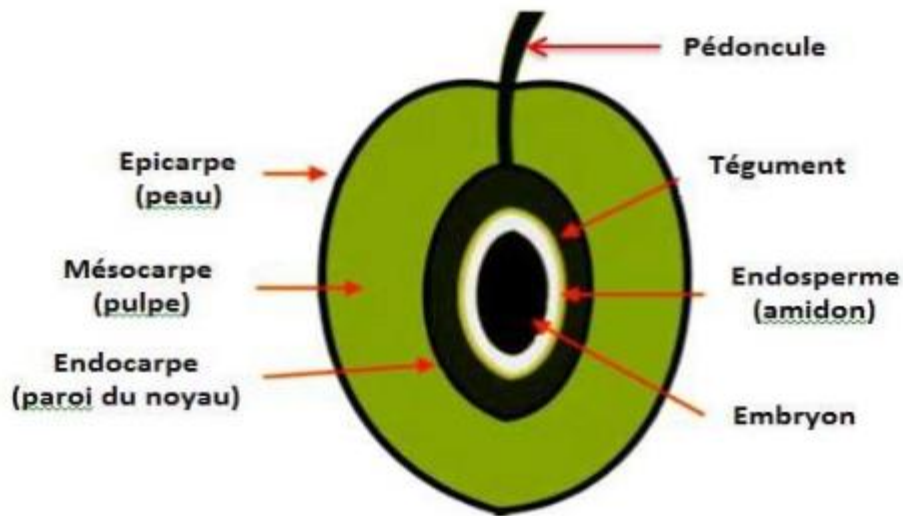


Figure 6 : Coupes schématiques d'un fruit d'olive (MUZZALUPO et MICALI, 2015).

#### 4 . Cycle annuel de développement de l'olivier

Au cours de son cycle annuel de développement (figure 7), l'olivier passe par différentes phases (WALID et al., 2003):

- Induction, initiation et différenciation florale : durant Janvier et Février ;
- Croissance et développement des inflorescences à l'aisselle des feuilles au cours du mois de Mars ;
- Floraison durant le mois d'Avril ;
- Fécondation et nouaison des fruits : fin Avril début Mai ;
- Grossissement des fruits : durant Juin-Juillet et Aout ;
- Véraison : au cours du mois de Septembre ;
- Maturation : le fruit atteint son calibre final en Octobre et s'enrichisse en huile ;
- Récolte des fruits : Novembre à Janvier.

Il convient de souligner que la période la plus forte du cycle annuel de l'olivier se situe de mars à juin. Pendant cette étape, les oliviers nécessitent une grande quantité d'eau et de nutriments (ERRAKI et al., 2005).

La production naturelle de l'olivier est limitée à une année sur deux en l'absence de taille, et elle s'établit lentement, progressivement, mais durablement : La période de mise en place improductive s'étend de 1 à 7 ans, peut doubler en cas de sécheresse ; jusqu'à 35 ans, l'arbre se développe et augmente progressivement sa production ; entre 35 ans et 150 ans, l'olivier atteint sa maturité et sa production optimale. Il vieillit au-delà de 150 ans et ses performances deviennent imprévisibles (ITAF, 2013).



**Figure 7 :** Cycle de développement de l'olivier (LARABI et KHANOUS, 2016).

**A :** Stade hivernal ; **B :** Réveil végétatif ; **C :** Formation des grappes florales ; **D :** Gonflement des boutons floraux ; **E :** Différenciation des corolles ; **F :** Floraison ; **G :** Chute des pétales et nouaison ; **H :** Grossissement du fruit ; **I :** Maturation du fruit (Olive verte).

## 5 Exigences agroécologiques de l'olivier

L'olivier possède des qualités indéniables de résistance aux mauvaises conditions de culture. En se basant sur une trame agronomique, l'olivier peut supporter des températures allant de -8 à -10°C, mais les dommages peuvent être considérables pour des températures basses (0 à -1°C) pendant la période de floraison, lorsqu'il fait chaud (35-38°C). Au-delà de 40°C, la végétation peut s'arrêter, les feuilles peuvent brûler et les fruits peuvent tomber, en particulier si l'irrigation est insuffisante (Walid et al., 2003).

La production de l'olivier est normale si une pluviométrie d'au moins 600 mm est répartie tout au long de l'année. La production est envisageable pour un sol profond et argilo-limoneux, avec une

capacité de rétention en eau de 450 à 600 mm). La production des oliviers est affectée par les vents chauds pendant la floraison et les gelées au printemps (**Walid et al., 2003**).

## **6 Les principales variétés cultivées en Algérie**

L'Algérie possède un héritage de 164 variétés autochtones et importées de toute la Méditerranée, y compris d'outre-Atlantique. (**MENDIL et SEBAÏ, 2006**) ensuite par **MENDIL et SEBAÏ (2006)** ont entrepris des travaux de caractérisation qui ont permis de recenser 72 variétés autochtones, dont 36 sont homologuées. Les principales variétés cultivées en Algérie sont représentées sur le tableau 1.

Les olives sont classées en trois typologies selon la destination finale du fruit :

- Olive à huile qui doit fournir une bonne rentabilité en termes de qualité et de quantité. En Algérie, on trouve principalement le Chemlal, Limli, Bouchouk, Azeradj (**HADJOU et al., 2013**).
- Olive de table, caractérisée par une certaine grosseur du fruit et un contenu riche en pulpe mais faible en huile (**PASQUALONE et al., 2014**). En Algérie, on trouve la variété Sigoise qui a été implantée dans l'Ouest du pays à la fin des années 1990 (**IDOUI et BOUCHEFRA, 2014**), on trouve aussi Azeradj et Blanquette de Guelma (**REJANO, 2010**).
- Olive mixtes qui doit présenter des propriétés communes entre les deux groupes précédents. On peut ainsi les utiliser pour produire l'huile, ou pour la consommation comme olive de table (**SARAIVA et al., 2010**)

**Tableau 1 :** Principales variétés d'olivier cultivées en Algérie.

Variétés	Caractéristiques	Origines et diffusion	Pourcentage	Référence
Chemlal	Variété rustique, le fruit et de poids et -forme allongée.  - Les arbres sont très vigoureux	Kabylie entend du mont Zekkar à l'ouest aux bibans à l'Est.	40% du verger oléicole.	(MENDIL et SABAI, 2006).
Sigoise	variété rustique ,  - fruit est de poids moyenne .  - Moyen résistante au froid et à la sécheresse .	Plaine de sig, wilaya de mascara.	20% du verger oléicole.	(ITAF, 2009).
Azeradj	- Arbre rustique, résistant à la sécheresse.  - Fruit de poids élevé et de forme allongée.	Petite kabylie (Oued soummam).	10% des vergers oléicole.	(MENDIL et SABAI, 2006).
Verdale	- Port dressé peu vigoureux.  - Fruit sphérique.	Wilaya de Ain Defla.	4 % des vergers oléicole.	(JEAN-MARIE POLESSE, 2012).
Limli	- Variété précoce résistante à la sécheresse.  -Le fruit est de poids faible et forme allongée.	Originaire de Sidi Aich (Bejaia), localisée sur les versants montagneux de la base vallée de le Soummam jusqu'au littoral.	8% des vergers oléicole	MENDIL et SABAI, 2006)
Rougette	- Arbre à port dressé très précoce.  - Fruit piriforme, bosselé	Plaine de Mitidja.	18 à 20 % de rendement d'huile.	JEAN-MARIE POLESSE 2012).
RRR quette de Guelma	- Résistant au froid.  Le fruit de poids moyen et de forme ovoïde.	Originaire de Guelema assez répandue dans le nord est constantinois sekikda et Guelma .	22 % Rendement d'Huile.	MENDIL et SABAI, 2006).

## Chapitre I : Généralités sur l'olivier (*Olea europea* L.)

Bouchouk	Le fruit est relativement gros C'est une variété à deux fins.	Guergour wilaya de sétif, (restreinte) .	16 à 20 % Rendement d'Huile.	<b>(ITAF, 2009).</b>
Boukaila	Résistante au froid et à la sécheresse.  Forme elliptique lancéolée et le fruit de forme ovoïde .	Constantine	16 à 20 % de rendement d'huile.	<b>(LOUSSERT et BROUSSE, 1998).</b>

***Chapitre II :***  
***La cercosporiose de l'olivier***

## 1. Généralités

Il existe plus d'une centaine d'agents pathogènes de l'olivier, mais seulement un petit nombre d'entre eux entraînent de graves pertes économiques pour les oliveraies (**TRAPERO et BLANCO, 2010**). Le tableau de l'annexe A présente les principales maladies de l'olivier connues à l'échelle mondiale et leur importance. De nombreuses maladies fongiques s'attaquent aux feuilles et aux fruits, c'est le cas essentiellement de la tavelure, de l'antracnose et de la cercosporiose.

Selon **TRAPERO et BLANCO (2010)**, ces maladies entraînent une défoliation importante, un affaiblissement de l'arbre et une diminution de la productivité et de la qualité de l'huile d'olive. Selon Avila et al. (2005), la cercosporiose de l'olivier est considérée comme une maladie grave de l'olivier.

## 2. Cercosporiose de l'olivier

La moisissure foliaire de *Cercospora*, également connue sous le nom de cercosporiose, est causée par *Pseudocercospora cladosporioides* (Sacc.) U. Braun (Syn. *Mycocentrospora cladosporioides*) est une maladie endémique et sévère de l'olivier (**DEL MORAL et MEDINA, 1985**) qui est largement répandue dans la plupart des zones de culture de l'olivier, entraînant des pertes importantes durant les années humides dans les cultivars sensibles (**TRAPERO et al., 2017**). Cependant, dans la région du bassin méditerranéen où la plupart de la production d'olives est concentrée, peu de recherches se sont concentrées sur cette maladie.

La Cercosporiose provoque une défoliation sévère par "chute précoce des feuilles" des oliviers. Les feuilles affectées présentent des zones diffuses et chlorotiques sur les surfaces adaxiales qui évoluent de manière nécrotique (**ÁVILA et al., 2004 ; AGUSTI-BRISACH et al., 2016**).

### 2.1. Etiologie de la maladie, symptômes

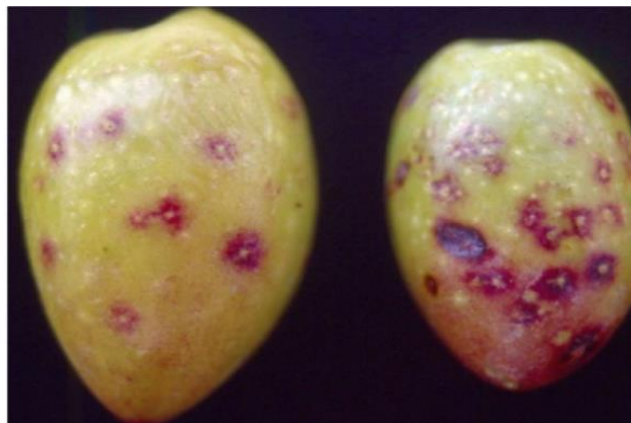
Le nom commun français de cette maladie est la Cercosporiose, en espagnole elplombado (maladie du plomb), en italien piombatura (**TOMBESI et al., 2007**). La cercosporiose est une maladie fongique causée par l'espèce *Pseudocercospora cladosporioides* (**TRAPERO et BLANCO, 2004**). C'est une maladie défoliatrice (**AVILA, 2005**).

Des symptômes typiques de la cercosporiose s'observent principalement sur les feuilles adultes dans les parties médiane à inférieure de chaque arbre. Sur la surface supérieure des feuilles affectées des taches vert-jaune à marron sont visibles (Figure 8a), et des zones gris plomb sur le dessous, qui sont des symptômes typiques de la maladie (Figure 8 b, c), on les trouve d'ailleurs de manière constante. Une chute prématurée des feuilles est observée avec un niveau élevé de défoliation (Figure 8 d, e), principalement lors des années avec une forte humidité et des températures modérées.



**Figure 8 :** a Feuilles d'olivier affectées par la cercosporiose montrant des taches vert-jaune à brunes sur la surface supérieure ; b, c zones typiques gris plomb causées par *Pseudocercospora cladosporioides* sur la surface inférieure des feuilles infectées ; d, e chute prématurée des feuilles avec un niveau élevé de défoliation des oliviers affectés par *P. cladosporioides*.

Les fruits d'olive peuvent également être affectés, et les symptômes varient de zones brunes et enfoncées de quelques millimètres de diamètre sur les olives vertes à des zones plus étendues avec des halos jaune pâle sur les fruits en maturation.



**Figure 9 :** Symptômes de la cercosporiose de l'olivier sur fruit (ÁVILA et TRAPERO, 2010).

Des symptômes graves entraînent une chute des fruits, une augmentation de l'acidité et la réduction des rendements en huile (TRAPERO et al., 2017 ; AVILA et al., 2020 ; ROMERO et al., 2020).

## **2.2. Morphologie et taxonomie de *Pseudocercospora cladosporioides***

L'agent causal de la cercosporiose a été décrit pour la première fois en 1882 en Italie sous le nom de *Cercospora cladosporioides* (SACCARDO, 1886).

### **Classification**

**Règne :** Fungi

**Groupe :** Deutéromycètes

**Classe:** Dothideales (Hyphomycètes)

**Ordre :** Capnodiales

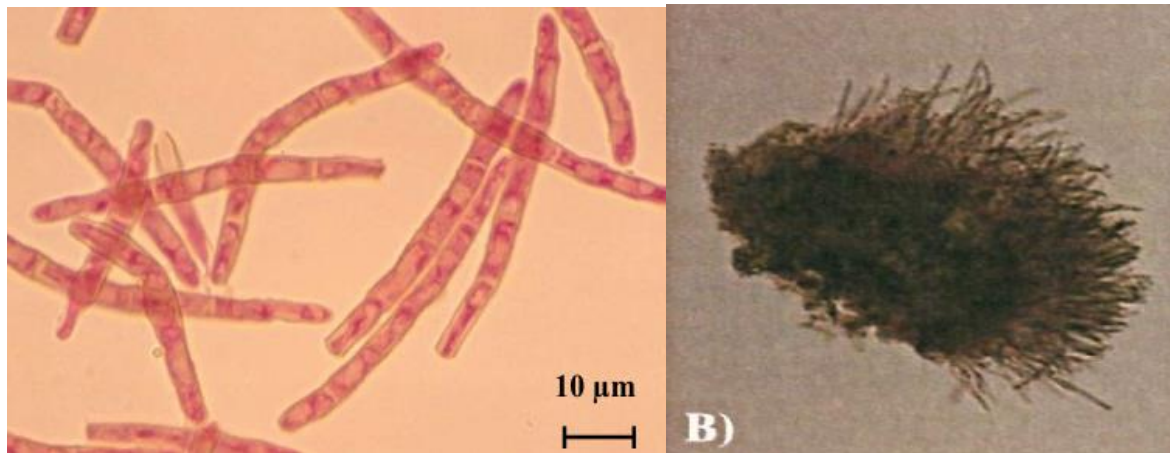
**Famille:** Mycosphaerellaceae

**Genre :** *Pseudocercospora*

**Espèce :** *Pseudocercospora cladosporioides*

**(AVILA et TRAPERO, 2010).**

Le champignon est caractérisé par une croissance lente sur les milieux de culture et peu ou pas de production de conidies (PAPPAS, 1993 ; ÁVILA et al., 2004, 2005, 2020 ; NIGRO et FERRARA, 2011). Ces dernières sont produites dans des conidiomata stromatiques brun foncé, qui apparaissent en grappes à travers les stomates de l'hôte ou directement à travers l'épiderme sur la face inférieure des feuilles infectées (Ávila et al., 2004). Elles sont de couleur brun pâle, droites ou légèrement courbées, arrondies à l'apex et tronquées à la base, avec des dimensions et un nombre de septa variables (McKENZIE, 1990 ; BRAUN, 1993 ; ÁVILA et al., 2004 ; SERGEEVA et al., 2008 ; NIGRO et FERRARA, 2011). Peu de choses sont connues sur le cycle de la maladie, si ce n'est que la principale source d'inoculum est constituée des feuilles affectées qui restent attachées à l'arbre, et que la période d'incubation de la maladie est longue (jusqu'à 11 mois) (Ávila et al., 2004 ; SERGEEVA et SPOONER-Hart, 2009 ; AGUSTI-BRISACH et al., 2016 ; TRAPERO et al., 2017 ; ÁVILA et al., 2020).



**Figure 10** : Conidies de *Pseudocercospora cladosporioides* ; B Strome de *P. cladosporioides* (Ávila et al., 2004) .

### 2.3. Cycle biologique

Les principales sources de conidies de *P. cladosporioides* sont les feuilles affectées qui restent dans la canopée des oliviers pendant l'été. Cependant, plusieurs auteurs ont également cité la persistance des feuilles affectées qui tombent au sol (GARCIA-FIGUERES 1991 ; PAPPAS, 1993). Au début de l'automne, les lésions s'agrandissent, permettant la production de nouvelles conidies. Les pluies d'hiver sont fréquentes incitent à la dispersion des conidies et à de nouvelles infections. La période de latence peut durer plusieurs mois jusqu'à ce que le pathogène produise des conidiomes fongiques sur les feuilles ou les fruits affectés (ÁVILA et al. 2005 ; TRIKI et RHOUMA 2008 ; TRAPERO et al., 2017).

L'agent pathogène survit aux conditions défavorables dans les feuilles infectées sur l'arbre. ces dernières servent d'inoculum pour des infections ultérieures. Les feuilles sur le sol assurent la survie du pathogène en formant des structures de résistance en été (AVILA et TRAPERO, 2010). La période d'incubation (temps écoulé entre la mise en place de l'infection et l'apparition des symptômes) varie largement et peut dépasser les 9 mois.

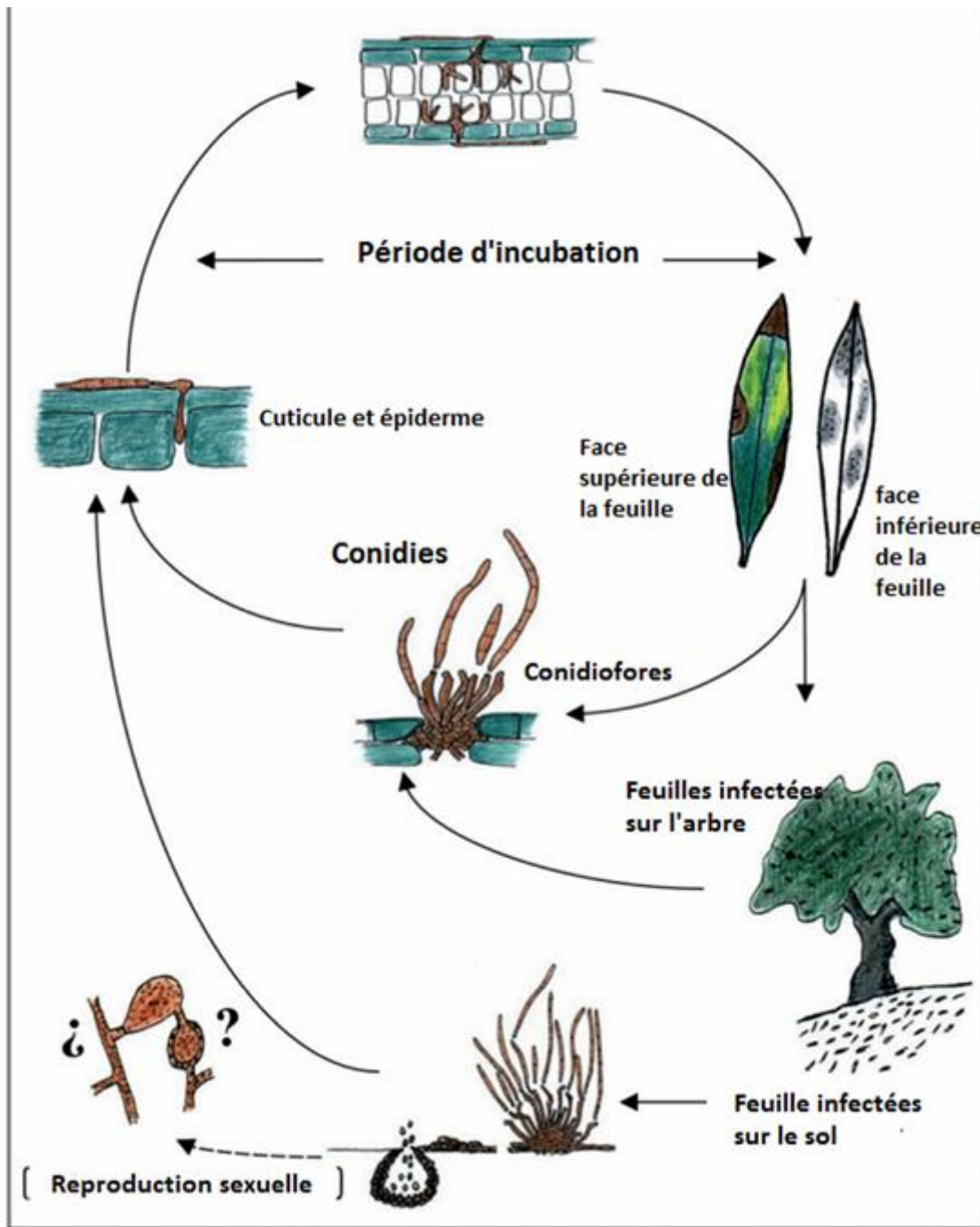


Figure 11 : Cycle biologique de *Pseudocercospora cladosporioides*(AVILA et TRAPERO 2010) .

***Chapitre III :***  
***Analyse Spectrale de Stress***  
***chez les Plantes***

## Introduction

L'analyse du spectre de stress des plantes permet de mesurer la réaction des plantes à différents stress, qu'ils soient abiotiques (sécheresse, variations fortes de température, le gel, la grêle, l'excès d'eau, un manque d'élément(s) nutritifs, un fort taux de salinité, etc.) ou biotiques (ravageurs, pathogènes, etc.). Cette méthode repose sur l'idée que les plantes modifient leur réflexion spectrale en fonction de leur état physiologique et de leur niveau de stress.

Grâce à l'analyse spectrale, les scientifiques peuvent repérer des signes précoces de stress chez les plantes, ce qui peut contribuer à prévenir les pertes de récolte et à améliorer la gestion de la culture. On peut également utiliser cette méthode pour évaluer l'efficacité des programmes de gestion du stress pour les plantes et étudier leurs mécanismes de réponse au stress.

## 1 le spectre électromagnétique

Le spectre électromagnétique est constitué de toutes les ondes électromagnétiques, ce qui représente en réalité un domaine d'énergie très étendu. En termes limités, on désigne sous le terme de lumière toute onde électromagnétique qui entraîne une sensation visuelle chez l'homme, ce qui est le cas pour les longueurs d'onde allant de 400 à 800 nm. Plusieurs types de spectroscopie sont en réalité identifiés, chacun se basant sur l'absorption d'énergie dans un domaine spécifique de ce spectre (Tayeb, 2023).

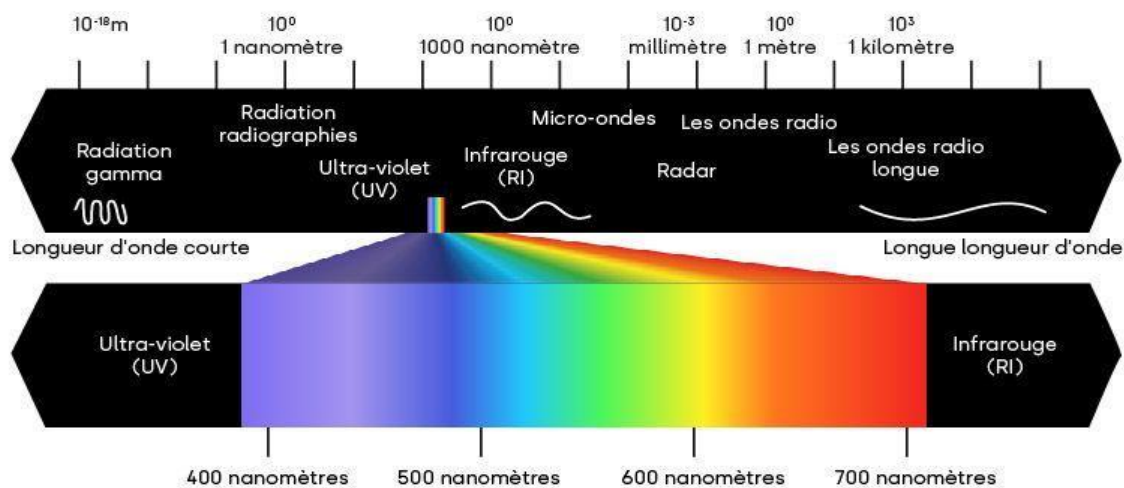


Figure 12 : Le spectre électromagnétique et le spectre lumineux [1]

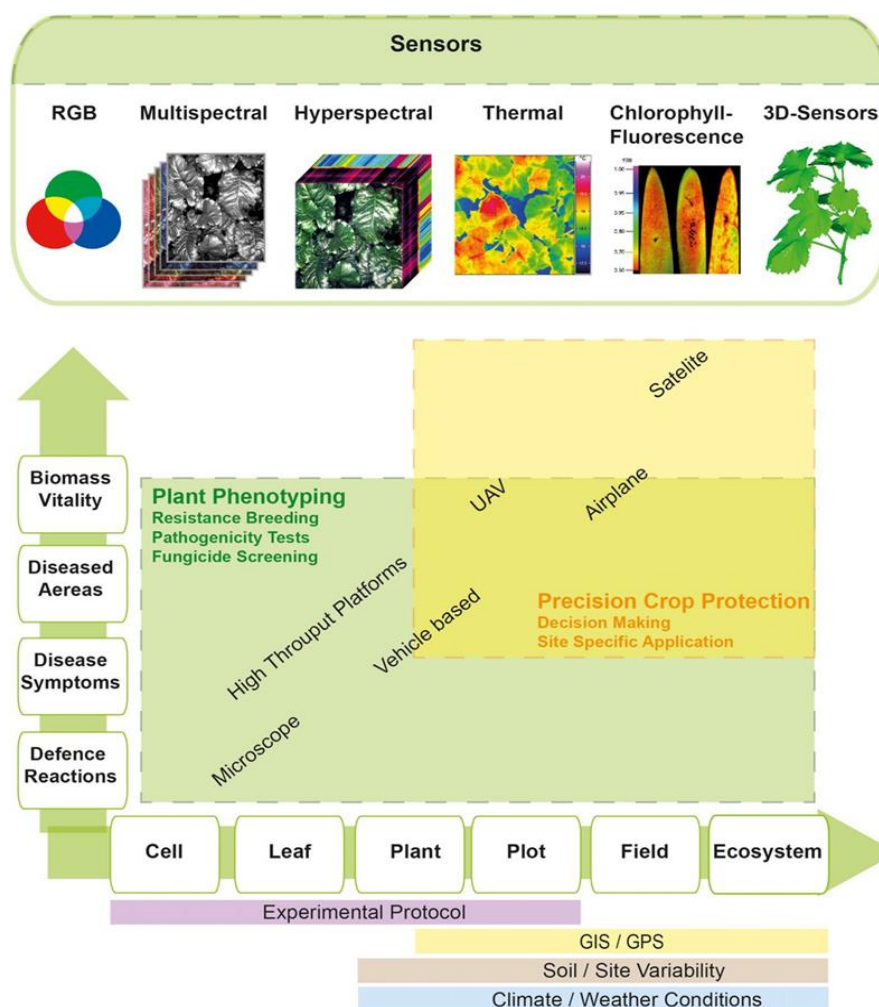
### 1. Analyse spectrale

L'analyse spectrale joue un rôle crucial dans la recherche afin de décrypter l'information dans différents domaines de la science et de la technologie. Selon le théorème de Fourier, l'analyse

spectrale repose sur la décomposition de toute forme d'onde en une somme d'ondes sinusoïdales à diverses fréquences, avec des amplitudes et des relations de phase différentes.

Après avoir été combinées, ces ondes recréent la forme d'onde initiale. Le domaine des données peut être transformé en domaine spectral grâce à ce processus. L'analyse spectrale consiste à analyser la fréquence spectrale dans des données discrètes et échantillonnées de manière homogène [2].

Des recherches intensives ont récemment permis d'identifier de nouvelles méthodes basées sur des capteurs pour la détection, l'identification et la quantification des perturbations des plantes (MAHLEIN et al. 2012a ; SANKARAN et al. 2010). Ces capteurs évaluent les propriétés optiques des plantes dans différentes régions du spectre électromagnétique et sont capables d'utiliser des informations au-delà du domaine visible (Figure 13).



**Figure 13 :** Vue d'ensemble des technologies de capteurs actuellement utilisées pour la détection et l'identification automatisées des interactions plante-pathogène (MAHLEIN et al. 2012a ; SANKARAN et al. 2010).

Ces capteurs peuvent être mis en œuvre dans des applications d'agriculture de précision et de phénotypage des plantes à différentes échelles, de la cellule unique à l'écosystème entier. En fonction de l'échelle, différentes plateformes peuvent être utilisées et, par conséquent, différents paramètres végétaux peuvent être observés (**OERKE et al. 2014 in MAHLEIN, 2015**).

Ces capteurs permettent de détecter des changements précoces dans la physiologie des plantes dus à des stress biotiques, car les maladies peuvent entraîner des modifications de la couleur des tissus, de la forme des feuilles, du taux de transpiration, de la morphologie de la canopée et de la densité des plantes, ainsi que des variations dans l'interaction du rayonnement solaire avec les plantes (**West et al. 2010**). Actuellement, les techniques les plus prometteuses sont des capteurs qui mesurent la réflectance, la température ou la fluorescence.

## **2.1 . Capteurs optiques pour la détection des maladies des plantes**

### **2.1.1. Imagerie RVB**

Les images photographiques numériques sont des outils importants en pathologie végétale pour évaluer la santé des plantes. Les appareils photo numériques sont faciles à manipuler et constituent une source simple d'images numériques RVB (rouge, vert et bleu) pour la détection, l'identification et la quantification des maladies.

Aujourd'hui, presque tout le monde, qu'il s'agisse d'un agriculteur ou d'un phytopathologiste, possède des capteurs numériques modernes et sophistiqués, ainsi qu'un téléphone portable ou une tablette électronique. Les caméras vidéo ou les scanners sont des méthodes alternatives pour évaluer les images numériques de différents organes végétaux, des racines aux inflorescences. Les capteurs RVB sont utilisés à toutes les échelles de résolution pour surveiller les plantes pendant la saison de croissance.

Les images couleur RVB avec les canaux rouge, vert et bleu ont été utilisées pour détecter le stress biotique chez les plantes. L'analyse d'images numériques est une technologie bien établie utilisée dans l'évaluation des maladies des plantes. Plusieurs logiciels, tels que ASSESS 2.0, « LeafDoctor », le logiciel Scion Image et des modules personnalisés sont disponibles (**BOCK et al. 2010 ; PETHYBRIDGE et NELSON 2015; WIJEKOON et al. 2008 ; <http://www.plant-image-analysis.org/>**). Dans ASSESS 2.0, la distribution des couleurs des images est analysée dans des histogrammes, qui constituent la base du seuillage ultérieur. ASSESS 2.0 est très pratique pour l'évaluation de la gravité de la maladie sur des feuilles individuelles et des images bien organisées.

### 2.1.2. Capteurs de réflectance multi et hyperspectraux

Les capteurs spectraux sont classés en fonction de la résolution spectrale (c'est-à-dire le nombre et la largeur des bandes d'ondes mesurées), de leur échelle spatiale et du type de détecteur (c'est-à-dire les systèmes de capteurs imageurs ou non imageurs). Ils évaluent généralement les informations spectrales des objets dans plusieurs bandes d'ondes relativement larges. Les caméras d'imagerie multispectrales peuvent fournir des données, par exemple, dans les bandes d'ondes R, G et B et dans une bande supplémentaire dans le proche infrarouge. Les capteurs hyperspectraux modernes fournissent des données dans une gamme spectrale allant de 350 à 2 500 nm et à une résolution spectrale étroite possible en dessous de 1 nm (**STEINER et al. 2008**).

La résolution spatiale a une forte influence sur la détection des maladies des plantes ou des interactions plantes-pathogènes (**MAHLEIN et al. 2012b**). Les capteurs aéroportés conviennent à la détection des parcelles de terrain qui sont atteintes de pathogènes transmis par le sol ou à des stades plus avancés des maladies (**MAHLEIN et al. 2012a ; MEWES et al. 2011**). Les capteurs ayant une résolution spatiale d'environ 1 m sont difficilement adaptés à la détection de symptômes uniques ou de feuilles et de plantes malades ; dans ce cas, les plateformes de capteurs proximaux sont préférables (**OERKE et al. 2014**).

### 2.1.3. Capteurs thermiques

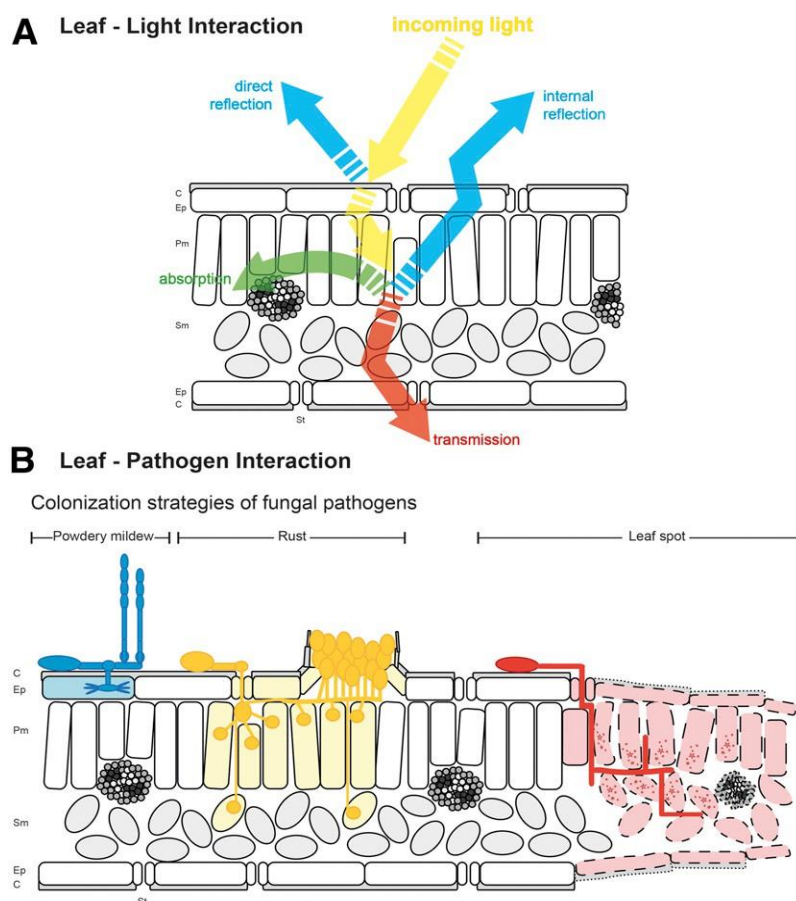
La thermographie infrarouge (IRT) évalue la température des plantes et est corrélée avec l'état hydrique des plantes (**JONES et al. 2002**), le microclimat dans les peuplements de cultures (**LENTHE et al. 2007**) et les changements de transpiration dus aux infections précoces par des agents pathogènes des plantes (**OERKE et al. 2006**). Le rayonnement infrarouge émis dans le domaine de l'infrarouge thermique de 8 à 12 mm peut être détecté par des caméras thermographiques et infrarouges et est illustré dans des images fausses couleurs, où chaque pixel de l'image contient la valeur de température de l'objet mesuré. Dans le domaine des sciences végétales, l'IRT peut être utilisé à différentes échelles temporelles et spatiales, depuis les applications aéroportées jusqu'aux applications à petite échelle.

Cependant, elle dépend fréquemment de l'environnement, comme la température ambiante, la lumière du soleil, les prélèvements ou la vitesse du vent. La température des feuilles est directement liée à la transpiration de la plante (JONES 1992 ; JONES et al. 2002), qui est influencée par différents pathogènes. Si de nombreux pathogènes foliaires, comme les taches foliaires ou les rouilles, provoquent des modifications localisées et bien définies, l'altération par des pathogènes racinaires (*Rhizoctonia solani* ou *Pythium* spp.) ou des infections systémiques (*Fusarium* spp.) a souvent un impact sur le taux de transpiration et le flux d'eau de la plante entière ou de ses organes.

Pour une analyse efficace des images IRT, l'hétérogénéité entre et dans les feuilles peut être utilisée. La différence de température moyenne au sein d'une feuille, d'une plante ou d'une culture est un indicateur important de l'apparition d'une maladie végétale.

### 3. Les propriétés optiques des feuilles

Les propriétés optiques des feuilles sont caractérisées par (i) la transmission de la lumière à travers une feuille, (ii) la lumière absorbée par les substances chimiques de la feuille (par exemple, les pigments, l'eau, les sucres, la lignine et les acides aminés), et (iii) la lumière réfléchiée par les structures internes de la feuille ou directement réfléchiée par la surface de la feuille (Figure 14) (MAHLEIN, 2015). Ainsi, la réflectance de la lumière par les plantes est un phénomène complexe qui dépend de multiples interactions biophysiques et biochimiques. Le domaine visible (VIS 400 à 700 nm) est principalement influencé par la teneur en pigments des feuilles, la réflectance dans le proche infrarouge (NIR 700 à 1 100 nm) dépend de la structure de la feuille, des processus de diffusion internes et de l'absorption par l'eau de la feuille, et l'infrarouge à ondes courtes (1 100 à 2 500 nm) est influencé par la composition des produits chimiques et de l'eau de la feuille (CARTER et KNAPP 2001 ; JACQUEMOUD et USTIN 2001).



**Figure 14** : L'interaction du tissu foliaire avec la lumière dépend des propriétés structurales et chimiques de la feuille. B, Au cours de la pathogénèse, les agents pathogènes des feuilles influencent les propriétés structurales et chimiques des feuilles, ce qui modifie l'optique des feuilles.

Les changements de réflectance dus aux agents pathogènes et aux maladies des plantes peuvent s'expliquer par des altérations de la structure de la feuille et de la composition chimique du tissu au cours de la pathogénèse, qui est très spécifique (MAHLEIN, 2015).

#### 4 Exemple d'un dispositif d'analyse spectrale de stress chez les plantes

##### 4.1 JETI SpectraVal 1501 Spectroradiomètre VIS

L'appareil SpectraVal 1501 (Figure 15) est un spectroradiomètre VIS de référence précise et économique pour diverses applications, y compris l'étalonnage de moniteurs et de projecteurs et la mesure de différents types d'affichage. Il mesure la radiance spectrale dans le domaine visible et fournit une variété de données intégrales [3].



Figure 15 : Le JETI SpectraVal 1501.

##### 4.1.1 Composition électronique de JETI spectraVal 1501

En termes d'électronique, le JETI 1501 comprend :

- **Le capteur de lumière** joue un rôle essentiel dans le fonctionnement du spectroradiomètre. Il se charge de l'évaluation de la quantité de lumière à diverses longueurs d'onde. Un capteur CCD (Charge-Coupled Device) est utilisé par le JETI spectraVal 1501 pour évaluer la lumière.
- **L'optique du spectroradiomètre** a pour fonction de recueillir et d'orienter la lumière vers le capteur de lumière. Le spectraVal JETI 1501 se sert d'une lentille collante afin de capter la lumière et d'une fente pour la diriger vers le capteur.
- **Le monochromateur** a pour fonction de diviser la lumière en ses diverses longueurs d'onde. Un monochromateur à réseau de diffraction est utilisé dans le JETI spectraVal 1501 pour séparer la lumière.
- **L'électronique de contrôle** est chargée de contrôler le monochromateur et le capteur de lumière afin de réaliser des mesures précises. Il est équipé d'un ordinateur intégré ainsi que d'un logiciel permettant de gérer le spectroradiomètre et de prendre des mesures.

**-Alimentation** : La batterie intégrée du JETI spectral 1501 fournit l'énergie requise pour les mesures.

#### 4.1.2 Les caractéristiques

L'appareil est utilisé en raison des caractéristiques suivantes : **[3]**

- Évaluation rapide de la radiance spectrale.
- Utilisation du logiciel radiométrique JETI LiVal.
- Routines de fonctionnement amélioré.
- Le cercle de mesure doit être marqué.
- Compensation du signal sombre grâce à un obturateur piézo-électrique. .
- Interfaces Bluetooth et USB.
- Alimenté par USB ou par batterie.
- Adapté à HDR High Dynamic Range (il est possible de mesurer des valeurs de luminance allant jusqu'à 140 000 cd/m<sup>2</sup>).

#### 4.1.3 Installation du matériel

##### 4.1.3.1 Installation du périphérique USB

Si les appareils spectral 1501 sont utilisés via une interface USB, ils sont alimentés par USB. En outre, la batterie sera alimentée pendant cette période.

Utilisez le câble USB fourni pour connecter l'appareil à une interface USB d'un ordinateur ou d'un ordinateur portable. Peu après, l'appareil est prêt à être utilisé, comme par le logiciel JETI LiVal, par exemple **[4]** .

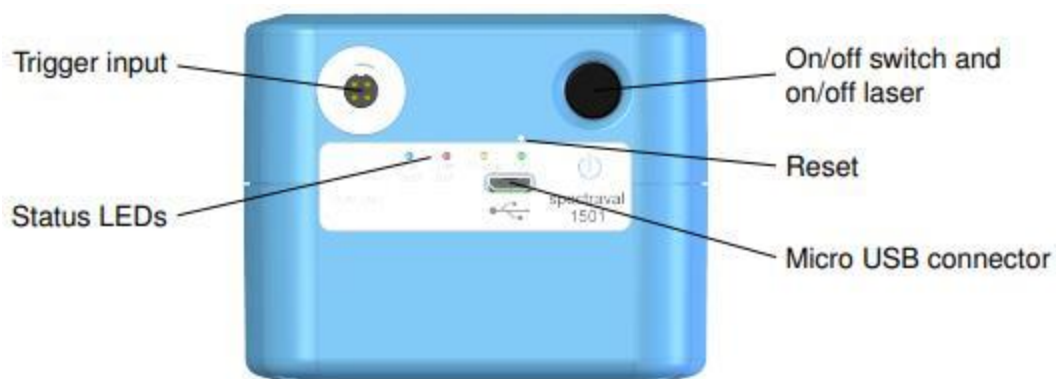


Figure 16: Alimentation du JETI Spectral 1501 par USB .

##### 4.1.3.2 Installation du spectre de périphérique Bluetooth

SpectraVal peut être utilisé via Bluetooth. Veuillez le connecter à l'ordinateur et allumer l'appareil spectral. Le logiciel vous guide tout au long de l'installation [4].

#### 4.1.3.3 Installation du périphérique LAN SpectraVal 1501

Il est nécessaire que l'appareil SpectraVal et le PC de contrôle utilisent le même identifiant réseau afin de communiquer avec le SpectraVal-LAN en utilisant une connexion réseau. L'appareil spectral a sélectionné le paramètre réseau par défaut sur DHCP (obtenir automatiquement les paramètres réseau). Lorsque vous exécutez un serveur DHCP sur votre réseau, l'appareil recevra une adresse IP à partir de l'espace d'adressage du réseau local, sans avoir besoin d'effectuer d'autres étapes.

En cas de non-disponibilité d'un serveur DHCP (par exemple lors d'une connexion directe à un PC) ou de souhait d'attribuer une adresse IP fixe à l'appareil pour d'autres raisons, il est nécessaire de modifier les paramètres réseau de l'appareil SpectraVal en utilisant un outil appelé « JETI\_LAN\_settings.exe » (disponible sur la clé USB d'installation) [4].



Figure 17: Le SpectraVal-LAN.

## 4.2 Le logiciel JETI LiVal

JETI LiVal est inclus dans la livraison de tous les spectroradiomètres. La version actuelle du logiciel JETI LiVal offre plus de flexibilité grâce à sa nouvelle interface personnalisable. Toutes les valeurs mesurées et calculées peuvent être affichées sous forme de widgets et peuvent être organisées librement selon les souhaits de l'utilisateur. De nouveaux calculs et graphiques sont mis en œuvre tels que :

- **Indice de rendu des couleurs (IRC)** : Graphiques à colonnes et circulaires .
- **Échelle de qualité des couleurs (CQS)** : Colonnes et graphiques CIELAB.
- **Television Lighting Consistency Index (TLCI)** : Tableau et rapport EBU R137 .
- Indice de fidélité des couleurs CIE 2017.
- Mesures des risques photobiologiques selon IES 62471 .
- Indice de rendu des couleurs TM-30.
- Diagrammes d'historique.
- Différents observateurs (dont CIE 2006, CIE 2015 et Judd-Vos).

- Calculs pour l'éclairage du musée .
- Réponses à la lumière influencées par ipRGC [5].

#### 4.2.1 Démarrage rapide

Installez le spectroradiomètre JETI sur un ordinateur ou un ordinateur portable, puis lancez JETI LiVal dans le menu Programmes. Débuter Le logiciel et le pilote sont installés selon les instructions du manuel d'utilisation [6].

#### 4.2.2 Mode de mesure Luminance/ Radiance

En cas de démarrage de JETI LiVal sans avoir connecté un accessoire à l'appareil, le logiciel sera en mode Radiance.

- Cliquez sur le bouton « **Target** » et ajustez l'affichage de l'instrument à la position souhaitée.
- Cliquez sur le bouton « MEASUREMENT » (Figure 18) pour démarrer la mesure.



**Figure 18 :** Mode de mesure Luminance/ Radiance du JETI LiVal.

- Temps de mesure maximale= 120s.
- Appuyez sur « ESC » pour interrompre une mesure en cours en cas de problème.
- Le spectre et les valeurs de mesures seront affichés.
- Si vous avez besoin d'autre valeur de mesure, utilisez l'option « Customize» du menu contextuel (touche droite de la souris) dans le champ des résultats de mesure et/ou « Preset custom 1-3 » .
- Procédez à l'autre mesure en cliquant à nouveau sur le bouton «MEASUREMENT » .
- Faites défiler les différentes mesures dans la légende en cliquant sur leurs noms.
- Les données de mesure transférées dans la vue du tableau peuvent être stockées dans un fichier de format « csv ou xls » .

Utiliser le bouton « Save table » le tableau dans la vue. Sélectionnez le nom du fichier, le format et l'endroit du stockage [7].

#### 4.2.3 Procédure de mesure

La méthode de mesure implique d'obtenir des spectres avec un temps d'intégration fixe, puis de calculer le meilleur temps d'intégration pour un spectre bien conduit, puis de mesurer avec ce temps et de mesurer le spectre noir. Dans certains cas, il est nécessaire de passer par des étapes d'adaptation supplémentaires. Au bord de l'écran, vous recevrez une indication de l'état de la mesure sous le diagramme : « Adaptation à l'exposition » ou « Mesure en cours ». Les sources de faible intensité ont un temps d'intégration maximal de 60 s, ce qui entraîne un temps de mesure maximal d'environ 130 s (temps d'adaptation + temps d'intégration maximal + temps de mesure d'obscurité maximal).

On affiche le spectre mesuré et les données radiométriques, photométriques et colorimétriques calculées à partir du spectre. En outre, le numéro de la mesure est mentionné dans la description [6].

## 5 LE CAPTEUR DUALEX SCIENTIFIC

Le DUALEX® Force A est un instrument de mesure non-destructif utilisé principalement en sciences des plantes pour étudier les réponses des végétaux à différents stress, notamment abiotiques (sécheresse, salinité, etc.). Cet appareil offre une analyse rapide et précise de plusieurs paramètres physiologiques clés, ce qui en fait un outil indispensable pour les chercheurs en physiologie végétale, agronomie, écologie et bien d'autres domaines [8].



**Figure 19:** LE CAPTEUR DUALEX( FORCE A) .

### 5.1 Description

- 1) Appuyez sur cette poignée pour ouvrir le clip, ce qui permet d'ouvrir le clip et d'introduire la feuille entre les deux têtes. Quand ils sont libérés, les têtes maintiennent la feuille de mesure. Le Dualex est positionné en position d'essai avec le clip fermé.
- 2) La tête est composée de 5 LEDs distincts : 1 LED émettant des UV-A, 2 LEDs émetteurs visibles et deux LED émetteurs de NIR.
- 3) La partie centrale du détecteur optique est constituée d'un photodiode PIN filtré.
- 4) Un clavier.
- 5) Écran LCD.
- 6) Une interface USB qui facilite le téléchargement de données, le remplacement du logiciel et le chargement de l'unité scientifique Dualex.
- 7) Il est nécessaire d'attacher le bracelet à l'unité scientifique Dualex pour prévenir la chute de l'appareil [8].



Figure 20: Description de DUALEX [8]

## 5.2 Les caractéristiques

- ✓ Évaluation non destructive. La coupe de la feuille n'est pas néfaste.
- ✓ Grâce à DUALEX, il est envisageable de faire plusieurs mesures sur la même feuille.
- ✓ Organisation des groupes de mesure (deux niveaux de catégorisation).
- ✓ Capturez plus de 10 000 données multiparamétriques en enregistrement.
- ✓ Le DUALEX est léger et compact, facile à transporter et peut être utilisé de manière régulière.
- ✓ DUALEX, qui ne dépend pas de la lumière ambiante, peut être employé dans les laboratoires, les serres ou les champs [8].

## 5.3 Les principes de Fonctionnement

La feuille est évaluée en fonction de son contenu en chlorophylle et de son statut azoté, ainsi que de deux indices liés aux flavonols et aux anthocyanes\*. Cette pince réalise des mesures immédiates et sans dommage. Grâce à son GPS interne, il est possible de localiser les parcelles étudiées. Ils sont évalués :

- Le taux de chlorophylle présent sur la surface ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) .
- L'indice des flavonols de la peau ; L'indice des anthocyanes de la peau.
- Le niveau d'azote NBI (indice de balance de nickel) .

### 5.3.1 Mesure de chlorophylle

Le rôle de la chlorophylle dans la photosynthèse et le développement des plantes est crucial. Dualex évalue la concentration de chlorophylle en étudiant la lumière émise par la feuille. Avec une calibration chimique effectuée par FORCE-A, on peut mesurer la concentration de chlorophylle en  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ , dans une plage de 5 à 80  $\mu\text{g}/\text{cm}$  [9].

### 5.3.2 Mesure les flavonols et Anthocyanines

Les flavonols sont principalement fabriqués après avoir été exposés à la lumière. Ainsi, ils constituent un bon indice de l'évolution de l'interaction entre la plante et la lumière. Dualex analyse l'effet d'écran des flavonols et des anthocyanines sur la fluorescence de la chlorophylle pour mesurer les flavonols et les anthocyanines. De 0 à 3 unités d'absorbance relative pour les flavonols et de 0 à 1,5 unités d'absorbance relative pour les anthocyanines [9].

### 5.3.3 Mesure NBI (Index de Balance Nitrogène)

La chlorophylle est fréquemment employée pour évaluer le niveau d'azote des plantes. Des études et des expériences de plusieurs années ont démontré que les polyphénols, en particulier les flavonols, sont également des indicateurs pertinents du niveau d'azote des plantes. Cet indice est le rapport entre la Chl et la Flav. L'échelle de cet indice est de 0 à 999 [9].

En utilisant l'analyse spectrale de stress chez les plantes, les chercheurs et les scientifiques de divers domaines peuvent approfondir leur compréhension des mécanismes de réponse au stress chez les plantes et élaborer des approches visant à améliorer la résilience des cultures face aux aléas environnementaux. Ce procédé peut aussi servir à évaluer l'efficacité des traitements de stress chez les plantes et à étudier les relations entre les plantes et leur environnement.

***Chapitre IV :***  
***Matériels et méthodes***

Introduction

Dans ce chapitre, nous exposons concerne les matériels et méthodes expérimentales utilisées pour l'étude de la réflectance de feuilles présentant différents degré d'attaque de la cercosporiose (*Pseudocercospora cladosporioides*).

1. Description des sites d'étude

La wilaya de Mostaganem s'étend sur une superficie de 2269 km<sup>2</sup>, de 0°8' Ouest à 0°46' Est et de 36°29' à 35°37' Nord. Située dans le Nord-Ouest de l'Algérie, elle est bordée, au nord et au nord-ouest par la mer Méditerranée, avec une façade maritime de l'ordre de 120 km, à l'est par la wilaya de Chleff, au sud par les wilayas de Mascara et de Rélizane, et à l'ouest par la wilaya d'Oran. **Mazagran** est une commune côtière limitrophe de la ville de Mostaganem en Algérie, dans la wilaya du même nom. La commune est située à l'ouest de la wilaya de Mostaganem, à 3 km au sud du centre-ville de Mostaganem sur la côte méditerranéenne. Mazagran est entourée par les communes de Hassi Mameche et de Stidia (Figure21).

La commune Mazagran est située sur un plateau de 118 m d'altitude ; à l'ouest de la wilaya de Mostaganem, à 3 km au sud du centre-ville de Mostaganem sur la côte méditerranéenne . Cette exploitation occupe une superficie de 40 ha d'olivier

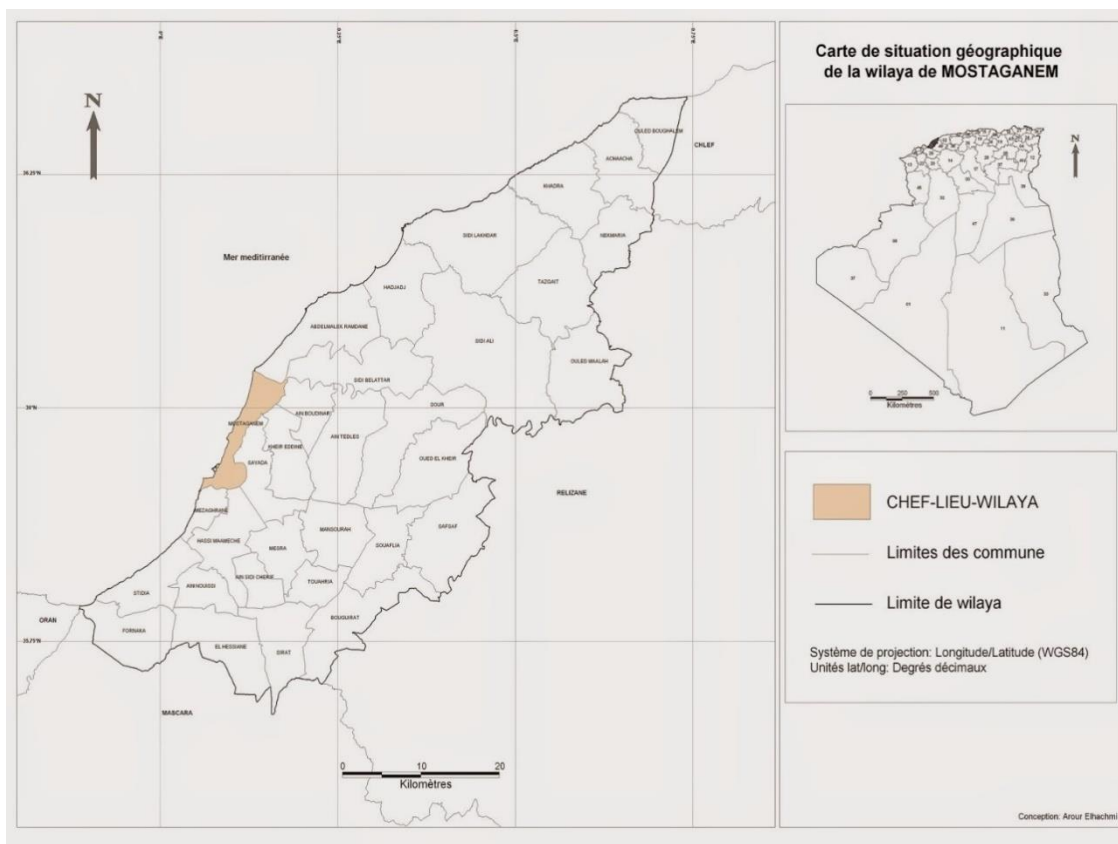


Figure 21 : Localisation géographique de la wilaya Mostaganem .



**Figure 22** : Site d'étude situé dans la commune de mazagan.

### **1.1 Echantillonnage**

Les prélèvements ont été effectués pendant le mois de mai; les symptômes des maladies sont visibles sur les arbres touchés.

Au niveau de verger prospecté sept arbres, le prélèvement des feuilles se fait par une façon spécifique. Des feuilles saines et infectés mais présentant différents degrés de sévérité sont prélevées à raison de 100 feuilles par arbre, dans les quatre orientations.

Ces feuilles ont été mises dans des sacs en papier portant le numéro de l'arbre. Une fois l'échantillonnage terminé tous les sacs sont transporté au laboratoire dans des conditions isothermes de 4°C. Le nombre total d'échantillons au final est de 700.

## **2 Technique de diagnostic de laboratoire**

### **2.1 . Matériel utilisé**

Au laboratoire plusieurs outils sont mis à disposition pour mener à terme l'expérimentation. Que ce soit lame et lamelle puis microscope. En plus de la préparation de 3 milieux de culture.

### **2.2. Obtention de l'agent Pathogène (*Pseudocercospora cladosporioides*)**

#### **2.2.1. Observation directe entre lame et lamelle**

Le champignon parasite est facilement observable sous loupe binoculaire sur la face inférieure des feuilles présentant des symptômes.

Il suffit de réaliser un grattage, à l'aide d'une lame de bistouri, au niveau de la surface inférieure d'une feuille présentant des symptômes. L'ensemble du grattât est monté dans une goutte d'eau et entre lame et lamelle pour être observé au grossissement Gx400.

#### **2.2.2. Isolement à partir des feuilles**

Une autre méthode a été utilisée pour l'isolement de l'agent pathogène, directement à partir d'explants mycéliens présentant des symptômes en utilisant 3 sortes de milieux de culture, mais cette méthode s'est avérée infructueuse en raison peut être de la période d'échantillonnage qui coïncidé malheureusement à la période de dormance du parasite.

Nous avons utilisé trois types de milieux sont nutritifs favorables au développement d'un grand éventail de champignons. Il s'agit du milieu PDA, du milieu CZAPECK et d'un milieu de culture confectionné à base de feuilles d'olivier (30 g de feuilles fraîches, 20 g d'agar agar, 10 g de glucose dans 1 L d'eau distillée).

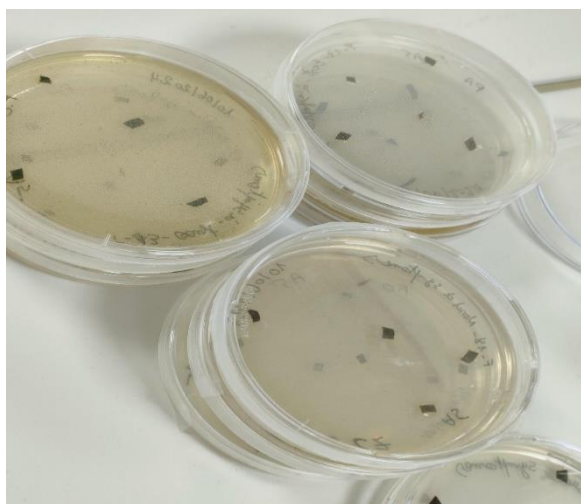
### **2.3.Désinfection des échantillons**

En complément de l'agent pathogène, la surface des feuilles renferme d'autres agents saprophytes qui peuvent rendre l'isolement du pathogène difficile. Une désinfection des feuilles est nécessaire.

Des feuilles présentant le symptôme caractéristique de la cercosporiose ont été immergées dans une solution d'hypochlorite de sodium 2% pendant 5 minutes, cette étape est suivie de 3 rinçages successifs des échantillons dans l'eau distillée stérile (3 fois 5mn), avant de les sécher sur une feuille de papier Joseph.

#### 2.4. Ensemencement et incubation

Les feuilles désinfectées comme décrits précédemment sont découpées en petits fragments à l'aide d'une lame à bistouri stérile. Les fragments obtenus sont transférés aseptiquement dans des boîtes de pétri (Figure 23) avant leur incubation à 21°C et en obscurité.



**Figure 23** Ensemencement des boîtes de milieu de culture avec des explants de feuilles d'olivier.

Une deuxième technique d'ensemencement a été utilisée : Sur la face inférieure d'une feuille présentant le symptôme caractéristique de la cercosporiose nous avons déposé 2 gouttes d'eau distillée stérile, puis nous avons gratté la feuille avec une lame à bistouri pour détacher les conidies superficielles. Avec une pipette pasteur, nous avons prélevé les gouttelettes déposées avec la suspension conidienne et les avons ensemencés l'un les boîtes des milieux de culture cités précédemment déposé sur le milieu de culture.

### 3. La mesure à l'aide de l'appareil JETI spectralval 1501

#### 3.1. Choix des symptômes

Une échelle de notation de la maladie a été établie (figure 24). Nous avons mesuré le spectre de 40 feuilles dans chaque symptôme. Les symptômes contiennent divers degrés d'attaque :

**S0 (indice 0):** pas de symptômes, la feuille est saine et verte

**S1 (indice 1) :** la feuille montre une chlorose sur 1 à 12,5 % de sa surface foliaire

**S2 (Indice 2) :** la feuille montre une chlorose sur 13 à 25 % de sa surface foliaire

**S3 (Indice 3) :** la feuille montre une chlorose et une nécrose sur 26 à 50 % de sa surface foliaire,

**S4 (Indice 4):** la feuille présente une chlorose et une nécrose sur 51 à 75 % de sa surface foliaire,

**S5 (Indice 5):** 76 à 100 de la surface de la feuille est nécrosée.



Figure 24 : Echelle de la maladie utilisée dans notre étude

### 3.2. Préparation des feuilles pour les mesures

- **Configuration du spectromètre** : La configuration et la préparation du spectromètre JETI SpectraVal 1501 sont vérifiées. Les paramètres de mesure, comme l'intégration temporelle et la plage de longueurs d'onde, sont sélectionnés de manière adéquate pour notre analyse.
- **Positionnement des feuilles** : On place les feuilles sélectionnées sur une surface plane et propre. On s'assure que les feuilles sont bien étalées pour éviter les ombres ou les interférences lors de la mesure.



Figure 25 : L'appareil JETI SpectraVal 1501 pendant la prise des mesures dans le laboratoire de recherche « protection des végétaux ».

- **Mesure des spectres** : La mesure des spectres de réflexion des feuilles est réalisée à l'aide du spectromètre JETI SpectraVal 1501. Le spectromètre est placé à une distance adéquate des feuilles afin d'obtenir des mesures précises et homogènes. Les consignes du fabricant sont suivies pour effectuer la mesure précise avec le spectromètre JETI SpectraVal 1501.
- **Répétition des mesures** : Pour obtenir des données fiables, on a répété les mesures sur plusieurs feuilles malades et saines, en prenant en compte des répétitions techniques pour minimiser les variations.
- **Enregistrement des données** : Les réflexions obtenues par le spectromètre JETI SpectraVal 1501 sont enregistrées dans un tableau pour chaque feuille mesurée en cliquant sur « To table » puis sur « Export table as Excel File ». Les graphes de réflectances peuvent être enregistrés sous forme de photo en cliquant sur le bouton « Save snapshot ». Les informations sur les feuilles correspondantes à chaque mesure, comme leur état (malade ou saine), sont conservées afin d'éviter toute interprétation erronée des résultats.
- Nous avons choisis de prendre correspondant aux longueur d'onde suivantes :
  - 500 nm : Anthocyanes
  - 580 nm : Caroténoïdes
  - 690 nm : Chlorophylle A
  - 840 nm : Sucres
  - 965 nm : Eau

#### 4. La mesure à l'aide de le capteur DUALEX (FORCE A)

L'utilisation du capteur dualex est simple et conçue pour des mesures rapides et non destructives

##### ➤ Préparation de l'appareil

- Premièrement il faut s'assurer que la batterie du capteur est chargée.
- Allumez l'appareil en appuyant sur le bouton d'alimentation,
- Sélectionnez le mode de mesure utiliser (NBI, chlorophylle, flavonols, ou anthocyanines).

##### ➤ Prise de mesures

- sélectionnez les feuilles saines et malades
- Ouvrez les pinces du capteur et placez une feuille entre les deux parties (capteur optique et réflecteur) fermez les pinces pour que le capteur soit en contact direct avec la feuille ; l'appareil mesurera automatiquement la teneur en flavonols et/ou en chlorophylle et NBI.

- Les résultats s'affichent directement sur l'écran de l'appareil.
- Répétez cette opération sur plusieurs feuilles et plantes pour obtenir une représentation plus précise.
- **Interprétation des résultats** : Chaque mesure donne une valeur qui correspond au statut nutritionnel de la plante (NBI, chlorophylle, flavonols, anthocyanines).

***Chapitre V :***  
***Résultats et discussions***

## Résultats et discussion

### 1. Synthèse et interprétation des caractéristiques spectrales

#### 1.1. La réflectance des feuilles d'olivier à 500 n.m

La figure (26) présente la réflectance des feuilles d'olivier à 500n.m. On pourrait s'attendre à ce que plus la maladie est sévère (valeur de F1 élevée), moins la feuille réfléchit la lumière (réflectance faible). Cela est dû aux modifications physiologiques et structurales que la maladie induit dans la feuille.

Les résultats semblent confirmer partiellement cette hypothèse. Les symptômes les plus sévères (S5, S4 et S3) sont généralement associés à des valeurs de réflectance plus faibles, ce qui est cohérent avec l'idée que la maladie altère la capacité de la feuille à réfléchir la lumière. Cependant, il existe des exceptions. Par exemple, les symptômes S1 et S0, qui sont les moins sévères, sont regroupés avec des symptômes de sévérité intermédiaire (S2) dans le groupe A (**Annexe 1**). Cela suggère que la relation entre la sévérité des symptômes et la réflectance n'est pas strictement linéaire. Il est possible que d'autres facteurs, tels que l'âge des feuilles, les conditions environnementales ou la variété d'olivier, influencent la réflectance et masquent partiellement l'effet de la maladie.

#### 1.2. La réflectance des feuilles d'olivier à 580 n.m

La figure (26) présente les résultats d'une expérience visant à étudier l'impact d'une maladie sur la teneur en caroténoïdes des feuilles d'olivier. La longueur d'onde de 580 nm étant caractéristique de l'absorption des caroténoïdes, une variation de la réflectance à cette longueur d'onde peut indiquer des changements dans la concentration de ces pigments. Cette mesure indique la quantité de lumière réfléchi à 580 nm. Une forte réflectance suggère une faible absorption par les caroténoïdes, et inversement.

L'analyse de variance indique une différence significative ( $P < 0,5$ ). Les groupes homogènes regroupent les symptômes ayant des moyennes de réflectance similaires (**Annexe 2**). L'hypothèse est que l'on pourrait s'attendre à ce que plus la maladie est sévère, moins la feuille réfléchit la lumière à 580 nm, suggérant une diminution de la teneur en caroténoïdes.

Les résultats semblent confirmer partiellement cette hypothèse. Les symptômes les plus sévères (S4 et S5) sont associés à des valeurs de réflectance plus faibles, ce qui pourrait indiquer une diminution de la teneur en caroténoïdes. Le symptôme S1 est dans le groupe A, avec la plus haute valeur de réflectance. Cela suggère une réponse atypique des caroténoïdes à ce niveau de maladie.

Les symptômes de sévérité intermédiaire (S0, S3, S2) sont regroupés, indiquant des profils de réflectance similaires malgré des niveaux de sévérité différents. Une diminution de la réflectance à 580 nm suggère une diminution des caroténoïdes, des pigments impliqués dans la photoprotection

et l'anti oxydation. Cela pourrait indiquer que la maladie affecte les mécanismes de défense de la plante.

### 1.3. Réflectance des Feuilles d'Olivier à 690 n.m (Chlorophylle a)

La figure (26) montre les résultats de la réflectance de la teneur en chlorophylle a des feuilles d'olivier. Cette mesure indique la quantité de lumière réfléchi à 690 nm. Une forte réflectance suggère une faible absorption par la chlorophylle a, et inversement. La longueur d'onde de 690 nm correspond à un pic d'absorption de la chlorophylle a, un pigment essentiel pour la photosynthèse. Ainsi, une variation de la réflectance à cette longueur d'onde peut indiquer des changements dans la concentration de chlorophylle a. On pourrait s'attendre à ce que plus la maladie est sévère, moins la feuille réfléchit la lumière à 690 nm, suggérant une diminution de la teneur en chlorophylle a.

Les résultats semblent confirmer partiellement cette hypothèse. Il existe une tendance générale à une diminution de la réflectance lorsque la sévérité de la maladie augmente, ce qui est cohérent avec une diminution de la teneur en chlorophylle a (**Annexe 3**).

### 1.4. Réflectance des Feuilles d'Olivier à 840 n.m (absorption des sucres)

La figure (26) vise à étudier l'impact d'une maladie fongique sur la teneur en sucres des feuilles d'olivier. La longueur d'onde de 840 nm étant associée à l'absorption par les sucres, une variation de la réflectance à cette longueur d'onde peut indiquer des changements dans la concentration de ces composés. Cela est fondé sur l'idée que la maladie pourrait perturber les processus de photosynthèse et de transport des sucres dans la plante.

Seul le niveau de sévérité S1 est dans ce groupe A. Il présente la réflectance moyenne la plus élevée, suggérant une teneur en sucres potentiellement plus élevée que les autres groupes.

Les niveaux de sévérité S0, S3, S2 et S5 sont regroupés dans le groupe B. Bien qu'il y ait une diminution générale de la réflectance au sein de ce groupe, les différences entre ces niveaux ne sont pas suffisamment marquées pour les distinguer en groupes séparés.

Le groupe C regroupe les niveaux de sévérité S2, S5 et S4 sont regroupés dans ce groupe. La réflectance diminue significativement par rapport aux groupes A et B, suggérant une diminution importante de la teneur en sucres pour ces niveaux de sévérité (**Annexe 4**).

### 1.5. La réflectance des feuilles d'olivier à 965 n.m

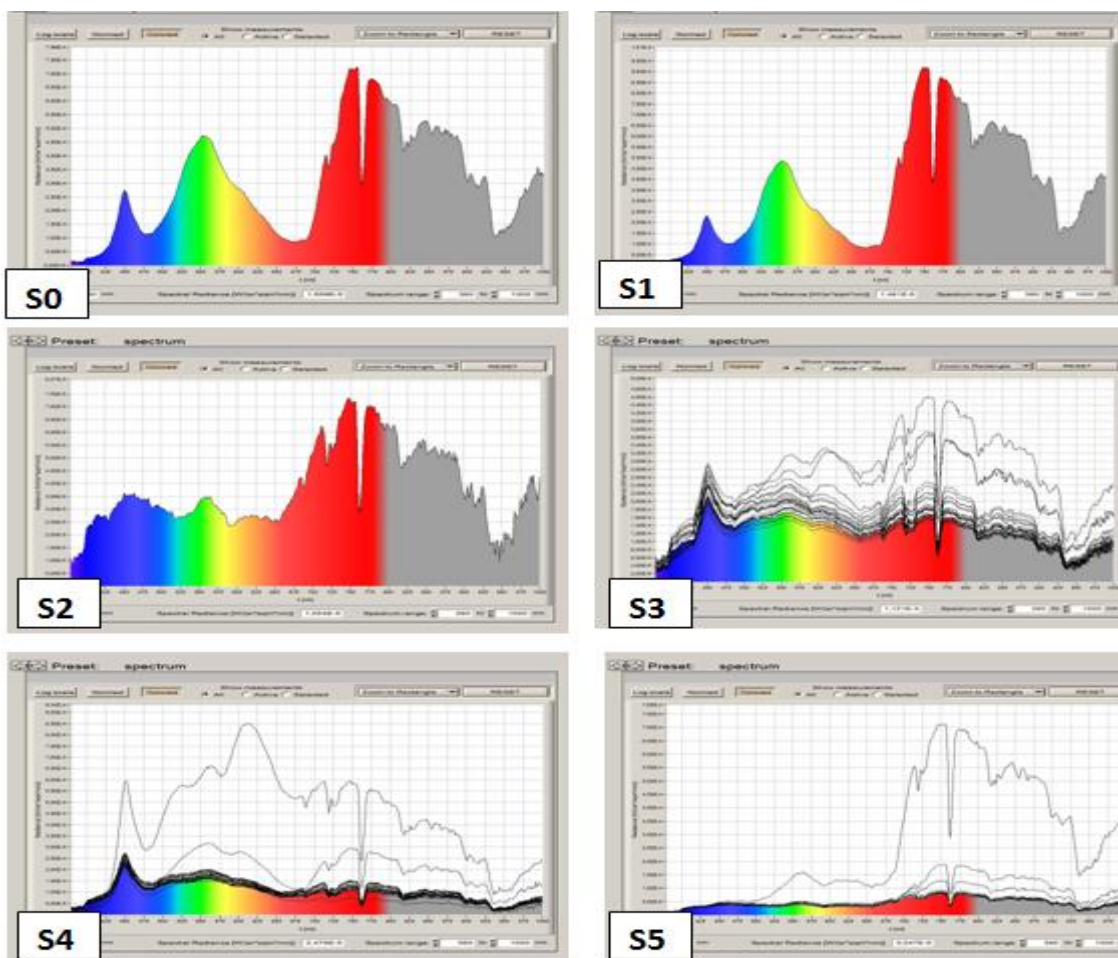
La figure (26) présente la réflectance des feuilles d'olivier à une longueur d'onde de 965 n.m.

L'analyse de variance montre des résultats significatifs ( $P < 0,5$ ). Les groupes homogènes regroupent les symptômes ayant des moyennes de réflectance similaires. Ainsi il se dégage 4 groupes homogènes. Le classement des symptômes par réflectance se fait comme suit :  $S1 > S0 > S3 > S2 > S5 > S4$  (**Annexe 5**). La longueur d'onde de 965 nm est particulièrement intéressante car elle correspond à une région du spectre électromagnétique où la végétation présente une forte absorption de l'eau. Ainsi, les variations de réflectance à cette longueur d'onde sont fortement liées au contenu en eau

des feuilles. La réflectance est la proportion de lumière incidente qui est réfléchiée par une surface. Dans le cas des feuilles d'olivier, mesurer la réflectance à 965 nm (une longueur d'onde dans le proche infrarouge) peut fournir des informations précieuses sur leur état physiologique.

La végétation a une forte signature spectrale dans le proche infrarouge, liée principalement à la teneur en eau. Une forte réflectance à 965 nm indique généralement un haut contenu en eau dans les feuilles. Un stress hydrique développé provoqué par le champignon parasite induit une diminution de la réflectance à cette longueur d'onde et peut être un indicateur précoce de stress hydrique, car les feuilles perdent de l'eau et leur structure interne change.

La longueur d'onde de 965 nm est particulièrement intéressante car elle correspond à une région du spectre électromagnétique où la végétation présente une forte absorption de l'eau. Ainsi, les variations de réflectance à cette longueur d'onde sont fortement liées au contenu en eau des feuilles.



**Figure 26 :** signatures spectrales caractéristiques des feuilles d’olivier atteintes par la cercosporiose avec différentes sévérités : S0 , S1 , S2 , S3 , S4 , S5 mesurées à(500 nm, 580 nm, 690 nm, 840 nm et 965 nm) .

A 500 n.m la relation entre la sévérité des symptômes et la réflectance linéaire doit être. Ce qui n'était pas le cas. D'autres facteurs peuvent intervenir et modifier cette relation. Malgré ces complexités, la mesure de la réflectance pourrait être un outil utile pour détecter les premiers stades d'une maladie, en particulier si l'on observe une diminution progressive de la réflectance au cours du temps.

Cette analyse préliminaire suggère que la réflectance à 500 n.m peut être un indicateur utile pour évaluer l'état de santé des feuilles d'olivier, mais Il est nécessaire de mener des études plus approfondies pour mieux comprendre les mécanismes sous-jacents à la variation de la réflectance en fonction de la sévérité des symptômes et pour développer des outils de diagnostic plus précis et précoces.

A 580 n.m l'analyse spectrale que la maladie affecte la teneur en caroténoïdes des feuilles d'olivier, mais les mécanismes sous-jacents restent à éclaircir. Des études complémentaires sont nécessaires pour mieux comprendre l'impact de la maladie sur la physiologie des feuilles et pour développer des outils de diagnostic précoce.

A 690 n.m, pour la chlorophylle a l'analyse suggère que la maladie affecte la teneur en chlorophylle a des feuilles d'olivier, mais les mécanismes sous-jacents restent à éclaircir. Des études complémentaires sont nécessaires pour mieux comprendre l'impact de la maladie sur la physiologie des feuilles et pour développer des outils de diagnostic précoce.

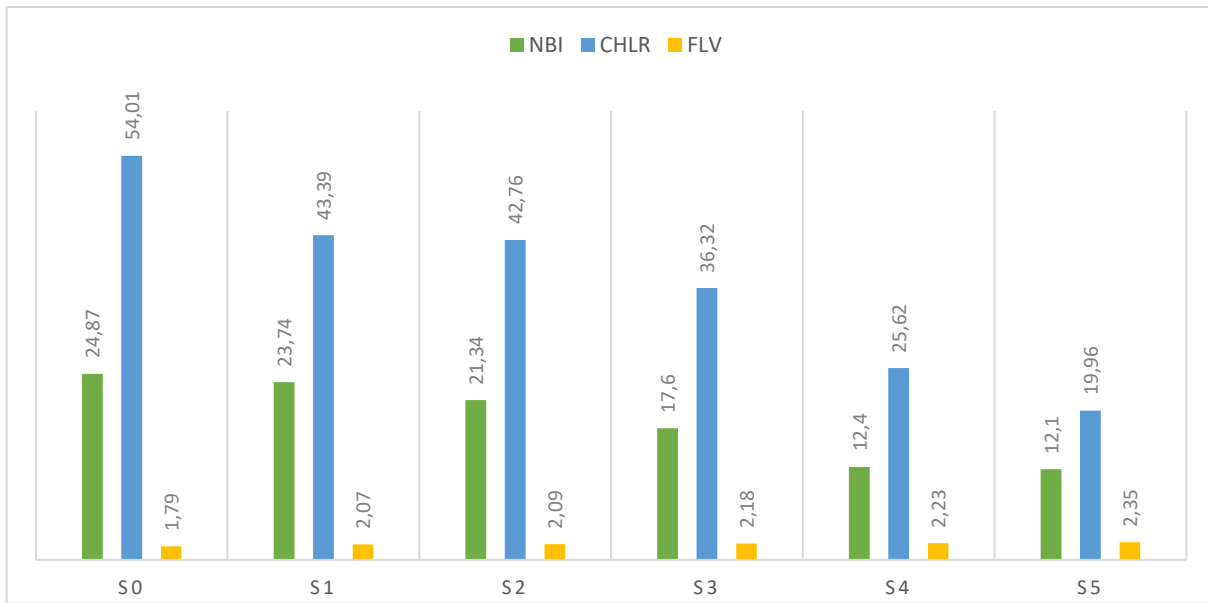
Dans le cas de l'analyse de la réflectance des sucres, d'autres facteurs peuvent influencer la réflectance à 840n.m, comme la structure des feuilles, la présence d'autres composés absorbant dans cette région du spectre (par exemple, l'eau), ou des modifications physiologiques liées à la maladie.

## 2. Résultats statistiques

Une analyse basée sur les données fournies pour chaque niveau de symptômes (Tableau 02) :

**Tableau 02 : mesures de moyenne des variants indices ( NBI, CHLR, FLV)**

Indices	Symptômes	S0	S1	S2	S3	S4	S5
NBI		24,87	23,74	21,34	17,6	12,4	12,1
CHLR		54,01	43,39	42,76	36,32	25,62	19,96
FLV		1,79	2,07	2,09	2,18	2,23	2,35



**Figure 27** Evolution du taux d'Azote (NBI), chlorophylle (CHLR) et des flavonols dans les feuilles atteintes de la cercosporiose.

D'après les calculs de la moyenne de taux d'azote (NBI), la chlorophylle (CHLR) et des flavonols (FLV) à différents niveaux de symptômes (S0 à S5), peut donner des informations précieuses sur l'impact de la cercosporiose sur ces paramètres.

- **Taux d'azote (NBI)** : on observe une diminution progressive du taux d'azote, passant de [24,87 à 12,1] lorsque les symptômes vont de [S0 à S5]. Cela indique que la maladie peut affecter la capacité des feuilles à maintenir leurs niveaux d'azote, ce qui pourrait refléter une détérioration de l'état général des plantes.
- **Chlorophylle (CHLR)** : le contenu en chlorophylle diminue également de manière significative [54,01 à 19,96] entre [S0 et S5]. La chlorophylle est essentielle pour la photosynthèse, et une diminution de celle-ci suggère un impact négatif sur la capacité photosynthétique des feuilles, ce qui est souvent le résultat de stress causé par des agents pathogènes.
- **Flavonols (FLV)** : les flavonols, des composés phénoliques impliqués dans la protection contre le stress et les agents pathogènes, montrent une légère augmentation, passant de [1,79 à 2,35]. Cela pourrait indiquer une réponse de défense de la plante face à l'agression fongique.

Au niveau de l'impact de la maladie, tous les indicateurs (NBI et CHLR) diminuent avec l'avancée des symptômes, ce qui suggère un déclin de la santé des feuilles et potentiellement de la plante dans son ensemble.

L'augmentation des flavonols pourrait signaler une tentative de la plante de se défendre contre la maladie, même si cela n'est pas suffisant pour compenser la perte de NBI et de CHLR.

### Conclusion et Perspectives

En conclusion, cette étude a eu comme objet l'analyse hyperspectrale, à l'aide du spectroradiomètre JETI Spectraval 1501, de la cercosporiose causée par le champignon *P. cladosporioides* ; la maladie affecte principalement les feuilles de l'olivier. D'autres mesures sont effectués et concernent le **NBI, chlorophylle et les flavonols, grâce au dualex** (FORCE A). Ce capteur optique, avec sa technologie brevetée, offre une mesure facile, rapide et non destructive de la chlorophylle, des flavanols et des anthocyanes présents dans les feuilles. Les résultats obtenus ont révélé de précieuses informations sur les propriétés spectrales des feuilles de l'olivier infectées par la cercosporiose.

Les résultats de l'étude hyperspectrale ont montré des différences importantes dans les profils de réflectance des feuilles saines par rapport aux feuilles infectées. La relation entre la gravité de chaque symptôme et la réflectance linéaire à 500 n.m est complexe et non linéaire. Cette réflectance est seulement linéaire avec la gravité des symptômes dans les premiers stades de la maladie (premiers indices de sévérité). Elle pourrait être utile pour détecter les stades précoces d'une maladie. Une analyse préliminaire suggère que la réflectance à 500 n.m pourrait être utile pour évaluer la santé des feuilles d'olivier, mais des études plus approfondies sont nécessaires pour comprendre les mécanismes affectant la variation et développer des outils de diagnostic plus précis. D'autres facteurs influençant la réflectance à 840 n.m incluent la structure des feuilles, la présence de composés absorbants et les changements physiologiques liés à la maladie.

Selon ces résultats, il est possible que l'infection par la cercosporiose puisse modifier les caractéristiques optiques des feuilles de l'olivier, ce qui se manifeste par une réduction de la réflectance dans le visible. Cette donnée peut servir de signe précoce de l'infection par *pseudocercospora cladosporioides*, ce qui permet une détection précoce et une intervention rapide afin de réduire au minimum les pertes de rendement dans les cultures de l'olivier.

Dans cette étude, l'emploi du spectroradiomètre JETI Spectraval 1501 a joué un rôle essentiel en offrant des données hyperspectrales détaillées et précises. Cela a permis d'ouvrir de nouvelles opportunités dans la surveillance de la maladie dans les premiers stades d'attaque. Cependant, il convient de noter que cette étude présente certaines limitations : les mesures ont été réalisées sur des feuilles de l'olivier en laboratoire, ce qui peut être différent des conditions réelles sur le terrain. Il est essentiel de mener d'autres études afin de confirmer ces résultats. À grande échelle, afin d'approfondir l'étude des signatures spectrales. Effectifs liés à *pseudocercospora cladosporioides*. Aussi, les caméras hyperspectrales sont un outil de terrain très efficace pour y apporter des contributions. Une analyse supplémentaire plus précise et fiable de la réflectance au champs parallèlement à au dosage des paramètres biochimiques en laboratoire est nécessaire, afin de vérifier la corrélation des résultats avec les mesures du terrain.



## Liste des références bibliographiques

### Références bibliographiques

**Alloum, 1974.** L'olivier sa culture, ses soins et sa production. N°1, 1974. P.05-237.

**Anonyme, 2015.** Étude Internationale Sur Les Coûts De Production De L'huile D'olive p01.

**Avila de la calle A., Benali A. Trapero casas, 2004.** Variabilidad morfológica y cultural de *Pseudocercospora cladosporioides*, agente del emplomado del olivo in *Pathologia*, 2004, N° 30, pp369-384.

**Ávila, A., Groenewald, J., Trapero, A., & Crous, P. 2005.** Characterisation and epitypification of *Pseudocercospora cladosporioides*, the causal organism of *Cercospora* leaf spot of olives. *Mycological Research*, 109,881–888.

**Avila A. et Trapero A., 2010.** El Emplomado del olivo y del acebuche. Grupo de Patología Agroforestal de la Universidad de Córdoba.

**Barranco D., Rallo L., 2000.** Olive cultivars in Spain. *Hoet. Technology*, 10 : 107-110.

**Besnard G et Bervillé A., 2002.** On chloroplast DNA variations in the olive (*Olea europaea* L.) complex: comparison of RFLP and PCR polymorphisms. *Theor. Appl. Genet.* 104, 1157-1163.

**Besnard G., Garcia-Verdugo C., Rubio De Casas R., Treier U.A., Galland N., Vargas P. 2008.** Polyploidy in the olive complex (*Olea europaea*): evidence from flow cytometry and nuclear microsatellite analyses. *Ann. Bot.*, 101 : 25–30.

**Blondel et Aronson et al, 1995.** *Plant Life in the World's Mediterranean Climates.*

**Bock, C. H., Parker, P. E., Cook, A. Z., and Gottwald, T. R. 2008.** Visual rating and the use of image analysis for assessing different symptoms of citrus canker on grapefruit leaves. *Plant Dis.* 92:530-541.

**Bock, C. H., Poole, G. H., Parker, P. E., and Gottwald, T. R. 2010.** Plant disease severity estimated visually, by digital photography and image analysis, and by hyperspectral imaging. *Crit. Rev. Plant Sci.* 29:59-107.

**Braun, U. 1993 .** Taxonomic notes on some species of *Cercospora* complex (III). *Mycotaxon*, 48,275–298 .

**Breton C, Besnard G., Berville A.A. 2006b.** Using multiple types of molecular markers to understand olive phylogeography. In: Zeder MA, Bradley DG, Emshwiller E, Smith BD (eds) *Documenting domestication : new genetic and archeological paradigms.* University of California Press, Berkeley, 143-152.

**Bronzini de Caraffa V., Maury J., Gambotti C., Breton C., Bervillé A., Giannettini J. 2002.** **Mitochondrial DNA variation and RAPD mark oleasters, olive and feral olive from Western and Eastern Mediterranean.** *Theor. Appl. Genet.*, 104: 1209-16.

**C.O.I, 2006.** *Conseil Oléicole International, Techniques de production en oléiculture.* Cambridge, Can. J. Plant Pathol. 17:154-166.

## Liste des références bibliographiques

**Carter, G. A., and Knapp, A. K. 2001.** Leaf optical properties in higher plants: linking spectral characteristics to stress and chlorophyll concentration. *Am.J. Bot.* 88:677-684.

**Chabour M. 2003.** Méthodes de recherches adoptées en matière de biologie florale de l'olivier-fruits et primeurs de l'algerie du nord, 25 : 202-207.

**Cordeiro A.L., Sanchez-Sevilla J.F., Alvarez-Tinaut M.C., Gomez-Jimenez M.C.2008.** Genetic diversity assessment in Portugal accessions of *Olea europea* by RAPD markers. *Biologia Plantarum*, 52(4) :642-647.

**Del Moral, J., & Medina, D. (1985).** El "repiloplomizo" del olivo causado por *Cercospora cladosporioides* Sacc., enfermedad presente en España. *Boletín Sanidad Vegetal Plagas*, 11, 31-36.

**Erraki S., Chehbouni G., Guemouria N., Ezzahar J., Chehbouni A., Hadria R., 2005.** Détermination des besoins en eau des cultures de la région de Tensift Al Haour. 2<sup>ème</sup> congrès Méditerranéen « Ressources En Eau Dans Le Bassin Méditerranéen : Watmed 2 », Marrakech (Maroc), 14-17 Novembre.

**Faostat 2020.** Food and Agriculture Organization, FAOSTAT Database, 2020. Available at <http://www.fao.org>

**García-Figueres, F. 1991.** Repilo del olivo: ataque en fruto. *Phytoma España*, 25, 31-36.

**Green P.S.2002.** A revision of *Olea L.* (Oleaceae). *Kew Bull*, 57(1) : 91-140.

**Haddou, D. (2017).** L'infestation de la Teigne de l'olivier dans quelques vergers. Université de Tlemcen.

**Hadjou L., Lamani O. et Cheriet F. 2013.** Labellisation des huiles d'olive Algériennes. *NEW MEDIT*, 2 : 35-46.

**I.T.A.F., 2013.** La culture de l'olivier. DFRV 2013. Tessla El Merdja. Birtouta. Alger

**I.T.A.F.V. 2019.** Institut technique d'arboriculture fruitière et de la vigne. Tessala el mardja. Birtouta. Alger.

**Idoui T. et Boucheфра A.2014.** The Black Olive Fruits of Jijelian Sigoise Variety (Eastern Algeria): Quality Evaluation for Possible Use as Table Olives and Pesticides Research. *The Online Journal of Science and Technology*, 4 : 45-52.

**Jacquemoud, S., and Ustin, S. L. 2001.** Leaf optical properties: a state of the art. Pages 223-232 in: *Proceedings of the 8th International Symposium Physical Measurements & Signatures in Remote Sensing*, 8-12 January 2001, CNES, Aussois, France.

**Jones, H.G. 1992.** *Plant and microclimate*, 2<sup>nd</sup> ed. Cambridge University Press,

**Jones, H.G., Stoll, M., Santoa, T., de Sousa, C., Chaves, M.M., and Grant, O.M.2002.** Use of infrared thermography for monitoring stomatal closure in the field: Application to grapevine. *J. Exp. Bot.* 53:2249-2260.

## Liste des références bibliographiques

- Kuska, M., Wahabzada, M., Leucker, M., Dehne, H.-W., Kersting, K., Oerke, E.-C., Steiner, U., and Mahlein, A.-K. 2015.** Hyperspectral phenotyping on microscopic scale – towards automated characterization of plant-pathogen interactions. *Plant Methods* 11:28.
- Larabi N .M Et Khanous. S, 2016.** Inventaire de l'entomofaune de l'olivier dans deux stations de la région de Mostaganem (Hassi Mamèche et Hadjadj) Loussert. R et Brousse. E, 1978. L'olivier. Ed. Maison neuve et Lose, Paris.464p
- Lenthe,J.-H.,Oerke,E.-C.,andDehne,H.-W.2007.**Digitalinfraredthermography for monitoring canopy health of wheat. *Precis. Agric.* 8:15-26
- Loureiro J., Rodriguez E., Costa A., Santos C. 2007.** Nuclear DNA content estimations in wild olive (*Olea europaea* L. ssp. *europaea* var. *sylvestris*Brot.) and Portuguese cultivars of *O. europaea* using flow cytometry. *Gen. Res. CropEvol.*, 54 : 21–25 .
- Loussert R, Brousse G ,1978.** L'olivier. Systématique et classification botanique. G.P. Maisonneuve et La rose, Paris.
- Lumaret R, Ouazzani N, Michaud H, Vivier G, Deguilloux MF, Di Guisto F 2004.** Allozyme variation of oleaster populations (wild olive tree) (*Olea europaea* L.) in the Mediterranean Basin. *Heredity* 92: 343-352.
- Mahlein, A.-K., Steiner, U., Hillnhu"tter, C., Dehne, H.-W., and Oerke, E.-C.2012b.** Hyperspectral imaging for small-scale analysis of symptoms causedby different sugar beet disease. *Plant Methods* 8:3
- Mahlein,A.-K.,Oerke,E.-C.,Steiner,U.,andDehne,H.-W.2012a.**Recentadvances in sensing plant diseases for precision crop protection. *Eur. J. Plant pathol* 133 :197-209 .
- McDonald B. & Linde C., 2002.** Pathogen population genetics evolutionary potential and durable resistance in *AnnualReview of Phytopathology*, 2000, N°40, pp349–379.
- McKenzie, E. H. C.1990 .** New plant disease records in New Zealand: Miscellaneousfungalphathogens II. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 18,65–73 .
- Mendil M, Sebai A 2006.** Catalogue Algérien des variétés d'olivier, l'olivier en Algérie : aperçu sur le patrimoine génétique autochtone 104p.
- Muzzalupo, I., Micali, S., 2015.** *Agricultural and Food Biotechnology of Oleaeuropaea and Stone Fruits.* Bentham Science Publishers, 485 p.
- Nigro, F., Ippolito, A., Gallone, P., Carmingnano, P.,& Romanazzi, G. 2002.** Cercosporiosis of olive in Apulia and attempts to control the disease. *Acta Horticulturae*, 586, 773–776 .
- Nilsson, H. E. 1991.** Hand-held radiometry and IR-thermography of plant diseases in field plot experiments. *Int. J. Remote Sens.* 12:545-557.**Nilsson, H.-E. 1995.** Remote sensing and imaging analysis in plant pathology.
- Oerke, E.-C., Mahlein, A.-K., and Steiner, U. 2014.** Proximal sensing of plant diseases. Pages 55-68 in: *Detection and Diagnostic of Plant Pathogens, Plant Pathology in the 21st Century.* M. L. Gullino and P. J. M. Bonants, eds. Springer Science and Business Media, Dordrecht, the Netherlands.

## Liste des références bibliographiques

- Oerke, E.-C., Steiner, U., Dehne, H.-W., and Lindenthal, M. 2006.** Thermal imaging of cucumber leaves affected by downy mildew and environmental conditions. *J. Exp. Bot.* 57:2121-2132.
- Pappas, A. C.1993 .**Mycocentrospora cladosporioides on olive in Greece. *EPPO Journal*, 3,405–409.
- Pasqualone A., Nasti R., Montemurro C. et Gomes T. 2014.**Effect of natural-style processing on the oxidative and hydrolytic degradation of the lipid fraction of table olives. *Food Control*, 37 : 99–103.
- Rejano L., Montañó A., Casado F. J., Sánchez A. H. et De Castro A.2010.** Table Olives Varieties and Variations. In *Olives and Olive Oil in Health and Disease Prevention* : Pp 5–15.
- Robbertse B. et Crous P., 2000 .**Genotypic variation of *Rhynchosporium secalis* pathotypes collected in the Western Cape province of South Africa in *South African Journal of Science*,2000, N°96, pp 391–395 .
- Saccardo, P. A. 1886.**SyllogeHyphomycetum. Sylloge Fungorum, 4.
- Saker L., Al-Abdulah A., Basheer. 2019.** Investigation of olive farmers' knowledgelevel about integratedpest management (IPM) techniques in Al-sheikh Badr district along the Syriancoast. *Arab Journal of Plant Protection*, 37(3): 266-272.
- Saraiva J. A., Cláudia C. S., Nunes S. et Coimbra M. A. 2010.** Purification and Characterization of Olive (*Olea europaea* L.) Peroxidases. in *Olives and Olive Oil in Health and Disease Prevention*, pp 325–332.
- Steiner, U., Bu'rling, K., and Oerke, E.-C. 2008.**Sensorik fu''reinenpra''zisierten Pflanzenschutz. *Gesunde Pflanz.* 60:131-141
- Strikic F., Mavsar D. B., Perica Satovic Z. S., Cmelik Z., Javornik B., 2010.** Genetic variation within the olive (*Olea europea* L.) cultivar *Oblica* detected using amplified fragment length polymorphism (AFLP) markers. *Afr. J. Biotec.*, 9 : 2880-2883.
- Tayeb, O. K. M. 2023.** Techniques d'analyse.
- Tombesi Agostino, Antonella Lavini, Milagros SaavedraSaavedra, Ricardo Fernández escobar, Riccardo D'andria, Sergio Tombesi et Taïeb Jardak, 2007.** Techniques de production en oléiculture, Conseil oléicole international, p346.
- Trapero A. Et Blanco-López M. A., 201.,** Diseases. In *Olive growing*. p 521-578.
- Trapero, A., López-Escudero, F. J., & Blanco, M. A. 2017.** Enfermedades. In D. Barranco, R. Fernández-Escobar, & L. Rallo (Eds.), *El cultivo del olivo* (pp. 735–793). Madrid: Edition Mundi-Prensa.
- Trigui, 1983,** Historical biogeography of olive domestication (*olea europea. L*) as revealed by geometrical morphometry applied to biological and archeological material *journal of biogeography*, 31 :63-77.
- Triki, M. A., & Rhouma, A. 2008.** First report of *Pseudocercospora cladosporioides*, the causal agent of *Cercospora* leaf spot of olive trees, in Tunisia. *Phytopathologia Mediterranea*, 47,262–265.
- Walid L.D., Skirdej A., Elattir H., 2003.** Transfert de technologie en agriculture. Bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA.

## Liste des références bibliographiques

**West, J. S., Bravo, C., Oberti, R., Moshou, D., Ramon, H., and McCartney, H. A. 2010.** Detection of fungal diseases optically and pathogen inoculum by air sampling. Pages 135-149 in: Precision Crop Protection—The Challenge and Use of Heterogeneity. E.-C. Oerke, R. Gerhards, G. Menz, and R. A. Sikora, eds. Springer, Dordrecht, Netherlands.

**Zohary D., spiegel-Roy P.1975.** Beginnings of fruit growing in the world. Science, 187: 319-327.

### LES SITES WEB

[1] : LENA LIGHTIN « Spectre de la lumière visible, longueur d'onde de la lumière » <https://lenalighting.fr/base-de-connaissances/1949-spectre-de-la-lumiere-visible-longueur-d-onda-de-la-lumiere/>

[2] : DrPriyom Bose, Ph.D « Qu'est-ce que l'analyse spectrale dans la méthodologie de recherche » 19 décembre 2019 <https://www.azooptics.com/Article.aspx?ArticleID=1649>

[3]: SPECTRE 1501 spectroradiomètre 1501 <https://www.jeti.com/Products/Spectroradiometer/spectraval1501>

[4] : Operating Instructions JETI Spectroradiometerspectraval 15x1. [https://www.jeti.com/files/content/products/spectroradiometer/JETI\\_spec\\_travail15x1.pdf](https://www.jeti.com/files/content/products/spectroradiometer/JETI_spec_travail15x1.pdf)

[5] : JETI LIVAL [https://www.jeti.com/Support/Software/JETI\\_LiVal](https://www.jeti.com/Support/Software/JETI_LiVal)

[6] : Operating Instructions JETI LiVal Software Version: 7.x [https://www.jeti.com/files/content/products/spectroradiometer/Operating\\_Instructions\\_JETI\\_LiVal.pdf](https://www.jeti.com/files/content/products/spectroradiometer/Operating_Instructions_JETI_LiVal.pdf)

[7] : Dynamax: <https://dynamax.com/images/uploads/papers/Dualex+Manual.pdf>

[8] : METOS® by Pessler Instruments: <https://metos.global/en/dualex/>

[9] : FORCE-A: <https://www.force-a.com/wp-content/uploads/2019/09/BROCHURE-DUALEX-1.pdf>

# Annexs

## Annexe 1

### Analyse de variance des symptômes à 500 n.m

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	6426,795	239	26,89				
VAR.FACTEUR 1	788,736	5	157,747	6,547	0,00001		
VAR.RESIDUELLE 1	5638,059	234	24,094			4,909	46,04%

### Comparaison de moyennes

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES		
2.0		13,059 10 <sup>-5</sup>	A		
1.0	F1n1	12,72 10 <sup>-5</sup>	A	B	
3.0		11,029 10 <sup>-5</sup>	A	B	C
6.0		10,132 10 <sup>-5</sup>		B	C
5.0		8,7 10 <sup>-5</sup>			C
4.0		8,322 10 <sup>-5</sup>			C

## Annexe 2

### Analyse de variance des symptômes à 580 n.m

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	43979,38	239	184,014				
VAR.FACTEUR 1	5019,344	5	1003,869	6,029	0,00004		
VAR.RESIDUELLE 1	38960,04	234	166,496			12,903	73,19%

### Comparaison de moyennes

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES		
2.0		25,54 10 <sup>-5</sup>	A		
4.0		19,258 10 <sup>-5</sup>		B	
1.0	F1n1	18,606 10 <sup>-5</sup>		B	
6.0		16,822 10 <sup>-5</sup>		B	C
3.0		15,183 10 <sup>-5</sup>		B	C
5.0		10,372 10 <sup>-5</sup>			C

# Annexs

## Annexe 3

### Analyse de variance des symptômes à 690 n.m

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	10440,22	239	43,683				
VAR.FACTEUR 1	583,481	5	116,696	2,77	0,01878		
VAR.RESIDUELLE 1	9856,734	234	42,123			6,49	67,14%

### Comparaison de moyennes

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
6.0		12,025 10 <sup>-5</sup>	A	
1.0	F1n1	10,457 10 <sup>-5</sup>	A	B
4.0		10,381 10 <sup>-5</sup>	A	B
2.0		9,4 10 <sup>-5</sup>	A	B
3.0		8,696 10 <sup>-5</sup>	A	B
5.0		7,044 10 <sup>-5</sup>		B

## Annexe 4

### Analyse de variance des symptômes à 840 n.m

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	131507,2	239	550,24				
VAR.FACTEUR 1	24223,13	5	4844,626	10,567	0		
VAR.RESIDUELLE 1	107284,1	234	458,479			21,412	92,90%

### Comparaison de moyennes

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES		
2.0		40,622 10 <sup>-5</sup>	A		
1.0	F1n1	28,312 10 <sup>-5</sup>		B	
4.0		26,171 10 <sup>-5</sup>		B	
3.0		17,343 10 <sup>-5</sup>		B	C
6.0		16,21 10 <sup>-5</sup>		B	C
5.0		9,633 10 <sup>-5</sup>			C

# Annexs

## Annexe 5

### Analyse de variance des symptômes à 965 n.m

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	24946,75	239	104,38				
VAR.FACTEUR 1	4479,334	5	895,867	10,242	0		
VAR.RESIDUELLE 1	20467,41	234	87,468			9,352	97,30%

### Comparaison de moyennes

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES			
2.0		17,142 10 <sup>-5</sup>	A			
1.0	F1n1	12,316 10 <sup>-5</sup>		B		
4.0		10,531 10 <sup>-5</sup>		B	C	
3.0		6,948 10 <sup>-5</sup>			C	D
6.0		6,782 10 <sup>-5</sup>			C	D
5.0		3,954 10 <sup>-5</sup>				D