

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE MINISTERE DE  
L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI DE TIZI OUZOU

FACULTE DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET DES SCIENCES AGRONOMIQUES  
DEPARTEMENT DES SCIENCES BIOLOGIQUES



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de MASTER

En Ecologie et Environnement

Specialité : Biodiversité et Ecologie Végétale.

Thème :

**Influence de la pollution automobile sur la  
diversité en mycoendophytes foliaires de l'olivier  
(*Olea europea*) de deux stations de la wilaya de  
Tizi-Ouzou (Attouche et Krim Belkacem).**

Présenté par M<sup>elle</sup> : SAD CHAUCHE Tinhinane

Le :

Devant le jury composé de :

- Mme SMAIL SAADOUN N. Professeur à l'UMMTO : Présidente.
- Mlle ZAREB A. (MAA) à l'UMMTO : Promotrice.
- Mme LARBI-AIDROUS N. (MAA) à l'UMMTO : Examinatrice.

2019 / 2020

## Remerciements

*Avant tout je remercie le bon DIEU de m'avoir donné le courage, la patience pour finir ce modeste travail.*

*Je tiens à exprimer ma gratitude et mes sincères remerciements à ma promotrice mlle ZAREB pour m'avoir encadré et dirigé tout au long de mon travail pour sa patience, son aide infini et sa compréhension, je ne vous remercierai jamais assez.*

*Je remercie aussi les membres de jury ; Mme SMAIL professeur à l'UMMTO, pour tous les moyens qu'elle a mis à ma disposition afin de me faciliter la pratique au sein de son laboratoire, Mme LARBI d'avoir accepté d'examiner notre travail.*

*J'adresse également mes sincères remerciements à ma chère famille, mes amis, et à tout ceux qui m'ont aidé de près ou de loin pour la réalisation de ce modeste travail.*

## **Dédicaces**

*Je dédie ce modeste travail à tous ceux et celles qui m'aiment.*

### Liste des tableaux :

<b>Tableau 1</b> : les différentes sources de pollution atmosphérique.....	6
<b>Tableau 2</b> : Tableau récapitulatif des résultats obtenus (Chikdene 2019).....	9
<b>Tableau 3</b> : Données thermiques et de précipitations de la commune de Tizi-Ouzou (ONM, 2001-2017) .....	32
<b>Tableau 4</b> : fréquences de colonisation (FC%) par des mycoendophytes foliaires isolés à partir des feuilles de l'olivier dans les deux stations Attouche et Krim Belkacem dans la wilaya de Tizi-Ouzou après 2 mois d'incubation à température ambiante .....	35
<b>Tableau 5</b> : classification des différents genres fongiques isolés à partir des feuilles de l'olivier dans les deux stations Krim Belkacem et Attouche.....	38
<b>Tableau 6</b> : abondance des genres fongiques isolés à partir des feuilles de l'olivier dans les deux stations Attouche et Krim Belkacem. ....	39
<b>Tableau 6</b> : tableau comparatif des abondances des genres fongiques recensés au niveau des feuilles de l'olivier dans les deux stations. ....	42
<b>Tableau 7</b> : matrice de corrélation de Pearson .....	47

## Listes des figures :

<b>Figure 1 :</b> effet de la pollution atmosphérique sur la feuille du tabac provoquant des nécroses ( <i>Garrec, 2019</i> ).....	9
<b>Figure 2:</b> représentation schématique des modes de transmission des champignons endophytes du genre <i>Neotyphodium</i> ( <i>Saikkonen et al., 2004</i> ).....	19
<b>Figure 3:</b> Localisation de la Wilaya de Tizi Ouzou (google .Fr).....	26
<b>Station 4 :</b> station krim belkacem ( <i>Sad chaouche, 2019</i> ) .....	29
<b>Figure 5:</b> station d'Attouche ( <i>Sad chaouche, 2019</i> ) .....	29
<b>Figure 6 :</b> diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен de la commune de Tizi-Ouzou (ONM de Tizi Ouzou 2001-2017) .....	29
<b>Figure 7 :</b> abondance des genres fongiques recensés des feuilles de l'olivier dans les deux stations Attouche et Krim Belkacem.....	37
<b>Figure 8 :</b> photo du genre fongique <i>Aspergillus</i> vu grossissement $\times 400$ .....	37
<b>Figure 9 :</b> photos des genres fongiques dominants recensés des feuilles de l'olivier vu au microscope optique.....	38
<b>Figure 10:</b> représentation de l'analyse en composantes principales (ACP), montrant les genres de mycoendophytes au niveau des feuilles des différents sujets échantillonnés au niveau des deux stations d'étude.....	47

## Table des matières

Introduction générale .....	01
<b>Chapitre I : Généralités sur la pollution</b> .....	<b>05</b>
I- Introduction .....	05
II- Définition de la pollution atmosphérique.....	06
III- sources de la pollution atmosphérique .....	06
III-1- sources naturelles .....	06
III-1-1- Volcans .....	06
III-1-2- Végétation .....	07
III-1-3- Autres sources naturelles .....	07
III-2- Sources anthropiques .....	07
III-2-1- Combustibles fossiles .....	07
III-2-2- Pollution automobile .....	07
III-2-3- Rejets industrielles .....	08
IV- Impact de la pollution sur la végétation .....	08
<b>Chapitre II : Mycoendophytes</b> .....	<b>10</b>
I- Introduction.....	11
II- Systématique des champignons.....	12
II-1- Introduction.....	12
II-2- Principaux groupes de champignons.....	14
II-2-1- Chytriomycota .....	14
II-2-2- Zygomycota.....	14
II-2-3- Dicaryotes (Ascomycota et Basidiomycota).....	15
III-1- Diversité et classification des champignons endophytes .....	16
III-1-1- Endophytes de classe I .....	16
III-1-2- Endophytes de classe 2 et 4 .....	17

III-1-3- Les endophytes de class 3 .....	17
IV- Mode de transmission des mycoendophytes.....	18
IV-1- Transmission verticale .....	18
IV-2- Transmission horizontale .....	18
V- Rôles des mycoendophytes .....	19
V-1- Nutrition et croissance.....	19
V-2- Champignons endophytes comme source de produits naturels bioactifs.....	20
V-3- Rôle écologique .....	20
<b>Chapitre 3 : Matériel et méthodes .....</b>	<b>26</b>
I- Description de la zone d'étude .....	27
II- Bioclimat de la zone d'étude .....	29
III- Echantillonnage sur le terrain .....	31
III-1- Mise en culture des feuilles .....	31
III-1-1- Stérilisation superficielle .....	31
III-1-2- Mise en culture .....	31
III-1-2-1- Préparation et strérilisation.....	32
III-2- Identification.....	32
III-2-1- Identification macroscopique .....	32
III-2-2- Identification microscopique .....	32
III-3- Analyses statistiques .....	33
<b>Chapitre IV : Résultats et discussion .....</b>	<b>34</b>
I-1- Fréquence de colonisation.....	35
Résultats .....	35
Discussion.....	36
I.2. Diversité et abondance des mycoendophytes recensés .....	37
Résultats .....	38
Discussion.....	40

I-3- Abondance des genres fongiques .....	40
I-4- Comparaison de la diversité et de l'abondance des différents genres fongiques entre les deux stations d'étude.....	42
II- Matrice de corrélation .....	44
III- ACP.....	45
<b>V- Conclusion générale</b> .....	48
I- Conclusion.....	49
Perspectives .....	51
<b>Bibliographie</b> .....	52

## Introduction générale

---

L'olivier appartient à la famille des Oléacées et au genre *Olea* qui se compose de 33 espèces dont la plupart se rencontrent en Europe, en Afrique de l'est et en Afrique australe, ainsi qu'en Asie tropicale (Vossen et al., 2007). C'est une espèce typique de l'aire bioclimatique méditerranéenne (Loussert et Brousse, 1978). 2 sous espèces qui se différencient par leurs caractères morphologiques et leur répartition géographique : *Olea europaea sylvestris* ou oléastre (l'olivier sauvage) et *Olea europaea sativa* ou l'olivier cultivé (Vossen et al., 2007). Ce dernier est l'un des arbres fruitiers domestiques les plus anciens et la culture fruitière la plus cultivée au monde. Sa rusticité et sa plasticité écologique lui ont permis une large répartition même s'il ne supporte pas les basses températures, sa culture remonterait à la préhistoire (Loussert et Brousse, 1978). Malheureusement, l'olivier est soumis à beaucoup de problèmes tels que : stress biotique et abiotiques (contraintes hydriques, températures très basse, stress salin, pollution...) qui affectent sa santé.

L'olivier comme la plupart des arbres, fait des associations symbiotiques avec un certain nombre de champignons. Parmi les champignons impliqués dans ces interactions, nous pouvons citer les champignons endophytes. Ils sont diversifiés sur le plan taxonomique et biologique, ils ont le caractère de coloniser les tissus végétaux sans causer de dommages apparents à leur hôte (Schulz et Boyle, 2006). La majorité des champignons endophytes établissent une relation mutualiste avec leur hôte en protégeant ce dernier. Ils permettent à l'arbre de résister aux stress (hydrique, parasitaire, manque de nutriment, pollution...). Ils peuvent jouer un rôle dans le processus de phytoremédiation et la dégradation des toxines environnementales (Ma et al., 2011).

Ce travail fait suite aux travaux de Haouche (2018) et Chikdene (2019) qui montre l'évaluation de la pollution automobile en milieu urbain par la quantification de certains métaux lourds et son impact sur le métabolisme primaire et secondaire et l'activité antioxydante d'*Olea europaea*. Nous avons choisi les feuilles de deux ans pour enchaîner avec les travaux de M<sup>elle</sup> Haouche en 2018, qu'elle a échantillonné et travaillé sur les feuilles de l'an précédent (2017).

Cette étude rentre dans le cadre des activités de recherche du laboratoire Ressources Naturelles de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. Notre travail a pour but de montrer l'impact de la pollution atmosphérique sur la diversité en mycoendophytes foliaires de l'olivier de deux sites d'étude : Krim Belkacem (zone urbaine exposé à la pollution atmosphérique) et Attouche (zone rurale moins exposée à la pollution atmosphérique), dans la wilaya de Tizi-Ouzou. Pour cela, nous avons subdivisé ce mémoire en 4 chapitres

## **Introduction générale**

---

- Le chapitre 1 : nous avons donné des généralités sur la pollution ;
- Le chapitre 2 : description des mycoendophytes, leurs différents rôles notamment le rôle dans la phytoremediation
- Le chapitre 3 : nous avons décrit le milieu et présenté le matériel ainsi que les méthodes utilisées dans notre étude ;
- Le chapitre 4 : nous avons présenté et discuté nos résultats.

Nous avons terminé notre travail par une conclusion générale et des perspectives.

**I- Introduction :**

La pollution de l'air a commencé dès l'antiquité avec les regroupements d'hommes et d'animaux. Elle est la résultante de multiples facteurs : croissance de la consommation d'énergie, développement des industries extractives, métallurgiques et chimiques, de la circulation routière et aérienne, de l'incinération des déchets ménagers, des déchets industriels, etc. La pollution atmosphérique sévit surtout en milieu urbanisé et dans les zones d'activités, non seulement par suite de la concentration des industries et des foyers domestiques, mais aussi à cause de la circulation des véhicules à moteurs (Fontan, 2004).

Les métaux lourds peuvent être définis comme : Tout métal ayant une densité supérieure à 5. Tout métal ayant un numéro atomique élevé, en général supérieur à celui du sodium ( $Z=11$ ). Tout métal pouvant être toxique pour les systèmes biologique (Anfossi et al., 1997). En principe, certains métaux, comme aussi les autres éléments, peuvent être essentiels pour un organisme, par exemple une plante ou un animal. D'autres métaux ne sont pas nécessaires à la vie, mais ils perturbent souvent le cours normal des processus métaboliques, même à l'état de traces; à l'exception de faibles doses tolérables, de tels métaux ont souvent un effet toxique. Le Nickel par exemple, constitue un polluant pour les plantes, par contre il est essentiel à des traces pour la vie de certaine animaux (Bliefert et Perraud, 2001).

Les dommages causés par la pollution atmosphérique peuvent se manifester de plusieurs façons. Les différentes composantes de l'environnement réagissent à la pollution différemment, les végétaux inférieurs surtout les lichens présentent souvent des altérations physiologiques, morphologiques et structurales avant même l'apparition des moindres symptômes d'intoxication chez l'homme (Semadi 1989). Ils peuvent apparaitre rapidement sur le feuillage, sous la forme de lésions nécrotiques (tissus morts). Ils peuvent aussi être lents à se manifester et entraîner le jaunissement ou la chlorose de la feuille. On peut aussi remarquer un ralentissement de croissance au niveau de différentes parties de la plante. Il arrive que les plants meurent tout de suite, mais la mort se produit habituellement après des attaques répétées (Heather, 2003).

De plus, une accumulation excessive de métaux lourds chez les plantes peut être transférée au niveau suivant dans une chaîne alimentaire, affectant ainsi plusieurs niveaux dans un écosystème (Etesami et al., 2018). La pollution atmosphérique n'a pas de frontières et touche de nombreux aspects depuis les problèmes au voisinage d'installations polluantes,

jusqu'à l'échelle dite « globale » et planétaire concernée par la hausse des concentrations de gaz à effet de serre (Fontan, 2004).

## II- Définition de la pollution atmosphérique :

En Algérie, la pollution atmosphérique est définie, dans l'article 3 de la loi 03-10 du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable, comme suit : "Pollution de l'Atmosphère : l'introduction de toute substance dans l'air ou dans l'atmosphère provoquée par l'émanation de gaz, de vapeurs, de fumées ou de particules liquides ou solides susceptibles de porter préjudice ou de créer des risques au cadre de la vie, à la santé ou à la sécurité publique ou à nuire aux végétaux, à la production agricole et aux produits agroalimentaires, à la conservation des constructions et des monuments ou au caractère des sites" ( J.O.R.A, 2003). La notion de pollution atmosphérique a connu de profondes mutations. Elle évolue et change d'échelle ; elle intègre des phénomènes complexes et interdépendants allant de l'échelle globale à l'échelle locale, du changement climatique planétaire aux modifications dans la biodiversité (Fontan, 2004).

## II- Sources de la pollution atmosphérique :

Les sources de la pollution atmosphérique peuvent avoir une origine naturelle ou humaine (Tableau 1) (Haouche, 2018).

**Tableau 1** : les différentes sources de pollution atmosphérique :

Sources naturelles	Sources anthropiques
Volcans ;	combustibles fossiles (charbon, pétrole et gaz) ;
Végétation ;	Circulation automobile ;
Foudre ;	Rejet industrielle ;
Erosion ;	

### III-1- Sources naturelles :

#### III-1-1- Volcans :

Les volcans, envoient dans l'atmosphère d'énormes quantités de gaz et de particules. Les particules de l'éruption volcaniques ont la propriété de diminuer le rayonnement solaire à

la surface du sol, et donc, d'entraîner une baisse de la température ambiante (Elichegaray, 2008).

**III-1-2- Végétation :**

Les plantes qui produisent du pollen dont certains causent des allergies, le pollen ou les gamètes des fleurs des végétaux sont portés par les étamines. Grâce à l'action des insectes et du vent, ils peuvent être dispersés et ainsi féconder d'autres fleurs de leur espèce, mais elles peuvent aussi pénétrer dans nos voies respiratoires et provoquer des réactions allergiques, parfois violentes, chez les sujets sensibles (Anonyme, A).

**III-1-3- Autres sources naturelles :**

-La foudre, en oxydant l'azote atmosphérique, produit de grandes quantités d'oxyde d'azote (NO<sub>x</sub>) (Elichegaray, 2008).

-L'érosion éolienne introduit de nombreuses particules dans l'atmosphère, la désertification se traduit par le réenvol de quantités considérables d'éléments terrigènes. Les dépôts de poussières rougeâtres d'origine sahariennes après un fort vent de sud proviennent de ce phénomène (Elichegaray, 2008).

**III-2- Sources anthropique :****III-2-1- Combustibles fossiles :**

Pour tous les processus de combustion, on utilise couramment des combustibles constitués principalement de carbone (charbon, fuel, bois, gaz naturel), source de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>). Ces combustions ne sont jamais complètes et dégagent du monoxyde de carbone (CO) et des hydrocarbures imbrûlés. En présence de l'azote de l'air, se forment des oxydes d'azote. Le soufre présent dans les fuels et le charbon s'oxyde pour devenir du dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) (Abdelly, 2007).

**III-2-2- Pollution automobile :**

La pollution automobile est une contamination de l'atmosphère liée à une circulation routière importante, provoquée principalement par la combustion de combustibles fossiles (en particulier de pétrole sous forme d'essence et de gazole) (Pagatto, 1999). Toutes les voitures, quel que soit leur carburant, rejettent différents produits de combustion :

- Le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) ;
- Le monoxyde de carbone (CO) ;
- Le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) ;
- Les hydrocarbures non brûlés (hc).

**III-2-3- Rejets industrielles :**

Quelques exemples des procédés industriels réputés polluants sont indiqués ci-après avec les principaux aéro-contaminants émis (en plus du CO<sub>2</sub>) (Viala et Botta, 2005).

- Industries de bois, des insecticides (dioxines et furane) ;
- Industries des accumulateurs (plomb) ;
- Batiment et travaux publics (particules) ;
- Cimenteries, plateries (poussières, métaux lourds) ;
- Usine de pâte papier SO<sub>2</sub> (produits malodorants, mercure) ;
- Industries des matières plastiques et de caoutchouc (SO<sub>2</sub>, hydrocarbures, aldéhydes, métaux traces).
- Raffineries de pétrole (SO<sub>2</sub>, hydrocarbures, mercaptans, gaz, aldéhydes et autres composés organiques volatils) (Viala et botta, 2005).

L'industrie rejette également certains polluants plus spécifiques : les installations de traitement des minerais émettent des métaux lourds comme le Cadmium, le Zinc et le Plomb, le Mercure, quant à lui, provient surtout de l'incinération des ordures ménagères. Les métaux lourds dans l'air sont sous forme de particules à l'exception du Mercure qui est principalement gazeux. Ils proviennent de combustions, de certains procédés industriels, de l'incinération des déchets (Abdelly, 2007).

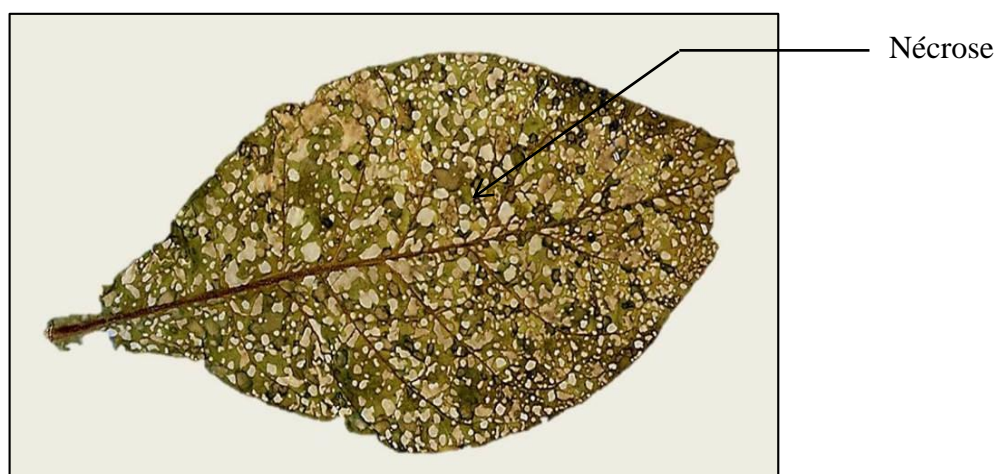
**VI- Impact de la pollution atmosphérique sur la végétation :**

Il y a trois échelles où se manifeste la pollution atmosphérique. A l'échelle locale avec surtout (mais pas uniquement) des effets sur la santé humaine, à l'échelle régionale où les effets les plus spectaculaires sont l'acidification des eaux de surface et le dépérissement des forêts, et enfin à l'échelle planétaire avec la destruction de l'ozone stratosphérique et l'augmentation de l'effet de serre avec des risques de modification climatiques et des répercussions sur la biosphère, sur les niveaux des océans, mais aussi sur la santé de l'homme (Ramade, 2002., Fontan, 2004).

Les végétaux sont la première ligne face aux pollutions atmosphériques car ils vivent fixés et constituent la base du fonctionnement des écosystèmes terrestres et aquatiques. La nature et l'importance de l'impact des polluants atmosphériques sur les végétaux va dépendre des caractéristiques physiologiques et biochimiques du végétal touché, et des propriétés du ou des polluants rencontrés. Les perturbations physiologiques des plantes sont variées et sont observables, selon la nature du polluant, sur des zones plus ou moins étendues qui vont de l'échelle locale jusqu'à l'ensemble de la planète (Garrec, 2019).

Lors de faibles pollutions et/ou lorsque les systèmes de défense de la plante sont suffisants pour limiter l'impact physiologique d'un polluant, cette résistance a tout de même un coût physiologique, qui se caractérise par des diminutions de taille, de baisses de rendement... on parle alors de « dégâts invisibles » (Garrec, 2019).

Lors de fortes pollutions et/ou lorsque les systèmes de défense de la plante ne sont pas suffisants, des dommages irréversibles apparaissent comme des morts cellulaires (les nécroses foliaires entre autres) (Figure 1). On parle alors de « dégâts visibles » liés à la pollution atmosphérique (Garrec, 2019).



**Figure 1** : nécroses sur la feuille du tabac provoquées par la pollution atmosphérique (Garrec, 2019).

## I- Introduction

Les plantes sont colonisées par plusieurs micro-organismes (Agler et *al.*, 2016). C'est un habitat microbien (Ruinen, 1956). Qui pourra les héberger sur sa surface comme épiphytes, ou au sein de ses tissus, comme endophytes (Linares, 2010).

Le terme endophyte a été utilisé pour la première fois par De Bary en 1866 pour décrire les champignons qui colonisent l'intérieur des tissus végétaux des tiges et des feuilles, il est composé de deux mots grecs, endon: signifiant au sein et phyton: désignant plante (Mishra et *al.*, 2014). L'existence de ces champignons est connue depuis la fin du 19ème siècle. Les premiers fossiles d'endophytes remontent aux temps où les plantes supérieures sont apparues sur terre (Redecker et Kodner, 2000). Ces micro-organismes sont pratiquement présents chez presque toutes les plantes et ont été isolés à partir de presque tous les tissus végétaux de Gymnospermes et d'Angiospermes (Stone et *al.*, 2000, Jeewon et *al.*, 2013, Doilom et *al.* 2017, Vinit et *al.*, 2018 ; Sarma et *al.*, 2018). Ils résident entièrement dans les tissus des plantes, et colonisent les espaces inter et / ou intracellulaires des racines ainsi que les parties aériennes: tiges et feuilles (Stone et *al.*, 2000). Ils sont des organismes qui vivent au moins une partie de leurs cycle de vie à l'intérieur de plantes sans causer de symptômes visibles (Ghasemi et *al.*, 2019).

Les caractéristiques générales des champignons endophytes sont majoritairement issus du phylum Ascomycota et présentent une grande diversité (Arnold, 2007). Selon les auteurs, une distinction peut être faite entre les interactions mycorhiziennes et les interactions endophytes, car ces dernières ne possèdent pas d'interface avec des hyphes spécialisés présents chez la plupart des mycorhizes (Brundrett, 2004). Cette définition prend ainsi en compte la variabilité des interactions entre les endophytes et la plante. On retrouve un large éventail d'interactions tels que le mutualisme où l'hôte et le colonisateur retire un bénéfice de l'interaction (Sieber, 2002). Ils reçoivent la nutrition et la protection de la plante hôte tout en assurant à la plante hôte une résistance accrue aux herbivores et aux agents pathogènes (Abdul Rahman, 2018). Les champignons endophytes sont également connus pour aider leurs hôtes face aux facteurs de stress abiotiques tels que la sécheresse (Esfahlan et *al.*, 2018). Ils jouent un rôle clé dans l'adaptation des plantes hôtes aux environnements pollués et ils peuvent améliorer la phytoremediation en mobilisant/ dégradant ou immobilisant la phytotoxicité et en améliorant la capacité de tolérance aux métaux des plantes (Li et *al.*, 2018).

Les champignons endophytes ont fait l'objet de plusieurs recherches notamment chez les plantes fourragères (fétuque) après que Charles Bacon et ses collègues les ont découvert pour la première fois, suite à une intoxication du bétail causée par des alcaloïdes contenus dans les plantes de fétuque consommées et produits par les endophytes (Bacon et *al.*, 2000). Depuis les cinquante dernières années, des publications se sont progressivement intensifiées, mais c'est à partir de la fin du 20ème siècle que les champignons endophytes ont réellement attiré l'attention avec la découverte de la production de l'anti-cancéreux paclitaxel par un endophyte *Taxomyces andreanae* (Malhadas, 2017). La littérature scientifique sur les champignons endophytes se focalise en particulier sur deux aspects :

- pharmacologique : les endophytes ont la capacité de produire de nombreuses molécules bioactives dont certaines possèdent des propriétés thérapeutiques utilisables contre de très nombreuses maladies (Kurasi et *al.*, 2012) ;
- écologique : la phylogénie des endophytes et de leurs hôtes, les interactions entre le champignon endophyte et la plante hôte, l'impact de ces champignons endophytes sur la diversité végétale et le fonctionnement des écosystèmes (Kurasi et *al.*, 2012).

## **II- Systématique des champignons**

### **II-1-Introduction**

Les champignons ont une paroi constituée de chitine, polysaccharide très résistant constitué de résidus N-acétylglucosamine (Carlile et Watkinson, 1994), Ils sont absorbotrophes (Martin, 2014). Ces organismes sont dépourvus de chlorophylle et sont tous hétérotrophes ; le glycogène est le polysaccharide de réserve principal, ils sont constitués d'un appareil végétatif (le thalle) bien adapté aux divers modes de vie hétérotrophe des champignons (Carlile et Watkinson, 1994 ; Redecker, 2002). Leur incapacité à synthétiser des sucres à partir de simples ressources minérales les distingue fortement des végétaux qui eux sont autotrophes grâce à la chlorophylle et à la photosynthèse. Ils doivent extraire de leur environnement des composés organiques déjà constitués (Martin, 2014).

Les champignons jouent un rôle crucial dans l'équilibre des écosystèmes. Ils colonisent la plupart des habitats sur terre, préférant des conditions sombres et humides. Ils peuvent prospérer dans des environnements apparemment hostiles, tels que la toundra, grâce à une symbiose extrêmement réussite avec des organismes photosynthétiques comme les algues pour produire des lichens. Pourtant, comme les bactéries, ils sont les principaux

décomposeurs de la nature. Grâce à leur métabolisme polyvalent, les champignons décomposent les matières organiques qui ne seraient autrement pas recyclées (Rye et *al.*, 2019).

La capacité des champignons à dégrader de nombreuses molécules volumineuses et insolubles est due à leur mode de nutrition. Ils produisent une variété d'exoenzymes pour digérer les nutriments. Leur mode de nutrition se fait par absorption en libérant dans un premier temps des enzymes hydrolytiques (protéases, amylases, RNases, phosphatases, etc) dans le milieu extérieur. Par les filaments microscopiques qui les constituent. Ces enzymes hydrolysent et fragmentent les macromolécules et permettent l'absorption des produits de dégradation (Jean-Claude et *al.*, 2008). Ils sont classés en deux grandes catégories : la forme levure unicellulaire et la forme mycélienne pluricellulaire constituée d'hyphes (Redecker, 2002). Le mouvement de petites molécules et d'enzymes dépend de la présence d'eau, la croissance active dépend d'un pourcentage relativement élevé d'humidité dans l'environnement. En tant que saprobes, les champignons aident à maintenir un écosystème durable pour les animaux et les plantes partageant le même habitat. En plus de reconstituer l'environnement en nutriments, ils interagissent directement avec d'autres organismes de manière bénéfique, et parfois même dommageable (Rye et *al.*, 2019).

La plupart des espèces se multiplient selon les cycles de reproduction asexué et sexué et présentent une alternance de générations. Un autre groupe de champignons appelé Deuteromycètes sont des champignons septés (Rey *al.*, 2019). Leur appareil végétatif est ramifié ; Ils se reproduisent via des spores, se multipliant de façon non sexuée (dite aussi végétative) (Martin, 2014).

## **II-2- Principaux groupes de champignons**

Les champignons constituent l'un des groupes Eucaryotes les plus importants qui jouent un rôle clé dans le cycle des éléments nutritifs et du carbone dans les écosystèmes terrestres en tant que mutualistes, agents pathogènes et saprotrophes autonomes (Laughlin et Spatafora, 2014). De nombreux champignons sont non cultivables et produisent rarement des structures sexuelles visibles, les techniques moléculaires sont largement utilisées pour la détection taxonomique d'espèces, afin de comprendre l'évolution de leur diversité. La disponibilité de séquences de gènes marqueurs codants pour des protéines et des gènes d'ARNr et l'évolution d'outils de la génomique ont encore affiné l'ordre de divergence et de classification des principaux groupes fongiques (Tedersoo et *al.*, 2018). Selon James et *al.*

(2006) l'organisation des champignons en phyla est actuellement revisitée sur des bases phylogénétiques. Quatre phyla ont aujourd'hui accepté selon une analyse phylogénétique reposant sur 6 gènes et plus de 200 organismes

### **II-2-1-Chytridiomycota :**

Les chytrides sont les Eumycota, ou vrais champignons, les plus simples et les plus primitifs. Les données évolutives montrent que les premiers chytrides reconnaissables sont apparus à la fin de la période précambrienne, il y a plus de 500 millions d'années. Environ 1000 espèces ont été décrites au sein de ce phylum, ce qui correspond à environ 1% des espèces décrites de champignons (Taylor et *al.*, 2004). Les positions basales de ce phylum n'ont jamais pu être clairement établies et supportées de façon robuste (James et *al.*, 2006). Les organismes de ce phylum sont souvent microscopiques mais peuvent aussi produire un mycélium. Comme tous les champignons, ils ont de la chitine dans leurs parois cellulaires, mais un groupe de chytrides a à la fois de la cellulose et de la chitine dans ses parois (Rye et *al.*, 2019). Ils vivent généralement dans des environnements aquatiques, bien que certaines espèces vivent sur terre. Certaines espèces se développent comme parasites sur les plantes, les insectes ou les amphibiens (Rye et *al.*, 2019). On recense également de nombreux pathogènes ; l'un d'eux a récemment été responsable d'une impressionnante mortalité de batraciens aux Etats Unis (*Batrachochytrium dendrobatidis*) (Blottiere, 2017).

### **II-2- 2- Zygomycota :**

Les Zygomycota constituent un groupe ancien des champignons ayant divergé après les Chytridiomycota (James et *al.*, 2006 ; Bar-Hen et *al.*, 2008). Ce groupe formé d'organismes microscopiques hétérogènes est polyphylétiques (James et *al.*, 2006 ; Tanabe et *al.*, 2000 ; Bar-Hen et *al.*, 2008). Plus de 600 espèces ont été décrites à ce jour (Hawksworth 1991 ; Hawksworth et Rossman, 1997 ; Hawksworth, 2001). Ils sont coénocytiques et forment des zygospores. Différents modes de vie sont retrouvés, les plus communs étant le saprophytisme et le parasitisme (d'insectes principalement). La plupart des espèces sont des saprophytes, quelques-uns sont des parasites, en particulier des insectes, *Rhizopus stolonifer*, est un Zygomycète qui se propage rapidement à la surface des pains, des fruits et des légumes (Rye et *al.*, 2019).

### **II-2-3-Glomeromycota,**

Quant aux Glomeromycota, ce sont des organismes placés au sein des Zygomycota, dans l'ordre des Glomérales, un groupe qui regroupait les champignons mycorrhiziens à

arbuscules (Morton et Benny, 1990). Toutes les espèces de ce phylum sont des organismes symbiotiques biotrophes stricts de plantes (Le Calvez, 2009). Ce phylum nouvellement créé comprend environ 230 espèces qui vivent toutes en association étroite avec les racines des arbres. Les hyphes interagissent avec les cellules des racines en formant une association mutuellement bénéfique dans laquelle les plantes fournissent la source de carbone et l'énergie sous forme de glucides au champignon, et le champignon fournit les minéraux essentiels du sol à la plante (Rye et *al.*, 2019).

Les Gloméromycètes ne se reproduisent pas sexuellement et ne survivent pas sans la présence de racines de plantes. L'analyse de l'ADN montre que tous les Gloméromycètes sont probablement issus d'un ancêtre commun, ce qui en fait une lignée monophylétique (Rye et *al.*, 2019).

#### **II-2-4- Dicaroyotes (Ascomycota et Basidiomycota)**

Les phyla Ascomycota et Basidiomycota forment le groupe des Dicaroyotes et représentent la majorité des espèces de champignons décrites, en l'occurrence 67000 espèces sur les 100.000 recensées (Taylor et *al.*, 2004).

Les organismes du phylum Ascomycota comptent 45000 espèces décrites à ce jour (Hawksworth, 1991 ; Hawksworth, 2001 ; Taylor et *al.*, 2004). Les Ascomycètes sont des champignons dépourvus de cellules flagellées (Eumycète) dont le mycélium est septé et dont le cycle de développement sexué comporte la production de cellules particulières, les asques (Lanier et *al.*, 1978). Chez la plupart des espèces de cet embranchement, la reproduction asexuée est généralement assurée par des conidies plurinuclées. Les conidies se forment à partir de cellules conidiogènes qui naissent au sommet d'hyphes modifiées appelées conidiophores (Raven et *al.*, 2008), et constituent la quasi-totalité des champignons capables de former des associations lichéniques (Hawksworth, 1991 ; Hawksworth, 2001 ; Taylor et *al.*, 2004). Des modes de vie saprophytes et parasites sont également largement répandus. On retrouve également chez ces organismes les champignons utilisés en agroalimentaire (*Saccharomyces cerevisiae*) ou en pharmacologie (*Penicillium chrysogenum*) (Le calvez, 2009).

Les organismes du phylum Basidiomycota regroupent 22000 espèces décrites (Taylor et *al.*, 2004). Ils sont caractérisés par l'existence d'un sporocyste spécialisé dans la production de spores méiotique exogènes : la baside (Bouchet, 1989). Les spores se différencient

extérieurement à l'extrémité de filaments courts appelés stérigmates (Bouchet *et al.*, 1999). Leur mode de vie est principalement saprophyte : ce sont d'ailleurs les organismes fongiques ayant les capacités de dégradation de matériels ligno-cellulolytique les plus élaborés. On retrouve également des organismes symbiotiques de plantes ou parasites d'animaux (Hibb et Donoghue, 2001)

### III- Diversité et classification des champignons endophytes

Les champignons endophytes représentent une composante importante et quantifiable de la biodiversité fongique et sont connus pour affecter la diversité des plantes. Approximativement toutes les espèces de plantes vasculaires hébergent des champignons endophytes (Sturz *et al.*, 2000). Ils sont omniprésents et se retrouvent dans toutes les plantes connues, y compris un large éventail de hôtes, de familles, de genres et d'espèces, dans des écosystèmes tels que les arbustes, les fougères, les mousses, les lichens, les graminées, les feuillus et les conifères (Mishra *et al.*, 2014). Plusieurs efforts ont été déployés pour estimer le nombre total de champignons sur la base de leur association avec des plantes. L'ampleur de la diversité fongique a été estimée à environ 1,5 million (plus précisément à 1,62 million), révisée par la suite par Hawksworth à 2,27 millions. Le chiffre fourni par Hawksworth a été largement accepté par les experts en mycologie (Bass *et al.*, 2011).

Des mycoendophytes ont été trouvés dans les tissus sains de tous les taxons de plantes étudiés à ce jour. Les endophytes envahissent les tissus des plantes vivantes et résident dans les tissus situés entre les cellules végétales vivantes (Rai *et al.*, 2012). Il peut y avoir plus d'un type de mycoendophytes dans une même plante. Par exemple, treize taxons de mycoendophyte ont été isolés des tissus des racines, des tiges et des feuilles, de *Catharanthus roseus* (Rai *et al.*, 2012).

Les endophytes sont actuellement divisés en 4 classes selon la famille de l'endophyte concerné, la localisation dans les tissus de l'hôte et le mode de transmission (Rodriguez *et al.*, 2009).

#### III-1-1- Endophytes de classe 1

Ce sont les endophytes Clavicipitacées (Ascomycota), limitées à certaines herbes qui regroupent des champignons essentiellement parasites de plantes, d'insectes ou autres (Sung *et al.*, 2009). Cette famille est constituée actuellement de 37 genres, dont quatre possèdent des espèces capables d'endophytisme : *Balansia*, *Ephelis*, *Epichloë* et *Neotyphodium* (White *et*

*al.*, 2000). Les endophytes de classe I augmentent fréquemment la biomasse végétale, confèrent une résistance à la sécheresse et produisent des produits chimiques toxiques pour les animaux et diminuent l'herbivorie (Mishra et *al.*, 2014). Les plantes colonisées bénéficient donc d'une défense optimisée, face à un spectre d'agresseurs plus large (Ballaré et *al.*, 2011). Néanmoins certains champignons endophytes racinaires tel que *Beauveria bassiana* et *Trichoderma* sp. ont prouvé leurs capacités à protéger leurs hôtes contre les attaques de pucerons (*Aphis gossypii*) ou de criquets (*Chortoicetes terminifera*). Les mécanismes impliqués seraient la synthèse de métabolites secondaires toxiques ou inhibiteurs et le parasitisme de l'herbivorie concerné (Hughes, 2016).

### III-1-2- Endophytes de classe 2 et 4

Ils comprennent les endophytes non Clavicipitacées, ils ont montré la capacité de coloniser de manière asymptomatique des Monocotylédones et des Dicotylédones. Ils colonisent les racines, les tiges, les feuilles ou la plante entière. Ils peuvent être transmis verticalement ou horizontalement (Rai et *al.*, 2012). Ils sont très divers et comprennent des espèces allant de *Pezizomycotina* (Ascomycota) à *Agaricomycotina* et *Pucciniomycotina* (Basidiomycota) (Nazir et Abdul Rahman, 2018). Ils peuvent améliorer la condition physique aux plantes en lui procurant des avantages des contraintes propres à l'habitat, telles que le pH, la température et salinité (Nazir et Abdul Rahman, 2018).

Les endophytes de classe 4 sont principalement des champignons Ascomycètes conidiaux ou stériles qui forment des structures mélanisées telles que des hyphes inter et intracellulaires et des microsclérotés dans les racines (Rai et *al.*, 2012). Ils se limitent également aux tissus végétaux souterrains, mais peuvent coloniser beaucoup plus de tissus végétaux (Nazir et Abdul Rahman, 2018). Ils sont présents principalement dans le cortex de la racine (Porrás-Alfaro et *al.*, 2008). Ils semblent se reproduire par reproduction asexuée principalement (conidies et croissance/fragmentation mycélienne). Le mode de transmission est strictement horizontal (Rodríguez et *al.*, 2009).

### III-1-3- Les endophytes de classe 3

Cette classe comprend les champignons endophytes de plantes vasculaires et non vasculaires, d'Angiospermes ligneuses et herbacées (Mishra et *al.*, 2014). Ils se distinguent des autres endophytes en ce qu'ils limitent leur colonisation aux tissus végétaux aériens, formant une infection localisée principalement sur les feuilles et les rameaux des plantes

hôtes, mais aussi occasionnellement sur les organes reproducteurs (Arnold, 2007). Ce groupe est extrêmement diversifié, contient de nombreuses espèces de Basidiomycètes (Bao et *al.*, 2013). Ils sont attribuées aux formes épiphytes ou pathogènes qui sont largement signalées, entre autres : *Alternaria alternata*, *Fusarium sp.*, *Cladosporium sp.*, *Epicoccum purpurascens*, *Didymella phleina*, *Stemphyllium botryosum*, *Arthrinium sp.*, et *Cladosporium tenuissimum* (Stone et *al.*, 2004).

#### **IV- Mode de transmission des mycoendophytes**

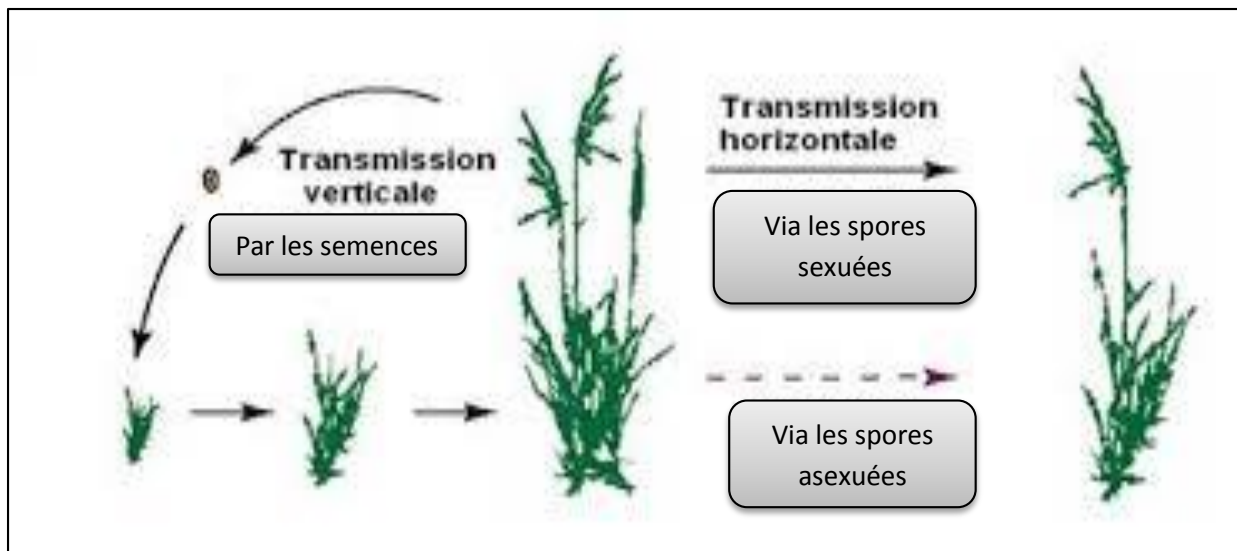
Les endophytes possèdent deux modes de transmission (Figure 2) :

##### **IV-1- Transmission verticale**

Les plantes hôtes transmettent des semences infectées à la plante suivante (Mishra et *al.*, 2014). La croissance se fait à l'intérieur des tissus de la plante hôte, le passage et la transmission des hyphes des champignons de la plante vers la descendance sont effectués par le biais de la graine. C'est le cas des Poacées, (Selosse et Schardl, 2007).

##### **IV-2- transmission horizontale**

La transmission horizontale est propre aux champignons endophytes à reproduction sexuée. Elle se fait via des spores qui peuvent être disséminées par le vent, ou par un vecteur (insectes en général). Elle procède de la pénétration d'un hyphe de champignon endophyte dans une graine, un grain de pollen ou une propagule de la plante hôte (Hodgson et *al.*, 2014). On reconnaît de plus en plus des champignons endophytes non systémiques et a transmission horizontale servant de symbiotes de végétaux (Yuan et *al.*, 2010). La majorité des plantes étudiées à ce jour sont infectées horizontalement par plusieurs groupes de mycoendophytes (Davis et *al.*, 2003). Ce mode de transmission peut fournir une tolérance thermique pour la plante (Redman et *al.*, 2002).



**Figure 2:** représentation schématique des modes de transmission des champignons endophytes du genre *Neotyphodium* (Saikkonen et al., 2004).

## V- Rôles des mycoendophytes

### V-1- Nutrition et croissance

Le champignon tire des végétaux une partie des substances carbonées formées au cours de la photosynthèse et utilise ces substances pour son métabolisme (Peter et al., 2013). Le champignon, améliore la nutrition hydrique et minérale de la plante hôte car ses hyphes sont capables d'explorer un volume de sol plus important que le volume exploré par les racines. Il peut améliorer l'absorption des éléments nutritifs par l'hôte comme la fixation de l'azote et l'assimilation du phosphore, et ils régulent les qualités nutritionnelles (Nassar et al., 2005 ; Tan et Zou, 2001 ; Waller et al., 2005 ; Zhang et al., 2006). Ils contribuent à un phénomène nommé « Pédaler des nutriments » qui est un processus vital qui consiste à équilibrer les nutriments et à les rendre disponibles pour chaque composante de l'écosystème (Mishra et al., 2014).

Les champignons endophytes facilitent l'absorption des éléments nutritifs pour les plantes, ce qui conduit à la stimulation de la croissance. Ceci peut avoir des effets indirects positifs sur les autres fonctions bien connues, telles qu'une tolérance au stress ou une résistance accrue aux agents pathogènes chez les plantes (Kageyama et al. 2008). Ils peuvent aider les hôtes à produire des molécules. L'endophyte *Piriformospora indica* augmente la croissance de l'hôte par la production de phytohormones, tels que l'acide indole-3-acetic (IAA), acide indole-3-pyruvic (IPA), cytokinines et d'autres substances de la croissance

comme les vitamines (Tan et Zou, 2001 ; Nassar et *al.*, 2005 ; Waller et *al.*, 2005 ; Zhang et *al.*, 2006).

### **V-2- Champignons endophytes comme source de produits naturels bioactifs**

Les champignons endophytes sont considérés comme un important réservoir de nouveaux métabolites secondaires bioactifs (Strobel et *al.*, 2004 ; Tan et Zou, 2001). Ils produisant le plus grand nombre de métabolites secondaires par rapport aux autres catégories de microorganismes (Zhang et *al.*, 2006). Ainsi qu'une grande diversité structurale comprenant des alcaloïdes (amines, amides...), peptides, stéroïdes, terpénoïdes, phénols, quinones, composés aliphatiques, flavonoïdes etc (Yu et *al.*, 2010). Ces substances naturelles produites par les champignons endophytes possèdent un large spectre d'activité biologique (Zhang et *al.*, 2006), comprenant des composés antibiotiques, antifongiques, antiviraux, immunosuppresseurs, agents anticancéreux, antioxydants, insecticides et autres substances biologiquement actives (Strobel et *al.*, 2004 ; Strobel et Daisy, 2003).

### **V-3- Rôle écologique**

Les champignons endophytes reçoivent la nutrition, la protection, et la possibilité de se propager grâce à leurs hôtes; et en retour la plante hôte bénéficie aussi de certains avantages procurés par l'endophyte (Clay et Schardl, 2002). Ce dernier joue un rôle important dans la communauté écologique, dans le but de réduire l'ampleur de la dégradation de l'environnement, de la perte de biodiversité et de la détérioration des sols et des eaux provoquée par un excès d'insecticide organique toxique, d'égouts industriels et de poisons des gaz. La lutte biologique utilisant des endophytes comme nouvelle méthode efficace est de plus en plus utilisée pour assainir l'environnement et tuer des insectes ou des agents pathogènes (Guo et *al.*, 2008).

Le succès de la phytoremédiation dépend de la capacité des microbes et de la plante à tolérer et à accumuler de fortes concentrations de polluants, tout en produisant une biomasse importante. Les associations de microbes de plantes tolérantes aux polluants ont fait l'objet d'une attention particulière en raison du potentiel de microorganismes pour la bioaccumulation de métaux lourds et d'autres polluants de l'environnement ou de son amélioration de la croissance des plantes et de l'absorption de polluants du sol par les plantes par la mobilisation / immobilisation d'un polluant. La recherche sur les organismes endophytes associés aux plantes pour l'amélioration de la phytoremédiation représente une avenue prometteuse. Les études passées ont privilégiés la recherche portant sur les bactéries

endophytes pour assister à la phytoremédiation, et peu de choses sont connues parmi les champignons endophytes et leur association avec les plantes (Li et *al.*, 2012).

L'un des avantages de l'utilisation de champignons pour la phytoremédiation *in situ* est la capacité de couvrir et de pénétrer de grandes surfaces par des hyphes. Les champignons ont un mécanisme pour décomposer la lignine, la cellulose et l'hémicellulose, qui présentent des structures récalcitrantes différentes. Les espèces les plus étudiées sont les *Basidiomycètes*, les *Trametes*, les *Phanerochaete*, les *Pleurotus*, les *Bjerkandera*, les *Coriollopsis* et plusieurs autres *Aspergillus*, *Trichoderma* et *Fusarium*. Les oxydases dérivées des champignons les plus importantes sont les laccases, les peroxydases, les polysaccharides lytiques et les monooxygénases qui peuvent dégrader différents composés et d'autres enzymes fongiques impliquées dans la minéralisation du xénobiotique. De futures expériences seront nécessaires pour évaluer plus en profondeur les rôles et les mécanismes des endophytes (Parmar et *al.*, 2018).

Les champignons endophytes ont une très grande plasticité de développements et sont aussi sources de nombreux métabolites secondaires (Tan et Zou, 2001; Schulz et *al.*, 2002; Hyde et Soyong, 2008). Lors de la phytoremédiation des métaux lourds, les endophytes résistants aux métaux lourds peuvent améliorer la croissance des plantes, réduire la phytotoxicité des métaux et affecter la translocation et l'accumulation de métaux chez les plantes. Pour la phytoremédiation des contaminants organiques, les endophytes peuvent produire diverses enzymes qui dégradent les contaminants organiques et réduisent à la fois la phytotoxicité et l'évapotranspiration des contaminants volatils (Li et *al.*, 2012). Van Aken et *al.* (2004) ont signalé que le nouveau endophyte *Methylobacterium populum* sp, sont impliqués dans la dégradation de composés énergétiques tels que le 2,4,6-trinitrotoluène, l'hexahydro-1,3,5-trinitro-1,3,5-triazine et l'hexahydro-1,3,5 -trimtro-1,3,5-triazine. Il a été signalé que les plantes inoculées avec une souche d'endophyte artificielle présentaient une tolérance accrue au toluène et une diminution de la transpiration du toluène dans l'atmosphère (Parmar et *al.*, 2018).

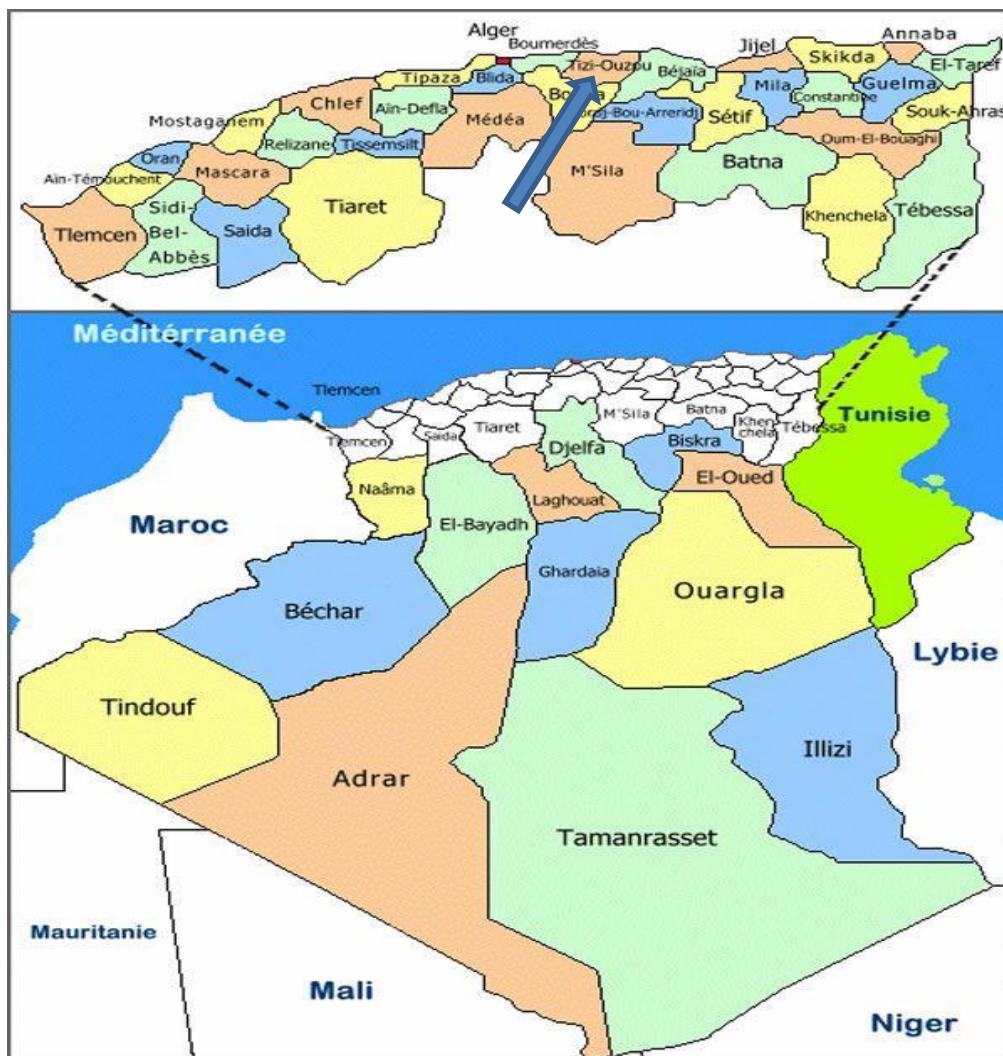
La phytoremédiation a certaines contraintes, telles que la phytotoxicité, le ralentissement de la croissance des plantes, la faible production de biomasse, la dégradation lente des métaux lourds, l'absorption limitée de contaminants et l'évapotranspiration de contaminants volatils; par conséquent, l'application de la phytoremédiation est limitée dans la plupart des cas (Parmar et *al.*, 2018). Elle se base sur les processus vitaux des microbes pour décomposer ces déchets et est devenu possible grâce à la diversité microbienne innombrable. Les microbes en tant que biosorbants sont écologiques et rentables et peuvent constituer une

alternative efficace pour la dépollution des environnements contaminés par des métaux lourds. Les microbes ont divers mécanismes de séquestration des métaux qui maintiennent de plus grandes capacités de biosorption des métaux. La biosorption microbienne a pour objectif d'éliminer et / ou de récupérer les métaux et les métalloïdes des solutions en utilisant de la biomasse vivante ou morte et ses composants (Bernard et Oluranti, 2017).

Les dernières études ont montré que les champignons septés foncés sont les champignons dominants dans les sites contaminés par des métaux, ils colonisent à la fois les herbacées et les plantes ligneuses, et en particulier les racines des plantes hyperaccumulatrices des métaux (Hughes, 2016). Bien que les métaux lourds soient toxiques pour les plantes, il a été démontré que beaucoup de plantes sont tolérantes au métal et que certaines ce sont des hyperaccumulateurs métalliques (Li et *al.*, 2012).

### I- Description de la zone d'étude :

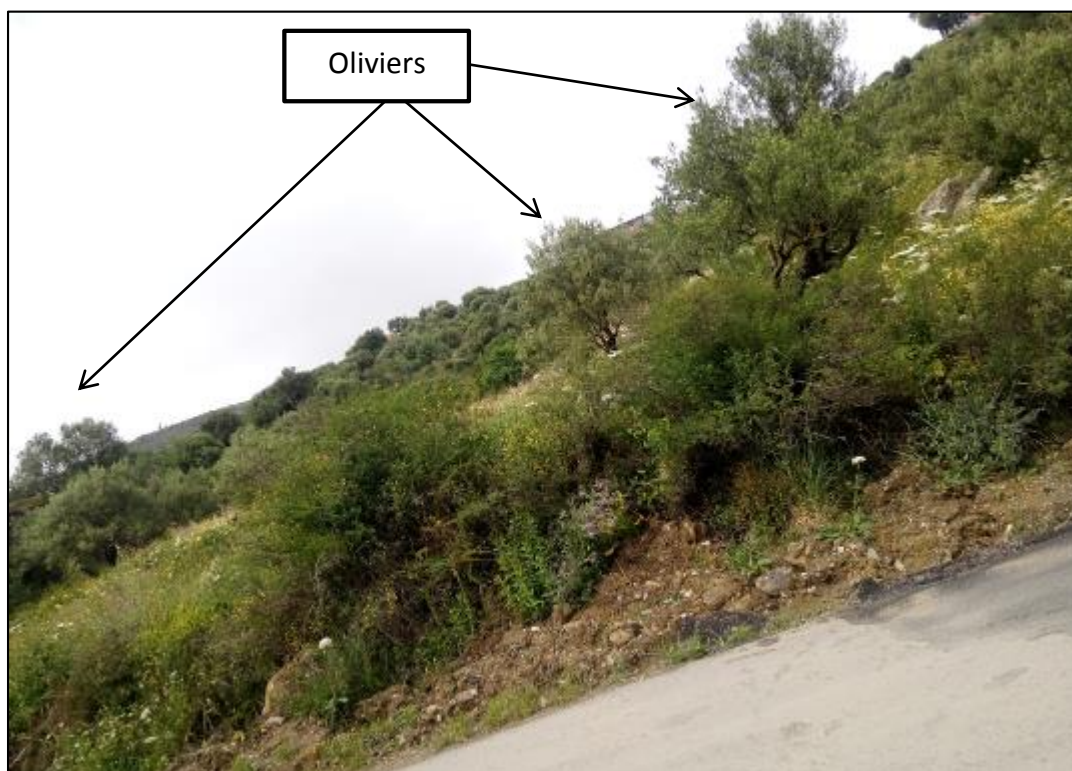
La Wilaya de Tizi-Ouzou est située sur le littoral Centre du pays à 110 km de la capitale, Alger. Elle s'étend sur une superficie de 2992.92 km<sup>2</sup>. Elle est limitée par : La mer méditerranée au nord, la wilaya de Bouira au sud, la wilaya de Boumerdes à l'ouest et la wilaya de Bejaia à l'est (Figure 3). L'étude a été réalisée dans deux stations à la wilaya de Tizi-Ouzou, l'une est une zone urbaine considérée comme la plus encombrée de la ville de Tizi-Ouzou, au niveau de l'Habitat (Krim Belkacem) (Figure 4) au nord de la ville de Tizi-Ouzou, et l'autre dans une zone montagneuse loin des voies de circulation (Attouche) (Figure 5) dans la commune de makouda située à 30 km de la ville de Tizi-Ouzou.



**Figure 3:** localisation de la wilaya de Tizi-Ouzou (google .Fr)



**Figure 4:** boulevard Krim Belkacem (Sad chaouche, 2019).



**Figure 5 :** station d'Attouche (Sad chaouche, 2019).

## II- Bioclimat de la zone d'étude

La ville de Tizi-Ouzou bénéficie d'un climat typiquement méditerranéen, chaud et sec en été, humide et pluvieux en hiver. Etant donné sa proximité avec la station météorologique de Boukhalfa d'où sont issues nos données météorologiques thermiques et pluviométriques pour la ville de Tizi-Ouzou, nous avons pensé qu'il n'était pas nécessaire de réaliser des extrapolations à partir de cette ville pour caractériser le climat de Attouche.

Tizi-Ouzou affiche une température moyenne annuelle de 19.19 °C selon l'ONM de Tizi-Ouzou. Les mois juillet et août sont les plus chauds avec une température moyenne mensuelle de 28.65 °C et le mois de janvier est le plus froid avec une température moyenne mensuelle de 11°C (Tableau 2). La pluviométrie moyenne annuelle est de 68,95 mm. D'après ces données, nous remarquons une irrégularité dans la distribution des précipitations moyennes mensuelles. La moyenne maximale est enregistrée au mois de janvier 137,87 mm, et la moyenne minimale aux mois de juillet 2,25 mm et août 5,86 mm.

**Tableau 3** : données thermiques et de précipitations de la commune de Tizi-Ouzou (ONM, 2001-2017)

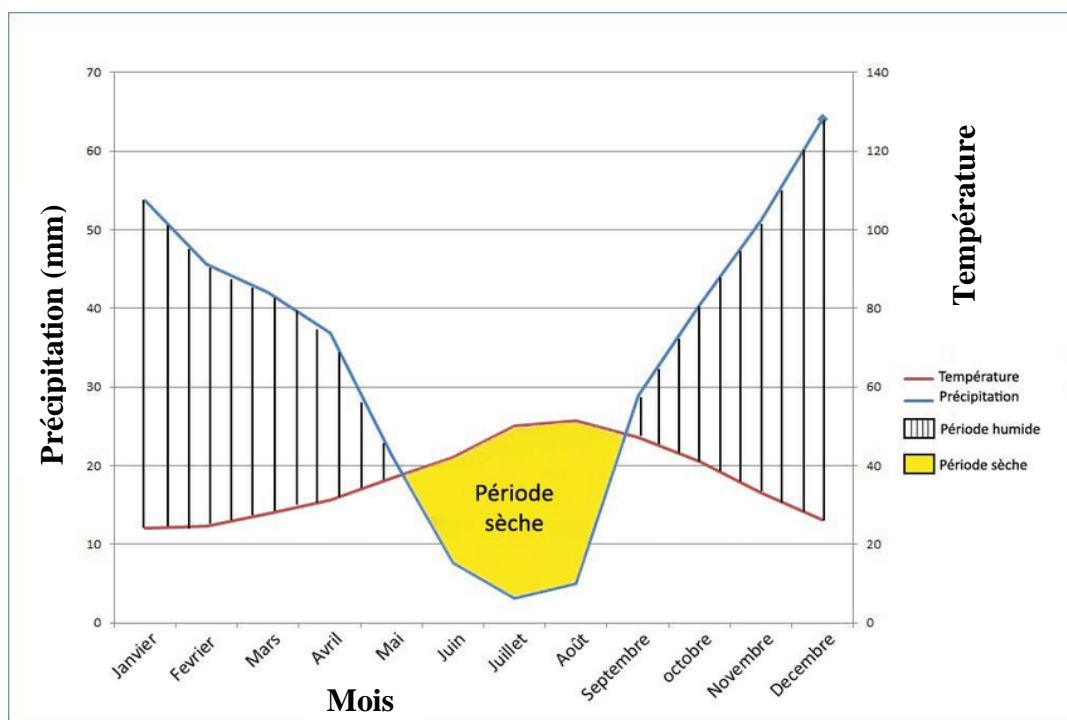
Données météorologiques Mois	TM(°C)	Tm (°C)	(M+m) °C	Précipitations
Janvier	15.6	6.4	11	137.87
Février	16.2	6.9	11.55	98.61
Mars	19.4	8.8	14.1	92.93
Avril	22.2	11.1	16.65	75.32
Mai	26.3	14.1	20.2	60.97
Juin	32	18.1	25.05	11.2
Juillet	35.9	21.4	28.65	2.25
Août	35.3	22	28.65	5.86
Septembre	31.1	18.7	24.9	36.39
Octobre	27.9	15.9	21.9	58.10
Novembre	19.9	11.4	15.65	117.55
Décembre	16.4	7.7	12.05	130.40
Total	298.2	162.5	230.35	827.45
Moyenne	24,85	13,54	19,19	68,95

**TM** : températures mensuelles maximales en (°C)  
**Tm** : températures mensuelles minimales en (°C)  
**(M+m) / 2** : températures moyennes mensuelles (en °C)  
**P** : précipitations.

• **Diagramme de Bagnouls et Gaussen.**

Selon Mutin (1977), le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen permet de définir les périodes sèches. C’est un mode de représentation classique du climat d’une région déterminée (Dajoz, 2000). Bagnouls et Gaussen (1953), définissent un mois sec comme celui où les précipitations exprimées en millimètres, sont inférieure ou égales au double de la température moyenne en °C. C’est-à-dire lorsque le rapport (**P=2T**).

La figure 6 montre que la période sèche s’étale aussi sur quatre mois, de fin Mai jusqu’à la fin de mois de septembre, tandis que la période humide s’étale d’octobre à la fin du mois Mai.



**Figure 6** : diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen de la commune de Tizi-Ouzou (ONM de Tizi-Ouzou 2001-2017)

### III- Echantillonnage sur le terrain

Le matériel biologique utilisé est constitué de feuilles d'olivier (*Olea europaeae*). L'échantillonnage a été fait au mois de « Mai 2019 », et a été réalisé sur deux sites différents Attouche et Krim Belkacem de la Wilaya de Tizi-Ouzou. La récolte a été faite tout autour de l'arbre d'une manière subjective. Cinq arbres d'un bon état sanitaire ont été choisis dans chaque station. Une fois récoltées, les feuilles ont été mises dans des sacs en papiers et ramener au laboratoire pour les conserver au réfrigérateur avant la mise en culture. Cette dernière ne doit pas dépasser 24h à 36h entre la cueillette des feuilles et la mise en culture au laboratoire, afin d'éviter la pourriture des feuilles qui entraîne la prolifération des souches pathogènes.

#### III-1- Mise en culture des feuilles

##### III-1-1- Stérilisation superficielle

Une fois au laboratoire, **une stérilisation superficielle** a été réalisée pour les feuilles (10 feuilles de chaque arbre ont été isolées et stérilisées. Le but de la stérilisation superficielle est d'éliminer les organismes épiphytes qui demeurent au niveau de phylloplan. Pour cela, nous avons adopté le protocole de Helander et *al.*, (1994).

- Traitement à l'éthanol 95% pour une durée de 2 minutes ;
- Rinçage à l'eau distillée stérilisée ;
- Traitement à l'eau de javel pour une durée de 03 minutes ;
- 2<sup>ème</sup> rinçage à l'eau distillée stérilisée ;
- 2<sup>ème</sup> traitement à l'éthanol 95% pour une durée de 30 secondes ;
- 3<sup>ème</sup> rinçage à l'eau distillée stérilisée.

Une fois stérilisées, les feuilles sont séchées en utilisant du papier stérile. Elles sont ensuite coupées à l'aide d'un bistouri stérilisé. Les fragments de folioles obtenus sontensemencés sur les milieux de culture P.D.A. Toutes ces opérations se réalisent entre deux becs benzen.

##### III-1-2-mise en culture:

Nous avons utilisé un milieu semi-synthétique P.D.A (Potato-Dextrose-Agar) dont la composition est la suivante :

- 200 g de pomme de terre ;
- 20 g de glucose ;
- 20 g d'agar-agar ;
- 1000 ml d'eau distillée.

### **III-1-2-1- Préparation et stérilisation**

Pour se faire, les pommes de terre sont lavées pelées et coupées en petits dés, elles sont ensuite cuites dans 200 ml d'eau pendant 15 min. Le mélange obtenu est filtré puis versé dans un erlen meyer qu'on place sur un agitateur chauffant. On rajoute au filtrat le glucose et l'agar-agar, puis on complète le volume à 1000 ml avec de l'eau distillée. L'erlen meyer est retiré de l'agitateur lorsque le milieu est homogène. Une fois le milieu est prêt, il est transvasé dans des flacons, puis placé à l'étuve pour la stérilisation à (120°C) pendant 20 minutes. Entre deux bcs benzen quelques gramme d'antibiotique sont rajoutés au milieu préparé avant d'être coulé dans des boites de Pétri.

10 feuilles par sujet ont été choisies pour la mise en culture, chacune est découpée en 5 fragments. Les fragments sont déposées sur le milieu à raison de 5 fragments/ boîte de Pétri, au total 500 fragments sont répartis sur le milieu de culture PDA. Toutes les manipulations sont réalisées entre deux bcs benzen pour éviter toute contamination venant de l'extérieur. Chaque boîte de Pétriensemencé est considérée comme une unité de culture.

### **III-2- Identification :**

#### **III-2-1- identification macroscopique :**

L'identification a été faite à l'œil nu, en se basant essentiellement sur les caractéristiques des cultures telles que l'aspect général de la surface de la colonie, sa texture et sa pigmentation (Suryanarayanan et *al.*, 2003).

#### **III-2-2- identification microscopique**

L'observation microscopique des champignons consiste à étudier la morphologie d'une colonie au niveau de laquelle les pycnides, asques, zygospores, sclérotés, chlamydospores et basides sont identifiés. Les spores, ainsi que leurs dispositions (solitaire, chaîne, bouquet) sont observées à l'aide de plusieurs clés de détermination.

### III-3-Analyse statistique

#### ❖ La fréquence de colonisation (FC)

Calculée selon la méthode de Fiesher et Petrini (1978) donnée comme suit :

$$FC (\%) = \frac{Nc}{Nt} \times 100$$

**Fc** : fréquence de colonisation ;

**(Nc)** : le nombre de fragments colonisés par les champignons endophytes ;

**(Nt)** : le nombre total de fragments.

#### ❖ Calcul d'abondance :

$$A(\%) = \frac{Ng}{Nt} \times 100$$

**A** : abondance des genres ;

**Ng** : nombre de fois que le genre est recensé dans un sujet ;

**Nt** : ensemble de boites ayant fructifié.

- ❖ Une analyse de variance faite à l'aide du logiciel Stat Box 6.40, pour mettre en évidence la présence de différences significatives en diversité de mycoendophytes entre les deux stations d'étude.
- ❖ Pour montrer les genres qui présentent des interactions importantes une matrice de corrélation a été faite.
- ❖ Pour étudier les répartitions des différents genres de champignons endophytes en fonction des sites d'études, une ACP (Analyse en Composante Principale) a été réalisée à l'aide du logiciel Stat Box 6.40.

## I- Fréquence de colonisation

### Résultats

Après 2 mois d'incubation à température ambiante, les résultats que nous avons obtenu démontrent que les feuilles de l'olivier (*Olea europea*) des deux stations Krim Belkacem et Attouche dans la wilaya de Tizi-Ouzou, mises en culture ont une fréquence de colonisation très élevée par les mycoendophytes. Caractérisée par une moyenne de 88,2%.

Nous constatons également que la fréquence de colonisation de Krim Belkacem est plus importante qu'à Attouche avec une moyenne de 94% contre 82,4%. 2 sujets sur 10 ont montré un taux de colonisation de 100% (le sujet 4 dans la station Attouche et le sujet 2 dans la station Krim Belkacem). D'autres sujets montrent des fréquences de colonisation moins importantes, réparties comme suit : S3 et S5 avec 94% suivi par S4 avec 92% et par S1 avec 90% dans la station Krim Belkacem. Dans la station Attouche les fréquences sont réparties comme suit : S5 avec 94% suivi par S1 avec 78% ainsi que S2 et S3 avec 70% (Tableau 3).

**Tableau 3** : fréquences de colonisation (FC%) par des mycoendophytes foliaires isolés à partir des feuilles de l'olivier dans les deux stations Attouche et Krim Belkacem dans la wilaya de Tizi-Ouzou après 2 mois d'incubation à température ambiante.

Sujets station 1 Attouche	(FC%)	Sujets station 2 Krim Belkacem	(FC%)
S1	78	S1	90
S2	70	S2	100
S3	70	S3	94
S4	100	S4	92
S5	94	S5	94
<b>Moyenne</b>	82,4 ± 12,41	<b>Moyenne</b>	94 ± 3,46
<b>Moyenne Générale</b>	88,2 ± 7.93***		

S : différence très hautement significative entre les deux stations

L'analyse de variance type ANOVA révèle une différence hautement significative (P=0,00) entre les fréquences de colonisation par les mycoendophytes foliaires entre les deux stations Attouche et Krim Belkacem.

## Discussion

Les champignons endophytes peuvent être découverts chez toutes les feuilles de plantes et dans différentes régions du monde (Petrini et Carroll, 1981 ; Petrini *et al.*, 1992 ; Larran *et al.*, 2002). Ils sont de nature omniprésente et ont été isolés avec succès dans un large éventail d'hôtes appartenant à un large éventail de conditions environnementales (Parmar *et al.*, 2018). Ils procurent à la plante qui l'héberge plusieurs avantages. Ainsi, les plantes colonisées par les endophytes tolèrent mieux les différents stress tel que le déficit hydrique, les attaques de champignons pathogènes ou les ultraviolets (White et Torres, 2010). Ils jouent un rôle clé dans l'adaptation des plantes hôtes aux environnements pollués par l'amélioration de la phytoremédiation en mobilisant / dégradant ou en immobilisant les contaminants présents dans le sol, en favorisant la croissance des plantes, en réduisant la phytotoxicité et en améliorant la capacité de tolérance aux métaux des plantes (Li *et al.*, 2018).

Les résultats de notre étude sont en cohérence avec plusieurs études faites précédemment sur la colonisation de l'olivier par les mycoendophytes, comme l'étude menée par Moral *et al.* (2017) au sud de l'Espagne sur les branches de l'olivier qui a noté une fréquence de colonisation très importante. Aussi l'étude faite par Materatski *et al.* (2018), au sud du Portugal sur les feuilles de l'olivier qui ont trouvé des isolats fongiques dans tous les échantillons testés avec un taux de colonisation égal à 100%.

Plusieurs études ont démontré que des conditions environnementales (précipitations et température) jouent un rôle très important dans le taux de colonisation par les mycoendophytes (Materatski *et al.*, 2018). Les champignons préfèrent les conditions sombres et humides, leur croissance dépend d'un pourcentage relativement élevé d'humidité dans l'environnement (Rye *et al.*, 2019). L'étude de Gnago *et al.* (2004) prouve que l'infection des hôtes par les champignons exige des conditions d'humidité relatives de saturation, pour permettre la libération des conidies, et d'assurer la sporulation et l'infection (Sun *et al.*, 2011). Les précipitations élevées au printemps peuvent améliorer la dispersion des spores fongiques (Saifeldin *et al.*, 2013 ; Collado *et al.*, 1999). De plus, les températures modérées permettraient une plus grande viabilité des propagules fongiques et donc leur succès dans la colonisation des tissus végétaux (Collado *et al.*, 1999). Ceci explique la fréquence de colonisation élevée des deux stations, étant donné que l'échantillonnage a été fait au printemps dans une période où le taux de précipitations était assez modéré et les températures ambiantes à cette période qui varient entre 20°C et 25°C.

Nous constatons également que la fréquence de colonisation de Krim Belkacem est plus importante qu'à Attouche, ceci est fortement corrélé avec le microclimat et la localisation géographique, ont prouvé les études de : [Smith et *al.* (1996) ; Rubini et *al.*, (2005) ; Bokulichet *al.* (2018) et Li et *al.* (2018)]. Aussi (Bernard et Oluranti, 2017), Haouche (2018) ; Chikdene (2019) ont également prouvé que le taux d'endophytes dans un site dépend de la quantité de métaux lourds sur ce site. Les deux stations appartiennent à deux microclimats différents. La différence de conditions d'environnement entre les deux stations peut être la cause de la différence de fréquence de colonisation entre ces deux stations. Notant que la station Krim Belkacem est la station la plus exposée à la pollution notamment les métaux lourds qui ont pour origine les carburants des véhicules circulant sur la voie routière.

Les microbes ont divers mécanismes de séquestration des métaux qui maintiennent de plus grandes capacités de biosorption des métaux. La biosorption microbienne a pour objectif d'éliminer et / ou de récupérer les métaux et les métalloïdes des solutions en utilisant de la biomasse vivante ou morte et ses composants (Bernard et Oluranti, 2017). Ceci explique le rôle que jouent les endophytes dans la phytoremediation.

## **I-2- Diversité et abondance des mycoendophytes recensés**

### **- Résultats**

Dans cette étude, nous avons identifié 19 genres fongiques (Tableau 4) appartenant à trois phylums différents, 84% sont des Ascomycètes. Ce phylum est représenté par 16 genres différents. Il est suivi par le phylum des Basidiomycètes (11%), qui comprend 2 genres. Les Zygomycètes sont aussi présents (5%), dont nous avons recensé un seul genre fongique.

**Tableau 4 :** classification des différents genres fongiques isolés à partir des feuilles de l'olivier dans les deux stations Krim Belkacem et Attouche

<b>Genres</b>	<b>Phylum</b>	<b>Ordre</b>	<b>Famille</b>
<i>Aspergillus</i>	Ascomycota	Eurotiales	Trichocomaceae
<i>Alternaria</i>	Ascomycota	Pleosporales	Pleosporaceae
<i>Aureobasidium</i>	Ascomycota	Dothideales	Dothioraceae
<i>Bipolaris</i>	Ascomycota	Pleosporales	Pleosporaceae
<i>Chaetomium</i>	Ascomycota	Sordariales	Chaetomiaceae
<i>Cladosporium</i>	Ascomycota	Capnodiales	Davidielleceae
<i>Epicoccum</i>	Ascomycota	Pleosporales	Leptosphaeriaceae
<i>Exophiala</i>	Ascomycota	Chaetothyriales	Herpotrichiellaceae
<i>Mucor</i>	Ascomycota	Mucorales	Mucoraceae
<i>Muscodor</i>	Ascomycota	Xylariales	Xylariaceae
<i>Neoscytalidium</i>	Ascomycota	Botryosphaeriales	Botryosphaeriaceae
<i>Phoma</i>	Ascomycota	Sphaeropsidales	Sphaeriodaceae
<i>Penicillium</i>	Ascomycota	Pleosporales	Pleosporaceae
<i>Rhodotorula</i>	Basidiomycota	Sporidiobolales	Sporidiobolaceae
<i>Rhizoctonia</i>	Basidiomycota	Cantharellales	Ceratobasidiaceae
<i>Rhizopus</i>	Zygomycota	Mucorales	Mucoraceae
<i>Scopulariopsis</i>	Ascomycota	Microascales	Microascaceae
<i>Stemphylium</i>	Ascomycota	Pleosporales	Pleosporaceae
<i>Trichophyton</i>	Ascomycota	Onygenales	Arthrodermataceae

### I-3- Abondance des genres fongiques

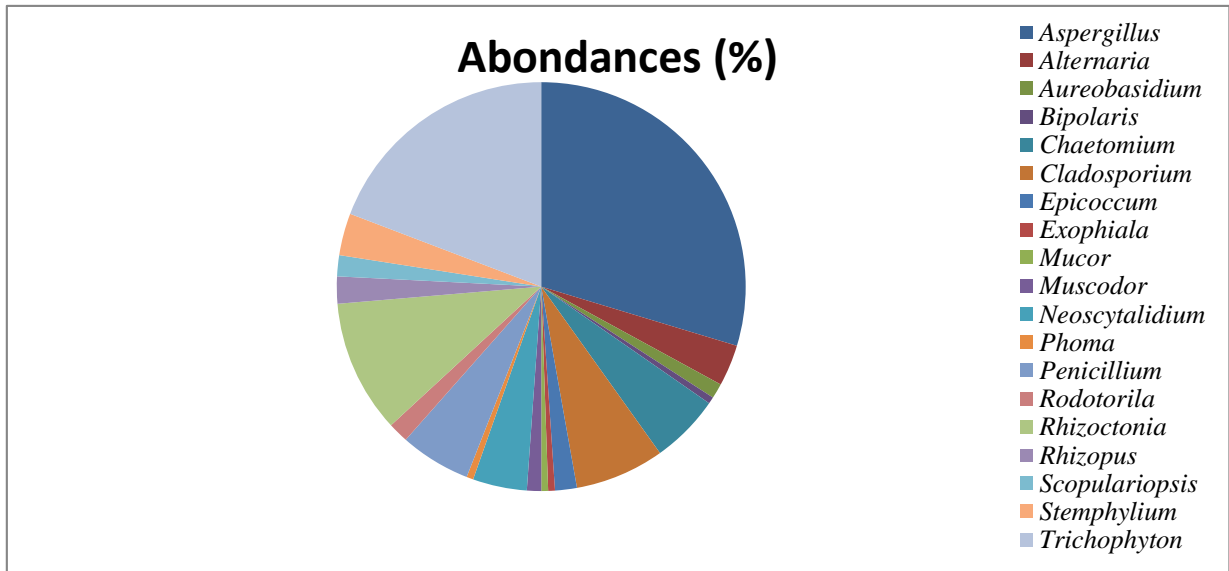
Les abondances des différents genres fongiques recensés dans les feuilles des deux stations Attouche et Krim Belkacem sont données dans le tableau 5 et figure 7, et les images d'identification des genres les plus abondants sont montrées dans la (figure 8 et 9).

**Tableau 5 :** Abondance des genres fongiques isolés à partir des feuilles de l'olivier dans les deux stations Attouche et Krim Belkacem.

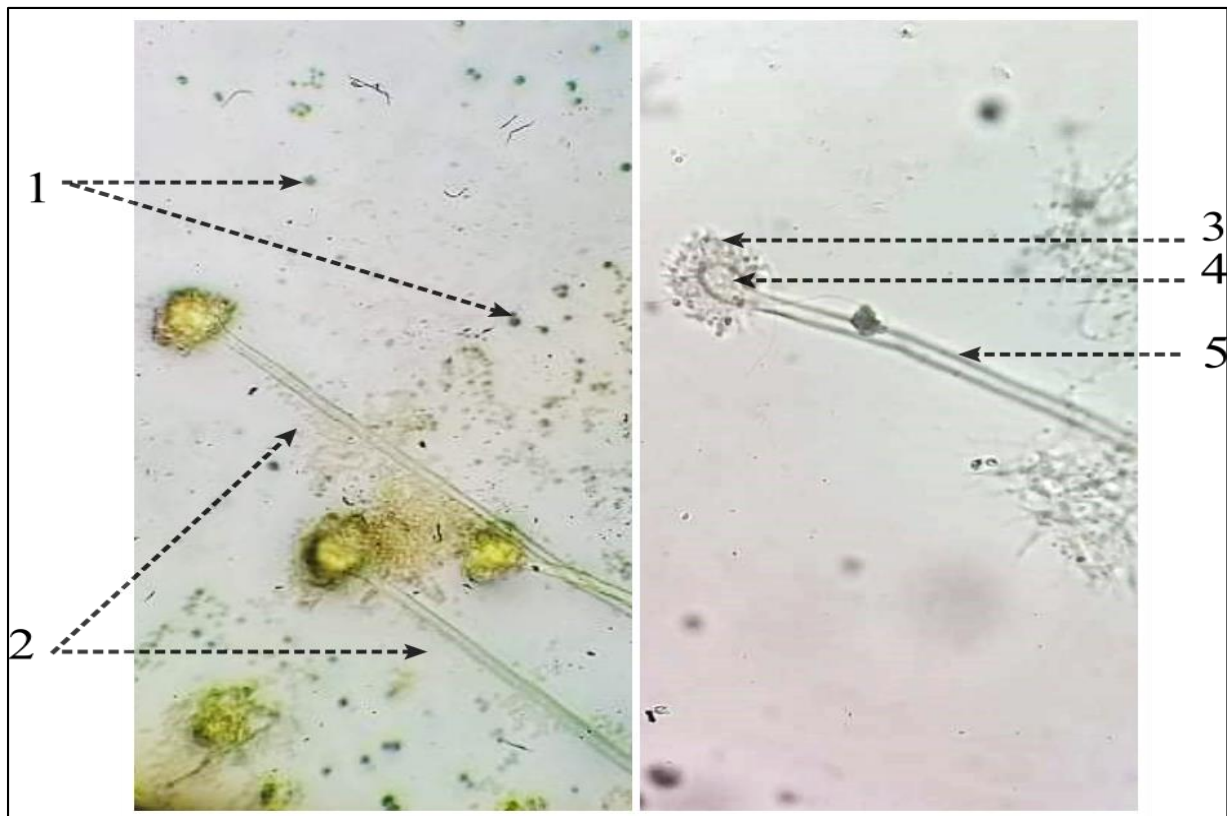
<b>Genres</b>	<b>Abondances (%)</b>
<i>Aspergillus</i>	<b>28,06</b>
<i>Alternaria</i>	3,09
<i>Aureobasidium</i>	1,11
<i>Bipolaris</i>	0,50
<i>Chaetomium</i>	<b>5,16</b>
<i>Cladosporium</i>	<b>6,68</b>
<i>Epicoccum</i>	1,63
<i>Exophiala</i>	0,50
<i>Mucor</i>	0,50
<i>Muscodor</i>	<b>6,13</b>
<i>Neoscytalidium</i>	4,05
<i>Phoma</i>	0,50
<i>Penicillium</i>	<b>5,28</b>
<i>Rodotorula</i>	1,52
<i>Rhizoctonia</i>	<b>9,95</b>
<i>Rhizopus</i>	2,02
<i>Scopulariopsis</i>	1,57
<i>Stemphylium</i>	3,14
<i>Trichophyton</i>	<b>18,16</b>

A partir des données ci-dessus, nous déduisons que les feuilles de l'olivier possèdent une abondance en champignons endophytes classée de plus au moins abondant comme suit (Figure 7) : *Aspergillus* (55,44%), suivi par *Trichophyton* (35,88%), *Rhizoctonia* (19,66%), *Cladosporium* (13,2%), *Muscodor* (12,11%), *Penicillium* (10,44%), *Chaetomium* (10,21%), *Neoscytalidium* (8%), *Stemphylium* (6,22%) et *Alternaria* (6,11%), *Rhizopus* (4%),

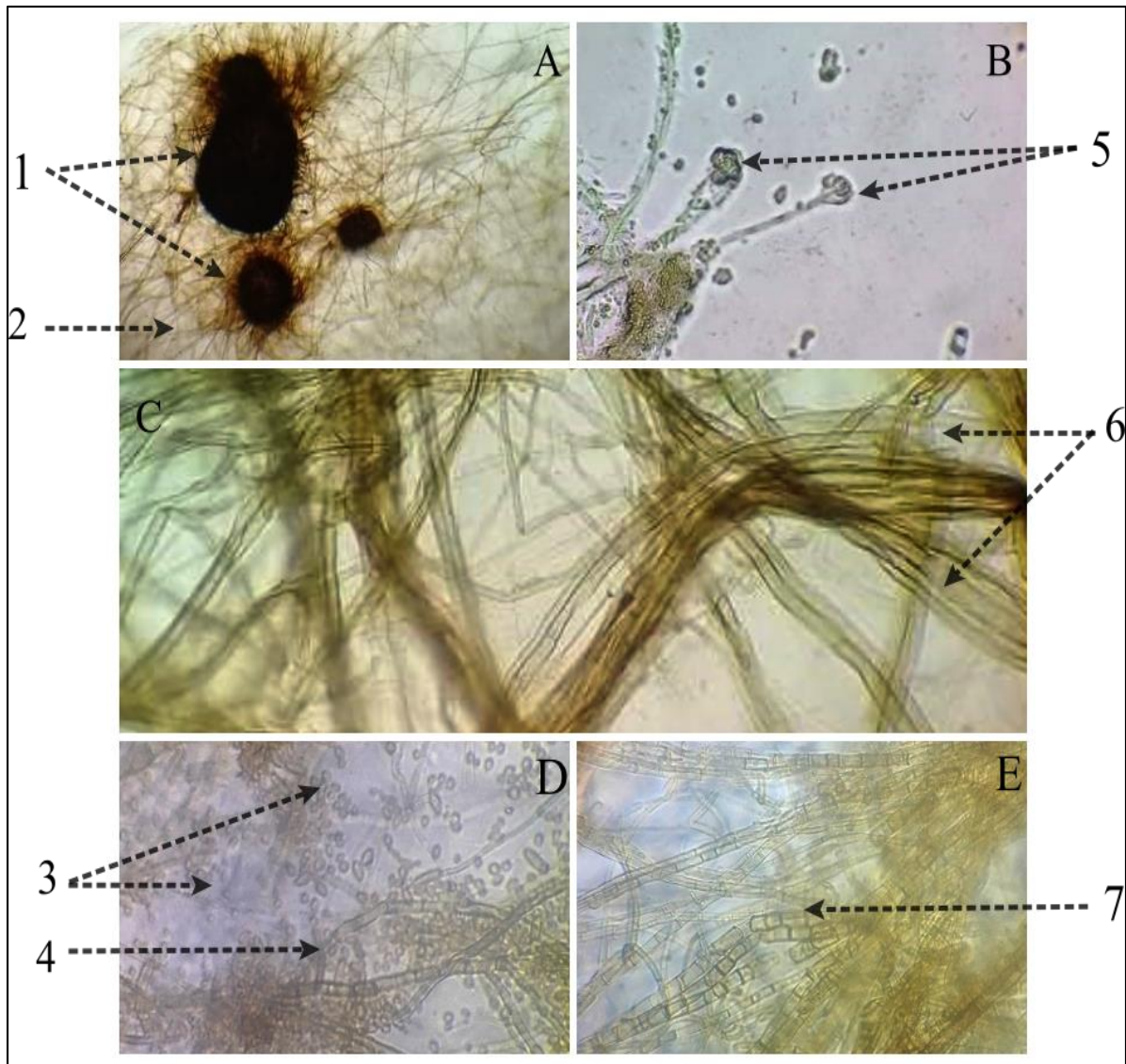
*Scopulariopsis* (3,11%), *Epicoccum* (22%), *Rodotorula* (3%), *Aureobasidium* (2,21%), *Mucor*, *Exophiala*, *Phoma* et *Bipolaris* (1%).



**Figure 7:** abondance des genres fongiques recensés des feuilles de l’olivier dans les deux stations Attouche et Krim Belkacem.



**Figure 8 :** photo du genre fongique *Aspergillus* observé sous microscope optique au grossissement ( $G \times 400$ ). 1- spores ; 2- conidiophores ; 4- vésicule ; 5- conidiophores.



**Figure 9** : photos des genres fongiques dominants recensés des feuilles de l'olivier observés avec différents grossissements (Gr  $\times$  100) et (Gr  $\times$  400). A-*Chaetomium* observé au grossissement (G  $\times$ 100) ; B- *Penicillium* observé au grossissement (G  $\times$ 400) ; C- *Muscodor* observé au grossissement (G  $\times$ 400) ; D- *Trichophyton* observé au grossissement (G  $\times$ 400) ; E- *Rhizoctonia* observé au grossissement (G $\times$ 400). 1-Cléistothèces ; 2- filaments ; 3- spores ; 4- filaments septés ; 5- conidies ; 6- filaments mycéliens ; 7- filaments septés.

#### I-4- Comparaison de la diversité et de l'abondance des différents genres fongiques entre les deux stations

La comparaison de la diversité et de l'abondance en mycoendophytes foliaires de feuille de l'olivier des deux stations Krim Belkacem et Attouche est donnée dans le tableau 6.

**Tableau 6** : tableau comparatif des abondances des genres fongiques recensés au niveau des feuilles de l'olivier dans les deux stations. (relativiser

Genres identifiés à Krim Belkacem	Abondances des genres à (Krim Belkacem) (%)	Genres identifiés à Attouche	Abondances des genres identifiés à (Attouche) (%)
<i>Aspergillus</i>	34,66	<i>Aspergillus</i>	28,06
<i>Alternaria</i>	7,08	<i>Aureobasidium</i>	0,56
<i>Chaetomium</i>	4,64	<i>Bipolaris</i>	1,01
<i>Cladosporium</i>	7,08	<i>Chaetomium</i>	3,70
<i>Epicoccum</i>	3,73	<i>Cladosporium</i>	4,27
<i>Exophiala</i>	1,16	<i>Mucor</i>	1,01
<i>Neoscytalydium</i>	2,32	<i>Muscudor</i>	2,13
<i>Penicillium</i>	3,73	<i>Neoscytalydium</i>	6,07
<i>Rhizoctonia</i>	14,30	<i>Penicillium</i>	7,31
<i>Scopulariopsis</i>	2,32	<i>Phoma</i>	1,01
<i>Stemphylium</i>	3,60	<i>Rhizoctonia</i>	8,43
<i>Trichophyton</i>	15,33	<i>Rhizopus</i>	2,02
		<i>Rodotorula</i>	3,03
		<i>Scopulariopsis</i>	2,13
		<i>Stemphylium</i>	3,14
		<i>Trichophyton</i>	23,06

A partir du tableau précédent, nous avons identifié un nombre de 16 genres dans la station Attouche contre 12 genres dans la station Krim Belkacem, nous remarquons également l'absence totale des genres *Aureobasidium*, *Bipolaris*, *Mucor*, *Muscudor*, *Phoma*, *Rhizopus* et *Rhodotorula* dans la station Krim Belkacem et l'absence des genres *Alternaria*, *Epicoccum*, *Exophiala* dans la station de Attouche.

Les genres les plus dominants dans la station Krim Belkacem sont, le genre *Aspergillus* 59,77%, suivi par *Trichophyton* 26,44%, *Rhizoctonia* 24,66%, *Alternaria* et *Cladosporium* 12,22%, *Chaetomium* 8%, *Epicoccum* et *Penicillium* 6,44%, et *Stemphylium* 6,22%, *Neoscytalydium* et *Scopulariopsis* 4% et enfin *Exophiala* 2%.

Quant à Attouche les genres sont repartis comme suit, le genre *Aspergillus* est toujours dominant 51,11% suivi par *Trichophyton* 45,55%, *Rhizoctonia* 16,66%, *Chaetomium* et *Penicillium* 14,44%, *Neoscytalidium* 12%, *Cladosporium* 4%, *Stemphylium* 6,22% et *Rhodotorula* 6%, *Scopulariopsis* 4,22%, *Aureobasidium* 4,22%, *Muscodor* 4,22%, *Rhizopus* 4%, enfin *Bipolaris*, *Mucor* et *Phoma* 2%.

## 2- Discussion

Les genres identifiés dans cette étude sont *Aspergillus*, *Aureobasidium*, *Alternaria* ; *Bipolaris*, *Chaetomium*, *Cladosporium*, *Epicoccum*, *Exophiala*, *Mucor*, *Muscodor*, *Neoscytalidium*, *Penicillium*, *Phoma*, *Rhizoctonia*, *Rhizopus*, *Rhodotorula*, *Scopulariopsis*, *Stemphylium*, *Trichophyton*. L'étude de Materatski et *al.* (2018) a démontré que les endophytes suivants : *Aspergillus*, *Aureobasidium*, *Alternaria*, *Cladosporium*, *Epicoccum* *Penicillium*, *Phoma* et *Rhizopus*, sont déjà mentionnés leader de la diversité de l'olivier.

Cette diversité si riche en mycoendophytes au niveau des feuilles de l'olivier, pourrait être due à la saison d'échantillonnage, qui a été fait en printemps. Ceci est en cohérence avec les travaux de Gomes et *al.* (2018) qui ont noté que pendant le printemps, l'humidité créée par la pluie explique les plus grandes diversités et richesses en endophytes. Les précipitations et l'humidité sont les facteurs clés de la diversité des endophytes, façonnant les communautés en raison de leur importance sur la dispersion et la colonisation des spores fongiques (Materatski et *al.*, 2018).

D'après le tableau 4, nous constatons que le phylum Ascomycota est le phylum le plus abondant. Les caractéristiques générales des champignons endophytes sont majoritairement issues du phylum Ascomycota et présentent une grande diversité (Arnold, 2007). Ces résultats sont prouvés par plusieurs études faites telles que : L'étude de [Materatski et *al.* (2018), Sarma et *al.* (2018), Ghasemi et *al.* (2019) et Li et *al.* (2019)].

Il a été constaté que les endophytes cloisonnés sombres toléraient à la pollution environnementale de métaux et accumulaient des métaux lourds in vitro (Krishnamurth et *al.*, 2017).

D'après le tableau 5 nous remarquons une abondance du genre *Aspergillus* suivi par *Trichophyton*, La dominance des *Aspergillus* au sein de cette étude est due au faite que ce genre est xérophile et ubiquiste (Abdullah et *al.*, 1986 ; Madinaveitia 2007). Une étude réalisée sur les espèces *Aspergillus* montre qu'elles tolèrent une large gamme de température

allant de 6°C à 47°C (Pratheeba et al., 2014). *Penicillium* et *Aspergillus* ont été signalés présents dans des opérations de biolixiviation à partir de minerais et de minéraux. L'*Aspergillus flavus*, est très efficace pour éliminer les métaux lourds des sols contaminés (Pervez et al., 2018 ; Li et al., 2012). L'étude de Jalili et al. (2012) basée sur l'élimination des métaux lourds des résidus miniers à l'aide d'une espèce *Aspergillus* qui est *Aspergillus fumigatus* a prouvé que cette espèce est très bénéfique dans la biolixiviation. Petkova et al. (2013) confirment ainsi le rôle de l'endophyte *Aspergillus niger* en milieu pollué et la possibilité de son utilisation dans la bioremédiation des substrats contaminés. L'étude de Achouri (2018) sur la diversité en mycoendophytes foliaires de l'oleastre (olivier sauvage) de la station de Tizi Rached, Tizi Ouzou.

*Penicillium* est considéré comme un agent de lutte biologique (Didier, 2013 ; Amjad, 2019). Il a une capacité à favoriser la croissance des plantes sous stress abiotique, y compris la toxicité des métaux (Amjad et al., 2019). Ce genre a été utilisé pour solubiliser les éléments métalliques et éliminer les métaux lourds dans le sol ou les résidus (Li et al., 2012 ; Pervez et al., 2018).

*Penicillium chrysogenum* est un champignon filamenteux produisant de la pénicilline et résistant aux métaux lourds. La plupart des recherches sur cette espèce se sont concentrées sur le métabolisme lié à la production de pénicilline, la modélisation des conditions de production de pénicilline et la résistance aux métaux lourds. En particulier, en tant que sous-produit de l'industrie pharmaceutique, une attention croissante a été accordée aux absorbants métalliques afin de transformer les déchets solides industriels en ressource. *P. chrysogenum* utilisé comme absorbant du métal est attribué à sa grande capacité d'échange d'ions des parois cellulaires. *Penicillium simplicissimum* a été signalé comme biolixiviant d'éléments métalliques. 63% Cd, 56% Cu, 14% Pb et 54% Zn ont été retirés du sol contaminé après biolixiviation (Li et al., 2014).

Les antagonistes présents sur la phyllosphère tels que *Cladosporium cladosporioides* lorsqu'ils sont appliqués sur des plants de pommiers se sont avérés efficaces pour réduire la sporulation de *Venturia inaequalis* et éliminer les métaux lourds dans le sol ou les résidus (Thakur, 2017).

Des études antérieures de Carroll. (1978) ; Petrini et al., (1982) ; Bills et Polihook. (1992) ; Fisher et al. (1994) ; Hata et Futai. (1996) ; Bayman et al., (1998) ; Arnold. (2001) ; Higgins et al., (2007), ont montré que la diversité, l'abondance et la composition spécifique

des champignons endophytes peuvent être fortement affectées par la localité dans laquelle se trouve la plante.

Les résultats du (Tableau 6) ont relevé un nombre de 16 genres de champignons dans la station Attouche contre 12 genres à la station Krim Belkacem, ceci est en accord avec l'étude de Schmidt et *al.* (2018) qui ont prouvé que la diversité des espèces d'endophytes est plus élevée sur le site non pollué, sachant que dans notre étude la station de Krim Belkacem est la station la plus exposée à la pollution. On a également l'étude de Chehrit (2017) montre une importante diversité en champignons endophytes présents dans les racines de l'oléastre dans la station de Tizi Rached (wilaya de Tizi Ouzou).

Les genres *Aureobasidium*, *Bipolaris*, *Mucor*, *Muscodor*, *Phoma*, *Rhizopus*, *Rodotorula*, sont présents seulement à Attouche et pas à Krim Belkacem, Malgré leur rôle important dans la phytoremediation, ceci peut être expliqué par le fait que pendant la période de l'échantillonnage ils ont été pas au stade endophytes mais au stade épiphytes et c'est pour cela qu'on n'a pas pu les identifier.

Materatski et *al.* (2018) ont prouvé que *Aureobasidium pollutant* signalé comme un agent de lutte biologique et il présente une capacité à favoriser la croissance des plantes sous stress abiotique, y compris la toxicité des métaux (Amjad et *al.*, 2019).

Dans une étude de phytoremediation, l'endophyte *Mucor* améliore le potentiel de phytoremédiation des racines de colza cultivées dans des sols contaminés par du Pb et, il a été démontré que *Mucor* est un endophyte résistant aux métaux lourds (Krishnamurthy et Naik 2017).

*Phoma* est un endophyte omniprésent dans l'environnement, présent dans plusieurs niches écologiques (Strobel et *al.*, 2011). Il est résistant aux métaux lourds (Krishnamurthy et Naik, 2017).

L'absence des genres *Alternaria*, *Epicoccum*, *Exophiala* dans la station Attouche et leurs présences à Krim Belkacem peut s'expliquer par le fait qu'ils sont des bio indicateurs de pollution métallique (Materatski et *al.*, 2018).

*Alternaria* est un endophyte résistant aux métaux lourds (Krishnamurthy et Naik 2017). Il a été isolé d'échantillons de sol traité avec des déchets industriels toxiques contenant de

fortes concentrations de cuivre et de mercure et peuvent également être des membres dominants du mycobiota des phylloplan contaminés par des métaux (Durand, 2017).

*Exophiala* est un endophyte désigné sous le nom d'endophytes sombre cloisonné, il est particulièrement fréquent dans les environnements stressés (Diao et al., 2013).

Nous avons trouvé que le genre *Penicillium*, est présent dans les deux stations avec des valeurs différentes : Attouche 14,44% et à Krim Belkacem 6,44%. Ceci peut être dû à la pollution atmosphérique présente à la station KB. Comme l'ont montré les analyses de l'étude menée par Khan et al. (2014) et Merlos et al. (2016), qui ont constaté une diminution de la peroxydation lipidique de *Penicillium* sous-sol pollué par Cd, Cu et oligo-éléments (Haouche 2018) ; (Amjad et al., 2019).

## II- Matrice de corrélation

Pour essayer de comprendre les interactions qui existent entre les différents genres de champignons endophytes recensés au niveau de la feuille de l'olivier, nous avons fait une matrice de corrélation (Tableau 7). Cette dernière donne des coefficients de corrélation entre les champignons endophytes pris deux à deux, elles peuvent être positives ou bien négatives, Les positives signifient que les variables varient dans le même sens et les négatives signifient que les variables varient dans le sens opposé.

Tableau 7: matrice de corrélation de Pearson.

	<i>Aspergillus</i>	<i>Alternaria</i>	<i>Aureobasidium</i>	<i>Bipolaris</i>	<i>Chaetomium</i>	<i>Cladosporium</i>	<i>Epicoccum</i>	<i>Exophiala</i>	<i>Mucor</i>	<i>Muscodor</i>	<i>Neoscytalidium</i>	<i>Phoma</i>	<i>Penicillium</i>	<i>Rodotorula</i>	<i>Rhizoctonia</i>	<i>Rhizopus</i>	<i>Scopulariopsis</i>	<i>Stemphylium</i>	<i>Trichophyton</i>	
<i>Aspergillus</i>	1																			
<i>Alternaria</i>	-0,23	1																		
<i>Aureobasidium</i>	-0,14	-0,30	1																	
<i>Bipolaris</i>	-0,20	-0,20	0,62	1																
<i>Chaetomium</i>	<b>-0,69</b>	0,01	0,27	-0,04	1															
<i>Cladosporium</i>	-0,07	0,49	-0,08	-0,44	0,10	1														
<i>Epicoccum</i>	0,39	0,07	-0,23	-0,15	-0,53	0,02	1													
<i>Exophiala</i>	-0,07	-0,20	-0,17	-0,11	-0,39	0,22	0,32	1												
<i>Mucor</i>	-0,20	-0,20	0,62	<b>1,00</b>	-0,04	-0,44	-0,15	-0,11	1											
<i>Muscodor</i>	0,14	-0,30	0,44	-0,17	0,27	0,38	-0,23	-0,17	-0,17	1										
<i>Neoscytalidium</i>	-0,44	0,01	-0,22	0,09	0,28	-0,48	-0,49	-0,36	0,09	-0,22	1									
<i>Phoma</i>	0,32	-0,20	-0,17	-0,11	-0,39	-0,44	-0,15	-0,11	-0,11	-0,17	0,53	1								
<i>Penicillium</i>	0,29	-0,11	0,36	-0,02	-0,10	-0,30	0,27	-0,42	-0,02	0,36	0,10	0,38	1							
<i>Rodotorula</i>	-0,40	-0,39	0,19	0,51	0,37	-0,43	-0,30	-0,22	0,51	0,19	0,47	-0,22	-0,03	1						
<i>Rhizoctonia</i>	-0,05	0,01	0,07	-0,31	0,38	0,13	0,34	-0,02	-0,31	-0,13	-0,41	-0,31	0,02	-0,41	1					
<i>Rhizopus</i>	-0,01	-0,30	0,34	<b>0,67</b>	-0,06	-0,16	-0,23	-0,17	<b>0,67</b>	0,34	0,13	-0,17	-0,03	<b>0,76</b>	<b>-0,67</b>	1				
<i>Scopulariopsis</i>	0,02	-0,36	0,13	-0,20	-0,18	0,43	0,14	<b>0,79</b>	-0,20	0,48	-0,45	-0,20	-0,15	-0,08	-0,10	0,07	1			
<i>Stemphylium</i>	0,50	-0,37	-0,03	-0,31	0,07	-0,38	0,10	-0,31	-0,31	-0,03	-0,19	0,19	0,25	-0,28	0,58	-0,46	-0,29	1		
<i>Trichophyton</i>	-0,46	0,16	0,47	-0,10	0,56	0,13	-0,50	-0,26	-0,10	0,47	0,28	0,07	0,43	0,02	-0,02	-0,14	0,06	-0,10	1	

En gras, valeurs significatives (hors diagonale) au seuil alpha=0,05 (test bilatéral)

A partir du tableau précédent des corrélations positives sont notées entre :

(1) *Bipolaris* et *Mucor*

(0,67) *Bipolaris* et *Rhizopus*

(0,79) *Exophiala* et *Scopulariopsis*

(0,67) *Mucor* et *Rhizopus*

(0,76) *Rhodotorula* et *Rhizopus*

Des corrélations négatives sont notées entres :

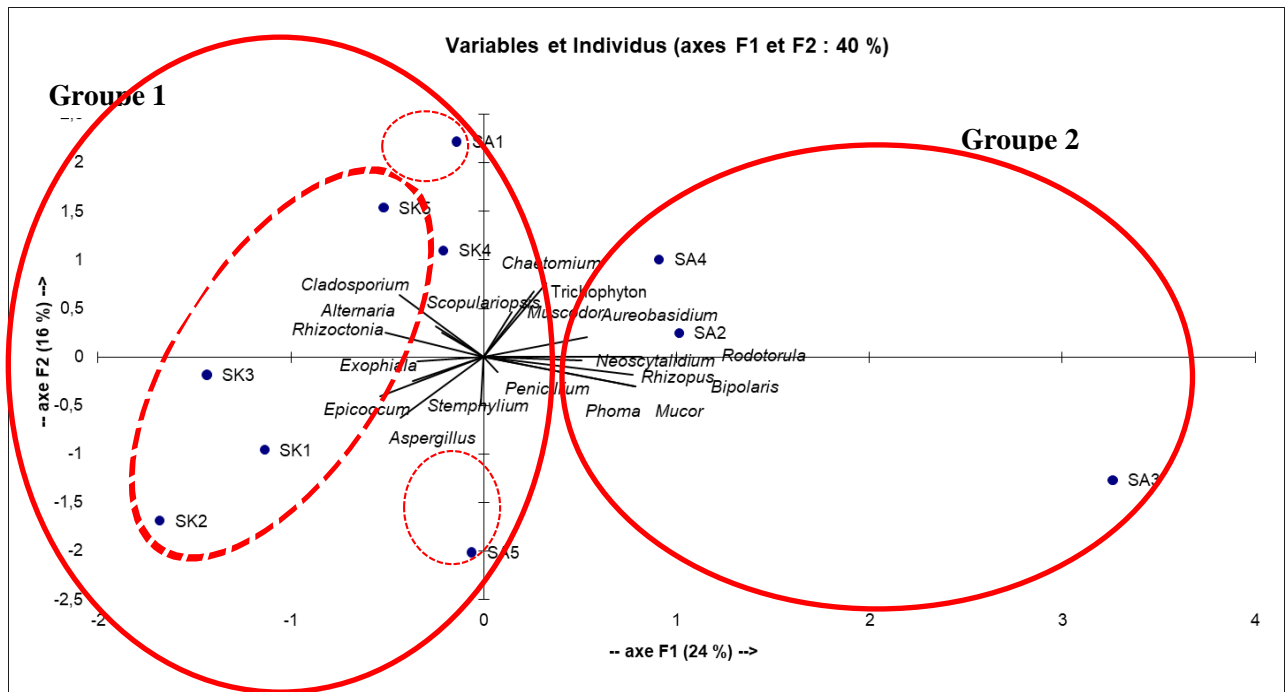
(-0,69) *Aspergillus* et *Chaetomium*

(-0,67) *Rhizoctonia* et *Rhizopus*

La matrice de corrélation a montré les différentes interactions qui existent entre les mycotaxons recensés. La forte corrélation positive signifie que la présence de l'un favorise la présence de l'autre autrement dit l'absence de l'un limite la présence de l'autre (Synergie), cette relation est bénéfique pour les deux genres de champignon et pour la plante. Les corrélations négatives peuvent s'expliquer par la concurrence de type compétitif entre les champignons endophytes, ceci explique la forte relation antagoniste que possède les endophytes *Aspergillus*, *Chaetomium*, *Rhizoctonia* et *Rhizopus*. Certains champignons limitent la présence d'autres champignons sur le même substrat. Il est généralement saprophyte et on le trouve sur les matières organiques en décomposition, sur les feuilles ou dans le sol et les excréments d'animaux et la végétation en décomposition. Certaines souches de *Rhizopus* sont également connues pour être des agents pathogènes opportunistes (Bach, 2014).

### III- ACP

Une analyse en composante principale (ACP) a été réalisée avec le logiciel Stat Box 6.40, afin de montrer les associations de champignons endophytes des tissus foliaires des sujets échantillonnés des deux sites (Figure 10).



**Figure 10** : représentation de l'analyse en composantes principales (ACP), montrant les genres de mycoendophytes au niveau des feuilles des différents sujets échantillonnés au niveau des deux stations d'étude.

A partir de la figure 10, l'analyse en composante principale (ACP), explique 40% du phénomène avec 24% pour l'axe 1, et 16% pour l'axe 2 de l'inertie totale.

Selon l'axe 1, nous notons une individualisation de deux groupes, le premier comporte trois sous groupes 1 groupe comporte tous les mycoendophytes recensés au niveau de la partie foliaire des sujets de la station de Krim Belkacem (SK1, SK2, SK3, SK4, SK5), les sous groupe 2 et 3 comporte deux sujets de la station de Attouche (SA1, SA5) le deuxième groupe comporte les mycoendophytes recensés au niveau de la partie foliaire des 3 sujets (SA2, SA3, SA4) de la station Attouche

Le premier groupe comporte les genres fongiques suivants : *Alternaria*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Epicoccum*, *Exophiala*, *Rhizoctonia*, *Stemphylium*, *Scopulariopsis* dont le genre *Aspergillus* est le genre le plus dominant. Parmi les mycoendophytes recensés dans ce groupe, nous notons ceux qui présentent des interactions de synergie tels *Exophiala* et *Scopulariopsis*.

Le deuxième groupe comporte les mycoendophytes suivants ; *Aureobasidium*, *Bipolaris*, *Chaetomium*, *Mucor*, *Muscudor*, *Neoscytalidium Phoma*, *Penicillium*, *Rodotorula*, *Rhizopus*

et *Trichophyton* citant une codominance entre *Trichophyton* et *Aspergillus*, nous notons ceux qui présentent des interactions de synergie tels que *Rhodotorula* et *Rhizopus*, *Mucor* et *Rhizopus*, *Bipolaris* et *Rhizopus*.

Certains mycoendophytes comme : *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Stemphylium*, *scopulariopsis*, *Rhizoctonia*, *Chaetomium*, *Penicillium*, *Neoscytalidium*, *Rhizoctonia*, *Stemphylium*, *Trichophyton*, sont présents chez certains sujets des deux sites.

La répartition des sujets en deux groupes pourrait être expliquée par la distribution de mycoendophytes au sein des tissus foliaires et les interactions entre eux qui dépendent de l'habitat (Rubini et al., 2005). Ainsi, Arnold (2007) a estimé que les interactions se créent entre les mycoendophytes d'une part et entre les mycoendophytes et la plante d'une autre part. Le type d'interaction regroupant les mycoendophytes et la plante hôte est contrôlé par les gènes des deux partenaires (plantes et champignons) et est modelé par l'environnement (Morica et Ragazzi, 2008).

Il existe un processus d'interaction intime entre l'endophyte et la plante hôte (Garcia et al., 2012). Les champignons endophytes jouent un rôle important dans la croissance de la plante hôte, en augmentant sa résistance contre les stress biotiques et abiotiques Lv et al., 2010). Ils servent aussi comme des médiateurs dans les interactions écologiques (Ganley et al., 2004), ces interactions révèlent un impact profond sur le fonctionnement général des écosystèmes, à travers le façonnement des communautés végétales (Eisunhauer, 2012).

Les champignons endophytes forment un système modèle dans les études sur la biodiversité (Gamboa et Bayman, 2001), les feuilles sont spécialement riches en mycoendophytes (Arnold et al, 2000).

Le présent travail a pour but l'étude de l'impact de la pollution atmosphérique sur la diversité en mycoendophytes foliaires de l'olivier des deux stations Attouche et Krim Belkacem de la Wilaya de Tizi-Ouzou. L'échantillonnage a concerné 10 sujets (5 sujets/station). 10 feuilles par sujet ont été choisies pour la mise en culture, incubées pendant 2 mois à température ambiante. Avant d'effectuer des calculs de fréquences de colonisation FC (%) et des prélèvements d'isolats de champignons, pour faire une identification macroscopique et microscopique a été réalisée.

Nos résultats ont montré que la fréquence de colonisation (FC%) par les champignons endophytes, est de 88,2% pour les deux stations. Nous avons noté que la différence des fréquences de colonisation entre les deux stations est significative. Ceci peut s'expliquer par la période d'échantillonnage. En effet, le printemps est la saison la plus propice à l'installation et au développement des mycoendophytes. Les sujets présents dans la station la plus polluée montrent une fréquence de colonisation plus élevée. La différence de concentrations en métaux lourds dans l'atmosphère entre les deux stations peut être la cause de la différence de fréquence de colonisation.

L'identification des différents isolats sous microscope optique montre 19 genres de champignons endophytes prélevés de feuilles de *Olea europea*: *Aspergillus*, *Alternaria*, *Aureobasidium*, *Bipolaris*, *Chaetomium*, *Cladosporium*, *Epicoccum*, *Exophiala*, *Mucor*, *Muscudor*, *Neoscytalidium*, *Phoma*, *Penicillium*, *Rodotorula*, *Rhizoctonia*, *Rhizopus*, *Scopulariopsis*, *Stemphylium*, *Trichophyton*. Les genres les plus dominants sont : *Aspergillus*, *Rhizoctonia*, *Cladosporium*, *Muscudor*, *Chaetomiu* et *Penicillium*. Nous avons constaté également que le phylum Ascomycota est le phylum le plus abondant. Cette diversité si riche en mycoendophytes au niveau des feuilles de l'olivier, pourrait être due à la saison d'échantillonnage, (l'humidité créée par la pluie). Nous avons noté une différence de diversité entre les deux sites, 12 genres ont été identifiés dans la station Krim Belkacem, et 16 genres dans la station Attouche, ceci pourrait être dû à la différence de concentration en métaux lourds dans les deux stations, sachant que la grande diversité est notée dans la station non polluée.

La matrice de corrélation a montré les différentes relations entre ces mycoendophytes recensés. Certains genres ont de fortes corrélations positives (synergies), alors que d'autres manifestent des relations antagonistes.

Certaines de ces interactions sont bien montrées au niveau de L'ACP. Cette dernière nous montre une individualisation de deux groupes, le premier comporte tous les mycoendophytes recensés au niveau de la partie foliaire des sujets de la station de Krim Belkacem (SK1, SK2, SK3, SK4, SK5) et deux sujets de la station Attouche (SA1, SA5) le deuxième groupe comporte les mycoendophytes recensés au niveau de la partie foliaire des 3 sujets (SA2, SA3, SA4) de la station Attouche. La présence des genres peu abondants dépend du genre dominant. Il semble que chaque genre se caractérise par son propre cortège fongique.

Les feuilles d'*Olea europea* abritent une diversité importante de mycoendophytes qui interagissent entre eux dans le but d'améliorer la croissance et l'adaptation écologique de la plante hôte, en améliorant la tolérance de la plante aux contraintes environnementales et à la résistance aux métaux lourds.

### **Perspectives :**

-Une identification reconduite sur plusieurs saisons et sur plusieurs années, afin de vérifier l'existence d'autres genres de champignons endophytes, et aussi l'étude de la comparaison avec les champignons épiphytes présents sur les mêmes feuilles ;

- Mener une étude qui fait une comparaison avec les endophytes des plantes herbacées et ligneuses du système racinaire dans des sites pollués ;

-Une identification précise des espèces de ces mycoendophytes avec l'utilisation des techniques de la biologie moléculaire pour classer les souches les plus résistantes aux métaux lourds ;

## Références bibliographiques

---

- Abdelly C., 2005. Utilisation des halophytes pour la réhabilitation et la valorisation des sols salins. Séminaire international sur l'amélioration des productions végétales (APV2005)-LRGB-INAAAlger : 123-126 p.
- Abdelly C., 2007. Bioremédiation / Phytoremédiation. Institut supérieur de l'éducation et la formation continue. Université de Tunis. p 3.
- Abdullah, S.K., Al-Khesraji, T.O., Al-Edany, T.Y. 1986. Soil mycoflora of the Southern desert of Iraq. Sydowia. Vol (39) :8-1.
- Agler , Matthew T., Ruhe, J., Kroll, S., Morhenn, S., Kim, S.T., Weigel, D., Kemen, E.M., 2016. Microbial Hub Taxa Link Host and Abiotic Factors to Plant Microbiome Variation. p-1. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1002352>.
- Amjad A., Saqib B., Khan A.L., Mabood F., Al-Harrasi A., Lee I.J. 2019. Endophytic *Aureobasidium pullulans* BSS6 assisted developments in phytoremediation potentials of *Cucumis sativus* under Cd and Pb stress, *Journal of Plant Interactions*, 14:1, 303-313.
- Anfossi, S., Billiard, E., Bonnet, M., Henriot, F., Kraemer, F., Lechenne, L., Le Herissier, M., Lorin, S., 1997, Analyse des métaux lourds . mémoire d'ingénieur en « Génie des procédés », centre SPIN, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, France. p: 5-8.
- Arnold, A. E., Maynard, Z., Gilbert, G. S., Coley, P. D., Kusart, T. A., 2000. Are tropical fungal endophytes hyperdiverse. *Ecology Letters*, 3: 267-274.
- Arnold AE., 2007, Understanding the diversity of foliar endophytic fungi: progress, challenges, and frontiers. *Fungal Biol Rev.* 21, p.51–66.
- Arnold AE, 2001. Fungal endophytes in neotropical trees: abundance, diversity, and ecological interactions. In: *Tropical ecosystems: structure, diversity, and human welfare*; Ganeshiah KN, Uma Shaanker R, Bawa KS (eds). pp: 739-743. Oxford and IBH Publishing Co., New Delhi, India.
- Bacon, C. W. et White, J.F., 2000. Physiological adaptations in the evolution of endophytism in the Clavicipitaceae. p. 237-261.

## Références bibliographiques

---

- Ballaré C.L., 2011. Jasmonate-induced defenses: a tale of intelligence, collaborators and rascals. *Trends Plant Sci.* Vol :16(5) : 249–572
- Bar-Hen, A., Mariadassou M., Poursat, M.A., Vandenkoornhuyse, P., 2008. Influence function for robust phylogenetic reconstructions. *Molecular Biology and Evolution.* 25: 869-873.
- Bass, D. et Richards, T.A., 2011. Three reasons to re- evaluate fungal diversity on earth and in the ocean. *Br mycol soc Fungal biol rev* 25: 159- 164.
- Bayman, P., Angulo-Sandoval, P., Baez-Ortiz, Z., Lodge, D.J., 1998. Distribution and dispersal of *Xylaria* endophytes in two tree species in Puerto Rico. *Mycol Res* 102: 143-149
- Bernard, O.O. et Oluranti O.B., 2017. Microbial and Plant-Assisted Bioremediation of Heavy Metal Polluted Environments: A Review : p1-26.
- Blottiere, D., 2017. L'introduction du champignon pathogène (*Batrachochytrium dendrobatidis*)
- Bliefert, C. et Perraud, R., 2001. Chimie de l'environnement air, eau, sols, déchets. 2eme édition : Boeck et Larcier Bruxelles. p478.
- Bills, G.F. et Polishook, J.D., 1992. Recovery of endophytic fungi from *Chamaecyparis thyoides*. *Sydowia* 44: 1-12.
- Bouchet, P., Guingnard, J.L., Madulo-Leblond, G., Régli, P., 1989. Mycologie générale et médicale. Edition Masson : p 77.
- Bouchet, P., Guingnard J.L., Villard, J., 1999. Les champignons mycologie fondamentale et appliquée. Editions Masson.
- Bokulich, N.A., Kaehler, B.D., Rideout, J.R., Dillon, M., Bolyen, E., Knight, R., Huttley, G.A., Caporaso J.G., 2018. Optimizing taxonomic classification of marker-gene amplicon sequences with QIIME 2's q2-feature. *Microbiome* 6: 90.
- Brundrett M., 2004. Diversity and classification of mycorrhizal associations. *Biological Reviews* 79(3): 473-495.
- Carroll G.C., et Carroll F.E., 1978. Studies on the incidence of coniferous needle endophytes in the Pacific Northwest. *Can. J. Bot.* 56:3034-3043.

## Références bibliographiques

---

- Carlile, M.J., Watkinson, S.C. 1994. The Fungi. British library.34p.
- Chabasse, D., Bouchara, J.P., De Gentile, L., Brun, S., Cimon, B., Penn, P., 2002. Cahier de formation BIOFORMA n° 25. Les moisissures d'intérêt médical. Paris.
- Clay K. et Schardl C., 2002. Evolutionary origins and ecological consequences of endophyte symbiosis with grasses. *American Naturalist*; 160 Suppl 4: S99-S127.
- Collado, J., Platas G., Gonzalez, I., et Pelaez, F., 1999. Geographical and seasonal influences on the distribution of fungal endophytes in *Quercus ilex*. *New Phytol* 14: 525-532.
- Chauhan, N.M., Gutama, A.D., Aysa, A., 2019. Endophytic fungal diversity isolated from different agro-ecosystem of *Ensete ventricosum* in Gedeo zone. SNNPRS, Ethiopia. *BMC Microbiology* 19:172 1-10.
- Dajoz R. 2000. Précis d'écologie, 7 ème edition, Dunod, Paris, 615 pp.
- Davis, E.C., Franklin, J.B., Shaw, A.J. et Vilgalys, R., 2003. Endophytic *Xylaria* (Xylariaceae) among liverworts and angiosperms: phylogenetics, distribution, and symbiosis. *American Journal of Botany* 90 (11): 1661-1997.
- Davis, E.C., Boutou, H., Ibibijen, J., Zair, T., Nassiri, L., 2013. Etude ethnobotanique du pistachier de l'Atlas *Pistachia atlantica* , dans la ville de Meknés-Maroc. *Science lib* vol(5) : 113-131.
- Doilom, M., Manawasinghe, I.S., Jeewon, R., Jayawardena, R.S., 2017. Can ITS sequence data identify fungal endophytes from cultures. A case study from *Rhizophora apiculata*. *Mycosphere*, 8 : 1869–1892.
- Diao, YH, Li T, Zhao, ZW. Zinc accumulation characteristics of two *exophiala* strains and their antioxidant response to Zn<sup>2+</sup> stress. *J Environ Prot (Irvine, Calif)* 2013;2013:12–9.
- Duponnois, R., Hafidi, M., Wahbi, S., Sanon, A., Galiana, A., Baudoin, E., Bally, R., 2012. La symbiose mycorhizienne et la fertilité des sols dans les zones arides: un outil biologique sous-exploité dans la gestion des terres de la zone sahélo-saharienne. *Marseille : IRD.* 351-369
- Durand A., 2017. Diversité et caractérisation fonctionnelle des communautés microbiennes inféodées au peuplier et issues d'une friche industrielle enrichie en mercure, UNIVERSITE

DE BOURGOGNE FRANCHE-COMTE ÉCOLE DOCTORALE ENVIRONNEMENT  
SANTÉ LABORATOIRE CHRONO-ENVIRONNEMENT -- UMR 6249 CNRS. p 20.

- Elichegaray C., 2008 : la pollution de l'air : source, effets, prévention. Édition : Duond. 208p
- Eisenhauer N. 2012, Aboveground–belowground interactions as a source of complementarity effects in biodiversity experiments. *Plant Soil* 35:1–22
- Esfahlan, S.G., Khodaei, S., Karimi, K., Tavakoli, M., Pertot, I., 2019. Arzanlou M., Biodiversity study of endophytic fungi associated with two *Quercus* species in Iran. *Forest Systems* 28 (1). 8-10.
- Etesami H., 2018. Bacterial mediated alleviation of heavy metal stress and decreased accumulation of metals in plant tissues: Mechanisms and future prospects. *Ecotoxicol Environ Saf* 147: 175-191.
- Fisher, P.J, Petrini, O, Petrini, L.E., Sutton, B.C, 1994. Fungal endophytes from the leaves and twigs of *Quercus ilex L.* from England, Majorca and Switzerland. *New Phytol* 127: 133-137.
- Fontan J., 2004 : les pollutions de l'air : les connaitre pour les combattre. Édition : VUIBURT, 1ère Edition : 211p.
- Galagan, J.E., Calvo, S.E., Borkovich, K.A., Selker, E.U., Read, N.D., Jaffe, D., FitzHugh, W., Ma, L.J., Smirnov, S., Purcell, S., Rehman, B., Elkins, T., Engels, R., Wang, S., Nielsen, C.B., Butler, J., Endrizzi, M. Qui, D., Ianakiev, P., Bell-Pedersen, D., Nelson, M.A., Werner-Washburne, M., Selitrennikoff, C.P., Kinsey, J.A., Braun, E.L., Zelter, A., Schulte, U., Kothe, G.O., Jedd, G., Mewes, W., Staben, C., Marcotte, E., Greenberg, D., Roy, A., Foley, K., Naylor J., Stange-Thomann N., Barrett R., Gnerre S., Kamal M., Kamvysselis M., Mauceli E., Bielke C., Rudd S., Frishman D., Krystofova S., Rasmussen C., Metzenberg R.L., Perkins D.D., Kroken S., Cogoni C., Macino G., Catcheside D., Li W., Pratt R.J., Osmani S.A., DeSouza C.P., Glass L., Orbach M.J., Berglund J.A., Voelker R., Yarden O., Plamann M., Seiler S., Dunlap J., Radford A., Aramayo R., Natvig D.O., Alex L.A., Mannhaupt G., Ebbole D.J., Freitag M., Paulsen I., Sachs M.S., Lander E.S., Nusbaum C., Birren B., 2003. The genome sequence of the filamentous fungus *Neurospora crassa*. *Nature*. 422: 859-868.
- Ganley, R.J., Brunsfeld, S.J., et Newcombe, G., 2004. A community of unknown, endophytic fungi in western white pine. *Proc Natl Acad Sci USA* 101: 10107–10112.

## Références bibliographiques

---

- Garrec J.P., 2007. L'expertise technique et scientifique de références. Laboratoire pollution atmosphérique INRA- Centre de recherche de Nancy.
- Garcia, C.A., Vivien, D.M., Kushalappac, C. Vaast, P, 2012. Gestion de la Biodiversité dans les Paysages de Montagne. Forêt et Humains - une communauté de destins (pp.3-87 / 3-102)
- Gamboa, M.A. et Bayman P., 2001. Communities of endophytic fungi in leaf of tropical timber (*Guarea guidonia*) Meliaceae. *Biotropica* ; 33 ; 352-360.
- Gomes T. M. C. 2018. Rôle of olive tree phyllosphere microorganisms in the biological control of olive leaf, spot and olive knot.
- Gonthier, P., Gennaro, M. et Nicolotti, G., Effects of water stress on the endophytic mycota of *Quercus robur*. *Fungal Diversity* 2006; 21: 69-80.
- Guo, B., Wang, Y., Sun, X., Tang, K. 2008. Bioactive Natural Products from Endophytes : A Review1. *Applied Biochemistry and Microbiology* 44 : 136–142.
- Ghasemi, S., Khodaei, S., Karimi, K., Tavakoli, M., Pertot, I., Arzanlou, M., 2019. Biodiversity study of endophytic fungi associated with two *Quercus* species in Iran. *Revue forest systems* : 1-12p
- Gnago, A. J., Foua, K., et Lomer, C. J., 2004. Effet de la température et de l'humidité relative sur le développement de la mycose *A Entomophaga grylli* BATKO (Zygomycètes, Entomophthorales) CHEZ *Zonocerus Variegatus* L. (Orthoptera, Pyrgomorphidae). p 20-30
- Hata K. et Futai K., 1996. Variation in fungal endophyte populations in needles of the genus *Pinus*. *Can J Bot* 74: 103-114
- Hawksworth D.L., 1991, The fungal dimension of biodiversity: magnitude, significance, and conservation, *Mycological Research*. 95, Issue 6, P 641-655.
- Hawksworth D.L., et Rossman A.Y., 1997. Where are all the undescribed fungi *Phytopathology*. 87: 888-891.
- Hawksworth D.L., 2001. The magnitude of fungal diversity: the 1.5 million species estimate revisited. *Mycological Research*. 105: 1422-1432.
- Heather., 2003 : effet de la pollution atmosphérique sur les cultures agricoles. Spécialiste de la modélisation de la lutte intégrée contre les ennemis des cultures/MAAARO

## Références bibliographiques

---

- Hibb, D.S., et Donoghue M.J. 2001. Analysis of character correlations among wood decay mechanisms, mating systems, and substrate ranges in homobasidiomycetes. *Systematic Biology*. 50: 215-242.
- Higgins, K.L., Arnold, A.E., Miadlikowska, J., Sarvate, S.D., et Lutzoni, F., 2007. Phylogenetic relationships, host affinity, and geographic structure of boreal and arctic endophytes from three major plant lineages. *Mol. Phylogenet. Evol.* 42 : 543–55
- Hodgson, S., de Cates, C., Hodgson, J., Morley, N., Sutton, B., Gange, A., 2014. Vertical transmission of fungal endophytes is widespread in forbs. *Ecol Evol* 4: 1199–1208.
- Hyde K.D., et Soyong k. 2008. The endophytic fungi dilemma. *Fungal diversity* 33:163-173.
- Hughes E., 2016. endophytic fungi : diversity, characterization and biocontrol. P 51.
- Jalili, B.S.B., Othman, R., Wahid, S.A.B., Husin, A., Zadeh, F.S. 2012. Bioleaching of Heavy Metals from Mine Tailings by *Aspergillus fumigatus*, *Bioremediation Journal*, 16:2, 57-65.
- James, T.Y., Porter, D., Leander, C.A., Vilgalys, R., Longcore, J.E., 2000. Molecular phylogenetics of the Chytridiomycota supports the utility of ultrastructural data in chytrid systematics. *Canadian Journal of Botany*. 78: p 336-350.
- James, T.Y, White, M.M, ODonnell, M.J, Tanabe, Y., Sungiyma, J., 2006. Phylogeny of the zygomycota based on nuclear ribosomal sequence data. *Mycologia*. 872-884.
- Jean-Claude, R., El Maarouf-Bouteau, H., François, B., 2008. Atlas biologie végétale, Organisation des plantes sans fleurs, algues et champignons, 7e édition. Paris, 136 p
- Jennings D.H., et Lysek G., 1996. Endophytic fungi: hidden components of tropical community ecology. *Fungal biology: understanding the fungal lifestyle*. BIOS Scientific Publishers Ltd, Guildford, UK, 146 p
- Jeewon, R., Ittoo, J., Mahadeb, D., Jaufeerally–Fakim, Y., 2013. DNA based identification and phylogenetic characterisation of endophytic and saprobic fungi from *Antidesma madagascariense*, a medicinal plant in Mauritius. *Journal of Mycology*,

## Références bibliographiques

---

- J O R A., 2003 : Journal Officiel de la République Algérienne n°43, Décret n°03-10 de 19 juillet relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable.
- Kageyama, S.A., Schmidt, S.K., Wiseman, L.C., Halloy, S.R.P., Schadt, C.W., 2008. Mycorrhizal and dark-septate fungi in plant roots above 4270 meters elevation in the Andes and Rocky Mountains. *Arctic Antarctic and Alpine Research*. 40(3): 576-583.
- Khan, A.L., Waqas., M., Hussain, J., Al-harrasi, A., Lee, I. 2014. Fungal endophyte *Penicillium janthinellum* LK5 can reduce cadmium toxicity in *Solanum lycopersicum* (Sitiens and Rhe). *Biol Fert Soils* 50:75–85.
- Kidd, K. A., Muir, D. C., Evans, M. S. 2012. Biomagnification of mercury through lake trout (*Salvelinus namaycush*) food webs of lakes with different physical, chemical and biological characteristics. *Sci Total Environ* 438:135-143.
- Krishnamurth Y.L., et Naik K. 2017. Endophytic fungi bioremediation. Annapurna (eds.), *Endophytes: Crop Productivity and Protection*. 47- 55.
- Krings, M., Taylor, T.N., Hass, H., Kerp, H., Dotzler, N., Hermsen, F.J., 2007. Fungal endophytes in a 400-million-yr-old land plant: infection pathways, spatial distribution, and host responses. *New Phytol*. 174:648-657.
- Kusari S., Spiteller M., 2012. Metabolomics of endophytic fungi producing associated plant secondary metabolites : progress, challenges and opportunities. *Metabolomics*. (1866) : 241–661.
- Larran, S., Perelló, A., Simón, M.R., et Moreno, V., 2002. Isolation and analysis of endophytic microorganisms in wheat (*Triticum aestivum* L.) leaves. *World J Microbiol Biotechnol* 18: 683-686
- Lanier, L., Joly, P., Bondoux, P. et Bellemère, A. 1978. *Mycologie et Pathologie Forestière*, Volume I : Mycologie forestière. Edition Masson. 487 pp.
- Le Calvez T. 2009. Diversité et fonctions écologiques des champignons en écosystème hydrothermal marin profond. Université de Rennes 1/CNRS. Ecole Doctorale Vie-Agro-Santé. UFR Sciences de la vie et de l'environnement. p 16-17.

- Li, H.Y., Li, X.Y., Li, Q., Yan, J., Wu, Y., Parmar, S., Sharma, V.K., Wei, Y. 2018. Endophytic fungal community of *Dysphania ambrosioides* from two heavy metal-contaminated sites: evaluated by culture-dependent and culture-independent approaches. 1-15. <https://www.researchgate.net/publication/327540277> .
- Li, H.Y., Wei, D.Q., Shen, M., Zhou, Z.P., 2012. Endophytes and their role in phytoremediation. *Fungal Divers* 54:11–13.
- Linares D.R.A.2010. Characterization of tomato root-endophytic fungi and analysis of their effects on plant development, on fruit yield and quality and on interaction with pathogen *Verticillium dahlia*. Dissertation zur Erlangung des akademischen grade “doctor rerum naturalium” der Wissenschaftsdisziplin “biologie” . eingreicht an der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Potsdam. 202 p.
- Liu, J., Yu, Y., Cai, Z., Bartlam, M et Wang, Y., 2015. Comparison of ITS and 18S rDNA for estimating fungal diversity using PCR–DGGE. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 31(9): 13871395
- Loussert Miara R., et Brousse, G., 1978. L’olivier : technique agricole et production méditerranéenne. E.d. GP.Maisoneuvre et Larousse.480p.
- Lutzoni, F., Kauff, F., Cox, C.J., McLaughlin, D., Celio, G., Dentinger, B., Padamsee, M., Hibbett, D., James, T.Y., Baloch, E., Grube, M., Reeb, V., Hofstetter, V., Schoch, C., Arnold, A.E., Miadlikowska, J., Spatafora, J., Johnson, D., Hambleton, S., Crockett, M., Shoemaker, R., Sung, G.-H., Lucking, R., Lumbsch T., O’Donnell K., Binder M., Diederich P., Ertz D., Gueidan C., Hall B., Hansen K., Harris R.C., Hosaka K., Lim Y.W., Liu Y., Matheny B., Nishida H., Pfister D., Rogers J., Rossman A., Schmitt I., Sipman H., Stone J., Sugiyama J., Yahr R., Vilgalys, R. 2004. Where are we in assembling the fungal tree of life, classifying the fungi, and understanding the evolution of their subcellular traits. *American Journal of botany.* 91(10):1446-1480.
- Lv, Y. L., Zhang, F.S., Chen, J., Cui, J.L., Xing, Y.M., Li, X.D. and Guo, S.X. 2010. Diversity and antimicrobial activity of endophytic fungi associated with the alpine plant *Saussurea involucrata*. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*; 33: 1300-1306.

## Références bibliographiques

---

- Ma, Y., Prasad, M.N.V., Rajkumar, M., Freitas, H., 2011. Plant growth promoting rhizobacteria and endophytes accelerate phytoremediation of metalliferous soils. *Biotechnol Adv* 29 : 248-258.
- Martin F., 2014. Tous les champignons portent-ils un chapeau, edition Quae, (ISBN 9782759221745)
- Malhadas, C., Malheiro, R., Pereira, J.A., De Pinho, P.G., Baptista, P., 2017. Antimicrobial activity of endophytic fungi from olive tree leaves. 33-46.
- Mishra Y., Singh, A., Batra, A., Sharma, M.M., 2014. Understanding the Biodiversity and Biological Applications of Endophytic Fungi. Article in *Journal of Microbial & Biochemical Technology* p1-11. <https://www.researchgate.net/publication/272159131> .
- Merlos, M.A., Zitka, O., Vojtech, A., Azcón-Aguilar, C., Ferrol, N., 2016. The arbuscular mycorrhizal fungus *Rhizophagus irregularis* differentially regulates the copper response of two maize cultivars differing in copper tolerance. *Plant Sci.* 253:68–76.
- Moricca S., et Ragazzi A., 2008. Fungal endophytes in Mediterranean oak forests: A lesson from *Discula quercina*. *Phytopathology* 98 : 380-386
- Morton J.B., Benny G.L. 1990. Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Zygomycetes): a new order, Glomales, two new suborders, Glomineae and Gigasporineae, and two new families, Acaulosporaceae and Gigasporaceae, with an emendation of Glomaceae. *Mycotaxon.* 37: 471-491.
- Nazir A, Abdul Rahman H., 2018- Secrets of plants. *International Journal of Plant Biology* vol 9 (1).
- Nassar, A. H., El-Tarabily, K. A. and Sivasithamparam, K., 2005. Promotion of plant growth by an auxin-producing isolate of the yeast *Williopsis saturnus* endophytic in maize (*Zea mays* L.) roots. *Biology and Fertility of Soils*; 42: 97-108.
- Pagatto C, 1999 : étude sur l'émission et le Transfert dans les eaux et les sols des éléments traces métallique et des hydrocarbures en domaine routier. Thèse de doctorat : école des mines en Nantes France.
- Parmar S, Singh V., 2015. Phytoremediation approaches for heavy metal pollution: a review. *J Plant Sci Res* 2:135.

## Références bibliographiques

---

- Parmar, S., Sharma, V.K., Li, H.Y., Li, X.Y., Li, Q., Yan, J., Wu, Y., Wei, Y., 2018. Endophytic fungal community of *Dysphania ambrosioides* from two heavy metal-contaminated sites: evaluated by culture-dependent and culture-independent approaches. 1-15.
- Peter, M., Buée, M., Egli, S., 2013. La biodiversité des champignons mycorhiziens, actrice cruciale du fonctionnement des écosystèmes forestiers. Les approches intégratives en tant qu'opportunité de conservation de la biodiversité forestière, 180.
- Petkova, K., Jukovic, L., Simonovicova, A., Cernansky, S. 2013. Potential of *Aspergillus niger* in bioremediation in contaminated soils, Comenius university in Bratislava, Faculty of Natural Sciences, Slovak Republic. 757- 760.
- Petrini, O., Stone, J., Carroll, F.E. 1982, Endophytic fungi in evergreen shrubs in western Oregon: A preliminary study, Canadian Journal of Botany (60). p 789 – 796.
- Pervez, S., Qayyum, S., Meng, K., Nawaz, F., Peng, C., 2018, Optimization of pH, temperature and carbon source for bioleaching of heavy metals by *Aspergillus flavus* isolated from contaminated soil, Main Group Metal Chemistry. 1-6.
- Porrás-Alfaro, A., Herrera, J., Robert, L., Sinsabaugh, Kylea J., Odenbach., Lowrey, T., Donald, O.N., 2008. Novel Root Fungal Consortium Associated with a Dominant Desert Grass. p. 2086-2813.
- Pratheeba, M., Umaa Rani, K., Ramesh, B., 2014. Studies on antimicrobial and anticancer activity of solanum trilobatum. Asian J Pharm Clin Res, Vol 7, Suppl 1, 2014, 213  
219.
- Rai, M., Gade, A., Rathod, D., Ar Dar, M., et Varma, A., 2012. Mycoendophytes in medicinal plants : Diversity and bioactivities. Biosciences. 86-96
- Raven, M.E., Orton, N.C. 2008. Early afferent signaling in the outer plexiform layer regulates development of horizontal cell morphology. J comp Neurol 506(5) : 745-758
- Ramade F., 2002 : Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement, Éd. Ediscience, Dunod, Technique industrielle, 1085pp
- Redecker, D., Kodner, R., Graham, L.E. 2000. Glomalean fungi from Ordovician. Science. 289: 1920-1921.

## Références bibliographiques

---

- Redecker D. 2002. New views on fungal evolution based on DNA markers and the fossil. *Research in Microbiology*. 153: 125-130
- Redman, R.S., Sheehan K.B., Stout R.G., Rodriguez R.J., Henson J.M., 2002. Thermotolerance conferred to plant host and fungal endophyte during mutualistic symbiosis. *Science* 298, 1581
- Rinaldi, M. G., Anaissie, E. J., Bodey, G. P. 1989, Emerging fungal pathogens, *European Journal of Clinical Microbiology and Infectious Diseases* volume 8, p 323–330.
- Rodriguez, R.J., White, J.F., Arnold, A.E., et Redman, R.S., 2009. Fungal endophytes: diversity and functional roles. *New Phytologist* 182 : 314–330.
- Rubini, M.R., Silva-Ribeiro, R.T., Pomella, A.W.V., Maki, C.S., Araujo, W.L., Santos, D.R. and Azevedo, J.L. 2005. Diversity of endophytic fungal community of cacao (*Theobroma cacao* L.) and biological control of *Crinipellis pernicioso*, causal agent of Witches' Broom Disease. *Int. J Biol Sci.* 1: 24-33.
- Ruinen J. 1956. Occurrence of *Beijerinckia* species in the "Phyllosphere." *Nature* 177:220–221.
- Rodriguez, R.J., Henson, J., Van, Volkenburgh, E., Hoy, M., Wright, L., Beckwith, F., Kim Y.O., Redman, R.S. 2008. Stress tolerance in plants via habitat-adapted symbiosis. *ISME J.* p : 404-416.
- Rye, C., Wise, R., Jurukovski, V., DeSaix, J., Choi, J., Avissar, Y., 2019. Original content by OpenStax <http://cnx.org/contents/185cbf87-c72...f21b5eabd@9.87>).
- Sarma, P., Dkha,r M. S., Kayang, H., Kumar, M., Dubey, N.K., and Raghuvanshi, R., 2018. Diversity of endophytic fungi associated with the medicinally important aromatic plant *Gaultheria fragrantissima*. *studies in Fungi* 3(1): 309-320
- Saikkonen, K., Wali, P., Helander, M. and Faeth, S. H., 2004. Evolution of endophyte-plant symbioses. *Trends in Plant Science*. 275-280.
- Saifeldin, A.F. El-nagerabi<sup>1</sup>, Abdulqadir, E., Elshafie, S., Alkhanjari, S. 2013. Endophytic fungi associated with *Ziziphus* species and new record from mountainous area of Oman. 14(1)

## Références bibliographiques

---

- Sanders IR., 2004 – Plant and arbuscular mycorrhizal fungal diversity-are we looking at the relevant levels of diversity and are we using the right techniques ? *New Phytologist* 164, 415–418.
- Schulz, B., Boyle, C., Draeger, S., Römmert, A.K., Krohn, K., 2006. Endophytic fungi: a source of novel biologically active secondary metabolites. *Mycol Res.* 106(9) : 996–1004.
- Semadi A., 1983. Incidence de la pollution fluorée d'origine industrielle sur la végétation de la région d'Annaba-Algérie, Thèse de Doct. Univ. Paris VII, 79p.
- Sharma V.K., Li X.Y., Bal W., Parmar S., 2019. Endophytic community of Pb-Zn hyperaccumulator *Arabis alpina* and its role in host plants metal tolerance. 1-30.
- Schmidt, C.S., Mrnka, L., Frantik, T., Loveca, P., Vosatka, M., 2018. Plant growth promotion of *Miscanthus × giganteus* by endophytic bacteria and fungi on non-polluted and polluted soils, *MIRCEN Journal of Applied Microbiology and Biotechnology* 34 (3).
- Selosse M.A., et Joyard J., 2019. Symbiose et parasitisme. *Revue encyclopedie de l'environnement.* p 1-10.
- Selosse M.A., et Schardl C.L., 2007. Fungal endophytes of grass: hybrids rescued by vertical transmission? *An evolutionary perspective.* *New Phytologist.* 173 (3) : 452-458.
- Sieber T.N. 2002. Fungal Root Endophytes. In: Waisel Y, Eshel A, Kafkafi U , *Plant roots: The Hidden Half*, third ed. Marcel Dekker, New York, pp. 887-917.
- Simon L., Bousquet J., Lévesque R-C., et Lalonde M., 1993. Origine and diversification of endomycorrhizal fungi and coincidence with vascular land plants. *Nature.* 363: 67-69.
- Smith S.E., Read D.J., 1997. *Mycorrhizal Symbiosis.* Academic Press, Cambridge. 10-12.
- Smith, 1996. Les biomolécules (Protéines, Glucides, Lipides, A.nucléiques), eds ;Masson.
- Stone J. K, White J. F., Jr. and Polishook J. D. 2004. Endophytic fungi. *Measuring and Monitoring Biodiversity of fungi. Inventory and monitoring methods,* Elsevier Academic Press, Boston, MA. pp. 241-270.
- Stone, J., Bacon, C., White, J. Jr. 2000. An overview of endophytic microbes. 3-29.

- Strobel, G., Daisy, B., Castillo, U., Harper, J., 2004. Natural products from endophytic microorganisms. *J Nat Prod* 67:257-268.
- Strobel G. et Daisy B., 2004. Bioprospecting for microbial endophytes and their natural products. *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 67 : 491-502.
- Sturz A.V., Christie, B.R., et Nowak J. 2000. Bacterial endophytes: potential role in developing sustainable systems of crop production. *Crit Rev Plant Sci.* 19: 1-30
- Suryanarayanan, T.S., Venkatesan, G. et Murali T.S. 2003. Endophytic fungal communities in leaves of tropical forest trees: diversity and distribution patterns. *Current Science.* 85 (4): 489-493.
- Sun, X. Guo, L.D., Hyde, K.D. 2011. Community composition of endophytic fungi in *Acer truncatum* and their role in decomposition. *Fungal Divers.* 47:pp 85-95.
- Thaler J.S., Humphrey P.T. et Whiteman N.K., 2012. Evolution of jasmonate and salicylate signal crosstalk. *Trend Plant Sci.* 17:260–270
- Tan R.X. et Zou W.X. 2001. Endophytes: a rich source of functional metabolites. *Natural Product Reports.* 18: 448-459.
- Tanabe Y., O'Donnell K., Saikawa M., Sugiyama J. 2000. Molecular phylogeny of parasitic Zygomycota (Dimargaritales, Zoopagales) based on nuclear small subunit ribosomal DNA sequences. *Molecular, Phylogenetics and Evolution.* 16: 253-262.
- Thakur S., 2017, STUDY OF PHYLLOPLANE MYCOFLORA OF SOME SELECTED MEDICINAL PLANTS, *International Journal of Applied Biology and Pharmaceutical Technology.* p 1-3.
- Taylor J.W., Spatafora J., O'Donnell K., Lutzoni F., James T., Hibbett D.S., Geiser D., Bruns T.D., Blackwell M. 2004. *The Fungi.* In *Assembling the Tree of Life.* Oxford University Press
- Tedersoo, L., Sanchez-ramirez S., Koljalg U., Bahram M., Doring M., Schigel D., May T., Ryberg M. et Abarankov K. 2018. High-level classification of the Fungi and a tool for evolutionary ecological analyses. *90:135–159.*

## Références bibliographiques

---

- Van Aken B, Yoon JM, Just CL and Schnoor JL (2004a) Metabolism and mineralisation of Hexahydro-1,3,5-trinitro-1,3,5-triazine inside poplar tissues (*Populus deltoides* x *nigra* DN-34). *Environmental Science & Technology* 38, 4572-457
- Vossen H.A.M., Mashungwa, G.N. et Mmolotsi, R.M., 2007. *Olea europaea* L.
- Viala, A. et Botta, A., 2007: toxicologie. Lavoisier 2eme édition. Paris 261RA : 1065p.
- Vinit K., Doilom M, Wanasinghe D.N., Bhat D.J., 2018 . Phylogenetic placement of *Akanthomyces muscarius*, a new endophyte record from *Nypa fruticans* in Thailand. *Current Research in Environmental & Applied Mycology* 8(3), 404–417.
- Waller F., Achatz B., Baltruschat H., Fodor J., Becker K., Fischer M., Heier T., Huckelhoven R., Neumann C., von W. D., Franken P. and Kogel K. H., 2005. The endophytic fungus *Piriformospora indica* reprograms barley to salt-stress tolerance, disease resistance, and higher yield. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 102: 13386-13391
- White, J.F. et Bacon, C.W. 2000- Physiological adaptations in the evolution of endophytism in the Clavicipitaceae. p. 237-261.
- White J. F., Torres M.S., 2010. Is plant endophyte-mediated defensive mutualism the result of oxidative stress protection? *Physiol. Plant*, 138: 440-446
- Yu H., Zhang L., Li L., Zheng C., Guo L., Li W., Sun P. and Qin L. 2010, Recent developments and future prospects of antimicrobial metabolites produced by endophytes. *Microbiological Research* 165(6): 437-449
- Yuan Z.L., Zhang C.L., Lin F.C., Kubicek C.P., 2010. Identity, Diversity, and Molecular Phylogeny of the Endophytic Mycobiota in the Roots of Rare Wild Rice (*Oryza granulate*) from a Nature Reserve in Yunnan, China. *Applied and Environmental Microbiology* 76: 1642–1652
- Zabalgogea I., 2008. Fungal endophytes and their interaction with plant pathogens. *Spanish Journal of Agricultural Research*.6: pp138-146
- Zhang H. W., Song Y. C. Tan R. X. 2006- Biology and chemistry of endophytes. *Natural Product Reports* ; 23: 753-771

**Résumé :** Dans notre travail nous nous sommes intéressés à la pollution causée par l'automobile et son impact sur la diversité des mycoendophytes présents dans les feuilles de l'olivier dans deux stations différentes de la wilaya de Tizi-Ouzou (Algérie), il s'agit de la station de Krim Belkacem (très exposée à la pollution automobile) et la station de Attouche (moins exposée à ce genre de pollution). 5 sujets de chaque station et 10 feuilles par sujet ont été choisies pour la mise en culture, chacune est découpée en 5 fragments. Ces derniers sont mis en culture dans le milieu de culture PDA dans des boîtes de Pétri et incubés pendant deux mois à température ambiante. Le calcul de la fréquence de colonisation par les champignons endophytes a donné une (FC%) de 88,2%. La (FC%) de Krim Belkacem est plus importante qu'à Attouche avec une moyenne de 94% contre 82,4%. L'analyse de variance type ANOVA révèle une différence hautement significative ( $P=0,00$ ). L'identification macroscopique et microscopique a révélé que 84% de ces mycoendophytes sont rangés dans le phylum Ascomycota, 11% sont des Basidiomycota et les Zygomycota sont aussi présents avec 5%. Au total 19 genres ont été identifiés. Les genres dominants sont *Aspergillus* et *Trichophyton* dans les deux stations. La station de Krim Belkacem a noté la présence de 16 genres contre 12 genres au niveau de la station d'Attouche. Les endophytes jouent un rôle crucial dans la phytoremediation des métaux lourds, ils peuvent améliorer la croissance des plantes, réduire la phytotoxicité des métaux et affecter la translocation et l'accumulation de métaux chez les plantes.

**Mots clés :** pollution atmosphérique, mycoendophytes, diversité, phytoremediation, olivier, Tizi-Ouzou, Algérie

**Summary:** In our work we were interested in the pollution caused by the automobile and its impact on the diversity of mycoendophytes present in the leaves of the olive tree in two different stations of the wilaya of Tizi-Ouzou (Algeria), the Krim Belkacem station (very exposed to automobile pollution) and the Attouche station (less exposed to this kind of pollution). 5 subjects from each station and 10 leaves per subject were chosen for cultivation, each cut into 5 fragments. These fragments are cultured in the PDA medium in Petri dishes and incubated for two months at room temperature. The frequency of colonization by endophytic fungi is very high, it is 88.2%. Krim Belkacem's frequency is higher than Attouche with an average of 94% against 82.4%. The ANOVA-type analysis of variance reveals a highly significant difference ( $P = 0.00$ ). Macroscopic and microscopic identification revealed that 84% of these mycoendophytes are stored in the phylum Ascomycota, 11% are Basidiomycota and Zygomycota are also present with 5%. A total of 19 genera were identified. The dominant genera are *Aspergillus* and *Trichophyton* at both stations. The station of Krim Belkacem noted the presence of 16 genera against 12 genera at Attouche. Endophytes play a crucial role in the phytoremediation of heavy metals, they can enhance plant growth, reduce the phytotoxicity of metals, and affect the translocation and accumulation of metals in plants.

**Keywords:** atmospheric pollution, mycoendophytes, diversity, phytoremediation, olive tree, Tizi-Ouzou, Algeria.

ملخص: اهتمنا في عملنا بالتلوث الناجم عن السيارات وتأثيره على تنوع الفطريات الموجودة في أوراق شجرة الزيتون في محطتين مختلفتين بولاية تيزي وزو (الجزائر)، وهذا يتعلق محطة كريم بلقاسم (شديدة التعرض لتلوث السيارات) ومحطة عطوش (الأقل تعرضا لهذا النوع من التلوث). تم اختيار 5 موضوعات من كل محطة و10 أوراق لكل موضوع للزراعة، يتم تقطيع كل منها إلى 5 أجزاء. يتم استزراع هذه الأخيرة في وسط استزراع PDA في أطباق بيترى وحصنها لمدة شهرين في درجة حرارة الغرفة. حساب تكرار الاستعمار بواسطة الفطريات الداخلية أعطى 88,2% (FC%). نسبة (FC%) لكريم بلقاسم أعلى منها عند عطوش بمتوسط 94% مقابل 82,4%. يكشف تحليل التباين من نوع ANOVA عن وجود فرق كبير للغاية ( $P = 0.00$ ). كشف التحديد العياني والمجهري أن 84% من هذه الفطريات الفطرية تصنف في شعبة الفطريات الزقية، و11% منها عبارة عن فطريات بازيدية وفطريات زيغومية موجودة أيضًا بنسبة 5%. تم تحديد ما مجموعه 19 جنسا. الأجناس السائدة هي *Aspergillus* و *Trichophyton* في كلا المحطتين. ولاحظت محطة كريم بلقاسم وجود 16 جنسا مقابل 12 جنسا في محطة عطوش. تلعب النباتات الداخلية دورًا حاسمًا في المعالجة النباتية للمعادن الثقيلة، حيث يمكنها تحسين نمو النبات، وتقليل السمية النباتية للمعادن، والتأثير على انتقال المعادن وتراكمها في النباتات.