

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université Mouloud MAMMERRI de Tizi-Ouzou  
Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques



Thèse de  
**DOCTORAT en SCIENCES**  
Spécialité : **Sciences Agronomiques**  
Présentée par  
**ZAREB Amina**  
Intitulé du sujet :

Variation saisonnière de la diversité en mycoendophytes foliaires du pistachier de l'Atlas de dayate Aiat (Laghouat, Algérie).

Jury de soutenance:

Noms et Prénoms	Grades	Lieu d'exercice	Qualité
M <sup>elle</sup> HANNACHI L.	MCA	UMM Tizi-ouzou	Présidente
M <sup>me</sup> SMAIL-SAADOUN N.	Pr	UMM Tizi-ouzou	Directrice
M <sup>r</sup> AIT SAID S.	MCA	UMM Tizi-ouzou	Examineur
M <sup>me</sup> BENZINA F.	MCA	UMB Boumerdes	Examinatrice
M <sup>r</sup> KACI Y.	Pr	USTHB	Examineur
M <sup>r</sup> RIBA A.	Pr	UMB Boumerdes	Examineur

Soutenue publiquement le 11/06/2022

## **Avant-propos**

Je tiens d'abord à remercier, professeur SMAIL-SAADOUNE Noria, pour m'avoir encadré tout en me laissant une liberté quasi-totale. Son optimisme, son recul et nos nombreuses discussions, ses relectures toujours pertinentes et efficaces m'ont permis de murir mes réflexions et de sans cesse améliorer mon travail.

Mes remerciements vont ensuite au professeur BOUDIAF-Malika épouse NAIT-KACI paix à son âme, pour ses encouragements et son soutien depuis mon intégration dans l'équipe. Vous nous avez quitté mais votre présence persiste en nous tous.

Aux honorables membres de jury :

M<sup>elle</sup> HANNACHI L ;

Mr AIT SAID S ;

M<sup>me</sup> BENZINA F ;

M<sup>r</sup> KACI Y ;

M<sup>r</sup> RIBA A.

qui m'ont fait l'honneur d'examiner et améliorer ce travail, veuillez accepter ma profonde reconnaissance.

Un grand merci au personnel de la conservation des forêts de la wilaya de Laghouat pour leurs aides précieuses sur le terrain.

Un grand merci au personnel de l'ONM d'Alger pour les données météorologiques.

A toute ma famille et tous mes chers collègues de l'UMMTO.

## Liste des figures

<b>Fig. 1</b> : modes de transmission des champignons endophytes (Saikkonen et <i>al.</i> , 2004a).....	8
<b>Fig. 2</b> : structures de fructification (ascocarpes) produites par le phylum des Ascomycota avec des asques et des ascocarpes. (A) asques, (B) Cléistothèce, (C) Perithèce et (D) Apothécie (Houbraken et <i>al.</i> , 2014).....	17
<b>Fig. 3</b> : tête aspergillaire bisériée (droite) et unisériée (gauche) (Guillaum, 2006).....	18
<b>Fig. 4</b> : conidiophore et blastospores du genre <i>Cladosporium</i> (X 400) (Guillaum, 2006).....	19
<b>Fig. 5</b> : photo sur lame d'un <i>Rhizopus</i> observé sous microscope optique (X100) (Guillaum, 2006).....	20
<b>Fig. 6</b> : photo sur lame d'un <i>Penicillium</i> observé sous microscope optique au grossissement (X400) (Guillaum, 2006)..... ;;;	21
<b>Fig. 7</b> : conidiophores et conidies d' <i>Epicoccum nigrum</i> (Pitt et Hoching, 2013).....	21
<b>Fig. 8</b> : pycnides avec ostioles du genre <i>Phoma</i> (Dufresne, 2018).....	22
<b>Fig. 9</b> : morphologie du genre <i>Scopulariopsis</i> (Dufresne, 2018).....	23
<b>Fig. 10</b> : Observation microscopique colorée au bleu cotton (X1250) (Benmessaoud, 2010).....	23
<b>Fig. 11</b> : structure mycélienne d'un <i>Rhizoctonia</i> (X400) (Andriamialiharisoa, 2011).....	24
<b>Fig. 12</b> : observation microscopique de <i>Monilia sp.</i> (X400) (Shim et <i>al.</i> , 2007).....	25
<b>Fig. 13</b> : <i>Trichophyton mentagrophytes</i> , (a) macroconidies, (b) microconidies et (c) des hyphes en spiralés (Kidd et <i>al.</i> , 2016).....	26
<b>Fig. 14</b> : stades d'évolution du système racinaire chez le pistachier de l'Atlas (Limane, 2009).....	34

<b>Fig. 15</b> : Symbioses endomycorhizogènes <b>1.</b> hyphes (1) et vésicules (2) remplies de gouttelettes lipidiques (3) caractéristiques du genre <i>Acaulospora</i> (×400). <b>2.</b> arbuscules (1) à troncs épais (2) caractéristiques du genre <i>Scutellospora</i> (×400) (Limane., 2018).....	38
<b>Fig. 16</b> : symbioses endophytiques. Hyphe septé (1) et microsclérotos matures pigmentées en marron (2) de DSE (×100) (Limane., 2018).....	39
<b>Fig. 17</b> : hyphes marron septés de surface (1) et interne (2) et microsclérotos (3) de DES (×100) (Limane, 2018).....	39
<b>Fig. 18</b> : feuilles du pistachier de l'Atlas à Timzerth (Avril 2016) (Limane, 2018).....	41
<b>Fig. 19</b> : micrographies électroniques à balayage de la surface des feuilles abaxiales montrant les caractéristiques de l'épiderme de la station de Messaad (Belhadj et al., 2007). ....	43
<b>Fig. 20</b> : micrographies électroniques à balayage de la surface des feuilles abaxiales montrant l'apparence des stomates de la station d'Aflou (Belhadj et al., 2007).....	44
<b>Fig. 21</b> : micrographies montrant un trichome de la feuille de <i>Pistacia atlantica</i> : poil glandulaire et dépôts de cire sur l'épiderme (Belhadj et al., 2008). ....	44
<b>Fig. 22</b> : observation microscopique d'une forte colonisation en champignons endophytes ( <b>ch end</b> ) au niveau des espaces internervaires ( <b>ei</b> ) et au niveau des nervures principales ( <b>np</b> ) et nervures secondaires ( <b>ns</b> ) de la feuille du pistachier de l'Atlas (x 400) (Zareb, 2014).....	45
<b>Fig. 23</b> : observation microscopique d'une colonisation inter ( <b>a</b> ) et intracellulaire ( <b>b</b> ) des cellules épidermiques de la feuille du pistachier de l'Atlas (x 400) (Zareb, 2014).....	46
<b>Fig. 24</b> : observation microscopique des stomates ( <b>st</b> ) de part et d'autre de la nervure principale ( <b>np</b> ) de la feuille du pistachier de l'Atlas, ( <b>tg</b> ) trichome glandulaire colonisés par des champignons endophytes (x 400) (Zareb, 2014).....	46
<b>Fig. 25</b> : localisation de la ville de Laghouat (google maps, 2014). échelle 1/200 000 <sup>e</sup> .....	49
<b>Fig. 26</b> : diagrammes ombrothermique de Bagnouls et Gaussen (1953) sur dix ans et les quatre saisons d'échantillonnage de la station de Hassi R'mel.....	53
<b>Fig. 27</b> : sujet jeune (immature) de <i>Pistacia atlantica</i> Desf de dayate Aiat.....	27
<b>Fig. 28</b> : sujet moyen de <i>Pistacia atlantica</i> Desf. entouré de jujubier. ....	57

<b>Fig. 29</b> : sujet âgé de <i>Pistacia atlantica</i> Desf. ....	57
<b>Fig. 30</b> : localisation des sujets échantillonnés au niveau de dayate Aiat.....	58
<b>Fig. 31</b> : fréquences de colonisation (FC%) par des champignons endophytes isolés à partir des feuilles de <i>Pistacia atlantica</i> de dayate Aiat durant les 4 saisons d'échantillonnage.....	66
<b>Fig. 32</b> : conidiophores et spores du genre <i>Aspergillus</i> (X400) identifié au niveau de la feuille de <i>Pistacia atlantica</i> de dayate Aiat.....	72
<b>Fig. 33</b> : conidies et filaments du genre <i>Epicoccum</i> (X400) identifié au niveau de la feuille de <i>Pistacia atlantica</i> de dayate Aiat. ....	72
<b>Fig. 34</b> : spores et filaments mycéliens du genre <i>Cladosporium</i> (X400) identifié au niveau de la feuille de <i>Pistacia atlantica</i> de dayate Aiat. ....	75
<b>Fig. 35</b> : filaments mycéliens du genre <i>Trichophyton</i> (X400) identifié au niveau de la feuille de <i>Pistacia atlantica</i> de dayate Aiat. ....	83
<b>Fig. 36</b> : répartition des différents genres de champignons endophytes identifiés au niveau de la feuille de <i>Pistacia atlantica</i> selon les saisons d'échantillonnage.....	96

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1</b> : textures des différents sols sous pistachiers de l'Atlas précédemment étudiés en Algérie.....	35
<b>Tableau 2</b> : intervalles des pH des différents sols sous pistachiers de l'Atlas précédemment étudiés en Algérie.....	36
<b>Tableau 3</b> : intervalles des teneurs en calcaire total des différents sols sous pistachiers de l'Atlas, précédemment étudiés en Algérie. ....	36
<b>Tableau 4</b> : Intervalles des teneurs en matière organique des différents sols sous pistachiers de l'Atlas précédemment étudiés en Algérie. ....	37
<b>Tableau 5</b> : températures et pluviométries des années étudiées selon la station de Hassi R'mel.....	51
<b>Tableau 6</b> : Différent paramètres pédologiques du sol sous pistachier de l'Atlas de dayate Aiat de la station de Timzirth (Laghouat) étudiées auparavant. ....	54
<b>Tableau 7</b> : caractéristiques générales des sujets échantillonnés. ....	56
<b>Tableau 8</b> : fréquences de colonisation (FC%) par des champignons endophytes isolés à partir des feuilles de <i>Pistacia atlantica</i> de dayate Aiat durant le printemps 2013, après 2 mois d'incubation à température ambiante. ....	62
<b>Tableau 9</b> : fréquences de colonisation (FC%) par des champignons endophytes isolés à partir des feuilles de <i>Pistacia atlantica</i> de dayate Aiat durant le printemps 2016, après 2 mois d'incubation à température ambiante. ....	63
<b>Tableau 10</b> : fréquences de colonisation (FC%) par des champignons endophytes isolés à partir des feuilles de <i>Pistacia atlantica</i> de dayate Aiat durant l'automne 2015, après 2 mois d'incubation à température ambiante.....	64
<b>Tableau 11</b> : fréquences de colonisation (FC%) par des champignons endophytes isolés à partir des feuilles de <i>Pistacia atlantica</i> de dayate Aiat durant l'automne 2016, après 2 mois d'incubation à température ambiante. ....	65

<b>Tableau 12</b> : fréquences de colonisation (FC%) par des champignons endophytes isolés à partir des feuilles de <i>Pistacia atlantica</i> de dayate Aiat durant les 4 saisons d'échantillonnage, après 2 mois d'incubation à température ambiante. ....	66
<b>Tableau 13</b> : abondance des genres de champignons endophytes isolés à partir des fragments de feuilles du pistachier de l'Atlas mises en culture durant le printemps 2013, après deux mois d'incubation à température ambiante. ....	70
<b>Tableau 14</b> : genres à des différences significatives durant le printemps 2013. ....	73
<b>Tableau 15</b> : abondance des genres de champignons endophytes isolés à partir des fragments de feuilles du pistachier de l'Atlas mises en culture durant le printemps 2016, après deux mois d'incubation à température ambiante. ....	75
<b>Tableau 16</b> : différents genres présentant des différences significatives durant le printemps 2016.....	76
<b>Tableau 17</b> : abondance des genres de champignons endophytes isolés à partir des fragments de feuilles du pistachier de l'Atlas mises en culture durant le printemps 2013-2016, après deux mois d'incubation à température ambiante. ....	77
<b>Tableau 18</b> : genres à différences significatives entre les printemps 2013 et 2016.....	77
<b>Tableau 19</b> : indices de Shannon Weaver calculés au niveau des feuilles du pistachier de l'Atlas pour les deux printemps d'échantillonnage.....	79
<b>Tableau 20</b> : Indices de Shannon Weaver globaux calculés au niveau des feuilles du pistachier de l'Atlas pour les deux printemps d'échantillonnage. ....	80
<b>Tableau 21</b> : abondance des genres de champignons endophytes isolés à partir des fragments de feuilles du pistachier de l'Atlas mises en culture durant l'automne 2015, après deux mois d'incubation à température ambiante. ....	84
<b>Tableau 22</b> : genres à différences significatives pour l'automne 2015.....	84
<b>Tableau 23</b> : abondance des genres de champignons endophytes isolés à partir des fragments de feuilles du pistachier de l'Atlas mises en culture durant l'automne 2016, après deux mois d'incubation à température ambiante. ....	85

---

<b>Tableau 24</b> : genres à différences significatives pour l'automne 2016.....	86
<b>Tableau 25</b> : abondance des genres de champignons endophytes isolés à partir des fragments de feuilles du pistachier de l'Atlas mises en culture durant l'automne 2015-2016, après deux mois.....	88
<b>Tableau 26</b> : genres à différences significatives pour les 2 automnes 2015 et 2016.....	89
<b>Tableau 27</b> : indices de Shannon Weaver calculés au niveau des feuilles du pistachier de l'Atlas pour les deux automnes considérés.....	90
<b>Tableau 28</b> : indices de Shannon Weaver globaux calculés au niveau des feuilles du pistachier De l'Atlas pour les deux automnes échantillonnés. ....	90
<b>Tableau 28</b> : abondance des champignons endophytes en fonction des saisons au niveau de la feuille de <i>Pistacia atlantica</i> . ....	93
<b>Tableau 29</b> : groupes homogènes concernant l'indice de diversité (H) pour les quatre saisons.....	95
<b>Tableau 30</b> : matrice de corrélation de Pearson.....	97

## Tables des matières

### Remerciements

### Liste des figures

### Liste des tableaux

	Page
Introduction générales.....	2
<b>Chapitre I : Mycoendophytes</b>	
1.Introduction.....	7
2. Biologie des champignons endophytes.....	7
3.Rôles des champignons endophytes.....	11
3.1. Nutrition.....	11
3.2. Croissance.....	11
3.3. Réponses aux différents stress.....	12
4.Diversité des champignons endophytes.....	15
4-1- <i>Aspergillus</i> .....	18
4-2- <i>Cladosporium</i> .....	19
4-3- <i>Rhizopus</i> .....	19
4-4- <i>Penicillium</i> .....	20
4-5- <i>Epicoccum</i> .....	21
4-5- <i>Phoma</i> .....	21
4-7- <i>Scopulariopsis</i> .....	22
4-8- <i>Rhodotorula</i> .....	24

4-9- <i>Rhizoctonia</i> .....	23
4-10- <i>Monilia</i> .....	24
4-11- <i>Trichophyton</i> .....	25
5. Ecologie des champignons endophytes.....	26
6. Variabilité saisonnière de la diversité en mycoendophytes foliaires.....	28

## **Chapitre II. Description de l'espèce.**

1. Introduction.....	32
2. Système racinaire et sols sous pistachiers de l'Atlas.....	33
3. Feuilles du pistachier de l'Atlas.....	40

## **Chapitre III. Matériel et méthodes**

1. Zone d'étude.....	49
1.1. Description de la zone d'étude.....	49
1.2. Bioclimat de la zone d'étude.....	51
1.3. Sols.....	54
1.4. Végétation.....	54
2. Echantillonnage sur le terrain.....	55
3. Mise en culture des feuilles.....	59
3.1. Stérilisation superficielle.....	59
<b>3.2. Mise en culture</b> .....	59
3.3. Préparation et stérilisation.....	59
3.4. Identification.....	60
3.5. Analyse statistique.....	60

## **4. Chapitre IV: Résultats et discussion**

1. Fréquence de colonisation.....	62
1.1. Résultats.....	62
1.1.1. Fréquences de colonisation pour le printemps 2013.....	62
1.1.2. Fréquences de colonisation pour le printemps 2016.....	63

1.1.3. Fréquences de colonisation pour l'automne 2015.....	63
1.1.4. Fréquences de colonisation pour l'automne 2016.....	64
1.1.5. Fréquence de colonisation globale.....	65
1.2.Discussion.....	67
2. Diversité.....	70
2.1. Résultats Printemps 2013.....	70
2.2. Résultats Printemps 2016.....	73
2.3. Résultats deux printemps 2013 et 2015 .....	76
2.4. Discussion.....	80
2.5. Résultats automne 2015.....	82
2.6. Résultats automne 2016.....	85
2.7. Résultats 2 automnes 2015 et 2016.....	87
2.8. Discussion.....	91
2.9. Résultats quatre saisons.....	92
2.10. Discussion.....	98
Conclusion et perspectives.....	105

Références bibliographiques .....	108
-----------------------------------	-----

Résumé

# **Introduction générale**

## Introduction générale

Parmi les essences intéressantes peuplant nos zones arides, nous pouvons citer le bétoum ou pistachier de l'Atlas. C'est un arbre ubiquiste du Nord de l'Afrique et du Proche Orient (Monjauze, 1980). Il présente une amplitude écologique et une plasticité remarquables. On le trouve au cœur du Sahara jusqu'aux marges du bioclimat humide (Quézel et Médail, 2003). C'est une espèce protégée par la législation algérienne. Le pistachier de l'Atlas présente un système racinaire très puissant. Dans des conditions de climat semi-aride, il développe principalement un système racinaire superficiel, suffisant pour ses besoins en hydrominéraux importants. Avec l'augmentation de l'aridité climatique et édaphique, la plante adopte une stratégie phréatophytique, en accroissant la longueur et l'épaisseur des racines profondes, en contact avec les niveaux d'humidité profonds, protégés de l'évapotranspiration durant les saisons sèches. C'est d'ailleurs pour cela qu'il constitue un excellent porte-greffe pour le pistachier vrai (Limane et *al.*, 2014). La partie aérienne du bétoum est très importante. C'est un arbre puissant à couronne volumineuse arrondie, qui peut atteindre 15 à 20 m de haut (Quézel et Médail, 2003). Il présente donc un « effet Oasis » pour les espèces présentes sous sa canopée. Ses rameaux feuillés sont utilisés pour tanner le cuir (Ozenda, 2004), mais surtout comme fourrage pendant la saison estivale. Le pistachier de l'Atlas produit une huile commercialisable et aussi importante que l'huile d'olive. En effet, ses graines sont riches en lipides et notamment en acides gras insaturés (oléique et linoléique) et en phytostérols, présentant des intérêts diététiques et nutritionnels (Bennabdellah, 2011).

Autrefois très abondante, cette essence ne cesse de régresser d'année en année suite à des actions anthropiques (Dahmani, 2011). Les conditions climatiques de la plupart des régions steppiques, semi-arides et arides de notre pays sont favorables à son extension. Pourtant c'est l'inverse qui est en train de se produire, l'aire du pistachier de l'Atlas ne cesse de décliner en raison, d'une part, du peu d'intérêt des décideurs à cette espèce (budgets très limités pour l'entretien et la régénération des pistacheraies naturelles des dayas) et d'autre part, aggravé par une exploitation anarchique des arbres (bois de chauffage et pâturage) et le mauvais état sanitaire de certaines populations (Benabdellah, 2011). Tous ces problèmes qui menacent la présence du pistachier de l'Atlas dans ces régions, limitent la présence mais aussi la diversité des espèces de bactéries et de champignons, qui lui sont endophytes. Ces dernières sont mutualistes de cette essence et forment des symbioses mycorhiziennes et endophytiques au niveau du système racinaire et des feuilles.

Le terme « endophytes » a été introduit par De Bary (1866) (Moricca et Ragazzi, 2008 ; Selvanathan et *al.*, 2011) et a été d'abord appliqué à un organisme existant dans une plante (Toofanee et Dulymamode, 2002). Le mot « endophyte » signifie « à l'intérieur de la plante » (dérivé du grec « endon » qui signifie « dans » et « phyton » qui signifie « plante »). Bien que le terme ait plusieurs significations, les endophytes sont le plus souvent définis comme des organismes dont « les infections sont peu visibles, les tissus hôtes infectés sont au moins de manière transitoire sans symptôme, et la colonisation microbienne peut être démontrée comme étant interne » (Stone et *al.*, 2000) (Nath et *al.*, 2015). Un endophyte est un endosymbiote (tout organisme qui vit dans le corps ou les cellules d'un autre organisme, formant ainsi une endosymbiose), souvent une bactérie ou un champignon, qui vit dans une plante pendant au moins une partie de sa vie sans causer de maladie apparente 4,5 (Vardhana et *al.*, 2017).

Bien que beaucoup d'études aient été réalisées sur le pistachier de l'Atlas, en Algérie elles ont surtout ciblé sa partie aérienne, plus accessible. Nous pouvons citer non exhaustivement les travaux sur l'analyse de la variabilité morphologique de ses feuilles et ses fruits (Belhadj et *al.*, 2008), sur sa micromorphologie foliaire (Belhadj et *al.*, 2007) et ses stomates (Belhadj, 2007) ; les travaux d'Ait Saïd et *al.* (2011) sur sa morpho-anatomie et phytochimie foliaires ; les travaux de Hadj Aissa (2004) sur l'évolution de l'activité antioxydante de ses feuilles et de ses fruits ; les travaux de Chehrit-Hacid (2016) qui concernent une comparaison de la variabilité phénolique des feuilles de *P. atlantica* en relation avec les facteurs environnementaux. Par ailleurs, des travaux sur les champignons endophytes foliaires associés à cette espèce ont été récemment réalisés dans le cadre des travaux de recherche du laboratoire «Ressources Naturelles» de l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou (Algérie). Nous citons en l'occurrence ceux de Zareb (2014, 2016 et 2018) et ceux de Benfoddil (2015).

Les champignons sont associés à des végétaux depuis plus de 400 millions d'années (Krings et *al.*, 2007 ; Sun et *al.*, 2011 ; Vyas et *al.*, 2018). Ils ont été identifiés chez près de 300000 espèces de plantes (Strobel et Daisy, 2003 ; Yu et *al.*, 2018). La grande diversité des champignons endophytes (Arnold et Lutzoni, 2007 ; Hyde et Soyong, 2008 ; Sun et *al.*, 2011 ; Lakshman et Kurandawad, 2013), leur capacité à produire divers produits chimiques bioactifs (Aly et *al.*, 2010 ; Sun et *al.*, 2011 ; Rivera-Orduna et *al.*, 2011 ; Yu et *al.*, 2018), la promotion de la croissance et de la résistance de leur hôte (Rodriguez et *al.*, 2009 ; Sun et *al.*, 2011 ; Lakshman et Kurandawad, 2013 ; Wu et *al.*, 2019), font que l'étude des endophytes est devenu

l'un des plus importants points de la recherche en mycologie (Sun et *al.*, 2011). Ils attirent de plus en plus l'attention et sont considérés comme des agents de lutte biologique prometteurs, en raison de leur colonisation intracellulaire de plantes saines et généralement, en l'absence de tout symptôme visible de la maladie (Petrini, 1991 ; Azevedo et *al.*, 2000 ; Porrás-Alfaro et Bayman, 2011 ; Suryanarayanan et *al.*, 2011 ; Yu et *al.*, 2018 ; Wu et *al.*, 2019). Les endophytes constituent un élément important de l'écosystème forestier (Porrás-Alfaro et Bayman, 2011 ; Suryanarayanan et *al.*, 2011 ; Wu et *al.*, 2019). Ils sont potentiellement utiles pour la mise au point de médicaments et la conservation des plantes médicinales sauvages (Wu et *al.*, 2019). Les plantes médicinales hébergeraient des endophytes (Strobel, 2002), qui auraient la capacité de protéger leur hôte contre les agents infectieux et fourniraient également une capacité d'adaptation pour survivre dans des conditions défavorables (Suradkar et *al.*, 2014). La présence d'un mycota diversifié, notamment, les endophytes non systémiques ajouterait une diversité phénotypique au sommet de la diversité génétique, ce qui pourrait donner un avantage évolutif aux arbres, avec de multiples espèces endophytes associées (Albrechtsen et *al.*, 2010). Les microorganismes endophytes qui vivent dans les tissus végétaux ont été considérés comme des facteurs déterminants pour la santé et la productivité des plantes (Berg et *al.*, 2014 ; Materatski et *al.*, 2018), l'accent étant mis sur ceux qui vivent dans la phyllosphère (Lindow et Brandl, 2003 ; Materatski et *al.*, 2018).

Il y a plusieurs raisons de considérer la phyllosphère comme un système modèle pour tester les concepts et les théories écologiques. La première est sa grande hétérogénéité à l'environnement. La microbiologie de la phyllosphère a aussi le potentiel pour tester des théories écologiques très controversées, telles que les théories de la biodiversité (Meyer et Leveau, 2012). En outre, la phyllosphère est très accessible à la manipulation expérimentale, facilitant les expériences avec la réplication suffisante et des tests statistiques avec une puissance considérable (Remus-Emsermann et Leveau, 2010 ; Meyer et Leveau, 2012).

Pour une meilleure connaissance des interactions du pistachier de l'Atlas avec ces microorganismes dans ces biomes arides, les objectifs poursuivis dans ce travail reposent principalement sur l'isolement des champignons endophytes associés à la feuille de *Pistacia atlantica* de dayate Aiat et l'identification morphologique (macroscopique et microscopique) des

endophytes isolés durant 4 saisons d'échantillonnage. Il s'agit du printemps 2013, automne 2015, printemps 2016 et l'automne 2016. Nous avons scindé cette thèse en cinq chapitres, à savoir :

- le chapitre I concerne les mycoendophytes foliaires ;
- le chapitre II décrit l'espèce végétale ;
- le chapitre III concerne le matériel et les méthodes utilisés ;
- le chapitre IV concerne les résultats des fréquences de colonisation et de la diversité de mycoendophytes associés à la feuille de *Pistacia atlantica* durant les 4 saisons d'échantillonnage ;
- quant au chapitre V, il propose les conclusions à ces travaux, ainsi que des perspectives qui nous paraissent importantes.

**Chapitre I**  
**Mycoendophytes**

## 1.Introduction

La phyllosphère supporte de nombreux microorganismes (Meyer et Leveau, 2012). La plupart sont bénéfiques pour les plantes hôtes, en terme de production d'hormones régulant la croissance des plantes, de solubilisation de minéraux et de leurs propriétés antagonistes contre les phytopathogènes (Nath et *al.*, 2015). La colonisation par ces microorganismes phyllosphériques améliore l'adaptabilité écologique de la plante, en améliorant sa tolérance aux stress biotiques et abiotiques (Dastogeer et *al.*, 2017 ; Mehmood et *al.*, 2018).

Les champignons endophytes sont omniprésents dans la nature (Arnold et *al.*, 2003 ; Hyde et Soyong, 2008 ; Ghimire et *al.*, 2011 ; Sadeghi et *al.*, 2019). On estime qu'il existe plus d'un million de champignons endophytes qui survivent dans la nature et que de tels champignons ont été trouvés chez toutes les espèces de plantes étudiées à ce jour (Strobel et *al.*, 2004 ; Verma et *al.*, 2009 ; Asaf et *al.*, 2018). Ce sont des microorganismes très répandus dans les tissus végétaux (Gouda et *al.*, 2016 ; Mehmood et *al.*, 2018). C'est une partie intégrante du microbiome de la plante ; ils infectent et colonisent les Algues, les Bryophytes, les Ptéridophytes, les Gymnospermes et les Angiospermes (Hyde et Soyong, 2008 ; Suryanarayanan et *al.*, 2012). La relation entre le champignon endophyte et son hôte a été généralement considérée comme une relation mutualiste (Clay et *al.*, 1993 ; Vesterlund et *al.*, 2011), mais elle peut varier du mutualisme à l'antagonisme, en fonction du génotype du champignon et de l'hôte, ainsi que des conditions environnementales, en particulier chez les herbes et les arbustes indigènes (Faeth et Sullivan, 2003 ; Vesterlund et *al.*, 2011).

## 2.Biologie des champignons endophytes

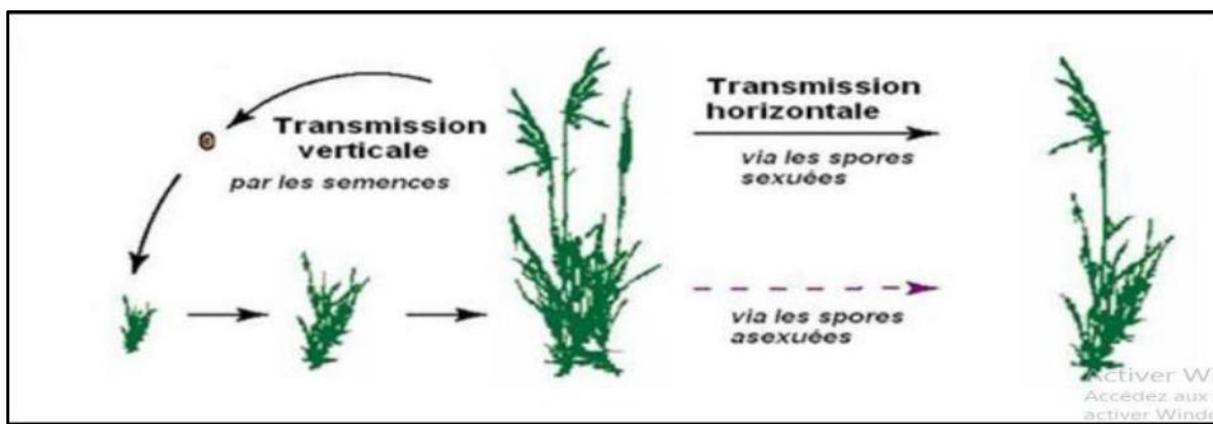
---

Il existe deux modes de transmission des champignons endophytes. La transmission des champignons endophytes aux espèces hôtes s'effectue soit horizontalement via les spores, soit verticalement en envahissant les graines (Rodriguez et *al.*, 2009 ; Mehmood et *al.*, 2018).

La transmission horizontale du champignon est commune chez les plantes ligneuses (Faeth et Fagan, 2002 ; Khan, 2007). Elle se caractérise par la colonisation d'un nouvel hôte n'ayant la plupart du temps pas de lien avec l'hôte primaire. Elle procède de la dissémination de spores par un vecteur de dispersion. Après germination, l'hyphe pénètre le nouvel hôte soit par les stomates, soit par pénétration directe au travers de l'épiderme. La plupart des espèces d'endophytes, colonisant la plus grande partie des végétaux présentent ce mode de

transmission. Les spores peuvent être issues de la reproduction sexuée ou asexuée du champignon (Senequier-Crozet et Canard, 2016) (**Figure 1**).

Dans le cas d'une transmission verticale, le champignon endophyte se développe complètement dans le tissu de la plante et ne produit jamais de structure externe ou des corps de fructification. La reproduction de ce groupe d'endophytes est complètement interne (Selosse et Scardl, 2007 ; Khan, 2007). Leur reproduction aboutit à travers la croissance végétative des hyphes au développement des ovules de l'hôte, dont elle cause une infection des graines (Khan, 2007) (**Figure 1**).



**Figure 1** : modes de transmission des champignons endophytes (Saikkonen et *al.*, 2004a).

Conformément à leurs stratégies de vie, les endophytes peuvent être soit « obligatoires » : ils sont strictement dépendants de la plante hôte pour leur croissance et leur survie et leur transmission à d'autres plantes se produit verticalement ou par des vecteurs ou « facultatifs » : leur cycle de vie possède un stade dans lequel il existe d'autres plantes hôtes (Li et *al.*, 2012).

Des études sur les endophytes ont montré que chaque hôte particulier poussant sur un site donné peut être considéré comme un écosystème distinct, les organes de la plante constituant le micro-habitat des champignons endophytes (Petrini et *al.*, 1992 ; Collado et *al.*, 1999). Ces champignons habitent tous les organes (racine, tige, feuille, fleur, fruit et graine) de la plante hôte (Yu et *al.*, 2018). Les champignons endophytes pénètrent dans les tissus végétaux au niveau du système racinaire, cotylédons, tige, feuille et fleur et ils peuvent soit se localiser au point d'entrée ou se propager dans toute la plante (Li et *al.*, 2012).

Les communautés de mycoendophytes peuvent varier spatialement dans de nombreux types de plantes (Kumar et Hyde, 2004 ; Rivera-Orduña et *al.*, 2011). Chaque plante des quelques 270.000 espèces existantes sur terre est l'hôte d'un ou plusieurs champignons

endophytes (Hyde et Soyong, 2008 ; Rivera-Orduña et *al.*, 2011). La longévité des arbres, la diversité de leurs organes et des tissus (racines, tronc, écorce, brindilles, branches, feuilles, bourgeons et fleurs) et les variations de l'environnement local des différents tissus conduisent à de nombreuses niches différentes, qui sont colonisées plus ou moins par des ensembles différents de champignons endophytes (Moricca et Ragazzi, 2008). La présence de champignons endophytes au niveau d'une plante dépend de l'espèce et de l'environnement dans lequel elle vit. Chaque partie de la plante donnera un nombre différent d'isolats de champignons endophytes (Fitriarni et Kasiamdari, 2018).

La colonisation des tissus de l'hôte par des champignons endophytes dépend également de la réussite de la pénétration des couches protectrices externes, qui peut se faire par la rupture mécanique des tissus de protection, par digestion enzymatique des couches cuticulaires et épidermiques (Toofanee et Dulymamode, 2002 ; Jumpponen et Trappe, 1998) et par les ostioles des stomates (Senequier-Crozet et Canard, 2016).

La colonisation et la distribution des champignons endophytes pourraient être influencées par la texture, la physiologie et la chimie des tissus des plantes (Arnold et *al.*, 2001 ; Wei et *al.*, 2007 ; Gao et *al.*, 2019). Une composition en mycoendophytes différente peut être notée dans les organes hôtes, en raison des différences histologiques et de la disponibilité des éléments nutritifs permettant la colonisation de ces champignons de manière spécifique au tissu (Arnold, 2007 ; Chauhan et *al.*, 2019). Ces mêmes champignons colonisent les espaces inter et intracellulaires des tissus de végétaux vivants (Zhang et *al.*, 2006).

Les espaces intercellulaires sont formés par la juxtaposition de trois à quatre cellules. Ils sont très différents dans les feuilles et les tiges, par opposition aux racines. Ils constituent une partie significative de la plante (Kuldau et Bacon, 2008 ; Garcia et *al.*, 2012). 6% des tissus de la feuille se composent d'espaces intercellulaires (Tetlow et Farrar, 1993 ; Kuldau et Bacon, 2008). L'espace intercellulaire est riche en substances nécessaires à la croissance des champignons endophytes, tels les sucres (Farrar et Farrar, 1986 ; Kuldau et Bacon, 2008). En modifiant le pH de l'apoplasme, des champignons endophytes peuvent modifier indirectement l'activité des enzymes spécifiques et la cinétique d'absorption de sucres des cellules hôtes et augmenter, ainsi la concentration de sucres dans l'apoplasme. L'apparition dans l'apoplasme de protéines, ammonium, nitrates, nitrites, acides aminés, acides organiques et sucres sert à réguler l'activité biologique des champignons endophytes et contribue à la diversité des métabolites secondaires produits par des génotypes spécifiques de chaque espèce ou

souche endophyte (Kuldau et Bacon, 2008).

Cependant, certains mycoendophytes trouvés dans les jeunes feuilles sont absents ou sont moins fréquents dans les feuilles matures. Cela peut s'expliquer par l'environnement intrinsèque des feuilles, qui a subi des changements (Toofanee et Dulymamode, 2002). Les feuilles à mesure qu'elles grandissent favorisent donc des endophytes différents. Les feuilles matures subissent plus de photosynthèse et offrent également de grandes quantités de nutriments aux champignons endophytes (Toofanee et Dulymamode, 2002). La fréquence de colonisation par les endophytes augmente avec l'âge de la feuille et atteint un maximum, quand les feuilles sénescentes sont sur le point d'être répandues. Cette colonisation accrue des feuilles âgées est due à une surinfection des feuilles au fil du temps par l'inoculum aérien (Rodrigues et *al.*, 1993 ; Suryanarayanan Vijaykrishna, 2001 ; Suryanarayanan et Thennarasan, 2004). La communauté endophyte est dynamique, même dans les feuilles intactes et de tels changements dans les communautés sont susceptibles d'être plus visibles chez les espèces à feuilles caduques, que celles à feuilles persistantes (Suryanarayanan et Thennarasa, 2004).

La dégradation des biomasses mortes est une étape majeure dans le retour des nutriments utilisés dans l'environnement, qui redeviennent accessibles aux êtres vivants. Les mycoendophytes ont le potentiel de décomposer des molécules complexes en une forme plus simple et de les mettre à la disposition de l'ensemble des êtres vivants présents (Mishra et *al.*, 2014). La remobilisation des nutriments stockés est utilisée par beaucoup d'arbres pour augmenter la fourniture en nutriments provenant du sol (Millard, 1996 ; Couturier, 2007). Selon Couturier (2007) au cours de l'automne, un changement au niveau du métabolisme foliaire s'opère, avec une diminution de l'assimilation primaire au profit de la remobilisation et de l'export des nutriments vers les tissus pérennes pour un stockage au cours de la période hivernale. Au printemps suivant, les réserves accumulées au niveau des racines et des tiges sont dégradées et les nutriments résultants sont fournis aux jeunes tissus pendant le débourrement des bourgeons et au début de la période de croissance (Bollmark et *al.*, 1999 ; Couturier, 2007).

### 3. Rôles des champignons endophytes

#### 3.1. Nutrition

Les champignons endophytes ont gagné en importance en raison de leur rôle dans la solubilisation de minéraux tels que le phosphore, l'azote, le fer, le zinc et le potassium. Le phosphore (P) est un macroélément essentiel à la croissance et au développement biologique (Asaf et *al.*, 2018). P soluble est souvent l'élément nutritif limitant de la production de la biomasse dans les écosystèmes naturels. Les champignons favorisant la croissance des plantes améliorent la croissance de l'hôte en produisant différentes enzymes, permettant la solubilisation du phosphore (Malla et *al.*, 2004 ; Wakelin et *al.*, 2004 ; Asaf et *al.*, 2018) et la production de sidérophores (Costa et Loper 1994 ; Asaf et *al.*, 2018). Les modes d'absorption et de nutrition chez les champignons ont conduit à la sécrétion d'une batterie d'enzymes, qui catabolise des complexes de polymères organiques dans l'environnement en petits constituants, absorbés ensuite par leurs cellules pour le métabolisme. On peut citer à titre d'exemple des amylases, cellulases, chitinases, laccases, lipases, protéases et polyphénols oxydases (Suryanarayan et *al.*, 2012).

#### 3.2. Croissance

L'AIA est la principale auxine qui contrôle la division cellulaire, la différenciation tissulaire et les réponses à la lumière et à la gravité (Mehmood et *al.*, 2018). La production de phytohormones est un attribut essentiel permettant aux endophytes de favoriser la croissance des plantes, en améliorant la capacité de l'hôte à tolérer et à surmonter les différents stress environnementaux abiotiques et biotiques (Ansari et *al.*, 2013 ; Waqas et *al.*, 2014 ; Fouda et *al.*, 2015 ; Ma et *al.*, 2016 ; Hamayun et *al.*, 2017 ; Khan et *al.*, 2017 ; Sandhya et *al.*, 2017 ; Asaf et *al.*, 2018). Les AIA produites par des champignons peuvent induire la formation de racines latérales et le développement des poils absorbants (Contreras-Cornejo et *al.*, 2009 ; Mehmood et *al.*, 2018), la formation de bourgeons et de fleurs axillaires (Reinhardt et *al.*, 2000 ; Asaf et *al.*, 2018), améliorant ainsi la capacité d'absorption des nutriments par les plantes. Le rôle des AIA produites par les champignons dans différentes interactions plante-champignons peut également entraîner des modifications des mécanismes de défense de la plante (Fu et *al.*, 2015 ; Mehmood et *al.*, 2018).

Le rôle de l'AIA microbienne dans les interactions plante-microbe a fait l'objet d'une attention croissante ces dernières années. Certaines études ont montré que l'AIA peut

agir comme une molécule de signalisation chez les microorganismes (Yuan et *al.*, 2008 ; Mehmood et *al.*, 2018).

Les champignons endophytes ont été rapportés pour la synthèse d'autres hormones végétales, telles que les gibbérellines (GA) Khan et *al.* (2008) ; Hamayun et *al.* (2010) et Khan et *al.* (2011). Actuellement, 136 GA et plus de deux douzaines de champignons, pathogènes et non pathogènes, associés à des plantes et / ou au sol, ont été signalés en tant que producteurs de GA (Ahmad et *al.*, 2010 ; Bomke et Tudzynski., 2009 ; Khan et *al.*, 2011).

Les gibbérellines sont des acides diterpénoïdes tétracycliques qui régulent divers processus physiologiques des plantes, notamment la germination des graines, le développement des plantules, la croissance des tiges et des feuilles, l'initiation florale et la croissance des fleurs et des fruits (Pharis et King 1985 ; Crozier 2000 ; King et Evans 2003 ; Davies, 2010 ; Asaf et *al.*, 2018), ainsi que l'élongation de la tige (Seyis Bilkay et *al.*, 2010). Ils favorisent la croissance des racines et le développement des poils absorbants et inhibent la différenciation des boutons floraux chez les Angiospermes ligneuses. En outre, elles régulent la dormance des bourgeons végétatifs et reproducteurs et retardent également la sénescence de nombreux organes chez diverses espèces de plantes (Fulchieri et *al.*, 1993 ; Reinoso et *al.*, 2002 ; Asaf et *al.*, 2018).

Certaines souches fongiques sont capables de produire de plus grandes quantités de GA3 que les plantes (Hedden et *al.*, 2001 ; Leitão et Enguita, 2016). Une nouvelle souche de *Cladosporium sphaerospermum*, isolée des racines de *Glycine max* (L) Merr a montré la synthèse de quantités plus élevées de GA3, GA4 et GA7 bioactifs, qui ont induit une croissance maximale des plantes dans les variétés de riz et de soja (Hamayun et *al.*, 2009 ; Mishra et *al.*, 2014).

### 3.3. Réponses aux différents stress

Les plantes indigènes adaptées aux écosystèmes arides ont développé des mécanismes uniques et des associations symbiotiques, qui réduisent ce stress, améliorent la nutrition et la survie (Barrow et Altonen, 2001) et favorisent les stratégies de la conservation de l'eau chez la plante (Malinowski et Belesky, 2000 ; Kannadan et Rudgers, 2008). Les champignons endophytes aident les plantes hôtes à répondre aux divers environnements, en régulant la croissance et le développement des plantes à l'aide de substances bioactives et en partageant des gènes mutualistes, qui peuvent fonctionner avec les hôtes pour de meilleures

performances (Rodriguez et *al.*, 2009 ; Maggio et *al.*, 2010 ; Waqas et *al.*, 2012). Les populations microbiennes sont des composantes clés des écosystèmes, dans un réseau d'interactions affectant le développement des plantes. Parmi les populations microbiennes de plantes, les endophytes jouent un rôle clé dans presque tous les aspects de la production de composés bioactifs (Vardhana et *al.*, 2017). Les endophytes contribuent à améliorer la forme physique de l'hôte grâce à un ensemble d'effets bénéfiques (Yuan et *al.*, 2010 ; Nicoletti et *al.*, 2014). Ils sont connus pour établir une relation symbiotique avec leurs hôtes, ils reçoivent toute la nutrition nécessaire de leurs hôtes, tout en les protégeant des phytopathogènes, du stress et également des herbivores (Thrower et Lewis 1973 ; Clay et Schardl 2002 ; Yichen et *al.*, 2018 ; Sarma et *al.*, 2018), par la production de certains métabolites utiles chez les hôtes (Sarma et *al.*, 2018). Les endophytes peuvent exercer leur potentiel de biosynthèse en modifiant les métabolites de plantes, afin de générer des produits, qui ne sont généralement pas synthétisés par les plantes elles-mêmes (Nicoletti et *al.*, 2014) ; en particulier, la production de métabolites antimicrobiens et de substances piégeant les radicaux libres peut augmenter la tolérance de l'hôte aux stress biotiques et abiotiques et le concept de « mutualisme défensif » a été défini pour expliquer la protection des plantes par les endophytes grâce, à la production d'une gamme de molécules bioactives (White et Torres., 2010 ; Nicoletti et *al.*, 2014).

D'autres phytohormones telles que l'acide abscissique (ABA), l'acide salicylique (SA) et l'acide jasmonique (AJ) synthétisés par des champignons endophytes peuvent répondre aux stimuli de stress abiotiques et agissent en tant que substances de signalisation pour la défense (Shinozaki et *al.*, 2007 ; Waqas et *al.*, 2012).

L'ABA est une phytohormone omniprésente, dont le rôle est de favoriser la fermeture stomatique (Wasilewska et *al.*, 2008 ; Waqas et *al.*, 2012), afin de minimiser les pertes en eau, et atténuer les dommages causés par le stress par l'activation de nombreux gènes, qui augmentent collectivement la tolérance au stress de la plante (Wang et *al.*, 2001 ; Khan et *al.*, 2011). Il a été rapporté que la résistance à la sécheresse est acquise, en inhibant la biosynthèse des gibbérellines (GA) et en augmentant celle de l'ABA (Xiong et *al.*, 2002 ; Waqas et *al.*, 2012). Des travaux ont indiqué que différents groupes de champignons endophytes pourraient avoir des effets sur les niveaux d'ABA endogène des plantes (Mauch-Mani et Mauch, 2005 ; Asaf et *al.*, 2018). Divers résultats ont été obtenus, dans la mesure où les plantes infectées par des champignons endophytes présentaient une teneur en ABA plus élevée (Danneberg et *al.*, 1993 ; Asaf et *al.*, 2018). De même, Herrera-Medina et *al.* (2007) ont rapporté que les plantes

associées aux champignons endophytes présentait une teneur en ABA plus élevée dans les feuilles et les racines, tandis que la teneur en ABA était faible chez les plantes témoins.

En réponse à des stress biotiques et abiotiques, l'AJ induit la biosynthèse de protéines liées à la défense et de métabolites secondaires protecteurs (Brodersen, 2006 ; Balbi et Devoto, 2008 ; Waqas et *al.*, 2012). Les jasmonates peuvent moduler de nombreux événements physiologiques, tels que la résistance aux agents pathogènes et aux insectes, le développement du pollen, la croissance des racines et la sénescence (Lorenzo et *al.*, 2004 ; Waqas et *al.*, 2012). Une interaction entre l'ABA et d'autres voies de signalisation, par exemple l'AJ et le sucre, essentiel pour les interactions champignons-plantes, a déjà été rapportée (Audenaert et *al.*, 2002 ; León et Sheen, 2003 ; Asaf et *al.*, 2018).

L'acide salicylique (AS) est une autre phytohormone, qui joue un rôle important dans l'induction florale, la croissance et le développement, la biosynthèse de l'éthylène, le comportement stomatique et la respiration de nombreuses plantes (Raskin, 1992 ; Waqas et *al.*, 2012). Il joue un rôle important lors d'un stress biotique ou abiotique, tout en provoquant une résistance systémique induite (RSI) contre les champignons promoteurs de la croissance des plantes (Waqas et *al.*, 2012).

Les champignons endophytes sont des sources potentielles de phénols et de flavonoïdes, qui peuvent être responsables des propriétés antioxydantes des plantes hôtes (Hamilton et *al.*, 2012 ; Asaf et *al.*, 2018). L'énorme diversité de composés antioxydants produits par les champignons endophytes pourrait protéger leurs plantes hôtes contre différents stress abiotiques (Herrera-Carrillo et *al.*, 2009 ; Torres et *al.*, 2009 ; Asaf et *al.*, 2018). Plusieurs études corroborent l'affirmation selon laquelle, les plantes associées aux champignons endophytes ont accru la production de composés antioxydants (Richardson et *al.*, 1992 ; Harper et *al.*, 2003 ; Huang et *al.*, 2007 ; Asaf et *al.*, 2018).

Des études récentes ont mis en évidence l'importance de la contribution de la vie microbienne à la thermotolérance des plantes, en montrant que divers métabolites secondaires sont produits par les champignons endophytes hébergés dans les plantes, plutôt que par les plantes elles-mêmes (Moncrieff et *al.*, 2015 ; Mishra et *al.*, 2016 ; Zeldá et *al.*, 2018).

Redman et *al.* (2001) ont émis l'hypothèse que les environnements extrêmes peuvent modifier la production de métabolites secondaires fongiques, favorisant ainsi la conversion d'un mode de vie autonome ou pathogène en un mode de vie mutualiste. Il est donc possible

que certaines espèces de champignons, telles que *Fusarium oxysporum*, généralement connu pour être pathogène, manifestent de préférence un style de vie endophyte dans un environnement stressant (Leslie et Summerell, 2006 ; Zeldá et *al.*, 2018), tel que l'environnement aride. *Fusarium oxysporum* a été isolé en tant qu'endophyte à partir de plantes succulentes de Cactaceae (Bezerra et *al.*, 2013) et a été isolé en tant qu'endophyte d'Aizoaceae (Zeldá et *al.*, 2018). Mandyam et Jumpponen (2005) suggèrent que les champignons mélanisés assurent la protection de la plante contre les températures extrêmes. De plus, une relation adaptative faisant référence à une fonction spécifique de la protection des plantes a été conjecturée pour les endophytes transmis verticalement (Panaccione et *al.*, 2014 ; Nicoletti et *al.*, 2014).

#### **4. Diversité des champignons endophytes**

La diversité des champignons endophytes est élevée, avec de nombreuses espèces de champignons encore non décrites (Albrechtsen et *al.*, 2010). Le nombre d'espèces endophytes détectées chez les végétaux dans le monde augmente chaque année. On estime qu'il est de 500.000 à 600.000 espèces (González et Tello, 2011).

Au niveau mondial, on estime que les champignons endophytes représentent 7% des 1,5 million d'espèces de champignons (Hawksworth 2001 ; Chowdhary et *al.*, 2015 ; Tibpromma et *al.*, 2018). Les chiffres réels peuvent être beaucoup plus élevés. Hawksworth et Lucking (2017) ont récemment estimé qu'il y avait 2,2 à 3,8 millions de taxons fongiques. Les endophytes devraient être nombreux, car leur spécificité vis-à-vis de l'hôte stimule la diversification et ils peuvent occuper plusieurs créneaux, y compris celui d'agents pathogènes et des saprophytes (Tibpromma et *al.*, 2018).

La diversité et la structure communautaire des champignons endophytes cultivables associés aux Bryophytes, aux Ptéridophytes et aux Spermatophytes sont différentes. Cela semble être une conséquence du rôle possible des endophytes dans le processus d'évolution des plantes (Gao et *al.*, 2019). Plusieurs centaines d'espèces de ces microorganismes peuvent être isolées à partir d'une seule plante, mais très peu seraient spécifiques de la plante hôte (Zhang et *al.*, 2006). Les plantes supérieures constituent ainsi une véritable niche écologique, réservoir potentiel d'une vaste diversité microbiologique (Kogel et *al.*, 2006).

L'estimation de la diversité des champignons endophytes dépend de nombreux paramètres, y compris la stratégie d'échantillonnage, la méthode d'isolement, la température

d'incubation initiale, la capacité de croissance en culture et la technique d'identification (Higgins *et al.*, 2011 ; Suryanarayanan *et al.*, 2011 ; Zelda *et al.*, 2018). Cependant, le nombre d'espèces fongiques peut varier en raison de la disponibilité d'outils et de techniques modernes d'identification de ce groupe diversifié de champignons endophytes (Mishra *et al.*, 2014). Certains groupes de champignons endophytes, tels que les Basidiomycètes ne sont pas détectés par les seules approches de la culture (Suryanarayanan *et al.*, 2011 ; Singh *et al.*, 2017 ; Zelda *et al.*, 2018). Par conséquent, il est récemment devenu plus courant d'étudier la communauté totale de champignons endophytes dans différents environnements, en utilisant une combinaison d'approches de culture et indépendantes de la culture, telles que le séquençage de prochaine génération (NGS) (Hibbett *et al.*, 2011 ; Singh *et al.*, 2017 ; Zelda *et al.*, 2018).

Les endophytes les plus couramment isolés sont les Ascomycota et précisément les Deutéromycètes. La classification des Ascomycota basée sur la reproduction asexuée s'appuie sur la caractérisation des champignons du groupe des Deuteromycota. Ces derniers sont un groupe de champignons qui ne présentent pas de caractéristiques de la phase sexuelle (Fitriarni et Kasiamdari, 2018). Les champignons endophytes sont omniprésents dans diverses classes d'Ascomycota, notamment les Eurotiomycètes, les Dothidéomycètes, les Leotiomycètes, les Pezizomycètes et les Sordariomycètes (Porrasalfaro *et al.*, 2011 ; Jumpponen et Jones, 2009 ; Wu *et al.*, 2019). Les Zygomycètes et les Basidiomycètes sont rarement isolés (Strobel *et al.*, 2018). Pour les Eurotiomycètes, leurs asques ont une paroi fine, évanescence et sont dispersés sans ordre apparent dans l'ascocarpe, les Dothidéomycètes ont en fait un stroma dans lequel se creusent une ou plusieurs cavités, où se développent les asques. Les Leotiomycètes ont des asques inoperculés. Certains produisent des ascocarpes charnues, tandis que des espèces parasites ont des fructifications plus discrètes. Les Pezizomycètes ont des asques protégés à l'intérieur d'organes spéciaux, les ascocarpes sont de structure variée : périthèce, apothécie, cléistothèque, ascostroma. Les Sordariomycètes ont une ascocarpe sous forme d'un périthèce, nu ou protégé par un stroma (Durrieu, 2007) (**Figure 2**).

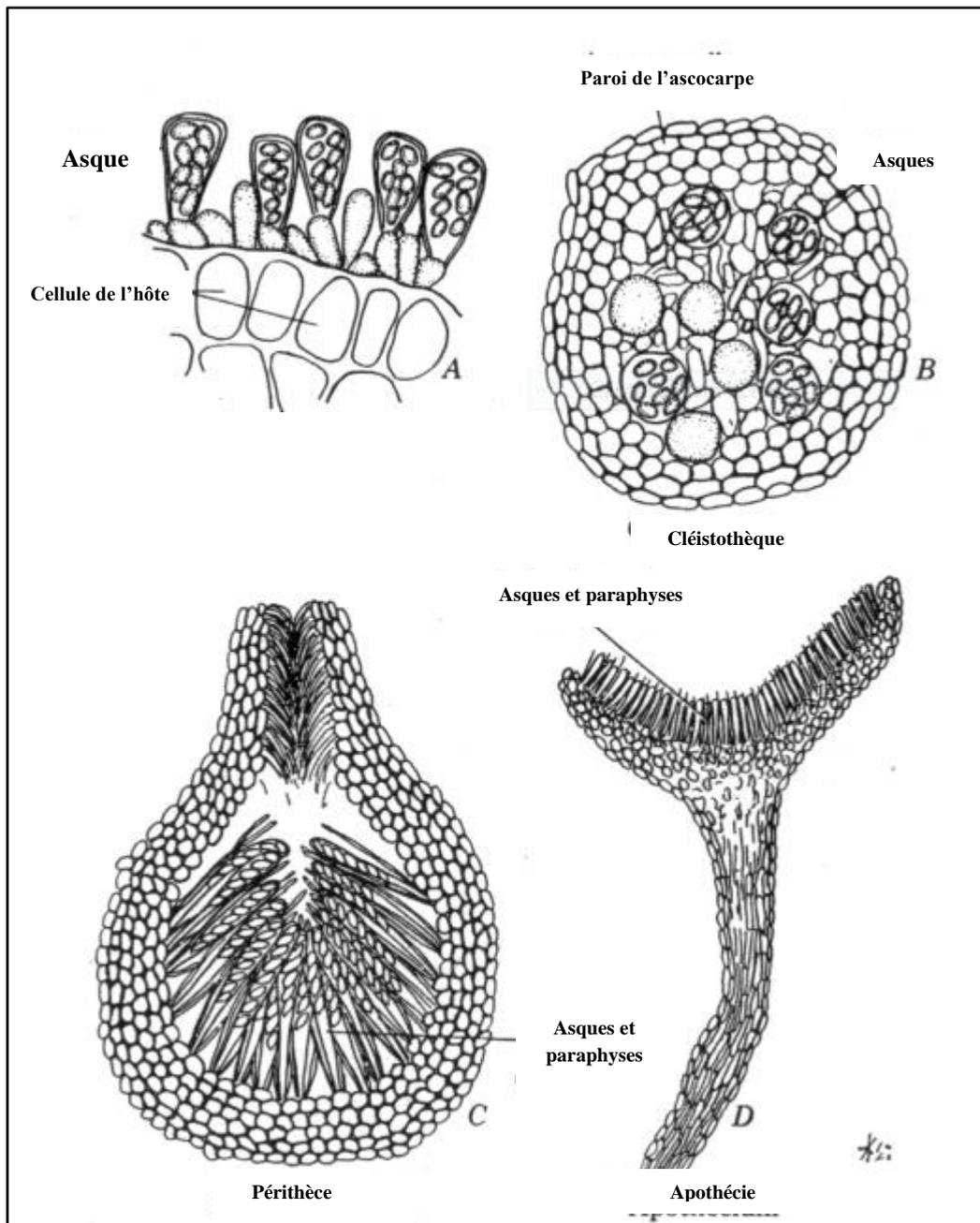
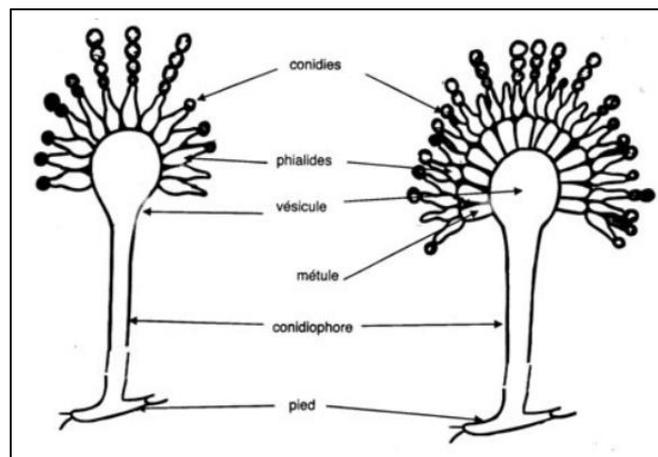


Figure 2 : structures de fructification (ascocarpes) produites par le phylum des Ascomycota avec des asques et des ascocarpes. (A) asques, (B) Cléistothèce, (C) Perithèce et (D) Apothécie (Houbraken et *al.*, 2014).

Dans cette partie bibliographique, nous avons choisi de vous donner un aperçu sur les caractéristiques morphologiques macroscopiques et microscopiques, ainsi que la distribution et les rôles des champignons endophytes les plus recensés dans cette étude.

#### 4-1- *Aspergillus*

*Aspergillus* est un genre de champignon appartenant au groupe des Ascomycètes. Les colonies sont généralement à croissance rapide, blanches, jaunes, brunes à noires ou dans des tons de vert, principalement constituées d'un feutre dense de conidiophores dressés (Kidd et *al.*, 2016). Les conidies d'*Aspergillus* croissent et produisent des hyphes. Lorsqu'une colonie d'*Aspergillus* arrive à maturité, celle-ci présente des changements morphologiques correspondant au mode de reproduction asexué : une cellule-pied s'allonge, donne naissance à un conidiophore qui se termine en une vésicule couronnée de phialides en forme de vases, produisant les conidies, petites propagules sphériques contenant le matériel génétique et responsables de la propagation dans l'environnement, par l'air et l'eau (Latge, 1999 ; Samson et *al.*, 2014 ; Parent-Michaud, 2018). Selon l'espèce d'*Aspergillus*, les phialides peuvent se présenter en un seul étage : unisériées, ou en deux étages : bisériées (**Figure 3**) (Parent-Michaud, 2018).



**Figure 3** : tête aspergillaire bisériée (droite) et unisériée (gauche) (Guillaud, 2006).

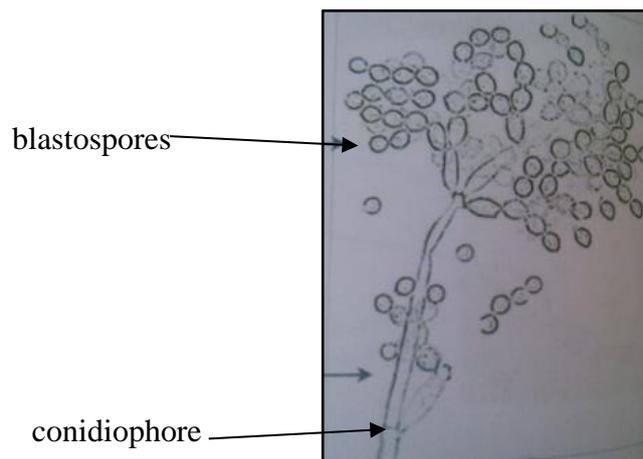
Les *Aspergilli* constituent un groupe important et diversifié (Cerqueira et *al.*, 2014 ; Upton et *al.*, 2017). Le genre *Aspergillus* se trouve dans une large variété d'habitats. Certains sont considérés comme des saprophytes du sol, de denrées stockées, des produits alimentaires dans des débris végétaux. Ils sont particuliers et abondants dans les régions des tropiques et subtropiques. Ils sont capables de se développer dans de faibles conditions hydriques et des températures élevées (Kozakiewicz et Smith, 1994).

Très répandu dans la nature, utilisé dans l'industrie pour la production d'enzymes protéolytiques (Guillaud, 2006), le genre *Aspergillus* est l'un des genres de champignons filamenteux les plus importants. Les espèces *Aspergillus* sont utilisées dans l'industrie de la

fermentation, mais elles sont également responsables de diverses pourritures secondaires végétales et alimentaires, avec pour conséquence une éventuelle accumulation de mycotoxines (Perrone et *al.*, 2007).

#### 4-2- *Cladosporium*

*Cladosporium* est un champignon Ascomycète. Isolé de l'air et de l'environnement, il est exceptionnellement pathogène (Guillaud, 2006). Ses espèces sont omniprésentes dans le monde entier et généralement isolées du sol et de la matière organique (Kidd et *al.*, 2016). Les caractères macroscopiques de la culture sont les suivants : une colonie compacte et duveteuse, une couleur recto noir et un revers noir. Les caractères microscopiques montrent un conidiophore septé, brun, à parois épaisses. Le mycélium est septé, sombre et les blastospores sont foncées, uni ou bi cellulaires, ovales ou citron, isolées ou en chainettes acropétales ramifiée ou non (**Figure 4**) (Guillaud, 2006).

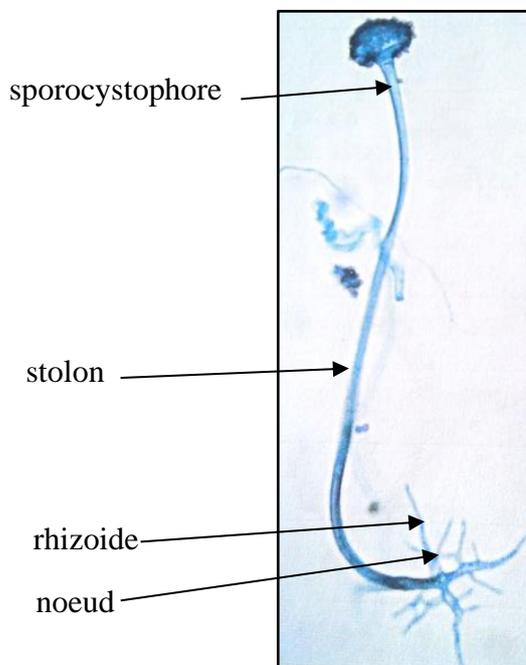


**Figure 4** : conidiophore et blastospores du genre *Cladosporium* (X 400) (Guillaud, 2006).

#### 4-3- *Rhizopus*

C'est un champignon Zygomycète. Les membres de Mucorales sont des champignons cosmopolites présents dans le sol, divers aliments (maïs, oignons, tomates, haricots, etc.), déjections d'animaux et dans l'air. Ils sont pathogènes des plantes et capables de contaminer des fruits ou des céréales (Garcia-Hermoso, 2013). Les caractères morphologiques de la culture sont les suivants : aspect avec une surface cotonneuse, une couleur blanchâtre, puis gris noirâtre et le verso incolore. Ses caractères microscopiques montrent des sporanges sphériques, une columelle hémisphérique volumineuse, une coiffe en parapluie à l'extrémité du sporangiophore, des sporocystophores solitaires ou en bouquets et des spores lisses ou

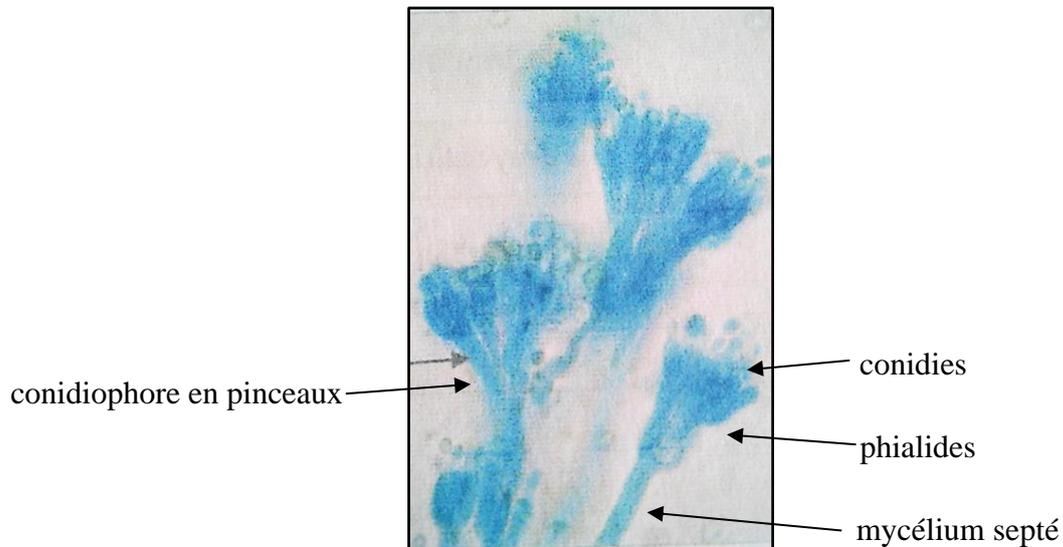
striées (**Figure 5**) (Guillaud, 2006). Les stolons, les rhizoïdes et les sporocystophores sont bien différenciés. Ces trois éléments naissent d'une même origine : le nœud. Le *Rhizopus* est différencié des autres Mucorales par la présence de rhizoïdes bien développés (Chabasse et al., 2002).



**Figure 5** : photo sur lame d'un *Rhizopus* observé sous microscope optique (X100) (Guillaud, 2006).

#### 4-4- *Penicillium*

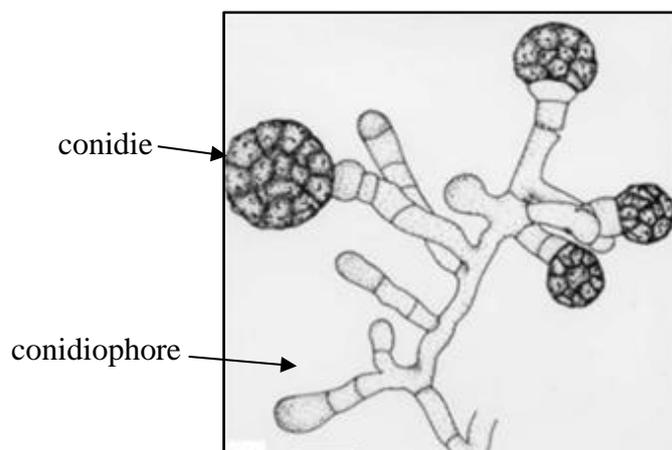
*Penicillium* est un champignon Ascomycète. Les caractères morphologiques de la culture sont les suivants : aspect avec une surface poudreuse, une couleur blanche au début, le plus souvent et un revers incolore ou jaunâtre. Les traits microscopiques des organes de la fructification asexuée ont montré un mycélium septé, des conidiophores plus ou moins ramifiés, en pinceaux, des phialides à l'extrémité des ramifications et des conidies rondes ou ovoïdes, en longues chaînes hyalines ou colorées, lisses ou rugueuses (**Figure 6**) (Guillaud, 2006).



**Figure 6** : photo sur lame d'un *Penicillium* observé sous microscope optique au grossissement (X400) (Guillaud, 2006).

#### 4-5- *Epicoccum*

*Epicoccum* est un Ascomycète, caractérisé par la production d'une masse large sphérique, des conidies septées irrégulières, portées sur des colonies multicolores, à croissance rapide (**Figure 7**). *Epicoccum* est largement distribué dans l'air, dans le sol et la végétation en décomposition (Kilpatrick et Cilvers, 1981 ; Pitt et Hocking, 2013).



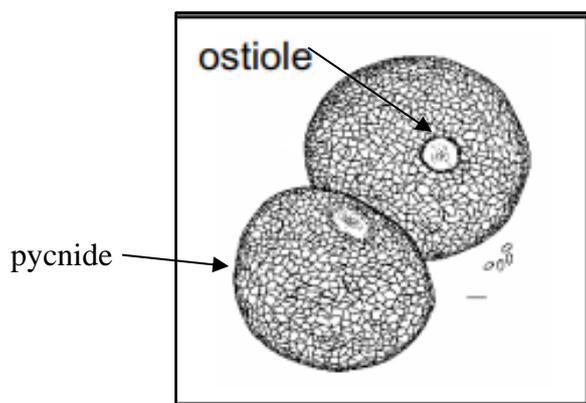
**Figure 7** : conidiophores et conidies d'*Epicoccum nigrum* (Pitt et Hocking, 2013).

#### 4-5- *Phoma*

Cet Ascomycète possède des colonies étalées, brun grisâtres, poudreuses qui produisent de grandes pycnides ostiolées, globuleuses, membraneuses à coriaces, foncées et

pigmentées. Les conidies sont produites en abondance dans les pycnides, sur des phialides étroites en forme de fil, qui sont à peine différenciées des cellules de la paroi pycnidienne interne. Les conidies sont globuleuses à cylindriques, unicellulaires, hyalines et sont généralement extrudées en masses visqueuses, à partir de l'ostiole apical (Kidd et *al.*, 2016). Un ou plusieurs petits ostioles (orifice) sont produits et secrètent des conidies (**Figure 8**) (Pitt et Hoching, 2013).

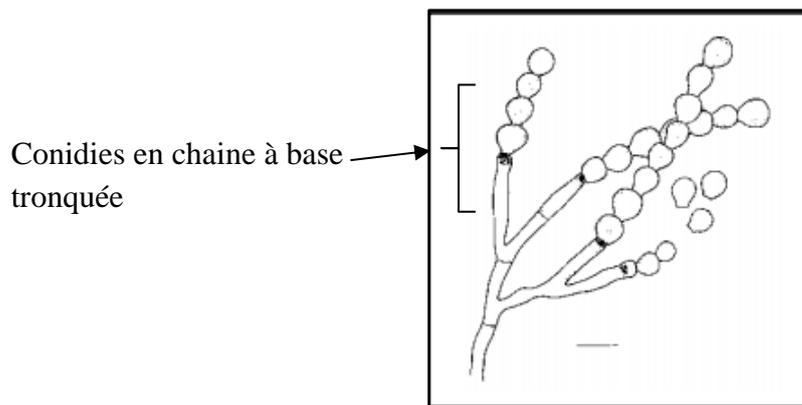
Les espèces du genre *Phoma* ont une distribution mondiale et sont omniprésentes dans la nature, avec plus de 200 espèces décrites dans le sol, sur diverses plantes et comme pathogènes pour les plantes et les humains (Kidd et *al.*, 2016).



**Figure 8** : pycnides avec ostioles du genre *Phoma* (Dufresne, 2018).

#### 4-7- *Scopulariopsis*

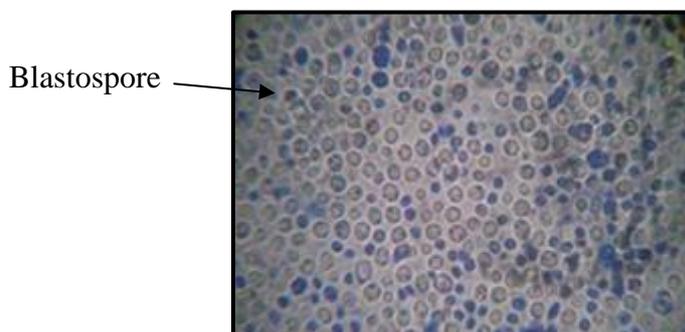
Ce genre est un Ascomycète. Les colonies ont une croissance rapide, variant en couleur du blanc, crème, gris, chamois au brun et noir, mais sont principalement brun clair (Kidd, 2016). Les traits distinctifs de *Scopulariopsis* sont sa conidiogenèse annellidique, avec des conidies principalement à parois épaisses, tronquées à la base, disposées en longues chaînes sèches (**Figure 9**). *Scopulariopsis* comprend actuellement des espèces de distribution mondiale, qui sont généralement isolées du sol, de l'air, des débris végétaux et des excréments (Sandoval-Denis et *al.*, 2016). De plus, certaines espèces ont été décrites comme des colonisateurs ou des agents pathogènes des Mammifères, notamment les humains, mais aussi les insectes (Iwen et *al.*, 2012, Sandoval-Denis et *al.*, 2013).



**Figure 9** : morphologie du genre *Scopulariopsis* (Dufresne, 2018).

#### 4-8- *Rhodotorula*

Les espèces de *Rhodotorula* sont des levures Basidiomycètes courantes dans l'environnement, que l'on peut trouver dans le sol, l'eau des océans et des lacs, les jus de fruits et le lait (Kidd et *al.*, 2016). Pour les caractères macroscopiques, les colonies ont une surface cireuse ou duveteuse, une couleur à pigment caroténoïde et un revers de blanc à rouge. Pour ce qui est de caractéristiques microscopiques, ce genre présente des blastospores ovalaires plus ou moins allongé, à bourgeonnement unipolaire, à base étroite (**Figure 10**) (Guillaud, 2006).



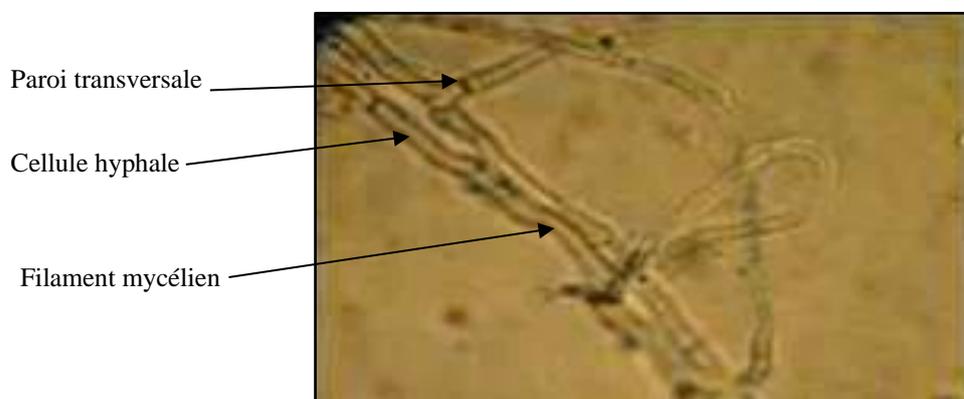
**Figure 10** : Observation microscopique colorée au bleu coton (X1250) (Benmessaoud, 2010).

#### 4-9- *Rhizoctonia*

Le genre *Rhizoctonia* est un champignon Basidiomycètes, naturellement présent dans les zones cultivées (Ogoshi, 1987 ; Ajayi-Oyetunde et Bradley, 2018) et non cultivées de différentes parties du monde. Il existe en tant qu'agent pathogène des plantes, infligeant des pertes économiques à d'importantes cultures et en tant que saprophyte, survivant sur la

matière organique morte dans le sol. On a également découvert qu'il existait en tant que symbiote endophytes sur les Orchidées et les Mousses (Currah et *al.*, 1987 ; Ajayi-Oyetunde et Bradley, 2018).

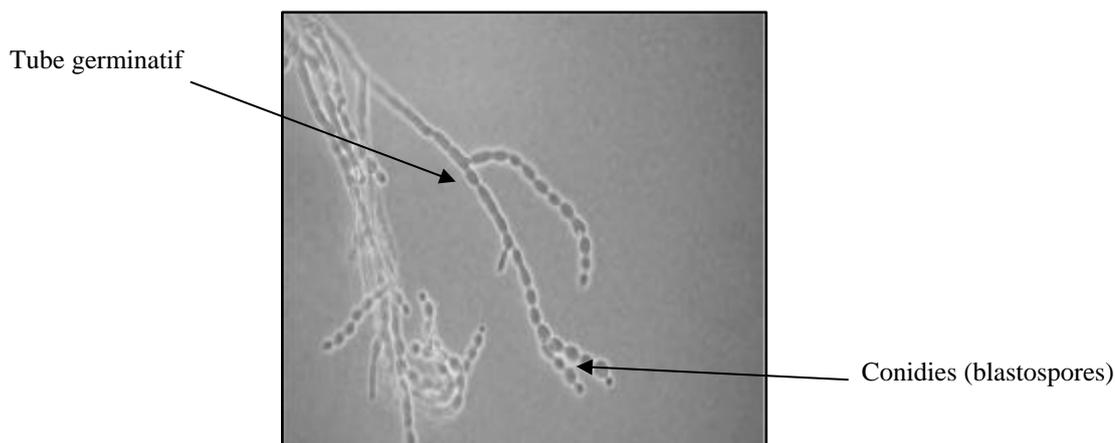
Les *Rhizoctonia* existent principalement sous forme de mycéliums stériles et parfois, de petits sclérotés qui ne présentent aucune différenciation interne. Les cellules mycéliales de l'espèce la plus importante : *R. solani*, contiennent plusieurs noyaux (rhizoctonie multinucléée), tandis que les cellules mycéliales de plusieurs autres espèces contiennent deux noyaux (rhizoctonie binucléée). Le mycélium, qui est incolore quand il est jeune, devient jaunâtre ou brun clair avec l'âge. Il se compose de longues cellules et produit des branches, qui poussent à peu près à angle droit par rapport à l'hyphe principal et sont légèrement resserrées à la jonction et ont une paroi transversale près de la jonction (**Figure 11**). Les caractéristiques de ramification sont généralement les seules disponibles pour l'identification de *Rhizoctonia*. Dans certaines conditions, le champignon produit des touffes ressemblant à des sclérotés de cellules courtes et larges, qui fonctionnent comme des chlamydospores, ou éventuellement se développant en sclérotés plutôt petites, de forme lâche, brunes à noires, qui sont courants sur certains hôtes, tels que la pomme de terre (George et Agrios, 2005).



**Figure 11** : structure mycélienne d'un *Rhizoctonia* (X400) (Andriamialiharisoa, 2011).

#### 4-10- *Monilia*

Champignon Ascomycète. Il a des mycéliums blancs et gris recouvraient abondamment la plaque PDA. Les dimensions des conidies fongiques en culture étaient de 15 × 10 µm. Les conidies (blastospores) sont de couleur olive à brune, unicellulaires et cylindriques, courtes. Les tubes germinatifs sont longs et ramifiés (**Figure 12**) (Shim et *al.*, 2007).



**Figure 12** : observation microscopique de *Monilia* sp. (X400) (Shim et al., 2007).

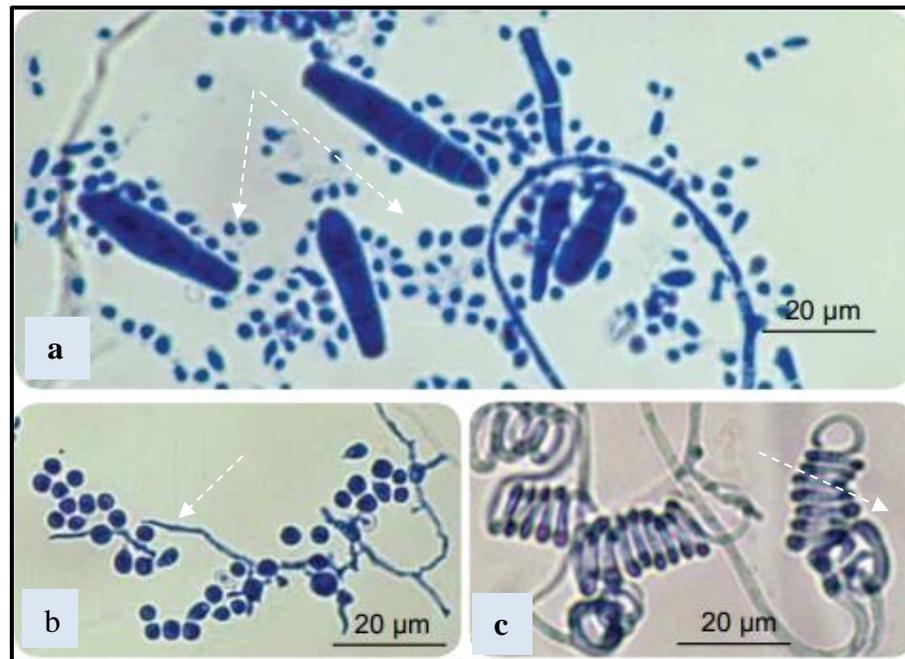
#### 4-11- *Trichophyton*

C'est un genre de champignon Ascomycète. Toutes ses espèces ont la capacité d'utiliser la kératine. Elles se développent dans les tissus non vivants des cheveux, des ongles et de la peau, dans la région au-dessus des couches où la kératine est déposée. Elles provoquent un complexe de maladies connues cliniquement sous le nom de teigne chez l'homme et d'autres Vertébrés (Boddy, 2016).

Ce genre a une distribution mondiale. Il existe plusieurs espèces de *Trichophyton*, chacune avec des occurrences et des effets prédominants, en fonction de la transmission et de l'hôte de l'infection (Faith, 2020).

Les colonies sont généralement plates, de couleur blanche à crème, avec une surface poudreuse à granuleuse. Certaines cultures montrent un pliage central ou développent des touffes centrales surélevées ou des zones pléomorphes, ressemblant à un duvet. La pigmentation du revers est généralement de couleur jaune-brun à brun rougeâtre (Kidd et al., 2016).

Le genre *Trichophyton* est caractérisé morphologiquement par le développement à la fois de macro et de microconidies, à parois lisses. Les macroconidies sont principalement portées latéralement, directement sur les hyphes ou sur de courts pédicelles et sont à parois minces ou épaisses, clavées à fusiformes et mesurent de 4 à 8 x 8 à 50  $\mu\text{m}$ . Les microconidies sont sphériques, pyriformes à clavées, ou de forme irrégulière et mesurent de 2 à 3 x 2 à 4  $\mu\text{m}$ . (**Figure 13**) (Kidd et al., 2016).



**Figure 13 :** *Trichophyton mentagrophytes*, (a) macroconidies, (b) microconidies et (c) des hyphes en spiralés (Kidd et *al.*, 2016).

### 5.Écologie des champignons endophytes

Les variations qualitatives et quantitatives des champignons de la phyllosphère sont influencées par la température, l'humidité, les précipitations, la disponibilité en éléments nutritifs, l'âge et le type de la feuille. Ils sont également affectés par la présence d'inhibiteurs, l'arrivée et la colonisation de propagules viables (Satpute et Vanmare, 2017), la physiologie des plantes, les infections par des agents pathogènes et les influences anthropiques (Araujo et *al.*, 2002 ; Buyer et *al.*, 2011 ; Islam et *al.*, 2010 ; Rasche et *al.*, 2006 ; Saona et *al.*, 2010 ; Yousaf et *al.*, 2010 ; Materatski et *al.*, 2018). De nombreux facteurs physiques, chimiques et biologiques font apparaître des changements dans la composition de l'aéro-mycoflore d'une région et les différentes espèces de champignons sont limitées à celles d'une région donnée, avec des conditions environnementales spécifiques (Satpute et Vanmare, 2017). Il a été démontré que la structure et la diversité des communautés endophytes dépendaient des taxa hôtes et du climat (Oono et *al.*, 2015 ; Rather et *al.*, 2018).

Les spores fongiques en suspension dans l'air et leur concentration varient d'un endroit à l'autre (Satpute et Vanmare, 2017). Une variation de leur diversité pourrait être obtenue par des variations abiotiques sur les sites considérés (Chauhan et *al.*, 2019). La source de la colonisation endophyte va de la transmission par les semences à l'entrée du milieu environnant, tel que la rhizosphère et la phyllosphère (Lata et *al.*, 2018 ; Abo Nouh, 2019). Les feuilles les plus fortement colonisées se trouvent plus près du sol ou de la litière, où les

conditions d'humidité élevée facilitent la pénétration et la colonisation par des champignons endophytes (Toofanee et Dulymamode, 2002).

Certains auteurs suggèrent que les précipitations et l'humidité sont les facteurs clés de la structure des endophytes, façonnant les communautés en raison de leur importance pour la dispersion des spores de champignons et la colonisation (Rastogi et *al.*, 2012 ; Gomes et *al.*, 2018 ; Martínez Alvarez et *al.*, 2012 ; Vacher et *al.*, 2016 ; Materatski et *al.*, 2018). Une forte corrélation a été observée entre les niveaux d'infection d'endophytes et les précipitations cumulées (Suryanarayanan et Thennarasan, 2004). Ceci a déjà été observé chez le Chêne, où l'eau libre et l'humidité élevées favorisent l'activité et la colonisation fongique de l'hôte (Vannini et *al.*, 1996 ; Moricca et Ragazzi, 2008). Le même constat est noté chez *Plumeria rubra*, où les précipitations sont les principaux facteurs qui influencent l'infection par des endophytes foliaires. Les feuilles échantillonnées pendant les mois pluvieux portent plus d'endophytes que celles prélevées durant les mois où il ne pleut pas (Suryanarayanan et Thennarasan, 2004).

D'après Rodriguez et *al.* (2009), les variations d'intensité et d'exposition solaires sont aussi un facteur déterminant dans la composition de la communauté de champignons endophytes. De plus, le rayonnement ultraviolet dans les régions semi-arides, telles que la forêt de Caatinga au Brésil, peut avoir une influence négative sur la richesse et la diversité de ces champignons. Bezerra et *al.* (2013) ont souligné l'importance des endophytes pigmentés dans ces régions ; ces derniers peuvent conférer à la plante hôte une tolérance à des conditions environnementales extrêmes, notamment le rayonnement ultraviolet.

Les conditions environnementales qui influencent la croissance de la plante hôte, influencent le nombre et la variété des endophytes et affectent les métabolites produits par ces derniers (Paulus et *al.*, 2006 ; Aruna et *al.*, 2018). Cela dépend de l'environnement et montre l'importance de l'étude de la relation endophyte-hôte et l'effet de la plante hôte sur la production métabolique de l'endophyte. La plante hôte, ainsi que l'écosystème influencent la production de métabolites et influent sur les activités biologiques des endophytes (Selim et *al.*, 2012 ; Aruna et *al.*, 2018). Les variations dans la distribution et la diversité des endophytes par rapport aux variations écologiques peuvent être attribuées à leurs effets sur l'hôte, qui vont à leur tour affecter les endophytes (Aruna et *al.*, 2018).

L'effet des conditions climatiques telles que l'humidité relative, la température, les précipitations, l'humidité, etc ... influent sur la conductance stomatique et la conductance du

mésophylle des feuilles, qui contrôlent les taux de transpiration et la disponibilité en CO<sub>2</sub>, ce qui a un impact sur la colonisation en champignons endophytes (Borsi et *al.*, 2011 ; Rather et *al.*, 2018). Le changement climatique peut modifier le degré de mutualisme entre la plante et les champignons. Il modifie même l'efficacité de la transmission de l'endophyte d'une plante à l'autre (Rather et *al.*, 2018).

En fait, La diversité des champignons endophytes varie avec la distribution géographique de la plante (Aruna et *al.*, 2018). Pour Arnold et Lutzoni (2007), la diversité des endophytes est plus importante à l'équateur qu'aux pôles (Chauhan et *al.*, 2019). L'analyse typologique suggère que l'influence de la géographie serait très importante. L'influence de la géographie sur les modes de répartition des champignons endophytes de *Quercus ilex* a déjà été signalée par Fisher et *al.* (1994). Les arbres semblent être regroupés principalement par site d'échantillonnage (Collado et *al.*, 1999).

Le facteur densité de la végétation semble aussi important. Le feuillage de certaines Cupressaceae échantillonnées dans l'Oregon semblait être infecté à une plus large mesure par des champignons, lorsque les échantillons ont été prélevés sur les hôtes poussant dans des zones avec une plus grande densité de la végétation. Ceci a été interprété comme l'effet de la canopée, qui protège les tissus foliaires des agents externes (Petrini et Carroll, 1981 ; Collado et *al.*, 1999).

## **6. Variabilité saisonnière de la diversité en mycoendophytes foliaires**

La diversité des champignons endophytes et la fréquence de colonisation varient avec les saisons, avec un minimum en été et un maximum en hiver. Une préférence de colonisation de différentes espèces de champignons a également été observée (Aruna et *al.*, 2018).

D'après plusieurs études, la diversité et les taux de colonisation et d'isolement sont les plus élevés en saison des pluies comparé aux autres saisons de l'année : Inde (Suradkar et *al.*, 2014), Tropiques (Singh et *al.*, 2017), Inde (Sarma et *al.*, 2018), Iran (Sadeghi et *al.*, 2019). Inde (Huang et *al.*, 2008 ; Rather et *al.*, 2018). En ce qui concerne la colonisation des champignons endophytes au cours de différentes saisons, la saison d'automne a montré la fréquence de colonisation la plus élevée, mais la diversité a été supérieure pendant la saison d'hiver dans une étude en Inde (Sarma et *al.*, 2018).

Pendant la saison des pluies, les précipitations plus abondantes favorisent la dispersion des spores de champignons et la température modérée contribue à la plus grande viabilité de

ces propagules fongiques, lors d'une colonisation successive dans les tissus végétaux (Collado et *al.*, 1999 ; Rather et *al.*, 2018). Ces spores fongiques se détachent de l'hôte par les gouttes de pluie et se dispersent en gouttelettes (Rather et *al.*, 2018). Les éclaboussures de pluie aident à la dissémination des matériaux d'inoculum et une humidité élevée et des températures basses favorisent la germination et la multiplication des spores fongiques. Ces conditions conduisent à un taux d'infection élevé. Contrairement à cela, l'environnement ambiant épuisé d'inoculats potentiels en été entraîne peu de transfert horizontal d'endophytes (Tedersoo, 2010 ; Singh et *al.*, 2017).

*Fusarium oxysporum*, *Talaromyces pinophilus* et *Paecilomyces victoriae* ont été les principaux contributeurs aux différences saisonnières observées dans les communautés de champignons endophytes associées aux Aizoaceae en Argentine. Ces trois espèces étaient absentes dans les échantillons de la saison sèche (mai), mais 24, 10 et 8 isolats, respectivement, ont été isolés des échantillons de la floraison (septembre-octobre). Une explication possible de ces différences est que les genres de champignons isolés uniquement pendant la saison de floraison (humide en septembre-octobre) peuvent nécessiter des températures et une humidité supérieure pour la croissance. Les populations de *Fusarium* augmentent après des périodes de pluie (Bateman et Murray, 2001 ; Zelda et *al.*, 2018). Les différentes pressions de sélection observées au cours des différentes saisons jouent un rôle dans la composition des espèces d'endophytes (Yadav et *al.*, 2016 ; Zelda et *al.*, 2018). La saisonnalité observée dans les communautés de champignons endophytes peut résulter des relations que ces champignons ont avec les plantes lors des périodes actives dans leur environnement. D'après une étude dans le bassin méditerranéen, certains endophytes ont la capacité de s'établir dans la plante dans des conditions de croissance active, tandis que la croissance d'autres endophytes diminue, avec une augmentation de l'activité métabolique de la plante (Zelda et *al.*, 2018).

Yadav et *al.* (2016) ont recensé des espèces des genres *Aspergillus* et *Chaetomium* uniquement pendant la saison des pluies. Une spécificité saisonnière a également été observée pour le genre *Phyllosticta* en Arizona, ouest des Etats Unis (Suryanarayanan et *al.*, 2005). Ces genres n'ont été isolés qu'après une période de fortes précipitations dans le parc national de Namaqua (Sud de l'Afrique), pendant la saison de floraison (septembre-novembre), à l'exception d'*Aspergillus parasiticus*, qui était également présent comme endophyte pendant la saison sèche (mai) (Zelda et *al.*, 2018).

Il est clair que les différences entre la saison sèche (mai) et humide (septembre-novembre) sont significativement plus élevées, comparées aux différences au sein de chaque saison. Les genres identifiés durant la saison sèche sont les suivants : *Alternaria*, *Aspergillus*, *Boermia*, *Chaetosphaeronema*, *Cladosporium*, *Epicoccum*, *Neophaesphaeria*, *Penicillium*, *Phoma*, *Pleosporales sp*, *Pseudodiplodia*, *Pseudopithomyces* et *Truncatella*. Tandis que ceux isolés durant la saison humide sont : *Alternaria*, *Aspergillus*, *Chaetomium*, *Chaetosphaeronema*, *Cladosporium*, *Curvularia*, *Fusarium*, *Paecilomyces*, *Penicillium*, *Phoma*, *Phyllosticta*, *Preussia*, *Purpueocillium*, *Rhizopus*, *Schizotricium* et *Trichoderma*. Les genres qui sont présents pour les deux saisons sont : *Alternaria*, *Aspergillus*, *Chaetosphaeronema*, *Cladosporium*, *Penicillium* et *Phoma* (Zelda et al., 2018).

Pour *Pinus* au centre de l'Espagne, le degré d'infection par les endophytes et la diversité des espèces fongiques ont été significativement plus élevées au printemps. Cela pourrait s'expliquer par l'abondance à cette saison des espèces saprophytes, tels que *Alternaria alternata* ou *Penicillium funiculosum*, qui sont absentes dans les échantillons prélevés à l'automne. Les fréquences de la majorité des espèces dominantes dépendent fortement de la saison, les différences entre leurs fréquences d'isolement dans les deux saisons sont statistiquement significatives. D'autres espèces, telles que *Pseudonectria sp.*, *Pseudonectria funiculosum* et *Alternaria alternata* sont plus fréquentes ou ont même été isolées presque exclusivement au printemps. Le printemps semble être associé à la mise en place de plus de souches fongiques endophytes dans les tissus de la plante (Collado et al., 1999 ; Materatski et al., 2018). De plus, la présence d'endophytes et d'autres champignons dans la litière de feuilles, peut être particulièrement utile aux différences saisonnières dans les communautés endophytes (Materatski et al., 2018).

## **Chapitre II**

### **Description de l'espèce**

## 1. Introduction

Le pistachier de l'Atlas : *Pistacia atlantica* Desf. (bétoum nommé aussi betm), appartient à la famille des Anacardiaceae (Sapindales, Magnoliopsida) (Faouzi et al., 2015). Monjauze (1968) le décrit comme étant l'essence la plus originale et la plus remarquable de l'Afrique du Nord, tant par son intérêt botanique que par sa valeur sociale.

C'est un arbre précieux pour les zones méditerranéennes prédésertiques. Il peut être avantageusement utilisé comme essence de reboisement. Il est aussi une source de fourrage pour le bétail (Harfouche et al., 2005 ; Faouzi et al., 2015). En effet, cet arbre possède une résistance à la sécheresse, il peut être utilisé comme porte-greffe de *Pistacia vera* et comme arbre ornemental (Kafkas et Kaska, 1998 ; Monasra et al., 1997 ; Yaaqobi., 2009 ; Faouzi et al., 2015). Sa rusticité le rend particulièrement intéressant, quant à son utilisation dans les programmes de reforestation et de sylviculture dans les zones semi-arides et arides, puisqu'il se régénère et se développe dans les endroits les plus arides où peu d'espèces d'arbres peuvent s'établir et se développer (Belhadj, 2007 ; Faouzi et al., 2015). En effet, cet arbre possède une amplitude écologique et une plasticité remarquables, puisqu'il se rencontre depuis le cœur du Sahara jusqu'aux marges du bioclimat humide (Quézel et Médail, 2003). Il occupe une aire très vaste englobant le Maroc, l'Algérie, la Tunisie, la Libye, la Syrie, la Jordanie, la Palestine, l'Iran et l'Afghanistan (Djenidi, 2012). D'après Zohary (1952,1987) et Quézel et Médail (2003), cette espèce est commune de deux régions ; méditerranéenne et irano-touranienne. Cependant, Monjauze (1980) et Ozenda (1983) la qualifie d'endémique de l'Afrique du Nord. L'espèce constitue un cas écologique et biogéographique particulier ; son association à d'autres espèces caractéristiques des milieux saharien, aride et semi-aride indique sa très grande résistance aux changements globaux, notamment climatiques (Ifticene-Habani et Messouadene, 2016).

Monjauze (1968) affirme que le bétoum n'est pas «un occupateur de places vides» comme les résineux. Il se manifeste toujours sous une plante abri qui le protège. Le pistachier de l'Atlas constitue un écosystème important tant sur le plan écologique, biogéographique qu'économique. Cet arbre est à la fois protecteur et productif ; ainsi il a beaucoup d'intérêts : écologique, médicinal et économique (Faouzi et al., 2015). Cependant, cette espèce ne cesse de régresser d'année en année, suite à des actions climatiques et surtout anthropiques (Dahmani, 2011). Le pistachier de l'Atlas fait partie de ces essences forestières en danger (Amara, 2014 ;

Ifticene-Habani et Messouadene, 2016). Il est assez peu étudié, alors qu'il occupe une place importante dans les écosystèmes steppiques et sahariens algériens (Ifticene-Habani et Messouadene, 2016).

## 2. Système racinaire et sols sous pistachiers de l'Atlas

Les premiers travaux concernant le système racinaire du pistachier de l'Atlas ont été menés par Chaba et *al.* (1991). Ils ont concerné des expérimentations sur la germination, les rythmes de croissance et la morphogenèse racinaire, pour préconiser des solutions pour la production de plants de pistachier de l'Atlas. Ces auteurs ont montré que pendant le mois de janvier, l'activité racinaire est faible (2 cm/semaine, avec une température du sol de 13°C). Dès le mois de février, la croissance racinaire s'active. Au mois de mai, la vitesse de son allongement atteint en moyenne 12 cm/semaine, avec une température du sol d'environ 20°C ; 20 semaines après le semis, le pivot atteint en moyenne 50 cm de long. Le système racinaire d'un semis non traumatisé est caractérisé par un pivot vertical à croissance indéfinie et des racines latérales fines obliques à croissance limitée. Seul le pivot est orthogéotrope.

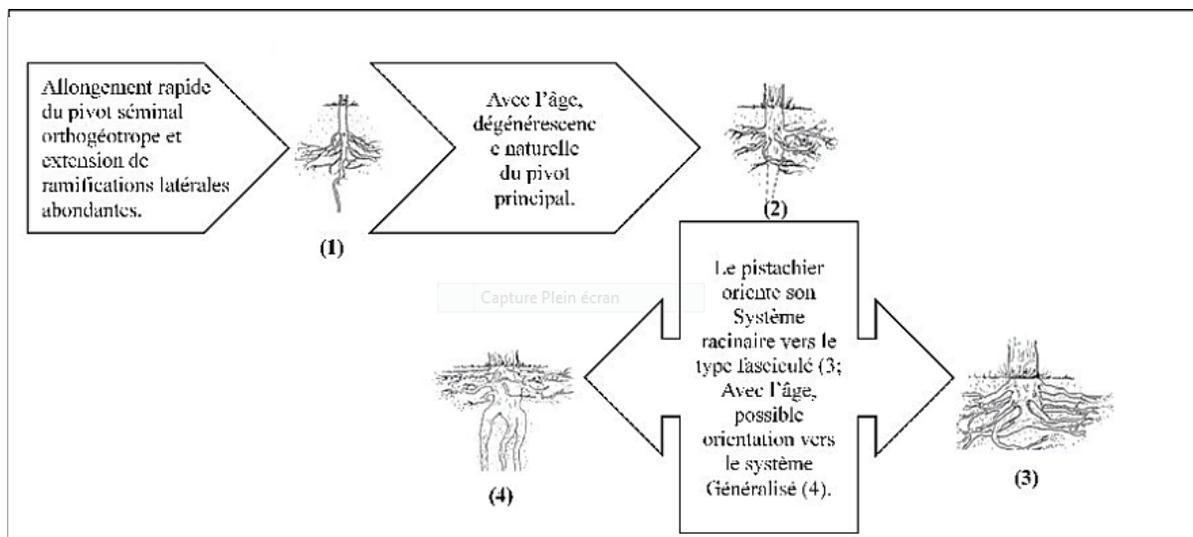
Les travaux des chercheurs du Laboratoire Ressources Naturelles de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, en l'occurrence Belharret et Rekkeb (2004) (population de Ain Oussara ; wilaya de Djelfa), Ait-Slimane (2004) (population de Béni Ounif ; wilaya de Béchchar), Tahrou (2005) (population de Oued Besbès ; wilaya de Médéa), Kebci (2008) (population de Tirlhemt ; wilaya de Laghouat), Abdous (2010) (populations de Theniet El Had ; wilaya de Tissemsilt et de la daya de Tirlhemt ; wilaya de Laghouat) et Haboul (2011) (population de Boucédraïa ; wilaya de Djelfa) ont mis en évidence pour *Pistacia atlantica* un système à extension horizontale et verticale.

Les travaux de Boubrima (2014) et de Limane et *al.* (2014 et 2018) sur l'architecture racinaire des pistachiers de l'Atlas, ont montré que les sujets échantillonnés adoptent deux types d'architecture racinaire : l'un est superficiel, l'autre est généralisé :

- le type superficiel est caractérisé par une concentration du système racinaire dans les 50 premiers centimètres du sol ; dans ce cas, les racines sont longues, très ramifiées et peu épaisses ;

- le type généralisé est caractérisé par la présence de racines latérales peu profondes aussi bien que des racines profondes, qui plongent au-delà de 50 cm de profondeur ; les racines de ce type sont typiquement épaisses et peu ramifiées ; les racines superficielles investissent plus en longueur et en ramification qu'en circonférence ; par contre, les racines profondes investissent plus en biomasse et en circonférence qu'en largeur et ramifications.

Le système racinaire du pistachier de l'Atlas évolue avec l'âge. En partant d'un pivot séminal et orthogéotrope à ramifications latérales abondantes dans les premières années de développement, le système racinaire montre une dégénérescence du pivot principal, puis en atteignant l'âge adulte, il oriente l'enracinement en type fasciculé ou bien en type généralisé. Ceci explique la stratégie d'occupation du milieu, qui permet à *P. atlantica* d'exploiter les ressources du milieu, en explorant à la fois les niveaux superficiels et profonds (Boubrima, 2014). Limane (2009) schématise les stades de développement du système racinaire du pistachier de l'Atlas de la réserve d'El Mergueb (Figure 14). Il montre que le jeune individu possède un pivot important duquel dérivent de nombreuses ramifications secondaires. Le système racinaire continu à se développer, il émet soit des racines horizontales, étalées à faible profondeur dans le sol, ou bien des racines primaires à pénétration profonde et fortes ramifications secondaires superficielles.



**Figure 14 :** stades d'évolution du système racinaire chez le pistachier de l'Atlas (Limane, 2009).

Les travaux de Boubrima (2014) sur les populations de pistachier de l'Atlas appartenant à deux dayas (Hassi Delâa et Aïat, wilaya de Laghouat), ont montré les différences qui existent entre les deux populations étudiées et qui sont dues au sol qui conditionne le développement racinaire. Quand celui-ci est plus limoneux et argileux, les racines des sujets jeunes sont plus épaisses, peu ramifiées, moins longues et colonisent plutôt les niveaux superficiels du sol, l'enracinement est ainsi qualifié de superficiel. Quand le sol est meuble, à texture sablo-limoneuse, il favorise l'enracinement profond et superficiel chez les jeunes sujets ; les racines sont moyennement épaisses très ramifiées à extension latérale et verticale considérables. Concernant les sujets âgés dans les deux dayas, la croissance radiale est favorisée par rapport à l'allongement racinaire, les racines sont vigoureuses et superficielles, mais plongent en profondeur, l'enracinement est alors mixte : superficiel et profond.

Du point de vue édaphique, cette essence est indifférente au type de sol (Nègre, 1962). Les nombreux et différents travaux du laboratoire « Ressources Naturelles » de l'université Mouloud Mammeri sur les sols que colonisent des populations spontanées de pistachiers de l'Atlas en Algérie, ont montré les résultats qui suivent.

- Concernant la granulométrie, c'est la texture limoneuse qui est récurrente dans tous les sols échantillonnés par les différents chercheurs ; les textures varient d'argileuse et sablo-limoneuse (Tableau 1).

**Tableau 1 :** textures des différents sols sous pistachiers de l'Atlas précédemment étudiés en Algérie.

Auteurs	Zones d'étude	Textures
Bounceur (2009)	Tilrhem (Laghouat).	Limoneuse fine, limono-sableuse.
Tisgouine (2010)	Theniet El Had (Tissemsilt).	Limoneuse et limono-sableuse.
Bentaleb (2011)	Boucédraia (Djelfa).	Limoneuse à limoneuse fine, Limono-sableuse,
Boubrima (2014)	Saadi, Hassi Delaâ (Laghouat).	Limoneuse à limoneuse fine, limono-sableuse et limono-argileuse.
Hamitouche (2016)	Daya El Gouffa (Laghouat).	Limoneuse, limoneuse fine.
Limane (2018)	El-Mergueb (M'sila). Sidi Naamane (Médéa) ; Daya de Lekhneg (Laghouat) ; Béni Ounif (Béchar).	Limoneuse et sablo-limoneuse Argileuse à limoneux argileuse ; Limono-argilo-sableuse, limono-sableuse, limoneuse à sablo-limoneuse ; Limono-sableuse à sablo-limoneuse.

Les pH sont majoritairement basiques, mais exceptionnellement on peut trouver certains sols un peu acides, comme c'est le cas de certains sols de Theniet El Had (Tissemsilt) (Tableau 2).

**Tableau 2** : intervalles des pH des différents sols sous pistachiers de l'Atlas précédemment étudiés en Algérie.

Auteurs	Zones d'étude	Ph
Tahrour (2005)	Oued Besbès (Médéa)	7,26-7,90
Bournine (2007)	Béni Ounif (Béchar)	8,09-8,46
Bounceur (2009)	Tilrhemt (Laghouat)	8,26-8,44
Tisgouine (2010)	Theniet El Had (Tissemsilt)	6,17-7,52
Bentaleb (2011)	Boucédraia (Djelfa)	7,39-8,40
Boubrima (2014)	Saadi, Hassi Delaâ (Laghouat)	7,53-8,02
Hamitouche (2016)	Daya El Gouffa (Laghouat)	8,10-8,33
Limane (2018)	Daya El Mergueb (M'sila) ; Sidi Naamane ; Daya de Lekhneg (Laghouat) ; Béni Ounif (Béchar).	7,50-8,70 8,18- 8,77; 7,66-8,37; 8,05-8,36

Les sols sont dans leur majorité modérément calcaires, mais peuvent dans certaines régions être très fortement calcaires, comme c'est le cas de certains sols de la daya d'el Mergueb (M'sila) (Tableau 3).

**Tableau 3** : intervalles des teneurs en calcaire total des différents sols sous pistachiers de l'Atlas, précédemment étudiés en Algérie.

Auteurs	Bounceur (2009)	Bentaleb (2011)	Amroun (2013)	Boubrima (2014)	Hamitouche (2016)	Limane (2018)			
	Tilrhemt (Laghoua)	Boucédraia (Djelfa)	Aiat, Tilrhemt (Laghouat)	Saadi, Hassi delaâ (Laghouat)	Daya el Gouffa (Laghouat)	Sidi Naamane (Médéa)	Daya d'el-Mergueb (M'sila)	Daya de Lekhneg (Laghouat)	Béni Ounif (Béchar).
<b>CaCO<sub>3</sub> Total (%)</b>	7,81 - 25,31	2,53 - 13,56	19,37 - 23,27	10,41 - 22,80	1,25 - 18,75	8, 91-44, 84	3, 13-34, 38	5, 21-11, 79	10,63-30,63

Les teneurs en matière organique sont en majorité estimées faibles, mais néanmoins peuvent être exceptionnellement élevées et même très élevées dans certaines zones (**Tableau 4**).

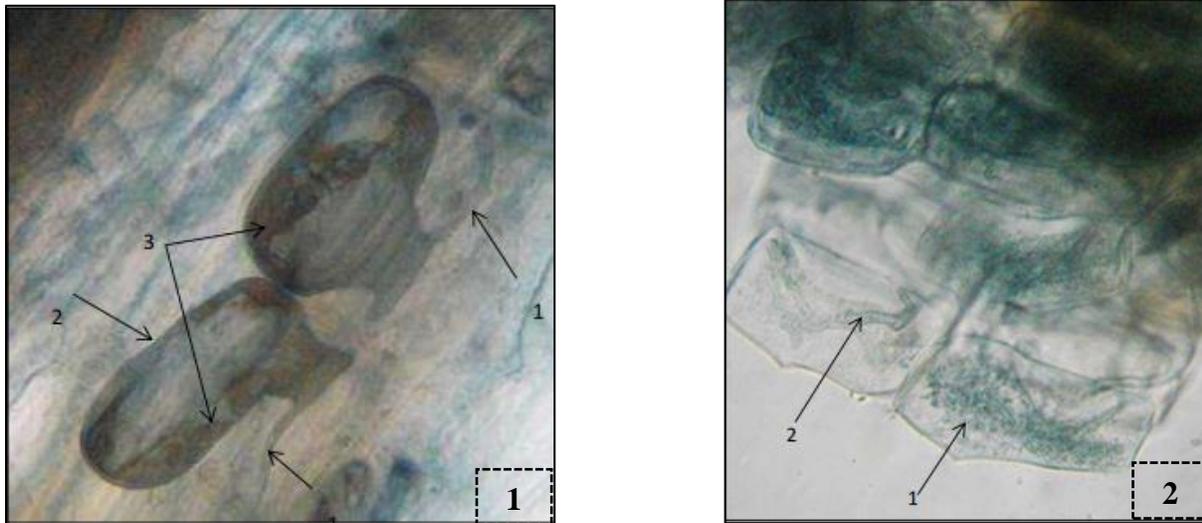
**Tableau 4** : Intervalles des teneurs en matière organique des différents sols sous pistachiers de l'Atlas précédemment étudiés en Algérie.

Auteurs	Bounceur (2009)	Bentaleb (2011)	Boubrima (2014)	Hamitouche (2016)	Limane (2018)			
	Tilrhemt (Laghouat)	Boucédraïa (Djelfa)	Saadi, Hassi Delaâ (Laghouat)	Daya El Gouffa (Laghouat)	Sidi Naamane (Médéa)	Daya d'el- Mergueb (M'sila)	Daya de Lekhneg (Laghouat)	Béni Ounif (Béchar)
M.O %	0,49-1,21	0,60-3,61	1,33-3,41	0,12-1,5	2, 59- 8, 41	1,11-5,45	1,16-4,87	0,97-1,80

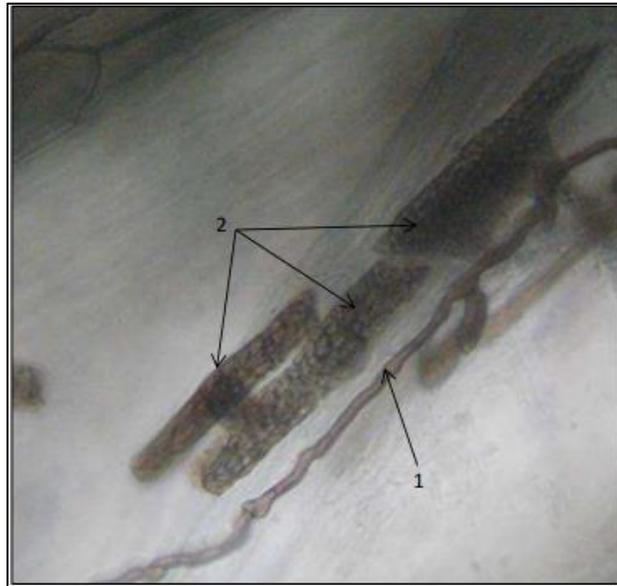
Plusieurs travaux ont été réalisés sur les symbioses mycorhiziennes et endophytiques que peut avoir le pistachier de l'Atlas. Les travaux de Mechiah (2015) consistent en une approche des symbioses racinaires de *Pistacia atlantica* Desf. de dayate El Gouffa (Laghouat, Algérie), qui montre la dépendance du pistachier de l'Atlas vis-à-vis des les champignons endomycorhizogènes à vésicules et arbuscules (CMA) et d'endophytes (DSE) surtout au stade jeune. Bien que, le système racinaire des jeunes sujets entourés du jujubier est relativement peu étendu, l'intensité de mycorhization des racelles est élevée. Cela pourrait être lié à une forte affinité entre le pistachier de l'Atlas et les CMA. Les sujets âgés ont un faible taux de mycorhization avec seulement 27,08%. Cela pourrait être lié au système racinaire de ces sujets qui est important. Il occupe un volume important de la rhizosphère et peut s'enfoncer dans les couches profondes du sol et permet de puiser en profondeur l'eau.

Limane (2018) a dressé un inventaire sommaire des champignons arbusculaires et endophytes racinaires associés au pistachier de l'Atlas, le long d'un gradient d'aridité croissante en Algérie. Deux types de symbioses racinaires ont été retrouvées, il s'agit de celle des champignons endomycorhiziens à arbuscules et les endophytes fongiques (DSE). Toutes les racines des quatres stations (Médéa, M'sila, Laghouat et Béni Ounif) sont endomycorhizées et présentent souvent des structures fongiques endophytiques, à différents stades de maturation (**Figures 15, 16 et 17**). Ces partenaires pourraient, à défaut d'être complémentaire des mycorhizes à arbuscules, surtout dans les milieux stressants, être plus performants et efficaces dans la colonisation des environnements de plus en plus contraignants. Les racines du pistachier

de l'Atlas recrutent de plus en plus de DSE avec l'aridité augmentant. Il semblerait que les DSE soient les plus favorisés par le pistachier de l'Atlas, pour réussir la colonisation des environnements hyperarides. Les résultats des observations ont montré qu'apparemment la richesse spécifique en champignons mycorhiziens à arbuscules des racines échantillonnées diminue avec l'augmentation de l'aridité édaphoclimatique, alors qu'inversement, la richesse en DSE augmente (Limane, 2018).



**Figure 15 :** Symbioses endomycorhizogènes **1.** hyphes (1) et vésicules (2) remplies de gouttelettes lipidiques (3) caractéristiques du genre *Acaulospora* (×400). **2.** arbuscules (1) à troncs épais (2) caractéristiques du genre *Scutellospora* (×400) (Limane., 2018).



**Figure 16** : symbioses endophytiques. Hyphe septé (1) et microsclérotés matures pigmentées en marron (2) de DSE ( $\times 100$ ) (Limane., 2018).



**Figure 17** : hyphes marron septés de surface (1) et interne (2) et microsclérotés (3) de DES ( $\times 100$ ) (Limane, 2018).

Bouabdelli et *al.* (2018) ont fait une étude sur les mycorhizes des espèces du genre *Pistacia*, en fonction des conditions édapho-climatiques, en Algérie. Les observations microscopiques des racines ont révélé la présence de champignons mycorhiziens arbusculaires. Les trois structures qui caractérisent le type d'endomycorhizes à arbuscules (hyphes, vésicules et arbuscules) se trouvent dans tous les fragments racinaires, quel que soit le bioclimat ou bien la saison ; ce qui signifie que ce type de mycorhize est préféré par le genre *Pistacia*. Les fragments

racinaires analysés sont densément endomycorhizés. La fréquence de mycorhization s'est montrée importante (plus de 60%), atteignant les 100% chez *Pistacia atlantica* en milieu aride, indépendamment de la saison ou de la station (différentes conditions édapho-climatiques). La colonisation est plus importante sous climat semi-aride et aride (stations de Djelfa), où les sols sont souvent pauvres en éléments nutritifs et la période sèche peut se prolonger pendant plusieurs mois. De tels sols sont caractérisés par une déficience concernant la nutrition phosphatée et azotée, ce qui nécessite l'intervention de champignons mycorhiziens afin d'améliorer l'alimentation hydrique et minérale.

### 3. Feuilles du pistachier de l'Atlas

Les feuilles de *Pistacia atlantica* sont caduques en hiver (Zohary, 1996 ; Kadi Bennane, 2004 ; Maameri, 2008 ; Yaaqobi et *al.*, 2009 ; Djenidi, 2012). Elles sont composées imparipennées. Le nombre de folioles est variable. Il est de 3 à 4 paires de folioles (Nègre, 1962 ; Meikle, 1977), 7 à 11 folioles (Monjauze, 1980), 5 à 7 folioles (Sheibani, 1996), 2 à 6 paires de folioles (Belhadj, 2007), ou 3 à 5 folioles (Maameri, 2008). Selon Alyafi (1979), le nombre de paires de folioles ainsi que la couleur des folioles sont des caractéristiques très affectées par les facteurs écologiques. Les feuilles du pistachier de l'Atlas sont généralement lancéolées (Yaltirik, 1967 ; Zohary, 1987 ; Fennane et *al.*, 2007 Flore ; Djenidi, 2012). Elles peuvent être rétrécies à la base, les extrémités peuvent être obtuses, avec le mucron apical très petit, ou en position surbaissée ou tout à fait absent (Monjauze, 1980). Les feuilles présentent un rachis non ou à peine ailé (Nègre, 1962). Elles sont stipulées, à rachis finement ailé et obtuses au sommet (Fennane et *al.*, 2007) (**Figure 18**).



**Figure 18** : feuilles du pistachier de l'Atlas à Timzerth (Avril 2016) (Limane, 2018).

La feuille de *Pistacia atlantica* a fait l'objet de plusieurs études. Nous citons les travaux de Kadi-Bennane (2004), concernant l'anatomie de la feuille de trois populations du pistachier de l'Atlas, à savoir : Ain Oussera, Messaad et la Taissa. Cette étude a permis d'observer et de déterminer la structure interne des feuilles du bétoum. Les observations des coupes ont permis de déterminer la structure anatomique suivante :

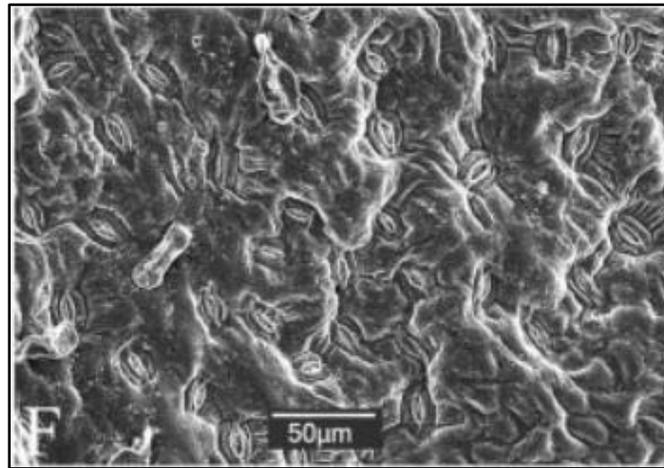
- une cuticule épaisse qui couvre la totalité de la surface foliaire ;
- un épiderme simple à une seule assise cellulaire de forme cubique sur la face supérieure et inférieure, il est de type polygonal ;
- un hypoderme composé d'une seule assise de cellule observée sous chaque épiderme ;
- un mésophylle composé d'un parenchyme assimilateur situé directement sous l'hypoderme, il est constitué de deux assises de cellules allongées, toutes semblables et riches en chloroplastes et caractérisées par la présence de 2 à 3 cellules spongieuses (aquifères ou cubiques) ;
- des vaisseaux conducteurs (les nervures principales et secondaires) présentent des amas de cellules collenchymateuses, directement sous l'épiderme de la feuille pour la nervure principale et au centre du collenchyme autour des vaisseaux conducteurs.

L'examen phytodermologique des feuilles de *Pistacia atlantica* Desf. révèle l'absence totale des stomates sur la face supérieure. Au niveau de la face inférieure, les stomates présentent un léger enfoncement dans l'épiderme. Les feuilles de *Pistacia atlantica* Desf sont de type hypostomatique. L'observation au microscope photonique a permis de noter la présence d'un nombre important de poils sur les deux faces des feuilles de *Pistacia atlantica*, notamment au niveau de la population de Messaad et de la Taïssa. Il y a deux types de poils. Des poils tecteurs simples unicellulaires trouvés généralement sur les bordures et au centre des feuilles ; ce type montre une section subcirculaire ; le poil généralement long et effilé et parfois court et érigé. Les poils glanduleux sont courts et présentent une tête pluricellulaire, à pied unisériel (Kadi-Bennane, 2004).

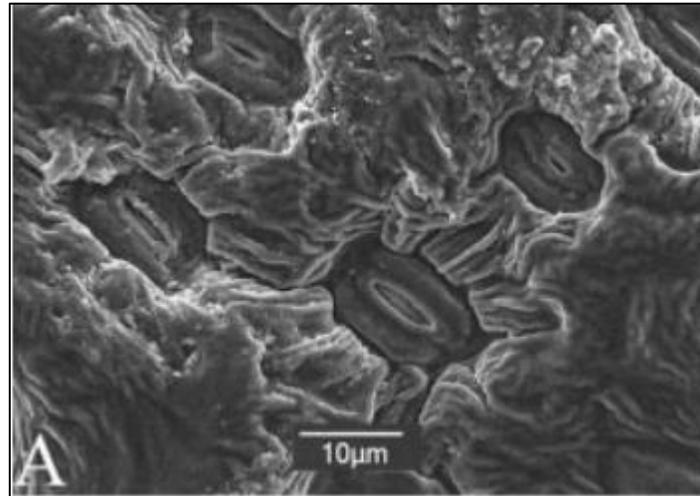
Pour les travaux de Ait Said (2011), il s'agit d'une première étude réalisée *in situ* pour mettre en évidence, la variabilité de trois populations algériennes de pistachier de l'Atlas (Béchar, Laghouat et Médéa), en relation avec la sécheresse. Cette étude a montré une grande plasticité des caractères morfo-anatomiques et phytochimiques. Les auteurs ont également montré des ajustements morfo-anatomiques des feuilles en fonction des contraintes du milieu. Ils ont pu en conclure que *P. atlantica* a une grande capacité d'adaptation aux conditions changeantes de l'environnement. Dans la station de Béchar, où la contrainte hydrique est très forte (sécheresse durant toute l'année), cette espèce a tendance à réduire sa transpiration par réduction de la surface foliaire et par la présence d'un revêtement pileux assez dense. Les modifications de la structure anatomique comme l'augmentation de l'épaisseur de la cuticule, de l'épiderme et du parenchyme palissadique sont des atouts pour l'adaptation de cette espèce à l'aridité. L'épaisseur du parenchyme palissadique est corrélée positivement avec le gradient d'aridité.

Une autre étude a été réalisée par Belhadj et al. (2007), il s'agit d'une étude micromorphologique des feuilles de *Pistacia atlantica*, en comparant des populations présentes dans différentes conditions climatiques. Les feuilles de huit populations ont été observé au microscope électronique à balayage. Les caractéristiques micromorphologiques (ornement d'épiderme, type de stomates, cires, ainsi que trichomes) des surfaces foliaires adaxiales et abaxiales ont été examinées. L'ornement de l'épiderme varie selon les populations. La surface de la feuille abaxiale est réticulée avec une surface striée (**Figure 19**). Le site de Messaad montre une surface lisse, et inégale. La surface adaxiale de la feuille est lisse, mais plusieurs ornements

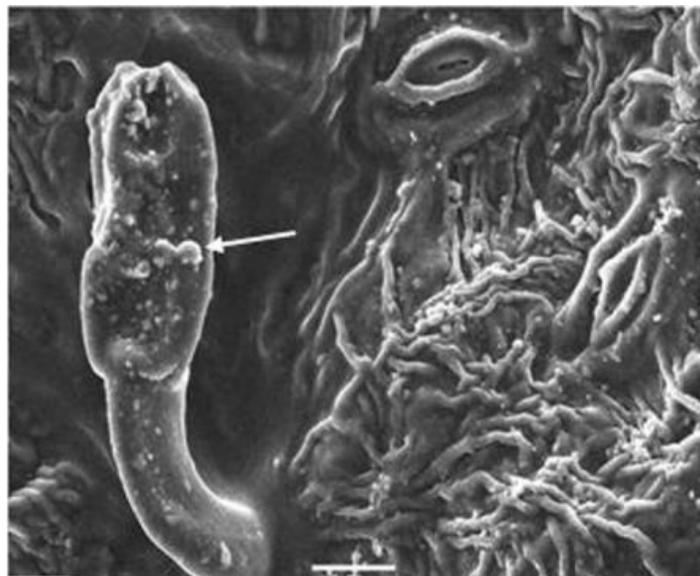
peuvent être observés. Les folioles sont amphistomatiques ; les stomates semblaient légèrement enfoncés (**Figure 20**). Une variété de types stomatiques a été enregistrée. Les types actinocytaires et anomocytaires sont les plus fréquents. On retrouve des trichomes glandulaires et non glandulaires. Des trichomes glandulaires unicellulaires sont enregistrés pour les feuilles de *P. atlantica*. Leur densité est plus élevée dans le site d'Oued safene, situé à l'altitude la plus élevée par rapport aux autres populations. La cire est présente dans tous les sites et sa configuration varie selon les populations étudiées, notamment entre Berriane et Messaad (**Figure 21**). La variabilité morphologique présentée par les huit populations de *P. atlantica* peut être interprétée comme pertinente pour la plasticité écologique et les mécanismes physiologiques.



**Figure 19** : micrographies électroniques à balayage de la surface des feuilles abaxiales montrant les caractéristiques de l'épiderme de la station de Messaad (Belhadj et *al.*, 2007).



**Figure 20 :** micrographies électroniques à balayage de la surface des feuilles abaxiales montrant l'apparence des stomates de la station d'Aflou (Belhadj et *al.*, 2007).



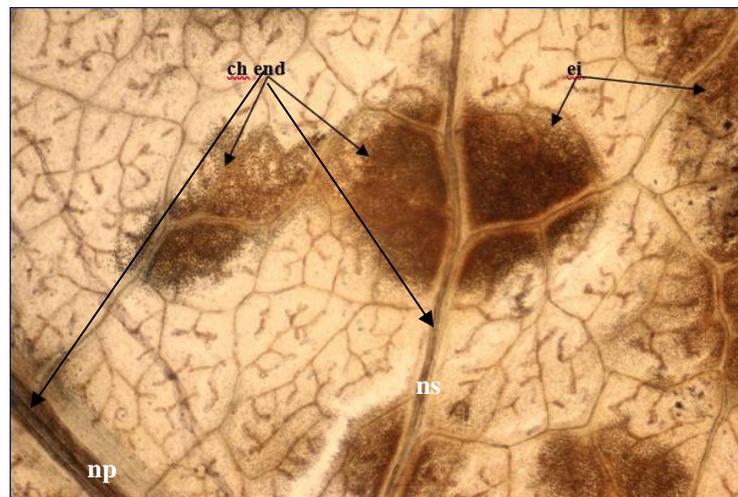
**Figure 21 :** micrographies montrant un trichome de la feuille de *Pistacia atlantica* : poil glandulaire et dépôts de cire sur l'épiderme (Belhadj et *al.*, 2008).

Un autre travail a été réalisé par Belhadj et *al.* (2008) sur l'analyse de la variabilité morphologique des feuilles et des types stomatiques du pistachier de l'Atlas. Ces études ont montré l'étendue de l'adaptabilité des feuilles du pistachier de l'Atlas aux milieux arides. Le travail vise à établir une étude descriptive macro et micro-morphologique de 04 espèces du genre *Pistacia* (*P. atlantica*, *P. lentiscus*, *P. terebinthus* et *P. vera*), provenant de sept stations

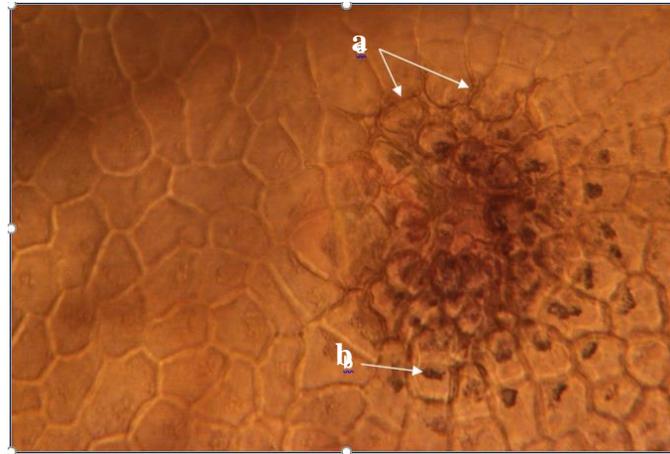
localisées sous différents bioclimats, en Algérie, avec une analyse de la variabilité des caractères foliaires et stomatiques inter et intra spécifique. Les résultats sur le pistachier de l'Atlas ont montré :

- des folioles terminales plus larges ;
- des folioles terminales de même taille que les folioles basales ;
- une foliole terminale de forme lancéolée et elliptique ;
- feuilles amphistomatiques, mais sur la face adaxiale, les stomates sont situés le long de la nervure principale ;
- des stomates de forme elliptique ;
- les feuilles présentent des trichomes au niveau de la nervure principale et la marge.

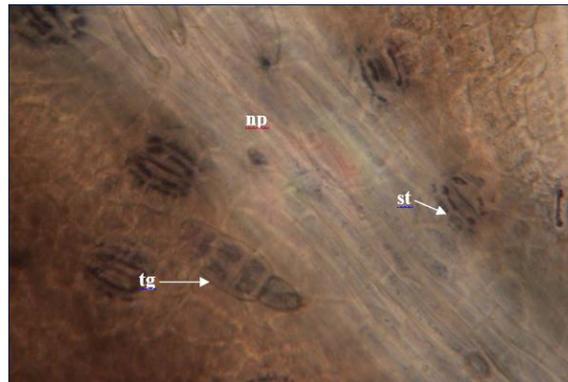
Les observations sous microscope optique des feuilles de *Pistacia atlantica* colorées au bleu Trypan montrent la présence de différents champignons endophytes au niveau de tous les compartiments de la feuille (**Figures 22, 23 et 24**). Les différences apparaissent au niveau des couleurs des filaments mycéliens (Zareb et *al.*, 2016 et 2018).



**Figure 22** : observation microscopique d'une forte colonisation en champignons endophytes (**ch end**) au niveau des espaces internervaires (**ei**) et au niveau des nervures principales (**np**) et nervures secondaires (**ns**) de la feuille du pistachier de l'Atlas (x 400) (Zareb, 2014).



**Figure 23** : observation microscopique d'une colonisation inter (a) et intracellulaire (b) des cellules épidermiques de la feuille du pistachier de l'Atlas (x 400) (Zareb, 2014).



**Figure 24** : observation microscopique des stomates (st) de part et d'autre de la nervure principale (np) de la feuille du pistachier de l'Atlas, (tg) trichome glandulaire colonisés par des champignons endophytes (x 400) (Zareb, 2014).

Dans le même contexte, nous pouvons citer un inventaire des champignons endophytes des feuilles de *Pistacia atlantica* Desf. de dayate El Gouffa (Laghouat). Ce travail a concerné la présence des mycoendophytes, ainsi que leur diversité au niveau des feuilles de *Pistacia atlantica* Desf. de dayate El-Gouffa, wilaya de Laghouat, Algérie. Des fragments de folioles et de rachis sont ensemencés dans un milieu PDA, dans des boîtes de Pétri. Après deux mois d'incubation, la fréquence de colonisation par les champignons endophytes est très élevée, elle est de 78,1% pour l'ensemble des sujets, 75,5% pour les rachis et 80,7% pour les folioles (Benfoddil, 2015). Les genres dominants sont *Aspergillus*, *Epicoccum*, *Phoma* et *Trichoderma*.

Les études phytochimiques indiquent que les espèces de *Pistacia* sont riches en monoterpènes (Monaco et al., 1982 ; Djenidi, 2012), triterpénoides tétracycliques (Ansari et al., 1993 ; Djenidi, 2012 Djenidi, 2012), en flavonoïdes (Djenidi, 2012), en d'autres composés phénoliques y compris l'acide gallique (Shi et Zuo, 1992; Zhao et al., 2005 ; Djenidi, 2012) et en huiles essentielles (Küsmenoglu et al., 1995 ; Djenidi, 2012). L'étude de Ait Said et al. (2011) sur trois sites algériens choisis le long d'un transect d'aridité croissante : Oued-Besbes (Médéa) - faible aridité, Tilghemt (Laghouat) -aridité moyenne et Béni-Ounif (Béchar) - haute aridité a montré que les feuilles de *P. atlantica* contiennent quarante-neuf composés identifiés. Parmi ceux-ci, vingt-deux sont des monoterpènes (8 hydrocarbures et 14 oxygénés) et vingt-cinq sont des sesquiterpènes (16 hydrocarbures et 9 oxygénés). Le travail de Aït Saïd et al. (2011) a montré la variabilité intra-population des terpénoïdes de *P. atlantica*. Ils ont conclu à une augmentation de la concentration terpénique en fonction du degré d'aridité croissant, allant des régions subhumides jusqu'au Sahara. En effet, l'accommodation à l'aridité s'expliquerait par une augmentation des teneurs en terpènes, qui seraient probablement en relation avec l'accroissement des épaisseurs du parenchyme palissadique et la forte densité de poils glanduleux. L'analyse quantitative a montré des différences significatives dans les concentrations de monoterpènes, de sesquiterpènes et de terpènes totaux des feuilles de *P. atlantica* selon les sites étudiés. Les concentrations de terpènes augmentent avec le degré d'aridité. Les concentrations moyennes les plus élevées de monoterpènes (136  $\mu\text{g g}^{-1}$  ps), de sesquiterpènes (290  $\mu\text{g g}^{-1}$  ps) et de terpènes totaux (427  $\mu\text{g g}^{-1}$  ps) ont été observées dans le site de haute aridité, alors que ces chiffres sont de : 57  $\mu\text{g g}^{-1}$  ps, 57  $\mu\text{g g}^{-1}$  ps et 113  $\mu\text{g g}^{-1}$  ps, respectivement, au site de faible aridité.

Une autre étude a été réalisée par Hacid (2016) et concerne une comparaison de la variabilité phénolique des feuilles de *P. atlantica* en relation avec les facteurs environnementaux. L'identification et la quantification de différentes classes de composés phénoliques retrouvés a permis de comprendre leurs éventuels rôles écologiques chez cette espèce. *P. atlantica* s'est avéré qualitativement et quantitativement riche en ces métabolites. Les résultats de l'analyse qualitative des extraits éthanoliques de feuilles de *P. atlantica* obtenus par HPLC ont pu détecter 13 composés et identifier 12.

## **Chapitre III**

### **Matériels et méthodes**

1.Zone d'étude

1.1. Description de la zone d'étude

La wilaya de Laghouat est située à 400 km au sud d'Alger sur l'axe routier Alger-Ghardaia. Elle se trouve à 750 m d'altitude sur le flan sud de l'Atlas Saharien. Elle s'étale sur une superficie de 25 052 Km<sup>2</sup> (Amghar et Kadi-Hanifi, 2002). Cette wilaya est limitée au nord par les wilayas de Tiaret et Djelfa, à l'est par la wilaya de Touggourt et El Oued, à l'ouest par la wilaya d'El Bayadh et au sud par la wilaya de Ghardaïa (**Figure 25**).

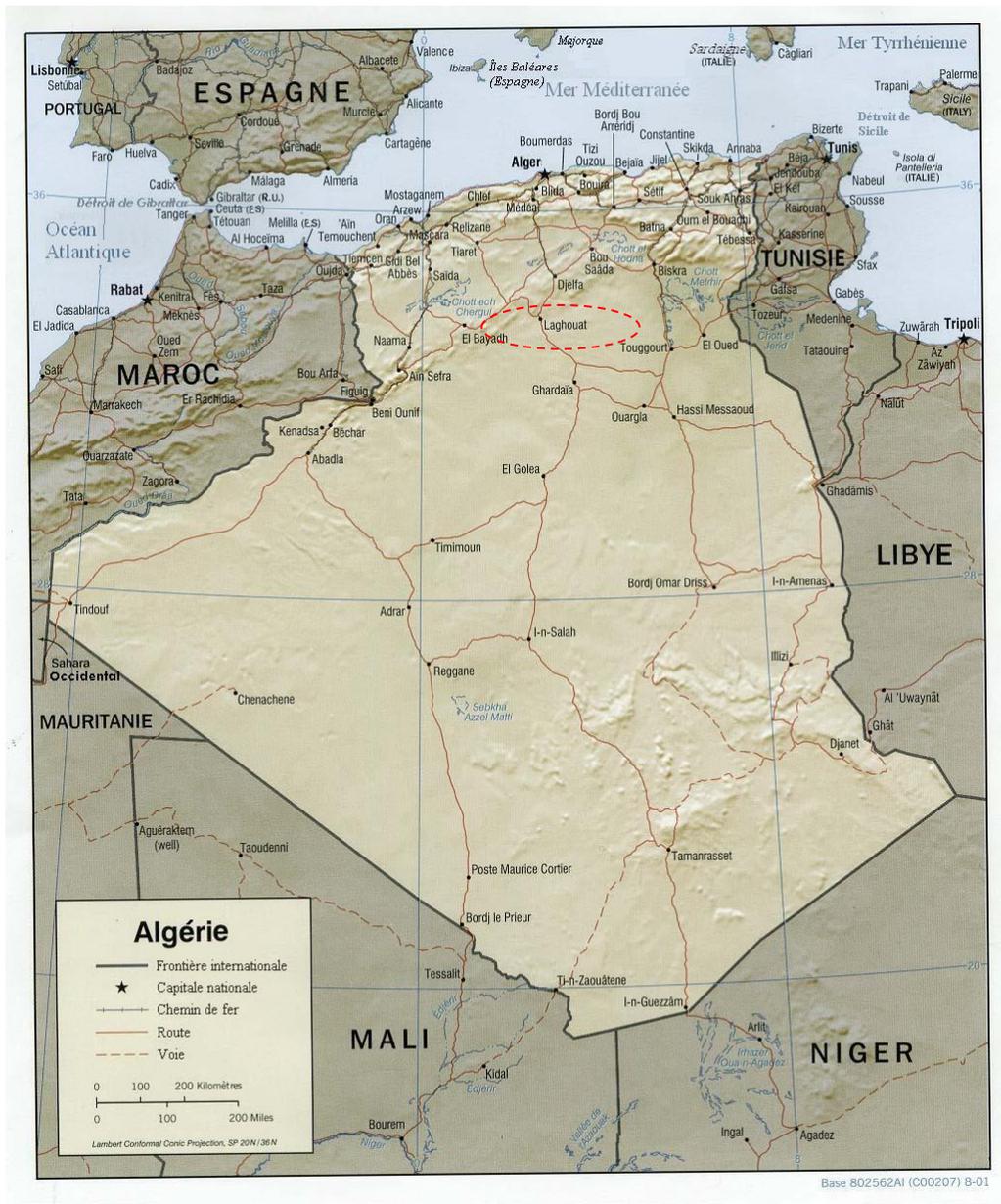


Figure 25 : localisation de la ville de Laghouat (google maps, 2014).

échelle 1/200 000°

De par sa position géographique et ses caractéristiques climatiques, la wilaya de Laghouat fait partie du groupe des neuf wilayas pastorales du pays. Sur le plan naturel, elle est constituée de deux zones distinctes (Anonyme a, 2010).

- 1- La zone de l'Atlas Saharien caractérisée par des altitudes allant de 1000 à 1700 m avec, des pentes de 12,5 à 25%. Cette zone est au nord-ouest de la wilaya (régions d'Aflou et de la Brida) ; elle est constituée de vieux massifs forestiers d'une superficie de 47.095 ha, de nappes alfatières couvrant une superficie de 315.125 ha, ainsi que de pacages et parcours d'une superficie de 1.531.766 ha.
- 2- La zone des Hauts Plateaux et des Plateaux Sahariens caractérisée par des altitudes allant de 700 à 1000 m et des pentes de 0 à 3% ; cette zone est constituée de vastes étendues steppiques d'une superficie de 1900000 ha, dont une grande partie a été dégradée sous l'effet des sécheresses prolongées et de l'influence de l'homme.

Notre station d'étude : dayate Aiat dans la région de Timzerth, est située à 50 Km au sud de la ville de Laghouat. La daya est du type peu déprimé (Pouget, 1980). Elle est située au cœur de la région des Dayas qui selon Monjauze (1982), est un haut plateau dont l'altitude moyenne passe de 500 à 1000 m de l'ouest à l'est. Ce plateau couvre environ 30 000 Km<sup>2</sup> ; il longe l'Atlas Saharien central par son grand côté, s'appuie au sud sur la dorsale touranienne de la Chebka du M'zab, à l'ouest sur des plateaux descendant vers le grand Erg Occidental et à l'est s'atténue en pente douce en direction des grands oueds. Les dayas de Laghouat sont à fond très plat, jamais complètement imperméables, de forme régulière et peuplées de *Pistacia atlantica* Desf. Elles couvrent environ 2% de la surface des terrains de parcours. Leur densité est d'une unité par Km<sup>2</sup>, leur diamètre de 100 à 300 m, leur profondeur de 2 à 4 m. La daya naît par effondrement sous-jacent, accueille la végétation, se développe, puis tourne à la stérilité finale par infiltration généralisée.

Le choix de cette daya s'explique par les nombreux travaux déjà réalisés sur ces pistachiers de l'Atlas. Nous pouvons citer ceux concernant l'architecture racinaire (Chebieb, 2008 ; Boubrima, 2014) et les symbioses racinaires (Raab, 2010), le sol jacent aux différents sujets échantillonnés (Deguiche, 2008 ; Amroun, 2013 ; Boubrima, 2014).

## 1.2. Bioclimat de la zone d'étude

De par sa situation géographique, la wilaya de Laghouat appartient au domaine saharien et au sous-domaine saharien nord occidental, selon l'esquisse phytocorologique des domaines et secteurs biogéographiques de l'Algérie (Barry *et al.*, 1958 à Kebci, 2008).

Nous avons considéré les données de la station de Hssi R'mel, distante de 50Km de la daya échantillonnée. Une comparaison des données de températures montre une différence des températures moyennes minimales entre la période 1996-2016 et les deux années (2013 et 2015) de presque 1°C, et il n'y a pas de différence avec l'année 2016. Les températures moyennes maximales sont presque les mêmes pour la période s'étalant de 1996 à 2016 et les trois années d'échantillonnage (2013, 2015 et 2016). Le total des précipitations est différent, il est de 84,39 mm pour la période (1996-2016), 88.8 mm pour l'année 2013, 42,6 mm pour l'année 2015 et 36, 2 mm pour l'année 2016 (**Tableau 5**).

**Tableau 5** : températures et pluviométries des années étudiées selon la station de Hassi R'mel.

Mois	Hassi R'mel (1996-2016)			Hassi R'mel (2013)			Hassi R'mel (2015)			Hassi R'mel (2016)		
	m(°C)	M(°C)	P(mm)	m(°C)	M(°C)	P(mm)	m(°C)	M(°C)	P(mm)	m(°C)	M(°C)	P(mm)
<b>Janvier</b>	2.4	14.98	14.84	2.9	16	3.6	1	14.4	3.8	3.1	18	0
<b>Février</b>	4.08	16.92	4.3	2.2	15.9	0	2.6	14	14.3	5.3	18.6	0
<b>Mars</b>	7.92	21.66	3.82	8.4	22.6	0.6	6	20.6	7.5	5.8	21	0
<b>Avril</b>	11.79	25.99	5.85	11.2	25.4	0.8	12.9	28.1	0.3	12.5	27.7	1,7
<b>Mai</b>	16.42	30.77	3.21	14.4	30.1	4.2	17.3	32.7	0	16.8	31.2	0
<b>Juin</b>	21.08	35.68	3.53	19.1	34.9	2.1	19.4	35.3	1	21.2	36.4	0
<b>Juillet</b>	24.73	39.33	1.09	24.2	39.2	1.9	23	38.4	0	24.7	39	0
<b>Aout</b>	23.93	38	5.62	21.9	36.6	2	24.1	38	2.2	23.4	37	0
<b>Septembre</b>	19.73	32.99	14.39	19.8	33.5	18	20.3	33.4	5.3	19.7	33	6.1
<b>Octobre</b>	15.18	28.07	8.23	16.4	31.3	16.9	14.3	27.3	0.9	15.6	28.7	5
<b>Novembre</b>	7.41	19.34	9.34	6.1	19.3	7.9	7	20	7.3	7.4	19.8	5.1
<b>Décembre</b>	3.62	14.64	10.17	2.9	13.7	30.8	2.3	17.2	0	3.9	9.4	18,3
<b>Moyenne</b>	13.19	26.53	84.39	12.45	26.54	88.8	12.51	26.61	42.6	13.25	26.65	36,2

**M** : moyennes mensuelles des températures maximales (°C) ; **m** : moyennes mensuelles des températures minimales (°C) ; **P** : pluviométrie mensuelle.

Nous avons tout d'abord tracé les diagrammes ombrothermiques de Bagnouls et Gaussen, afin de déterminer la durée de la saison sèche. Etablissant une relation entre les précipitations moyennes mensuelles et la température moyenne du mois, Bagnouls et Gaussen (1953) considèrent qu'un mois est sec quand le total des précipitations (en mm) est inférieur au double de la température (en °C), c'est à dire ; lorsque le rapport :  $P \leq 2T$ . Sur le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen, les températures sont portées à une échelle double de celle des précipitations.

Les diagrammes montrent pour la station d'étude une longue période sèche étalée sur onze mois durant les 20 ans. Une période sèche est de onze mois et demi, pour l'année 2013, de 12 mois pour les années 2015 et 2016 (Figure 26).

Il faut rappeler que la saison sèche est par définition celle où se manifeste, pour la plupart des plantes, des conditions de stress hydrique plus ou moins intense et plus ou moins continues (Le Houérou, 1995).

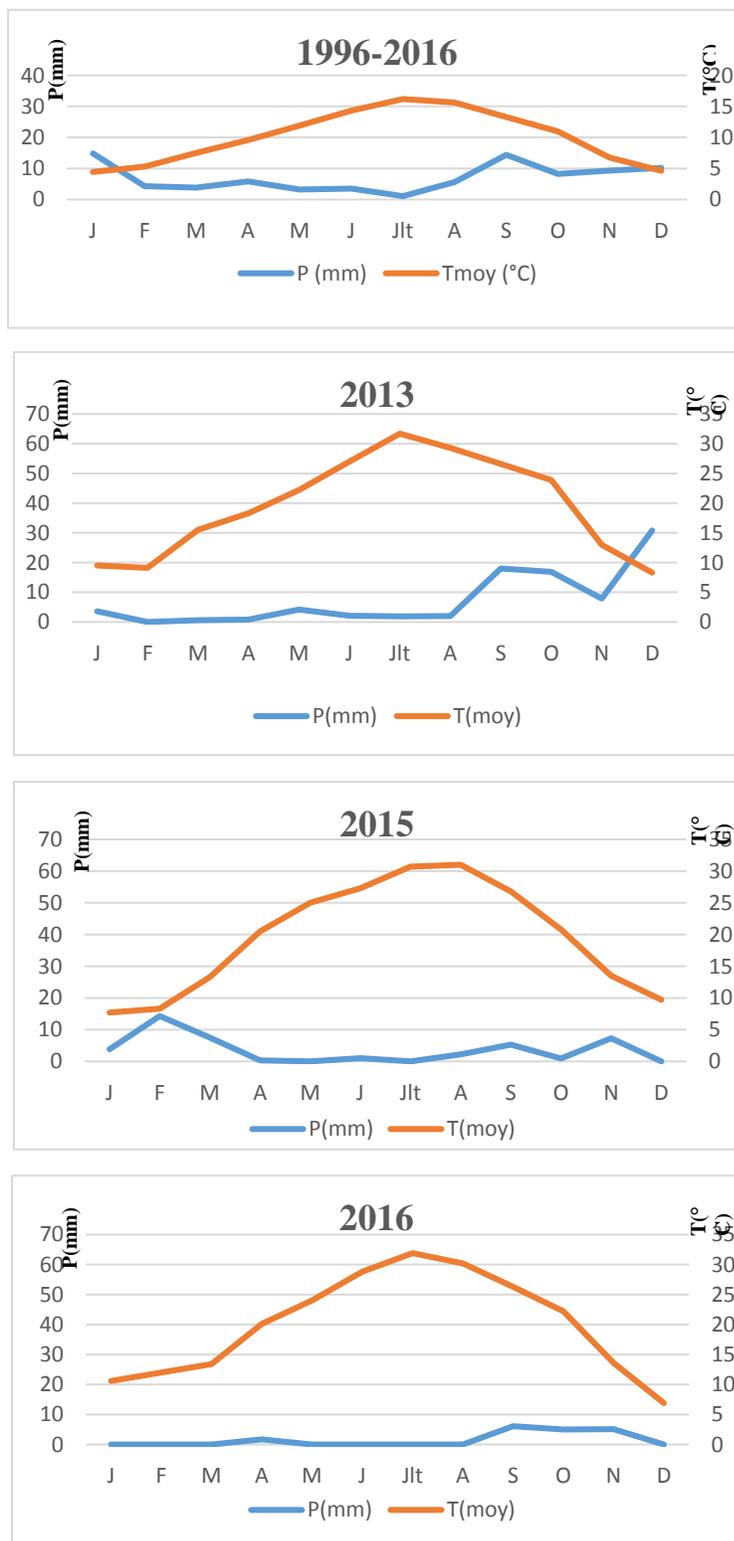


Figure 25 : diagrammes ombrothermique de Bagnouls et Gausсен (1953) sur dix ans et les quatre saisons d'échantillonnage de la station de Hassi R'mel.

### 1.3. Sols

Le tableau 5 donne les différentes caractéristiques du sol sous différents sujets de *Pistacia atlantica* desf. de dayate Ait de la station de Timzerth (Lagouat), réalisées par différents auteurs du laboratoire Ressources Naturelles de l'UMMTO. Les trois travaux réalisés montrent que la texture du sol est sablo-limoneuse à limono-fine, limono-sableuse ou limono-argileuse. Le pH est entre (7,52-8,89) et le taux de matière organique est entre 0,1 et 13,75.

**Tableau 6** : Différent paramètres pédologiques du sol sous pistachier de l'Atlas de dayate Aiat de la station de Timzirth (Laghouat) étudiées auparavant.

	<b>Texture</b>	<b>pH</b>	<b>Calcaire total (%)</b>	<b>Matière organique (%)</b>
<b>Deguiche (2008)</b>	sablo-limoneuse à limoneuse fine.	8,07-8,51	5,62-51,87	0,1-2,43
<b>Amroun (2013)</b>	sablo-limoneuse à limono-sableuse à limono-argileuse ;	8,16-8,89	15,62-28,75	1,48-13,75
<b>Boubrima (2014)</b>	sablo-limoneuse à limono-sableuse.	7,52-8,01.	9,58-13,75	0,21-2,32

### 1.4. Végétation

Le groupement caractéristique de ces fonds est l'association à *Pistacia atlantica* et *Ziziphus lotus*. Les jeunes sujets que l'on observe sont toujours ceux qui ont germé et qui continuent à pousser à l'abri que leur offre les touffes épineuses de *Ziziphus*. Celui-ci forme de grands buissons d'une teinte gris-violacé caractéristique pendant l'hiver, au cours duquel ses feuilles sont caduques, comme d'ailleurs celles du pistachier de l'Atlas (Ozenda, 2004).

L'étude de Abrous et Hamouchi. (2012) a enregistré la présence de seize espèces méditerranéennes, en plus de *Pistacia atlantica* et *Ziziphus lotus* qui appartiennent au groupe d'espèces localement liées à un appoint d'eau par ruissellement. Au total, huit espèces seulement appartiennent aux groupes éco-floristiques d'espèces indicatrices des steppes du Nord de

l'Afrique. Six espèces recensées appartiennent au groupe psammophile, il s'agit des espèces suivantes : *Atractylis flava*, *Cynodon dactylon*, *Helianthemum lippii*, *Onopordon arenarium*, *Medicago laciniata* et *Vicia monantha*. Aussi six des espèces recensées font partie du groupe rudéral lié au surpâturage prolongé ; ce sont *Centaurea incana*, *Centaurea maroccana*, *Onopordon arenarium*, *Malva parviflora*, *Malva sylvestris* et *Peganum harmala*. La daya a été labourée sur les côtés sud et ouest pour une culture céréalière, ce qui explique la présence dans les listes d'espèces recensées d'*Hordeum vulgare*.

## 2. Echantillonnage sur le terrain

Les feuilles du pistachier de l'Atlas, objet de notre étude ont été récoltées pendant deux saisons des deux années différentes. Il s'agit du printemps 2013, automne 2015, printemps 2016 et automne 2016. L'échantillonnage des feuilles s'est porté sur des sujets qui ont été choisis subjectivement. Le choix a concerné des sujets d'âges et de sexes différents (jeunes, moyens et âgés) (mâles et femelles) et qui sont en bon état phytosanitaire (Figures 27, 28 et 29). Quatorze arbres sont choisis au niveau de Dayate Aiat. Les sujets immatures sont petits n'ont pas encore de fleurs et ils sont complètement entourés de *Ziziphus*. Pour les sujets moyens le sexe est déterminé (5, 7 et 8 sont des sujets femelles, le 6, 9 et le 10 sont des sujets mâles) et la hauteur est plus importante. Ils sont toujours entourés de *Ziziphus*, mais d'une manière très lâche. Les sujets âgés (11, 12, 13 et 14) sont tous mâles sont les plus importants en taille, ils n'ont plus de *Ziziphus* autour (Figure 30). Les caractéristiques générales des sujets sont résumées dans le tableau 7. Pour chaque sujet choisi, les feuilles sont cueillies tout autour de l'arbre à hauteur d'homme. Une fois récoltées, les feuilles doivent être maintenues à l'état frais dans une glacière, elles sont ainsi mises dans des sacs en papier et transportées au laboratoire. Il est recommandé de laisser un temps très court entre la récolte des feuilles et le début des mises en culture au laboratoire (24h à 36h au maximum).

**Tableau 7** : caractéristiques générales des sujets échantillonnés.

Numéro du sujet	Classe d'âge	Altitude (m)	Latitude	Longitude
<b>1</b>	Sujet jeune mâle entouré de jujubier.	873,55	33° 31.145 N	2° 56-414 E
<b>2</b>	Sujet jeune immature il se trouve sur une butte de sable bien entouré de jujubier.	883,92	33° -31 159 N	2° 56-375 E
<b>3</b>	Sujet jeune immature, entouré du jujubier	879,33	33°31.148 N	2°56.466 E
<b>4</b>	Sujet jeune immature, entouré du jujubier	880,24	33°31.147 N	2°56.374 E
<b>5</b>	Sujet femelle moyen.	880,88	33° 31.163 N	2° 56.3 E
<b>6</b>	Arbre mâle moyen.	880,88	33° 31.163 N	2° 56.368 E
<b>7</b>	Sujet femelle moyen, il se trouve sur une butte de sable bien entouré de jujubier.	878,72	33°31. 195N	2°56.450 E
<b>8</b>	Sujet femelle moyen, entouré de jujubier	880,24	33°31.197N	2°56.460 E
<b>9</b>	Sujet moyen femelle	878,43	33°-31-130 N	2° 56-390 E
<b>10</b>	Sujet mâle moyen	878,73	33°-31.157 N	2° 56.390 E
<b>11</b>	Sujet mâle âgé, absence de jujubier	880,26	33°-31. 177 N	2° 56-427 E
<b>12</b>	Sujet mâle âgé, absence de jujubier	882,70	33°-31.196 N	2° 56-437 E
<b>13</b>	Sujet mâle âgé, absence de jujubier.	866,83	33°31.203 N	2°56.428 E
<b>14</b>	Sujet mâle âgé, absence de jujubier.	882,37	33°31.117 N	2°56.388 E



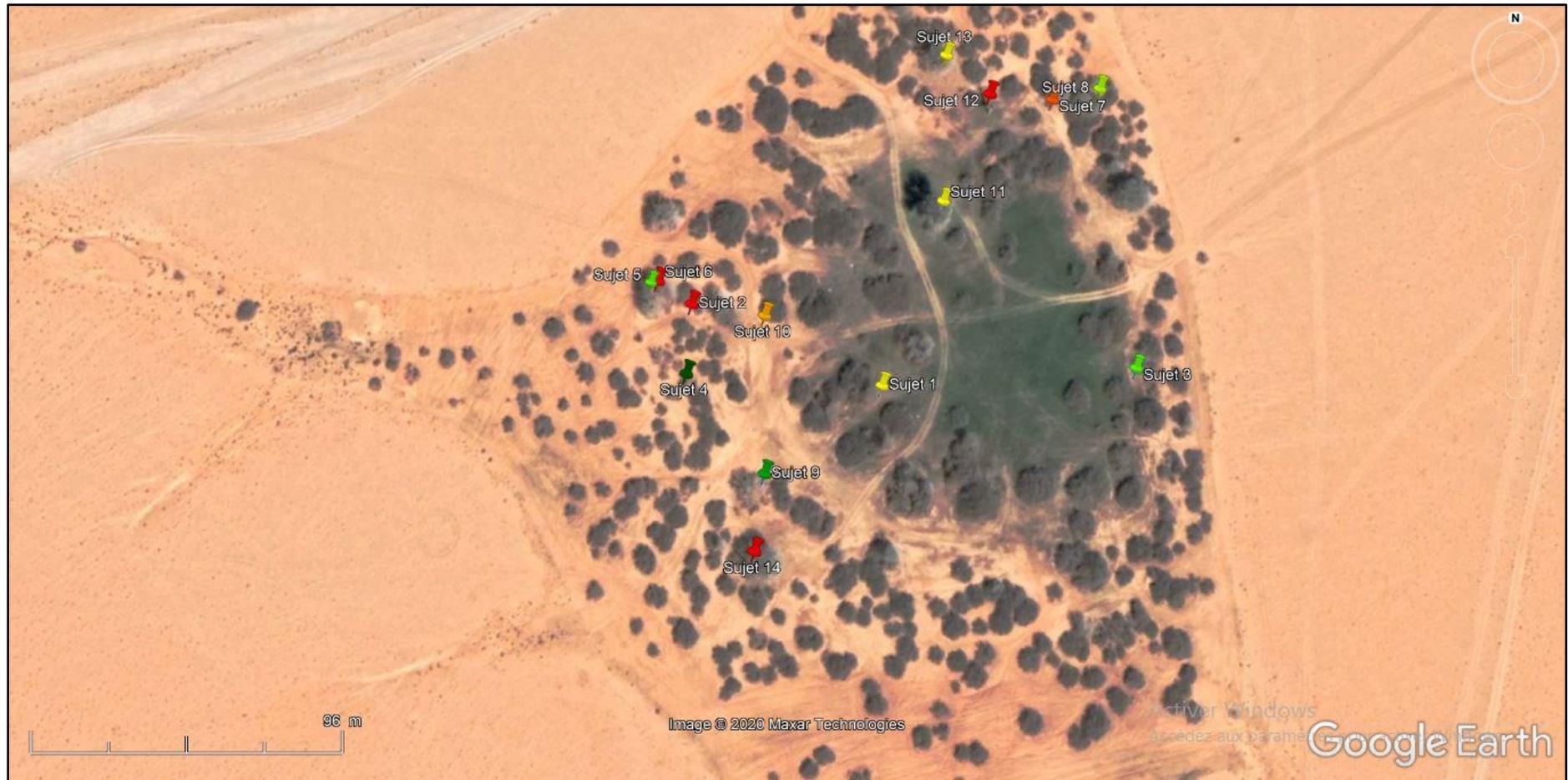
**Figure 27** : sujet jeune (immature) de *Pistacia atlantica* Desf de dayate Aiat.



**Figure 28** : sujet moyen de *Pistacia atlantica* Desf. entouré de jujubier.



**Figure 29** : sujet âgé de *Pistacia atlantica* Desf.



**Figure 30** : localisation des sujets échantillonnés au niveau de dayate Aiat.

### 3. Mise en culture des feuilles

#### 3.1. Stérilisation superficielle

La procédure de stérilisation a été optimisée en fonction des caractéristiques de l'échantillon. L'échantillon de plante contient à sa surface une large gamme d'épiphytes, qui constituent la principale source de contamination lors de l'isolement des endophytes. Par conséquent, pour éviter cette source d'infection, l'échantillon a été soigneusement stérilisé, avec la procédure de stérilisation de surface appropriée, avant de les inoculer sur le milieu nutritif. 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 mn ;
- rinçage à l'eau distillée stérilisée ;
- traitement à l'eau de javel pour une durée de 3 mn ;
- 2<sup>ème</sup> rinçage à l'eau distillée stérilisée ;
- 2<sup>ème</sup> traitement à l'éthanol 95% pour une durée de 30 s ;
- 3<sup>ème</sup> rinçage à l'eau distillée stérilisée.

Une fois stérilisées, les feuilles sont séchées en utilisant du papier buvard stérile. Elles sont ensuite coupées à l'aide d'un bistouri stérilisé. Les fragments de folioles obtenus sont ensemencés sur les milieux de culture P.D.A.

#### 3.2. Mise en culture

Vingt feuilles par sujets sont choisies pour la mise en culture. Les fragments de feuilles de (0.5-1 cm) sont déposés sur ce milieu, à raison de 5 explants/boite. Au total, 2800 explants (14 sujets x 20 feuilles x 5 fragments de 5 folioles) sont répartis sur le milieu de culture P.D.A. Toutes ces manipulations se font entre deux bacs bunsen sous une hôte. Les désinfectants (eau savonneuse, hypochlorite de sodium et alcool) sont utilisés pour éviter les risques de contamination venant de l'extérieur. L'incubation s'effectue à température ambiante pendant deux mois.

Nous avons utilisé un milieu semi-synthétique P.D.A (Potato-dextrose-agar).

#### 3.3. Préparation et stérilisation

Les pommes de terre sont pelées, lavées et coupées en tranches minces. Elles sont ensuite cuites dans 200 ml d'eau pendant 15 à 20 mn. Le mélange obtenu est filtré. Le filtrat est versé dans

un erlen meyer d'un litre, placé sur un agitateur chauffant. On rajoute au filtrat le glucose et l'agar-agar, puis on complète le volume à 1000 ml. L'erlen meyer est retiré de la plaque lorsque le milieu est homogène et clair.

Le milieu prêt est versé dans un flacon d'un litre pour la stérilisation à l'étuve à une température de 120°C. Quelques grammes d'antibiotiques sont ensuite incorporés au milieu préparé. Après refroidissement du milieu, ce dernier est coulé dans des boîtes de Pétri, sous une hôte entre deux becs bunsen.

### Identification

Les champignons sont identifiés par la méthode morphologique (Wiss et *al.*, 2004 ; Arnold et Lutzoni, 2007). Les champignons endophytes ont été identifiés en fonction de leurs caractéristiques macroscopiques, tels que : aspect, relief, contour, couleur, consistance, forme, taille des colonies et les transformations macroscopiques, des milieux de culture (présence de pigment, couleur) et microscopiques telles que la morphologie et la couleur des structures fructifères, des spores et des hyphes mycéliens au microscope. En se basant sur des clés d'identification.

### 3.4. Analyse statistique

La fréquence de colonisation **FC(%)** est calculée selon la formule suivante :

$$\mathbf{FC(\%)} = (\text{Nombre de fragments colonisés} / \text{Nombre total de fragments}) \times 100.$$

Des histogrammes concernant les différences de fréquences de colonisation sont tracées.

Afin d'estimer la diversité fongique, les abondances des différents genres fongiques recensés dans les quatorze sujets pour les champignons endophytes ont été calculées suivant cette formule (Sudheep et Sridhar, 2012).

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

**A** : abondance des genres ;

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

**Nt** : ensemble des répétitions ayant fructifié.

La diversité fongique est estimée par l'indice de Shannon Weaver, qui est calculé selon la formule suivante (Magurran, 1988) :

$$H = -\sum \frac{x_i}{x_0} \ln \frac{x_i}{x_0}$$

**x<sub>i</sub>** : nombre total d'isolats spécifiques ;

**x<sub>0</sub>** : nombre total de tous les isolats.

Concernant les fréquences des genres dénombrés au niveau des feuilles des différents sujets de pistachier de l'Atlas, des diagrammes sont établis. Des analyses de variance et des tests de Newman et Keuls ont été réalisées, pour montrer la présence éventuelle de différences significatives entre les genres de champignons endophytes identifiés au niveau de la feuille de *Pistacia atlantica*. Une analyse en composantes principales (A.C.P) est réalisée, en vue de mettre en évidence la distribution spatiale des différents genres de mycoendophytes en fonction des sujets échantillonnés, grâce au logiciel Stat Box 6.40.

## **Chapitre VI**

### **Résultats et discussion**

**1. Fréquence de colonisation**

**1.1.Résultats**

**1.1.1. Fréquences de colonisation pour le printemps 2013**

La majorité des feuilles de *Pistacia atlantica* mises en cultures montrent la présence de mycoendophytes. Les feuilles échantillonnées durant le printemps 2013 montrent 74% de fréquence de colonisation par ces mêmes champignons (Tableau 8).

L’analyse de variance type ANOVA révèle une différence hautement significative (P=0,00) des fréquences de colonisation en champignons endophytes, entre les sujets, pour le printemps 2013. Selon le test de comparaison des moyennes, tous les sujets échantillonnés durant le printemps 2013 se placent dans le même groupe (A).

Tableau 8 : fréquences de colonisation (FC%) par des champignons endophytes isolés à partir des feuilles de *Pistacia atlantica* de dayate Aiat durant le printemps 2013, après 2 mois d’incubation à température ambiante.

Sujets	FC ± erreur standard
S1	98±1,93 <sup>A</sup>
S2	95±4,72 <sup>A</sup>
S3	57±10,61 <sup>A</sup>
S4	53±10,12 <sup>A</sup>
S5	80±8,94 <sup>A</sup>
S6	81±7,81 <sup>A</sup>
S7	90±0,11 <sup>A</sup>
S8	62±10,57 <sup>A</sup>
S9	95±4,87 <sup>A</sup>
S10	61±10,72 <sup>A</sup>
S11	70±10,25 <sup>A</sup>
S12	56±10,41 <sup>A</sup>
S13	72±9,74 <sup>A</sup>
S14	60±10,95 <sup>A</sup>
<b>Moyenne</b>	74±4,15 <sup>***</sup>

\*\*\* : différence très hautement significative entre les sujets.

**1.1.2. Fréquences de colonisation pour le printemps 2016**

Les feuilles échantillonnées durant le printemps 2016 ont 69% de fréquence de colonisation par des champignons endophytes (Tableau 9).

L’analyse de variance type ANOVA révèle une différence hautement significative (P=0,00) des fréquences de colonisation en champignons endophytes, entre les sujets pour le printemps 2016. Selon le test de comparaison des moyennes, les sujets échantillonnés durant le printemps 2016 se placent dans différents groupes ; il s’agit des groupes A (sujet 12), AB (sujet 8), ABC (sujet 11), ABCD (sujet 2), ABCDE (sujets 10, 14 et 6), BCDE (sujets 1, 5 et 7), CDE (sujet 13), DE (sujets 4 et 3) et E (sujets 9 et 14) (Tableau 9).

Tableau 9 : fréquences de colonisation (FC%) par des champignons endophytes isolés à partir des feuilles de *Pistacia atlantica* de dayate Aiat durant le printemps 2016, après 2 mois d’incubation à température ambiante.

Sujets	FC ± erreur standard
S1	82±6,74 <sup>BCDE</sup>
S2	50±11,18 <sup>ABCD</sup>
S3	92±5,17 <sup>DE</sup>
S4	90±6,71 <sup>DE</sup>
S5	70±6,54 <sup>BCDE</sup>
S6	63±10,42 <sup>ABCDE</sup>
S7	71±9,04 <sup>BCDE</sup>
S8	38±9,26 <sup>AB</sup>
S9	95±4,87 <sup>E</sup>
S10	59±8,68 <sup>ABCDE</sup>
S11	45±11,12 <sup>ABC</sup>
S12	24±8,79 <sup>A</sup>
S13	82±8,11 <sup>CDE</sup>
S14	100±00,00 <sup>E</sup>
Moyenne	69±5,97 <sup>***</sup>

\*\*\* : différence très hautement significative entre les sujets.

**1.1.3. Fréquences de colonisation pour l’automne 2015**

Les feuilles échantillonnées durant l’automne 2015 montrent 78% du taux de colonisation par des mycoendophytes (Tableau 10).

L'analyse de variance type ANOVA révèle une différence hautement significative (P=0,00) des fréquences de colonisation en champignons endophytes, entre les sujets de l'automne 2015. Le test de comparaison des moyennes montre que les sujets échantillonnés durant l'automne 2015 place les sujets dans différents groupes : groupe A (sujets 4), AB (sujets 9 et 14), ABC (sujets 3 et 10), BCD (sujets 1, 5 et 11), CD (sujets 12,8 et 6) et le groupe D (sujets 2, 7 et 13) (Tableau 10).

Tableau 10 : fréquences de colonisation (FC%) par des champignons endophytes isolés à partir des feuilles de *Pistacia atlantica* de dayate Aiat durant l'automne 2015, après 2 mois d'incubation à température ambiante.

Sujets	FC ± erreur standard
S1	95±4,87 <sup>BCD</sup>
S2	88±5,77 <sup>D</sup>
S3	96±3,90 <sup>ABC</sup>
S4	58±10,07 <sup>A</sup>
S5	39±10,15 <sup>BCD</sup>
S6	90±6,71 <sup>CD</sup>
S7	95±4,87 <sup>D</sup>
S8	97±2,39 <sup>CD</sup>
S9	95±4,87 <sup>AB</sup>
S10	53±10,03 <sup>ABC</sup>
S11	58±10,38 <sup>BCD</sup>
S12	84±7,56 <sup>CD</sup>
S13	94±4,92 <sup>D</sup>
S14	97±2,13 <sup>AB</sup>
<b>Moyenne</b>	78±5,25 <sup>***</sup>

\*\*\* : différence très hautement significative entre les sujets.

**1.1.4. Fréquences de colonisation pour l'automne 2016**

Les feuilles échantillonnées durant l'automne 2016 présentent 94,64% du taux de colonisation par des champignons endophytes (Tableau 11).

L'analyse de variance type ANOVA révèle des différences non significatives entre les sujets échantillonnés durant l'automne 2016. Selon le test de comparaison des moyennes, les sujets échantillonnés durant cette saison se placent dans le même groupe (A) (Tableau 11).

Tableau 11 : fréquences de colonisation (FC%) par des champignons endophytes isolés à partir des feuilles de *Pistacia atlantica* de dayate Aiat durant l'automne 2016, après 2 mois d'incubation à température ambiante.

Sujets	FC± erreur standard
S1	100 ±0,00 <sup>A</sup>
S2	100±0,00 <sup>A</sup>
S3	100 ±0,00 <sup>A</sup>
S4	98 ±2,04 <sup>A</sup>
S5	100 ±0,00 <sup>A</sup>
S6	100±0,00 <sup>A</sup>
S7	100 ±0,00 <sup>A</sup>
S8	95 ±4,87 <sup>A</sup>
S9	100 ±0,00 <sup>A</sup>
S10	98±2,04 <sup>A</sup>
S11	100±0,00 <sup>A</sup>
S12	94±4,92 <sup>A</sup>
S13	65 ±6,99 <sup>A</sup>
S14	75 ±9,68 <sup>A</sup>
<b>Moyenne</b>	<b>94,64±2,77NS</b>

NS : différence non significative entre les sujets.

### 1.1.5. Fréquence de colonisation globale

Les feuilles échantillonnées durant les 4 saisons présentent une fréquence de colonisation (FC) en mycoendophytes importante. Elle est en moyenne de 78,91% pour les 4 saisons (Tableau 12) (Figure 29).

L'analyse de variance type ANOVA révèle des différences significatives entre les 2 printemps (2013 et 2016), non significatives entre les 2 automnes (2015 et 2016) et non significatives entre les 4 saisons (Figure 29). La fréquence de colonisation en mycoendophytes a montré un minimum de colonisation pour le printemps 2016 et un maximum de colonisation pour l'automne 2016(Figure 31) (Tableau 12).

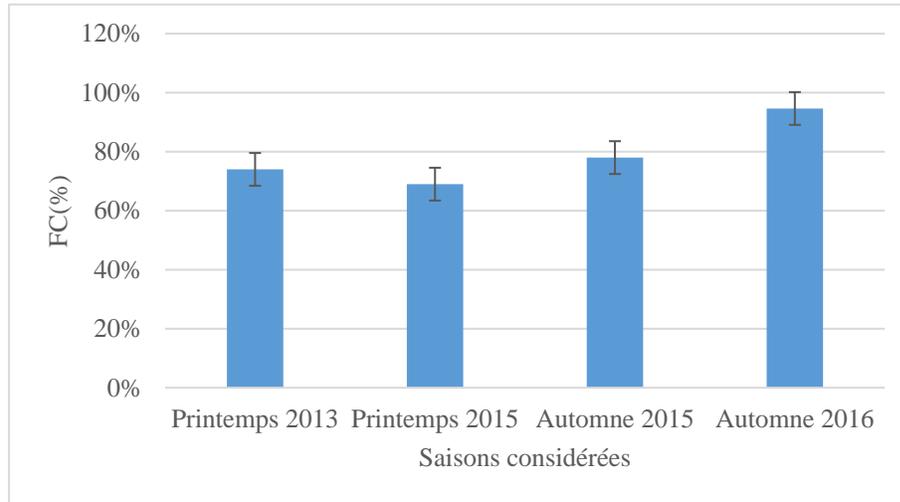


Figure 31 : fréquences de colonisation (FC%) par des champignons endophytes isolés à partir des feuilles de *Pistacia atlantica* de dayate Aiat durant les 4 saisons d'échantillonnage.

Tableau 12 : fréquences de colonisation (FC%) par des champignons endophytes isolés à partir des feuilles de *Pistacia atlantica* de dayate Aiat durant les 4 saisons d'échantillonnage, après 2 mois d'incubation à température ambiante.

Sujets	FC Printemps 2013 ± erreur standard	FC Printemps 2016 ± erreur standard	FC Automne 2015 ± erreur standard	FC Automne 2016 ± erreur standard
S1	98±1,93 <sup>A</sup>	82±6,74 <sup>BCDE</sup>	95±4,87 <sup>BCD</sup>	100±0,00 <sup>A</sup>
S2	95±4,72 <sup>A</sup>	50±11,18 <sup>ABCD</sup>	88±5,77 <sup>D</sup>	100±0,00 <sup>A</sup>
S3	57±10,61 <sup>A</sup>	92±5,17 <sup>DE</sup>	96±3,90 <sup>ABC</sup>	100±0,00 <sup>A</sup>
S4	53±10,12 <sup>A</sup>	90±6,71 <sup>DE</sup>	58±10,07 <sup>A</sup>	98 ±2,04 <sup>A</sup>
S5	80±8,94 <sup>A</sup>	70±6,54 <sup>BCDE</sup>	39±10,15 <sup>BCD</sup>	100±0,00 <sup>A</sup>
S6	81±7,81 <sup>A</sup>	63±10,42 <sup>ABCDE</sup>	90±6,71 <sup>CD</sup>	100±0,00 <sup>A</sup>
S7	90±0,11 <sup>A</sup>	71±9,04 <sup>BCDE</sup>	95±4,87 <sup>D</sup>	100±0,00 <sup>A</sup>
S8	62±10,57 <sup>A</sup>	38±9,26 <sup>AB</sup>	97±2,39 <sup>CD</sup>	95 ±4,87 <sup>A</sup>
S9	95±4,87 <sup>A</sup>	95±4,87 <sup>E</sup>	95±4,87 <sup>AB</sup>	100±0,00 <sup>A</sup>
S10	61±10,72 <sup>A</sup>	59±8,68 <sup>ABCDE</sup>	53±10,03 <sup>ABC</sup>	98±2,04 <sup>A</sup>
S11	70±10,25 <sup>A</sup>	45±11,12 <sup>ABC</sup>	58±10,38 <sup>BCD</sup>	100±0,00 <sup>A</sup>
S12	56±10,41 <sup>A</sup>	24±8,79 <sup>A</sup>	84±7,56 <sup>CD</sup>	94±4,92 <sup>A</sup>
S13	72±9,74 <sup>A</sup>	82±8,11 <sup>SCDE</sup>	94±4,92 <sup>D</sup>	65 ±6,99 <sup>A</sup>
S14	60±10,95 <sup>A</sup>	100±00,00 <sup>E</sup>	97±2,13 <sup>AB</sup>	75 ±9,68 <sup>A</sup>
Moyenne	74±4,15 <sup>***</sup>	69±5,97 <sup>***</sup>	78±5,25 <sup>***</sup>	94,64±2,77
	71,5±1,76 <sup>*</sup>		86,32±9,09 <sup>NS</sup>	
	78,91±4,76 <sup>NS</sup>			

\*\*\* : différence très hautement significative entre les saisons ; \* : différence significative entre les saisons ; NS : différence non significative entre les saisons.

## 1.2. Discussion

Le fort taux de colonisation par des champignons endophytes au niveau de la feuille de *Pistacia atlantica* de dayate Aiat durant les 4 saisons d'échantillonnage concorde avec les résultats de plusieurs études, qui ont montré que les endophytes sont omniprésents et ont été trouvés chez toutes les espèces de plantes étudiées jusqu'à présent (Vardhana et al., 2017). La recherche sur les champignons endophytes des arbres au cours des deux dernières décennies a montré que pratiquement toutes les feuilles et la tige d'un arbre sont infectées par des champignons endophytes (Suryanarayanan et Thennarasan, 2004). La souplesse de la feuille, contrairement aux tissus de l'écorce et de la tige, aide les endophytes à accéder facilement aux tissus internes (Singh et al., 2017).

Le fort taux de colonisation en champignons endophytes au niveau de la feuille du pistachier de l'Atlas de dayate Aiat durant les deux saisons automnales (2015 et 2016), par rapport aux deux printemps concorde avec l'étude de Suryanarayanan et Thennarasan (2004) et l'étude de Sarma et al. (2018). Ces auteurs ont travaillé sur la colonisation des champignons endophytes au cours de différentes saisons. L'automne a montré la fréquence de colonisation la plus élevée ; elle de 70,37%, contre 59,26% au printemps. Les travaux de Suradkar et al. (2014), de Singh et al., (2017) et de Sadeghi et al. (2019) montrent aussi une fréquence de colonisation plus importante pendant l'automne comparé à l'hiver et l'été. La fréquence de colonisation par les endophytes augmente avec l'âge de la feuille et atteint un maximum, quand les feuilles sénescents sont sur le point d'être répandues, mais aussi à la période où il y a le moins de précipitations. Cette même constatation a été faite chez le Douglas (Suryanarayanan et Thennarasan, 2004). Les champignons endophytes jouent un rôle important dans le cycle des nutriments, la biodégradation et la biorestauration (Mishra et al., 2014). Ils constituent une partie intégrante de notre environnement et jouent un rôle important dans la décomposition de la matière organique (Sharma et Choudhary, 2014). C'est un processus vital qui se produit en permanence pour équilibrer les nutriments et les rendre disponibles pour chaque composant de l'écosystème. La dégradation des biomasses mortes devient une étape majeure dans le retour des nutriments utilisés dans l'environnement, qui redevient accessible aux êtres vivants. Les champignons endophytes jouent les principaux rôles importants dans la biodégradation de la litière de ses plantes hôtes (Müller et al., 2001 ; Promputtha et al., 2010 ; Mishra et al., 2014). Le rôle des endophytes dans la décomposition des litières est également important, mais peu d'études ont été réalisées sur cet aspect écologique (Purahong et

Hyde, 2011). Chaque groupe de champignon joue un grand rôle écologique dans les écosystèmes du sol (Fitter et *al.*, 2011). Le nouveau point de vue considère les endophytes comme agents écologiques importants, dont le partenariat avec les plantes photosynthétiques a été déterminant pour l'évolution de la flore terrestre (Moricca et Ragazzi, 2008).

Kumaresan et Suryanarayanan (2002) ont montré que les communautés endophytes des feuilles ne sont pas statiques, mais subissent des changements après la chute des feuilles. Ceci montre que la communauté endophyte est dynamique, même dans les feuilles intactes et de tels changements dans les communautés sont susceptibles d'être plus visibles chez les espèces à feuilles caduques, que celles à feuilles persistantes (Suryanarayanan et Thennarasan, 2004). Cela peut retarder ou accélérer la décomposition. Des résultats révèlent un possible changement dans le mode de vie des champignons endophytes en saprophytes. Ceci peut avoir une grande influence sur les taux de décomposition de la litière. Mais, il est peu probable que tous les champignons endophytes se développent en saprophytes (Osono, 2006 ; Purahong et Hyde, 2011), du fait de leur relation intime avec leur plante hôte. Certaines études suggèrent que les champignons endophytes deviennent saprophytes, lorsque les feuilles des plantes sont sénescentes (Promputtha et *al.*, 2007 ; Purahong et Hyde, 2011).

Les champignons endophytes influent sur les taux de décomposition des feuilles de deux manières principales : en affectant la qualité de la litière et la communauté des décomposeurs, par la modification de certaines voies métaboliques de la plante hôte, ce qui entraîne une augmentation des substances toxiques, qui peuvent réduire directement la qualité de la litière et/ou modifier indirectement la communauté de décomposition, entraînant une diminution des taux de décomposition (Grime et *al.*, 1996 ; Purahong et Hyde, 2011). Les champignons endophytes peuvent accélérer ou ralentir le taux de décomposition, en fonction des interactions entre leurs plantes hôtes et la communauté des décomposeurs (Suryanarayanan et *al.*, 2012).

Selon Borsi et *al.* (2011) et Rather et *al.* (2018) a un impact sur la colonisation en champignons endophytes.

Les différences non significatives de fréquences de colonisation en mycoendophytes observées entre les deux saisons automnales (2015 et 2016), peuvent être expliquées par les conditions climatiques, qui sont presque les mêmes pour les deux années consécutives.

Les champignons endophytes jouent un rôle important dans la protection des plantes et leur permettent de mieux s'adapter à la tolérance aux stress biotique et abiotique et à la diminution de la consommation en eau et l'augmentation de la biomasse (Soon-Ok et *al.*, 2007 ; Rodriguez et *al.*, 2009 ; Waqas et *al.*, 2012). L'association de tels endophytes a non seulement augmenté la biomasse végétale, mais également amélioré la croissance des plantes dans des conditions environnementales extrêmes (Hedden et *al.*, 2001 ; Khan et *al.*, 2011 ; Leitão et Enguita, 2016). Toutes ces études peuvent aussi expliquer le taux de colonisation maximale pour l'automne 2016 par rapport au printemps 2013, car les besoins de l'hôte en ces associations mycoendophytes augmentent avec l'augmentation des températures minimales. Ces dernières ont marqué l'automne 2016 par rapport aux autres saisons d'échantillonnage (15,6°C).

Le printemps 2013 montre une fréquence de colonisation par des champignons endophytes importante par rapport au printemps 2016. Beaucoup de champignons endophytes se développent dans les tissus végétaux au printemps (Göre et Bucak, 2007 ; El-Nagerabi et *al.*, 2013). La différence hautement significative de fréquence de colonisation entre ces deux saisons peut être liée aux taux plus importants de précipitations enregistrées durant l'année 2013, par rapport à l'année 2016 et les augmentations dans les températures minimales entre les deux saisons d'échantillonnage. Plusieurs auteurs suggèrent que les précipitations et l'humidité sont les facteurs clés de la structure des endophytes, façonnant les communautés en raison de leur importance pour la dispersion des spores de champignons et la colonisation (Suryanarayanan et Thennarasan, 2004 ; Göre et Bucak, 2007 ; Rastogi et *al.*, 2012 ; Martínez Alvarez et *al.*, 2012 ; El-Nagerabi et *al.*, 2013 ; Vacher et *al.*, 2016 ; Gomes et *al.*, 2018 ; Materatski et *al.*, 2018 ; Rather et *al.*, 2018). Ces spores fongiques se détachent de l'hôte par les gouttes de pluie et se dispersent en gouttelettes (Fitt et *al.*, 1989 ; Rather et *al.*, 2018).

Enfin l'âge des sujets ne peut pas expliquer les différences des fréquences de colonisation en champignons endophytes entre les sujets, car des différences non significatives des fréquences de colonisation en champignons endophytes ont été trouvées entre les différents sujets échantillonnés durant le printemps 2013 et les sujets de l'automne 2016.

## 2. Diversité

### 2.1. Résultats printemps 2013

Les isolats identifiés au niveau des feuilles du pistachier de l'Atlas pour cette saison, appartiennent à 24 genres. La majorité de ces champignons appartiennent au phylum des Ascomycota. Les Basidiomycota et les Zygomycota y sont faiblement recensés. Les genres de champignons endophytes identifiés appartiennent aux classes suivantes : Eurotiomycètes, Dothidéomycètes, Leotiomycètes, Pezizomycètes et Sordariomycètes (Tableau 13).

Tableau 13 : abondance des genres de champignons endophytes isolés à partir des fragments de feuilles du pistachier de l'Atlas mises en culture durant le printemps 2013, après deux mois d'incubation à température ambiante.

Genres	Abondance (%) ± erreur standard	Phylum	Ordre	Famille
<i>Acremonium</i>	1,2 ± 1,2	Ascomycota	Hypocréales	Hypocréacées
<i>Alternaria</i>	2,4 ± 1,3	Ascomycota	Pléosporales	Pléosporacées
<i>Aspergillus</i>	26,3±4,5	Ascomycota	Eurotiales	Trichocomacées
<i>Aureobasidium</i>	3,1±1,7	Ascomycota	Dothidéales	Dothiracées
<i>Bipolaris</i>	0,4±0,4	Ascomycota	Pléosporales	Pléosporacées
<i>Chaetomium</i>	1,8±0,8	Ascomycota	Sordariales	Chaetomiacées
<i>Cladosporium</i>	9,4±2	Ascomycota	Capnodiales	Dridiellacées
<i>Cordyceps</i>	0,3±0,3	Ascomycota	Hypocréales	Cordycipitacées
<i>Epicoccum</i>	25,8±5,3	Ascomycota	Pléosporales	Leptosphaéricacées
<i>Geotrichum</i>	1,4±1	Ascomycota	Sccharomycetales	Endomycetacées
<i>Monilia</i>	1,4±0,7	Ascomycota	Hélotiales	Sclérotiniacées
<i>Neoscytalidium</i>	0,5±0,5	Ascomycota	Botryosphaeriales	Botryosphaericacées
<i>Nigrospora</i>	0,4±0,4	Ascomycota	Hypales	Dematiacées
<i>Penicillium</i>	15,3±5,6	Ascomycota	Eurotiales	Trichocomaceae
<i>Phoma</i>	1,9±0,8	Ascomycota	Sphaeropsidales	Sphaeroidacées
<i>Phomopsis</i>	0,7±0,5	Ascomycota	Diaporthales	Diaporthacées
<i>Rhizoctonia</i>	0,3±1,3	Basidiomycota	Cantharellales	Ceratobasidiacées
<i>Rhizopus</i>	0,2±0,8	Zygomycota	Mucorales	Mucoraceae
<i>Rhodotorula</i>	0,5±0,3	Basidiomycota	Sporidiobolales	Sporidiobolaceae
<i>Scedosporium</i>	0,3±0,3	Ascomycota	Microascales	Microascacées
<i>Scopulariopsis</i>	0,5±0,2	Ascomycota	Microascales	Microascaceae
<i>Trichophyton</i>	3±1,6	Ascomycota	Onygenales	Arthrodermataceae
<i>Ulocladium</i>	0,2±0,2	Ascomycota	Pleosporales	Pleosporaceae
<i>Xylaria</i>	1,3±0,7	Ascomycota	Xylariales	Xylariacées

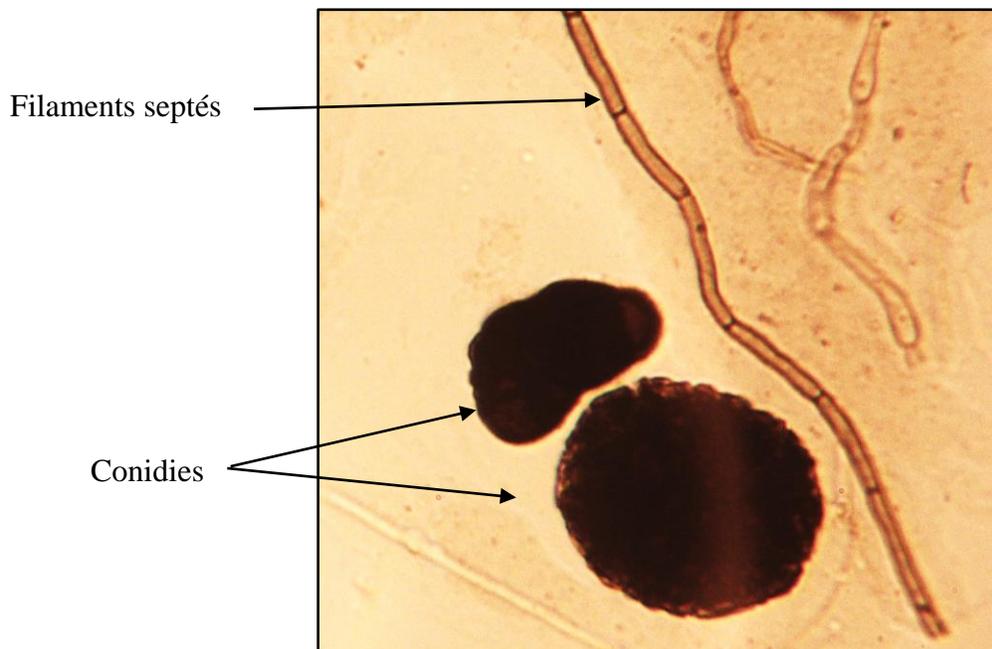
Certains genres de champignons sont dominants. Il s'agit d'*Aspergillus* (26,3%) (Figure 32), *Epicoccum* (25,8%) (Figure 33) et *Penicillium* (15,3%) (Tableau 13).

L'analyse de variance type ANOVA révèle des différences significatives entre les différents sujets échantillonnés, concernant les abondances de certains genres de mycoendophytes identifiés durant le printemps 2013. Seuls les genres *Aureobasidium*, *Aspergillus*, *Alternaria*, *Trichophyton*, *Epicoccum* et *Penicillium* montrent ces différences.

Concernant *Aureobasidium*, les différents sujets échantillonnés appartiennent au même groupe (A), malgré la différence d'âge entre eux. Pour le genre *Aspergillus*, trois groupes sont formés il s'agit du groupe A avec le sujet 2 jeune et les sujets 6, 8, 9 et 10 qui sont moyens et le groupe AB avec les sujets 1, 3 et 4 jeunes, les sujets 5 et 7 moyens et les sujets 11, 12 et 14 âgés et le groupe B, avec seulement le sujet 13 âgé. *Alternaria* présente lui aussi trois groupes qui sont les suivants : A avec les sujets 1, 3 et 4 qui sont jeunes, 5, 6, 7, 8 et 9 qui sont moyens et 11, 12, 13 et 14 qui sont âgés. Le groupe B avec un seul sujet jeune, il s'agit du sujet 2 et le groupe AB avec le sujet 10 qui est âgé. *Trichophyton* compte aussi 3 groupes, qui sont les suivants : le groupe A avec les sujets 1, 3 et 4 jeunes, les sujets 5, 6, 7, 8 et 9 qui sont moyens et les sujets 11, 12, 13 et 14 qui sont âgés. Le groupe B avec un seul sujet moyen, il s'agit du sujet 6 et le groupe AB avec les sujets 9 et 10 qui sont moyens. *Epicoccum* montre 4 groupes. Le groupe A avec les sujets 5, 6 et 10 qui sont moyens, le groupe AB avec le sujet 9 moyen et le sujet 13 âgé, le groupe ABC avec les sujets 3 et 4 qui sont jeunes, les sujets 7 et 8 qui sont moyens et les sujets 11 et 14 qui sont âgés et le groupe BC avec les sujets 1 et 2 qui sont jeunes. *Penicillium* montre 3 groupes, qui sont les suivants : le groupe A avec les sujets 1, 2, 3 et 4 qui sont jeunes, les sujets 7 et 8 moyens et les sujets âgés 11, 12, 13 et 14. Le groupe B avec les sujets moyens 5, 9 et 10 et le groupe AB avec le sujet 6 moyen (Tableau 14). D'après ces résultats, l'âge des sujets ne semble pas être un facteur déterminant dans l'abondance des différents genres fongiques recensés.



**Figure 32 :** conidiophores et spores du genre *Aspergillus* (X400) identifié au niveau de la feuille de *Pistacia atlantica* de dayate Aiat.



**Figure 33 :** conidies et filaments du genre *Epicoccum* (X400) identifié au niveau de la feuille de *Pistacia atlantica* de dayate Aiat.

Tableau 14 : genres à des différences significatives durant le printemps 2013.

Genres	P	Seuil de signification	Groupes selon le Test de Newman et Keuls
<i>Aureobasidium</i>	0,04	Significatif	A (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 et 14).
<i>Aspergillus</i>	0,00	Hautement significatif	A (10, 9, 6, 2 et 8) ; AB (14, 12, 3, 5, 7, 11, 1 et 4) ; B (13).
<i>Alternaria</i>	0,00	Hautement significatif	A (1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13 et 14) ; B (2) ; AB (10)
<i>Trichophyton</i>	0,00	Hautement significatif	A (1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14) ; B (6) ; AB (9 et 10).
<i>Epicoccum</i>	0,00	Hautement significatif	A (5, 6 et 10) ; AB (13 et 9) ; ABC (14, 4, 7, 3, 11 et 8) ; BC (2 et 1).
<i>Penicillium</i>	0,00	Hautement significatif	A (4, 12, 11, 3, 1, 8, 7, 13, 2 et 14) ; B (9, 10 et 5) ; AB (6).

Pour essayer de comprendre les interactions qui existent entre les différents genres de champignons endophytes recensés au niveau de la feuille du pistachier de l'Atlas durant le printemps (2013), nous avons fait une matrice de corrélation.

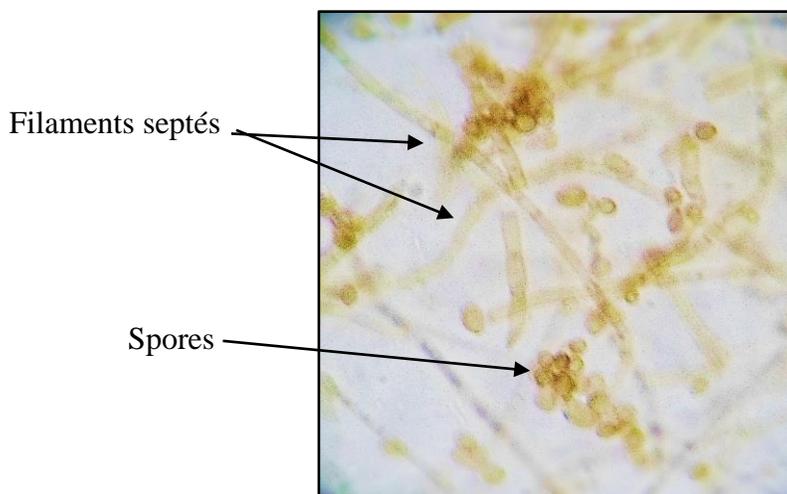
Les corrélations significatives positives sont entre : *Phomopsis* et *Rhizoctonia* (**0,59**), *Cordyceps* et *Phomopsis* (**0,59**), *Aspergillus* et *Nigrospora* (**0,61**), *Penicillium* et *Rhodotorula* (**0,63**), *Aureobasidium* et *Bipolaris* (**0,63**), *Phoma* et *Scedosporium* (**0,65**), *Geotrichum* et *Monilia* (**0,67**), *Aureobasidium* et *Cladosporium* (**0,69**), *Penicillium* et *Trichophyton* (**0,74**), *Acremonium* et *Phomopsis* (**0,76**), *Alternaria* et *Cordyceps* (**0,91**), *Alternaria* et *Rhizoctonia* (**0,91**), *Cordyceps* et *Rhizoctonia* (**1**), *Rhizopus* et *Scopulariopsis* (**1**), *Rhizopus* et *Ulocladium* (**1,00**) et *Scopulariopsis* et *Ulocladium* (**1,00**). Les corrélations négatives existent entre : *Aspergillus* et *Penicillium* (**-0,54**), *Aspergillus* et *Trichophyton* (**-0,56**), *Epicoccum* et *Penicillium* (**-0,74**) et *Epicoccum* et *Trichophyton* (**-0,59**).

## 2.2. Résultats printemps 2016

Les isolats identifiés au niveau des feuilles du pistachier de l'Atlas pour cette saison appartiennent à 22 genres. La majorité de ces champignons appartiennent au phylum des Ascomycota. Les Basidiomycota et les Zygomycota sont faiblement recensés. Les genres de

champignons endophytes identifiés appartiennent aux classes suivantes : Eurotiomycètes, Dothidéomycètes, Leotiomycètes, Pezizomycètes et Sordariomycètes. Les genres dominants pour cette saison sont les suivants : *Aspergillus* (30,8%), *Cladosporium* (26,7%) (Figure 34) et *Trichophyton* (10,6%) (Tableau 15).

L'analyse de variance type ANOVA révèle des différences significatives entre les différents sujets échantillonnés durant le printemps 2016. Selon le test de comparaison de moyennes, certains genres identifiés durant cette saison présentent une différence significative des abondances entre les sujets, il s'agit de *Trichoderma*, *Trichophyton*, *Cladosporium*, *Scopulariopsis*, *Rhizoctonia*, *Alternaria* et *Aspergillus*. Concernant *Trichoderma* et *Trichophyton*, les différents sujets échantillonnés appartiennent au même groupe (A), malgré la différence d'âge et de signification entre eux. Pour le genre *Cladosporium*, trois groupes sont formés, il s'agit du groupe A avec le sujet 2 jeune et les sujets 6 et 10 moyens, le groupe B avec un seul sujet âgé ; il s'agit du sujet 13 et le groupe AB avec les sujets 1, 3 et 4 jeunes et les sujets 5, 7, 8 et 9 qui sont moyens et les sujets 11, 12 et 14 qui sont âgés. *Scopulariopsis* montre deux groupes : A avec les sujets 1, 2, 3, 4 jeunes, 5, 6, 7, 8, 9, 10 moyens et 11, 13 et 14 âgés et le groupe B avec le sujet 12 âgé. *Rhizoctonia* compte aussi deux groupes : A avec les sujets 1, 2, 3 et 4 qui sont jeunes, 5, 6, 7, 8, 9, 10 qui sont moyens et 12, 13 et 14 qui sont âgés et le groupe B avec un seul sujet âgé : le sujet 11. Pour *Aspergillus*, nous notons 5 groupes, il s'agit du groupe A avec les sujets 5, 7, 9 qui sont moyens et le sujet 12 qui est âgé, le groupe AB avec les sujets 6 et 10 moyens et le sujet 13 âgé, le groupe ABC avec les sujets 2, 3 et 4 qui sont jeunes, le sujet 8 moyen et le sujet 11 qui est âgé, le groupe BC avec un seul sujet jeune (1) et le groupe C avec un seul sujet âgé (14) (Tableau 16). Ces résultats montrent aussi que la différence des abondances des différents genres fongiques recensés ne semble pas liée à l'âge des arbres.



**Figure 34** : spores et filaments mycéliens du genre *Cladosporium* (X400) identifié au niveau de la feuille de *Pistacia atlantica* de dayate Aiat.

Tableau 15 : abondance des genres de champignons endophytes isolés à partir des fragments de feuilles du pistachier de l'Atlas mises en culture durant le printemps 2016, après deux mois d'incubation à température ambiante.

Genres	Abondance (%) $\pm$ erreur standard	Phylum	Ordre	Famille
<i>Alternaria</i>	4,7 $\pm$ 1,6	Ascomycota	Pléosporales	Pléosporacées
<i>Aspergillus</i>	30,8 $\pm$ 3,2	Ascomycota	Eurotiales	Trichocomacées
<i>Aureobasidium</i>	0,7 $\pm$ 0,5	Ascomycota	Dothidéales	Dothiracées
<i>Chaetomium</i>	0,7 $\pm$ 0,3	Ascomycota	Sordariales	Chaetomiacées
<i>Cladosporium</i>	26,7 $\pm$ 3	Ascomycota	Capnodiales	Dridiellacées
<i>Epicoccum</i>	1,3 $\pm$ 0,9	Ascomycota	Pléosporales	Leptosphaéricacées
<i>Fusarium</i>	0,2 $\pm$ 0,2	Ascomycota	Hypocréales	Necteriacees
<i>Geomyces</i>	0,5 $\pm$ 0,4	Ascomycota	Helotiales	Myxotrichacées
<i>Muscodor</i>	0,4 $\pm$ 0,2	Ascomycota	Xylariales	Xylariacées
<i>Mycocladus</i>	0,4 $\pm$ 0,3	Zygomycota	Mycorales	Mycocladacées
<i>Neoscytalidium</i>	0,2 $\pm$ 0,2	Ascomycota	Botryosphaeriales	Botryosphaericacées
<i>Penicillium</i>	3,2 $\pm$ 1,2	Ascomycota	Eurotiales	Trichocomacées
<i>Phoma</i>	0,2 $\pm$ 0,6	Ascomycota	Sphaeropsidales	Sphaeroidacées
<i>Phomopsis</i>	1,1 $\pm$ 0,6	Ascomycota	Diaporthales	Diaporthacées
<i>Rhizoctonia</i>	0,2 $\pm$ 0,2	Basidiomycota	Cantharellales	Ceratobasidiacées
<i>Rhizopus</i>	0,5 $\pm$ 0,5	Zygomycota	Mucorales	Mucoracées
<i>Rhodotorula</i>	5,7 $\pm$ 1,8	Basidiomycota	Sporidiobolales	Sporidiobolacées
<i>Scedosporium</i>	2,2 $\pm$ 0,9	Ascomycota	Microascales	Microascacées
<i>Scopulariopsis</i>	1 $\pm$ 0,9	Ascomycota	Microascales	Microascacées
<i>Trichoderma</i>	2,9 $\pm$ 1,5	Ascomycota	Hypocreales	Hypocreaées
<i>Trichophyton</i>	10,6 $\pm$ 2,1	Ascomycota	Pleosporales	Pleosporacées
<i>Ulocladium</i>	1,3 $\pm$ 2,5	Ascomycota	Xylariales	Xylariacées

Tableau 16 : différents genres présentant des différences significatives durant le printemps 2016.

Printemps 2016	P	Seuil de signification	Groupes selon le Test de Newman et Keuls
<i>Trichoderma</i>	0,02	Significative	A (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 et 14).
<i>Trichophyton</i>	0,02	Significative	A (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 et 14).
<i>Cladosporium</i>	0,00	Hautement significative	A (10, 2 et 6) ; B (13) ; AB (1,3, 4, 5, 7, 8, 9, 11, 12, 14)
<i>Scopulariopsis</i>	0,01	Significative	A (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13 et 14) ; B (12).
<i>Rhizoctonia</i>	0,03	Significative	A (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13 et 14) ; B (11).
<i>Alternaria</i>	0,00	Hautement significative	A (1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 et 14) ; B (4)
<i>Aspergillus</i>	0,00	Hautement significative	A (5,7,9 et 12) ; AB (10,13 et 6) ; ABC (11, 4, 2, 8 et 3) ; BC (1) ; C (14).

Les interactions significatives positives de la matrice de corrélation sont les suivantes : *Rhodotorula* et *Ulocladium* (**0,53**), *Epicoccum* et *Trichoderma* (**0,58**), *Scopulariopsis* et *Scedosporium* (**0,58**), *Epicoccum* et *Penicillium* (**0,62**), *Fusarium* et *Muscodor* (**0,62**), *Geomyces* et *Penicillium* (**0,63**), *Fusarium* et *Phomopsis* (**0,65**), *Aureobasidium* et *Mycocladius* (**0,66**), *Aureobasidium* et *Rhodotorula* (**0,66**), *Mycocladius* et *Trichophyton* (**0,72**), *Muscodor* et *Neoscytalidium* (**0,73**), *Chaetomium* et *Scopulariopsis* (**0,88**), *Phoma* et *Rhizoctonia* (**1,00**), *Phoma* et *Rhizopus* (**1,00**), *Rhizoctonia* et *Rhizopus* (**1,00**). D'autres sont négatives : *Aspergillus* et *Fusarium* (**-0,61**) et *Aspergillus* et *Phomopsis* (**-0,59**).

### 2.3. Résultats deux printemps 2013 et 2016

*Alternaria*, *Aspergillus*, *Aureobasidium*, *Chaetomium*, *Cladosporium*, *Epicoccum*, *Neoscytalidium*, *Penicillium*, *Phoma*, *Phomopsis*, *Rhizoctonia*, *Rhizopus*, *Rhodotorula*, *Scedosporium*, *Scopulariopsis*, *Trichophyton* et *Ulocladium* sont les genres présents durant les deux printemps. Parmi ces genres, certains sont abondants pour le printemps 2013. C'est le cas d'*Epicoccum* et de *Penicillium*. Cette abondance diminue lors du printemps 2016. Le genre *Aspergillus* est abondant pour les deux printemps considérés. *Cladosporium* devient abondant durant le printemps 2016 (Tableau 17). Seuls les genres *Epicoccum*, *Rhodotorula*, *Trichophyton* et *Cladosporium* présentent des différences significatives. Les deux saisons d'échantillonnage appartiennent à des groupes différents (Tableau 18).

Tableau 17 : abondance des genres de champignons endophytes isolés à partir des fragments de feuilles du pistachier de l'Atlas mises en culture durant le printemps 2013-2016, après deux mois d'incubation à température ambiante.

Genres	Abondance (%)± erreur standard	
	printemps 2013	printemps 2016
<i>Acremonium</i>	1,2 ± 1,2	-
<i>Alternaria</i>	2,4 ± 1,3	4,7±1,6
<i>Aspergillus</i>	26,3±4,5	30,8±3,2
<i>Aureobasidium</i>	3,1±1,7	0,7±0,5
<i>Bipolaris</i>	0,4±0,4	-
<i>Chaetomium</i>	1,8±0,8	0,7±0,3
<i>Cladosporium</i>	9,4±2	26,7±3
<i>Cordyceps</i>	0,3±0,3	-
<i>Epicoccum</i>	25,8±5,3	1,3±0,9
<i>Fusarium</i>	-	0,2±0,2
<i>Geomyces</i>	-	0,5±0,4
<i>Geotrichum</i>	1,4±1	-
<i>Monilia</i>	1,4±0,7	-
<i>Muscodor</i>	-	0,4±0,2
<i>Mycocladus</i>	-	0,4±0,3
<i>Neoscytalidium</i>	0,5±0,5	0,2±0,2
<i>Nigrospora</i>	0,4±0,4	-
<i>Penicillium</i>	15,3±5,6	3,2±1,2
<i>Phoma</i>	1,9±0,8	0,2±0,6
<i>Phomopsis</i>	0,7±0,5	1,1±0,6
<i>Rhizoctonia</i>	0,3±1,3	0,2±0,2
<i>Rhizopus</i>	0,2±0,8	0,5±0,5
<i>Rhodotorula</i>	0,5±0,3	5,7±1,8
<i>Scedosporium</i>	0,3±0,3	2,2±0,9
<i>Scopulariopsis</i>	0,5±0,2	1±0,9
<i>Trichophyton</i>	3±1,6	10,6±2,1
<i>Ulocladium</i>	0,2±0,2	1,3±2,5
<i>Xylaria</i>	1,3±0,7	-
<i>Trichoderma</i>	-	2,9±1,5

Tableau 18 : genres à différences significatives entre les printemps 2013 et 2016.

Genres	P	Seuil de signification	Groupes selon le Test de Newman et Keuls
<i>Epicoccum</i>	0,00	Hautement significative	A (P 16) ; B (P13).
<i>Rhodotorula</i>	0,01	Significative	A (P 13) ; B (P 16).
<i>Trichophyton</i>	0 ,01	Significative	A (P 13) ; B (P 16).
<i>Cladosporium</i>	0,00	Hautement significative	A (P 13) ; B (P 16).

Pour essayer de comprendre les interactions qui existent entre les différents genres de champignons endophytes recensés au niveau de la feuille du pistachier de l'Atlas, durant les deux printemps (2013 et 2016), nous avons fait une matrice de corrélation.

Des corrélations positives sont notées entre *Rhodotorula* et *Trichophyton* (0,37), *Aspergillus* et *Neoscytalidium* (0,38), *Scedosporium* et *Ulocladium* (0,38), *Cordyceps* et *Xylaria* (0,39), *Acremonium* et *Epicoccum* (0,40), *Mycocladius* et *Phomopsis* (0,40), *Epicoccum* et *Monilia* (0,42), *Scopulariopsis* et *Ulocladium* (0,43), *Mycocladius* et *Rhodotorula* (0,44), *Monilia* et *Xylaria* (0,45), *Aspergillus* et *Nigrospora* (0,46), *Acremonium* et *Phomopsis* (0,46), *Aureobasidium* et *Chaetomium* (0,46), *Epicoccum* et *Phoma* (0,50), *Nigrospora* et *Xylaria* (0,50), *Fusarium* et *Phomopsis* (0,51), *Scopulariopsis* et *Scedosporium* (0,52), *Alternaria* et *Rhizoctonia* (0,56), *Rhizoctonia* et *Rhizopus* (0,56), *Rhodotorula* et *Ulocladium* (0,58), *Mycocladius* et *Trichophyton* (0,58), *Alternaria* et *Cordyceps* (0,62), *Aureobasidium* et *Bipolaris* (0,62), *Fusarium* et *Muscodora* (0,64), *Geotrichum* et *Monilia* (0,69) et *Cordyceps* et *Rhizoctonia* (0,77). Des corrélations négatives existent entre *Aspergillus* et *Penicillium* (-0,44), *Cladosporium* et *Epicoccum* (-0,59), *Cladosporium* et *Monilia* (-0,45), *Epicoccum* et *Rhodotorula* (-0,40) et *Epicoccum* et *Trichophyton* (-0,54).

*Aspergillus* et *Epicoccum* sont dominants durant le printemps 2013. *Aspergillus* semble antagoniste avec le genre *Penicillium*. Ce dernier disparaît avec la disparition d'*Epicoccum* qui est antagoniste avec *Cladosporium*, très présent durant le printemps 2016. La disparition d'*Epicoccum* au printemps 2016 fait apparaître les genres suivants : *Monilia*, *Rhodotorula* et *Trichophyton*. *Rhodotorula* et *Trichophyton* persistent avec l'augmentation d'*Aspergillus* au printemps 2016.

La diversité en champignons endophytes au niveau de la feuille des différents sujets de *Pistacia atlantica* échantillonnés sur les deux printemps est évaluée par l'indice de Shannon Weaver (H). L'indice le plus élevé est celui du sujet 2 (jeune) (H=1.88) pour le printemps 2013 et le sujet 4 (jeune) (H=1.94) pour le printemps 2016. L'indice le plus faible est celui du sujet 4 (jeune) (H=0.89) pour le printemps 2013 et le sujet 10 (moyen) (H=0.15) pour le printemps 2016 (Tableau 19). D'autre part, cet indice est de 1.25 pour le printemps 2013 et de 1.27 pour le printemps 2016 (Tableau 20). Ces différences de diversité en champignons endophytes sont testées par une ANOVA faites entre les indices de diversité de Shannon Weaver. L'âge des différents

sujets échantillonnés ne contribue pas à ces différences de diversité en mycoendophytes. Les 4 sujets jeunes 1, 2, 3 et 4 lors du printemps 2013 se retrouvent dans le groupe A. Ces mêmes 4 sujets jeunes échantillonnés durant le printemps 2016 se retrouvent cette fois ci, dans le groupe AB. Pour les sujets moyens, les groupes changent pour la même saison. Nous trouvons que les sujets 5, 6, 8, 9 et 10 sont classés au niveau du groupe AB et le sujet 7 dans le groupe A, ceci pour le printemps 2013. Ces mêmes sujets, échantillonnés durant le printemps 2016, se retrouvent pour les sujets 6, 7, 8, 9 et 10 dans le groupe AB et le sujet 5 se place seul dans le groupe A. Pour l'indice de diversité des sujets âgés échantillonnés durant le printemps 2013, les sujets 11, 12 et 14 se placent dans le groupe A et le sujet 13 dans le groupe AB. Ces sujets échantillonnés durant le printemps 2016 se retrouvent dans le groupe AB pour les sujets 11, 12 et 14 et dans le groupe B pour le sujet 13 (Tableau 19).

**Tableau 19 :** indices de Shannon Weaver calculés au niveau des feuilles du pistachier de l'Atlas pour les deux printemps d'échantillonnage.

Sujets	H (%)± Erreur standard
S1 2013	1.52±0 A
S1 2016	1.21± 0.014 AB
S2 2013	1.88±0 A
S2 2016	0.97±0.029 AB
S3 2013	1.74±0 A
S3 2016	1.79±0 AB
S4 2013	0.89±0 A
S4 2016	1.94±0.014 AB
S5 2013	1,02±0,042 AB
S5 2016	1,76±0 A
S6 2013	1,63±0,087 AB
S6 2016	1,68±0,053 AB
S7 2013	1.62±0 A
S7 2016	1.84±0.029 AB
S8 2013	1.16±0.029 AB
S8 2016	1.52±0.029 AB
S9 2013	0,94±0,062 AB
S9 2016	1,52±0,062 AB
S10 2013	1,42±0,062 AB
S10 2016	0,15±0,051 AB
S11 2013	1.22±0 A
S11 2016	1.21±0.014 AB
S12 2013	0.99±0 A
S12 2016	1.90±0.014 AB
S13 2013	1.20±0.029 AB
S13 2016	1.54±0 B
S14 2013	1.54±0 A
S14 2016	1.53±0 AB

**Tableau 20** : Indices de Shannon Weaver globaux calculés au niveau des feuilles du pistachier De l'Atlas pour les deux printemps d'échantillonnage.

Printemps	H global $\pm$ Erreur standard
2013	1.25 $\pm$ 0.08
2016	1.27 $\pm$ 0.20

#### 2.4. Discussion

Il a été démontré que des processus écologiques structurent les communautés d'endophytes dans les écosystèmes (David et *al.*, 2016 ; Guevara-Araya1 et *al.*, 2020). Les filtres les plus puissants pour les communautés d'endophytes foliaires sont les conditions abiotiques et l'espèce hôte. Les communautés de champignons endophytes sont très dynamiques (Zimmerman et Vitousek, 2012 ; Jin et *al.*, 2013 ; Guevara-Araya1 et *al.*, 2020). Les facteurs liés à l'hôte, tels que les types de tissus végétaux (Douanla-Meli et Langer, 2012) jouent un rôle crucial dans la biodiversité des champignons endophytes (Gosling et *al.*, 2006 ; Larkin et *al.*, 2012 ; Juybari et *al.*, 2019). Des facteurs abiotiques tels que la température, les précipitations et l'humidité atmosphérique, ainsi que leurs effets sur la plante hôte provoquent des variations dans l'occurrence des champignons endophytes (Selvanathan et *al.*, 2011 ; Suradkar et *al.*, 2014). Les sites d'échantillonnage les plus pluvieux et où l'humidité créée par la pluie est plus importante montrent une diversité et une richesse en mycoendophytes plus élevée (Gomes et *al.*, 2018 ; Materatski et *al.*, 2018). Ces changements affectent les différentes interactions plante–champignon, qui influencent finalement la niche écologique d'un habitat. Nos résultats vont dans le même sens que ces travaux. Le printemps 2013 est caractérisé par des précipitations plus importantes et des températures minimales plus basses par rapport au printemps 2016. Sa diversité en mycoendophytes est différente.

En fait, les champignons du genre *Aspergillus*, *Epicoccum* et *Cladosporium* sont des champignons pigmentés. Les pigments produits par les champignons (mélanine et caroténoïdes) pourraient fournir une protection contre les ultraviolets (Gupta et *al.*, 2015). Les travaux de Sangamesh et *al.* (2017) ont montré qu'*Aspergillus* s'avère être un genre fongique tolérant aux températures élevées. Il est probable que les plantes poussant dans des habitats extrêmes abritent les *Aspergillus* profondément pigmentés, en tant que stratégie d'adaptation contre les

environnements stressants. Il est bien connu que la teneur en mélanine augmente à température élevée chez les microorganismes (Cockell et Knowland, 1999) et les champignons mélanisés sont tolérants aux stress abiotiques, tels que le rayonnement solaire, la température élevée et la sécheresse (Zhdanova et Vasil'evskaya, 1988 ; Butler, 1998). Singaravelan et *al.* (2008) et Sangamesh et *al.* (2017) ont suggéré qu'une augmentation de la teneur en mélanine chez *Aspergillus niger*, en réponse au rayonnement UV pourrait être une stratégie adaptative, pour surmonter le stress oxydatif. Les *Aspergillus* ont une large répartition géographique, mais sont plus souvent associés aux régions à climat chaud (Castegnaro et *al.*, 2006 ; Tabuc, 2007). Ce sont des champignons xérophiles, économiquement importants, largement distribués dans la nature et l'environnement humain. Ils sont connus pour leur capacité à croître sur des substrats à faible activité hydrique. Plus important encore, ces organismes libèrent de l'eau métabolique au cours de leur croissance sur des substrats secs et créent ainsi des conditions favorables pour des champignons moins xérophiles, qui peuvent produire des mycotoxines plus dangereuses (Hubka et *al.*, 2013). Ceci peut en effet, expliquer la présence de plusieurs autres genres sur le même substrat sur lequel se trouve le genre *Aspergillus*. Certaines études avancent l'hypothèse que les champignons endophytes peuvent changer le contrôle stomatique et l'ajustement osmotique (Mandyam et Jumpponen, 2005 ; Bezerra et *al.*, 2013). Morsy et *al.* (2010) et Bezerra et *al.* (2013) suggèrent que cette relation peut être influencée par la participation des osmoprotecteurs, tels que la mélanine et les protéines thermophiles observées dans les cultures de *Curvularia protuberata*. Les endophytes peuvent diriger le métabolisme des plantes pour la sécrétion de sucres solubles, d'acides aminés tels que la proline, des polyols et des alcaloïdes qui confèrent une élasticité de la paroi et un ajustement osmotique en période de sécheresse (Abo Nouh, 2019).

Les *Penicillium* ont déjà été signalés comme communs dans les feuilles et les racines de diverses espèces végétales (Maciá-Vicente et *al.*, 2008 ; González -Teuber et *al.*, 2017 ; Guevara-Araya1 et *al.*, 2020) et dans les plantes habitant des environnements arides (Massimo et *al.*, 2015 ; González-Teuber et *al.*, 2017 ; Guevara-Araya1 et *al.*, 2020). Il est intéressant de noter que le genre *Penicillium* s'est avéré être également un endophyte dominant, chez d'autres espèces végétales originaires des environnements arides du Chili, notamment *Chenopodium quinoa* et *Prosopis chilensis* (González-Teuber et *al.*, 2017 ; Guevara-Araya1 et *al.*, 2020). Il a été démontré que les associations symbiotiques de *Penicillium* avec ces espèces aidaient les plantes à mieux répondre

au stress hydrique et à améliorer la croissance des plantes (Guevara-Araya1 et *al.*, 2020). Les *Fusarium* ont déjà été signalé comme communs dans les feuilles et les racines de diverses espèces végétales (Maciá-Vicente et *al.*, 2008 ; González-Teuber et *al.*, 2017 ; Guevara-Araya1 et *al.*, 2020) et dans les plantes habitant des environnements arides (Massimo et *al.*, 2015 ; González-Teuber et *al.*, 2017 ; Guevara-Araya1 et *al.*, 2020). De plus, il a été démontré que le genre *Fusarium* est une source de métabolites bioactifs, qui pourraient aider les plantes hôtes attaquées par des insectes et/ou des agents pathogènes (Toghueo, 2020 ; Guevara-Araya1 et *al.*, 2020).

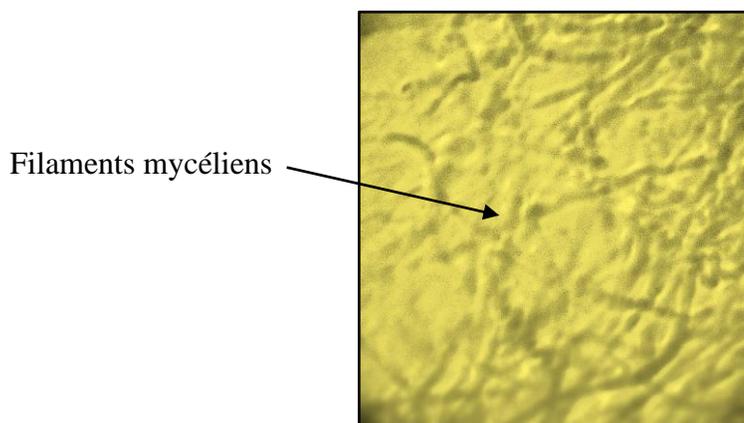
Certains genres sont présents uniquement lors du printemps 2013 et disparaissent totalement pour 2016. C'est le cas pour *Acremonium*, *Bipolaris*, *Cordyceps*, *Geotrichum*, *Monilia*, *Nigrospora* et *Xylaria*. *Fusarium*, *Geomyces*, *Muscodor*, *Mycocladius* et *Trichoderma*, présents seulement durant le printemps 2016. Toofane et Dalymamode (2002) ont montré que plusieurs taxons peuvent être récupérés de façon sporadique, suggérant qu'il est possible que les facteurs environnementaux ne soient pas propices à leur croissance ou que des endophytes plus compétitifs ont déjà atteint une colonisation importante du tissu de l'hôte. Dans le même contexte, Bettucci et *al.* (1997) et Juybari et *al.* (2019) ont mis en évidence que la présence ou l'absence de certains champignons endophytes dans les tissus à certaines saisons, pourrait indiquer des différences dans la préférence des champignons endophytes pour coloniser les tissus végétaux, au cours du processus de croissance de la plante.

### 2.5. Résultats automne 2015

Les isolats identifiés au niveau des feuilles du pistachier de l'Atlas pour cette saison appartiennent à 22 genres. La majorité de ces champignons appartiennent au phylum des Ascomycota. Les Basidiomycota et les Zygomycota sont faiblement recensés. Les genres de champignons endophytes identifiés appartiennent aux classes suivantes : Eurotiomycètes, Dothidéomycètes, Leotiomycètes, Pezizomycètes et Sordariomycètes. Les genres dominants sont : *Aspergillus* (27,6%), *Trichophyton* (32%) (Figure 35) et *Cladosporium* (24,5%) (Tableau 21).

L'analyse de variance type ANOVA révèle des différences significatives entre les différents sujets échantillonnés, concernant les abondances des genres de mycoendophytes identifiés durant l'automne 2015. Seuls les abondances des genres *Alternaria*, *Aspergillus* et

*Trichophyton* présentent une différence significative entre les sujets. Concernant le genre *Alternaria*, les différents sujets échantillonnés appartiennent au même groupe, il s'agit du groupe A. Pour le genre *Aspergillus*, trois groupes sont donnés par l'analyse statistique : le groupe A avec les sujets 6 et 8 moyens et le sujet 11 âgé, le groupe AB avec les sujets 1, 2, 4 et 5 jeunes, les sujets 5, 7, 9, et 10 moyens et les sujets 12, 13 et 14 âgés et le groupe B avec le sujet 3 jeune. Enfin, le genre *Trichophyton* avec 7 groupes : A avec un seul sujet jeune (3), le groupe AB aussi avec un seul sujet jeune (4), le groupe ABC avec le sujet 1 jeune, les sujets 5, 9 et 10 moyens et le sujet 14 âgé, le groupe ABCD avec le sujet 6 moyen, le groupe BCD avec les sujets suivants : 2 jeunes et 13 âgé, le groupe CD avec le sujet 7 moyen et le sujet 12 âgé et le groupe D avec le sujet 8 moyen et le sujet 11 âgé (Tableau 22).



**Figure 35 :** filaments mycéliens du genre *Trichophyton* (X400) identifié au niveau de la feuille de *Pistacia atlantica* de dayate Aiat.

Tableau 21 : abondance des genres de champignons endophytes isolés à partir des fragments de feuilles du pistachier de l'Atlas mises en culture durant l'automne 2015, après deux mois d'incubation à température ambiante.

Genres	Abondances (%) ± erreur standard (%)	Phylum	Ordre	Famille
<i>Alternaria</i>	2,1±1,2	Ascomycota	Pléosporales	Pléosporacées
<i>Aspergillus</i>	27,6±3,3	Ascomycota	Eurotiales	Trichocomacées
<i>Chaetomium</i>	2,1±1,1	Ascomycota	Sordariales	Chaetomiacées
<i>Cladosporium</i>	24,5±3,9	Ascomycota	Capnodiales	Dridiellacées
<i>Curvularia</i>	0,6±0,4	Ascomycota	Pléosporales	Pléosporacées
<i>Epicoccum</i>	1,9±0,7	Ascomycota	Pléosporales	Leptosphaéricacées
<i>Exophiala</i>	0,4±0,4	Ascomycota	Chaetothyriales	Herpotrichiellacées
<i>Geomyces</i>	0,3±0,3	Ascomycota	Helotiales	Myxotrichacées
<i>Geotrichum</i>	1±0,5	Ascomycota	Sccharomycetales	Endomycetacées
<i>Muscodor</i>	1,7±0,4	Ascomycota	Xylariales	Xylariacées
<i>Mycocladus</i>	0,2±0,2	Zygomycota	Mycorales	Mycocladacées
<i>Neoscytalidium</i>	0,6±0,3	Ascomycota	Botryosphaeriales	Botryosphaericacées
<i>Penicillium</i>	1,3±0,5	Ascomycota	Eurotiales	Trichocomaceae
<i>Phoma</i>	0,6±0,1	Ascomycota	Sphaeropsidales	Sphaerioidacées
<i>Rachicladosporium</i>	0,1±0,1	Ascomycota	Capnodiales	Mycosphaerellacées
<i>Rhizoctonia</i>	2,7±0,9	Basidiomycota	Cantharellales	Ceratobasidiacées
<i>Rhodotorula</i>	0,2±0,2	Basidiomycota	Sporidiobolales	Sporidiobolaceae
<i>Scedosporium</i>	2±0,5	Ascomycota	Microascales	Microascacées
<i>Scopulariopsis</i>	0,2±0,2	Ascomycota	Microascales	Microascaceae
<i>Scytalidium</i>	0,1±0,1	Ascomycota	Helotiales	Chaetomiacées
<i>Trichoderma</i>	2,2±0,7	Ascomycota	Hypocreales	Hypocreacées
<i>Trichophyton</i>	32±4,4	Ascomycota	Onygenales	Arthrodermataceae

Tableau 22 : genres à différences significatives pour l'automne 2015.

Genres	P	Seuil de signification	Groupes selon le Test de Newman et Keuls
<i>Alternaria</i>	0,00	Hautement significative	<b>A</b> (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 et 14).
<i>Aspergillus</i>	0,00	Hautement significative	<b>A</b> (8, 11 et 6) ; <b>AB</b> (7, 4, 9, 12, 13, 14, 2, 5, 10, 1) ; <b>B</b> (3).
<i>Trichophyton</i>	0,00	Hautement significative	<b>A</b> (3) ; <b>AB</b> (4) ; <b>ABC</b> (14, 9, 10, 1, 5) ; <b>ABCD</b> (6) ; <b>BCD</b> (2 et 13) ; <b>CD</b> (12 et 7) ; <b>D</b> (11 et 8).

Pour essayer de comprendre les interactions qui existent entre les différents genres de champignons endophytes recensés au niveau de la feuille du pistachier de l'Atlas durant l'automne 2015, nous avons fait une matrice de corrélation. Les interactions significatives sont les suivantes : *Epicoccum* et *Alternaria* (**0,54**), *Penicillium* et *Scytalidium* (**0,54**), *Penicillium* et *Rachicladosporium* (**0,54**), *Rhizoctonia* et *Scytalidium* (**0,60**), *Rachicladosporium* et *Rhizoctonia* (**0,60**), *Exophiala* et *Alternaria* (**0,69**), *Curvularia* et *Chaetomium* (**0,77**), *Mycocladus* et

*Rhodotorula* (1,00), *Mycocladius* et *Scopulariopsis* (1,00), *Penicillium* et *Rhizoctonia* (0,90), *Rachicladosporium* et *Scytalidium* (1,00), *Rhodotorula* et *Scopulariopsis* (1,00), *Aspergillus* et *Trichophyton* (-0,71), *Alternaria* et *Trichophyton* (-0,55) et *Cladosporium* et *Geotrichum* (-0,62).

## 2.6. Résultats automne 2016

Les isolats identifiés au niveau des feuilles du pistachier de l'Atlas pour l'automne 2016 appartiennent à 19 genres. La majorité de ces champignons appartiennent au phylum des Ascomycota. Les Basidiomycota et les Zygomycota sont faiblement recensés. Les genres de champignons endophytes identifiés appartiennent aux classes suivantes : Eurotiomycètes, Dothidéomycètes, Leotiomycètes, Pezizomycètes et Sordariomycètes. Pour cette saison, les genres dominants sont : *Aspergillus* (42,5%), *Trichophyton* (15,9%), *Rhizopus* (11,5%) et *Cladosporium* (10,8%) (Tableau 23).

Tableau 23 : abondance des genres de champignons endophytes isolés à partir des fragments de feuilles du pistachier de l'Atlas mises en culture durant l'automne 2016, après deux mois d'incubation à température ambiante.

Genres	Abondances (%)± erreur standard (%)	Phylum	Ordre	Famille
<i>Alternaria</i>	3,4±3,7	Ascomycota	Pléosporales	Pléosporacées
<i>Aspergillus</i>	42,2±6,3	Ascomycota	Eurotiales	Trichocomacées
<i>Cladosporium</i>	10,8±2,1	Ascomycota	Capnodiales	Dridiellacées
<i>Epicoccum</i>	1,6±0,7	Ascomycota	Pléosporales	Leptosphaéricacées
<i>Exophiala</i>	0,2±0,1	Ascomycota	Chaetothyriales	Herpotrichiellacées
<i>Geotrichum</i>	0,3±0,2	Ascomycota	Sccharomycetales	Endomycetacées
<i>Mucor</i>	0,2±0,2	Zygomycota	Mucorales	Mucoracées
<i>Muscodor</i>	0,1±0,1	Ascomycota	Xylariales	Xylariacées
<i>Phoma</i>	0,1±0,1	Ascomycota	Sphaeropsidales	Sphaeroidacées
<i>Phomopsis</i>	0,5±0,3	Ascomycota	Diaporthales	Diaporthacées
<i>Rachicladosporium</i>	0,1±0,1	Ascomycota	Capnodiales	Mycosphaerellacées
<i>Rhizoctonia</i>	0,3±0,2	Basidiomycota	Cantharellales	Ceratobasidiacées
<i>Rhizopus</i>	11,5±2,1	Zygomycota	Mucorales	Mucoraceae
<i>Rhodotorula</i>	0,3±0,3	Basidiomycota	Sporidiobolales	Sporidiobolaceae
<i>Scedosporium</i>	0,3±0,2	Ascomycota	Microascales	Microascacées
<i>Scopulariopsis</i>	8,5±1,8	Ascomycota	Microascales	Microascaceae
<i>Scytalidium</i>	0,1±0,1	Capnodiales	Helotiales	Chaetomiacées
<i>Trichoderma</i>	0,2±0,2	Ascomycota	Hypocreales	Hypocreacées
<i>Trichophyton</i>	15,9±2,3	Ascomycota	Onygenales	Arthrodermataceae

L'analyse de variance type ANOVA révèle des différences significatives entre les différents sujets échantillonnés concernant les abondances des genres de mycoendophytes

identifiés durant l’automne 2016. Selon le test de comparaison de moyennes, les genres identifiés durant l’automne 2016 et qui montrent une différence d’abondance significative entre les sujets sont reportés dans le tableau 24. Seuls les genres *Trichophyton*, *Cladosporium*, *Scopulariopsis*, *Aspergillus*, *Rhodotorula* et *Rhizopus* présentent une différence significative. Pour le genre *Trichophyton*, 5 groupes sont formés, il s’agit du groupe A avec les sujet 5 moyen, le groupe AB avec le sujet 3 jeune et le sujet 13 âgé, le groupe ABC avec les sujets 1 et 4 jeunes, les sujets 6, 7 et 10 qui sont moyens et les sujets 11 et 12 qui sont âgés. Le groupe BC avec le sujet 2 jeune et le sujet 9 moyen et le groupe C avec le sujet 8 moyen. Pour le genre *Cladosporium*, tous les sujets de différents âges se retrouvent dans le même groupe. *Scopulariopsis* comporte 3 groupes : le groupe A avec les sujets 2 et 4, qui sont jeunes, le sujet 5 moyen et le sujet 12 âgé, le groupe AB avec les sujet 1 jeune, les sujets 6, 7, 8, 9, 10 moyens, les sujets 13 et 14 âgés et le groupe B avec un seul sujet âgé (11). *Aspergillus* compte 5 groupes : le groupe A avec un seul sujet moyen (9), le groupe AB avec le sujet 8 moyen et le sujet 14 âgé, le groupe ABC avec les sujets 1 et 2 jeunes, les sujets 5, 6, 7 et 10 moyens et les sujets 11, 12 et 13 âgés, le groupe BC avec un seul sujet (4) jeune et enfin le groupe C avec un sujet jeune : il s’agit du sujet 3. *Rhodotorula* comporte deux groupes, il s’agit du groupe A avec les sujets 1, 2 et 3 jeunes, 5, 6, 7, 8, 9 et 10 moyens et les sujets 11, 12, 13 et 14 âgés et le groupe B avec un seul sujet jeune (4). Le genre *Rhizopus* montre 4 groupes : le groupe A avec le sujet 3 jeune, les sujets 8 et 10 moyens et le sujet 13 âgé, le groupe AB avec les sujets 1, 2 et 4 jeunes, les sujets 7 et 9 moyens, les sujets 11, 12 et 14 âgés, le groupe BC avec le sujet 6 moyen et le groupe C avec un seul sujet moyen (5).

Tableau 24 : genres à différences significatives pour l’automne 2016.

Genres	P	Seuil de signification	Groupes selon le Test de Newman et Keuls
<i>Trichophyton</i>	0,00	Hautement significative	<b>A</b> (5) ; <b>AB</b> (13 et 3) ; <b>ABC</b> (11, 6, 1, 14, 4, 10, 7 et 12) ; <b>BC</b> (2 et 9) ; <b>C</b> (8).
<i>Cladosporium</i>	0,04	Significative	<b>A</b> (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 et 14).
<i>Scopulariopsis</i>	0,00	Hautement significative	<b>A</b> (2, 4, 5 et 12) ; <b>AB</b> (1, 6, 7, 8, 9, 10, 13 et 14) ; <b>B</b> (11).
<i>Aspergillus</i>	0,00	Hautement significative	<b>A</b> (9) ; <b>AB</b> (8 et 14) ; <b>ABC</b> (1, 2, 5, 6, 7, 10, 11, 12, et 13) ; <b>BC</b> (4) ; <b>C</b> (3).
<i>Rhodotorula</i>	0,00	Hautement significative	<b>A</b> (1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 et 14) ; <b>B</b> (4).
<i>Rhizopus</i>	0,00	Hautement significative	<b>A</b> (3, 8, 10 et 13) ; <b>AB</b> (1, 2, 4, 7, 9, 11, 12 et 14) ; <b>BC</b> (6) ; <b>C</b> (5).

Les interactions significatives entre les genres de mycoendophytes pour cette saison sont les suivantes : *Rachicladosporium* et *Rhizopus* (**0,61**), *Mucor* et *Scytalidium* (**0,61**), *Muscodor* et *Phomopsis* (**0,90**), *Phoma* et *Rachicladosporium* (**1,00**), *Rachicladosporium* et *Scytalidium* (**1,00**), *Mucor* et *Trichoderma* (**1,00**), *Phoma* et *Rhizopus* (**0,61**), *Phoma* et *Scytalidium* (**1,00**), *Aspergillus* et *Scedosporium* (**-0,60**), *Aspergillus* et *Trichophyton* (**-0,59**), *Alternaria* et *Rhizopus* (**-0,61**) et *Alternaria* et *Trichophyton* (**-0,61**).

### 2.7. Résultats 2 automnes 2015 et 2016

*Alternaria*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Epicoccum*, *Exophiala*, *Geotrichum*, *Muscodor*, *Phoma*, *Rachicladosporium*, *Rhizoctonia*, *Rhodotorula*, *Scedosporium*, *Scopulariopsis*, *Scytalidium*, *Trichoderma* et *Trichophyton* sont des genres présents durant les deux automnes. Parmi ces genres, certains présentent des abondances avec une dominance importante pour l'automne 2015. C'est le cas de *Trichophyton*, *Aspergillus* et *Cladosporium*. L'abondance en *Cladosporium* diminue lors de l'automne 2016 et *Aspergillus* devient plus abondant (Tableau 25).

Tableau 25 : abondance des genres de champignons endophytes isolés à partir des fragments de feuilles du pistachier de l'Atlas mises en culture durant l'automne 2015-2016, après deux mois d'incubation à température ambiante.

Genres	Abondances (%) $\pm$ erreur standard (%)	
	automne 2015	automne 2016
<i>Alternaria</i>	2,1 $\pm$ 1,2	3,4 $\pm$ 3,7
<i>Aspergillus</i>	27,6 $\pm$ 3,3	42,2 $\pm$ 6,3
<i>Chaetomium</i>	2,1 $\pm$ 1,1	-
<i>Cladosporium</i>	24,5 $\pm$ 3,9	10,8 $\pm$ 2,1
<i>Curvularia</i>	0,6 $\pm$ 0,4	-
<i>Epicoccum</i>	1,9 $\pm$ 0,7	1,6 $\pm$ 0,7
<i>Exophiala</i>	0,4 $\pm$ 0,4	0,2 $\pm$ 0,1
<i>Geotrichum</i>	1 $\pm$ 0,5	0,3 $\pm$ 0,2
<i>Geomyces</i>	0,3 $\pm$ 0,3	-
<i>Mucor</i>	-	0,2 $\pm$ 0,2
<i>Muscodor</i>	1,7 $\pm$ 0,4	0,1 $\pm$ 0,1
<i>Mycocladus</i>	0,2 $\pm$ 0,2	-
<i>Neoscytalidium</i>	0,6 $\pm$ 0,3	-
<i>Phoma</i>	0,6 $\pm$ 0,1	0,1 $\pm$ 0,1
<i>Phomopsis</i>	-	0,5 $\pm$ 0,3
<i>Penicillium</i>	1,3 $\pm$ 0,5	-
<i>Rachicladosporium</i>	0,1 $\pm$ 0,1	0,1 $\pm$ 0,1
<i>Rhizoctonia</i>	2,7 $\pm$ 0,9	0,3 $\pm$ 0,2
<i>Rhizopus</i>	-	11,5 $\pm$ 2,1
<i>Rhodotorula</i>	0,2 $\pm$ 0,2	0,3 $\pm$ 0,3
<i>Scedosporium</i>	2 $\pm$ 0,5	0,3 $\pm$ 0,2
<i>Scopulariopsis</i>	0,2 $\pm$ 0,2	8,5 $\pm$ 1,8
<i>Scytalidium</i>	0,1 $\pm$ 0,1	0,1 $\pm$ 0,1
<i>Trichoderma</i>	2,2 $\pm$ 0,7	0,2 $\pm$ 0,2
<i>Trichophyton</i>	32 $\pm$ 4,4	15,9 $\pm$ 2,3

L'analyse de variance type ANOVA révèle des différences significatives entre les différents sujets échantillonnés, concernant les abondances des genres de mycoendophytes identifiés durant les automnes 2015 et 2016. Selon le test de comparaison de moyennes, les genres qui présentent une différence significative entre les deux automnes sont reportés dans le tableau 26. Il s'agit de *Rhizopus*, *Penicillium*, *Rhizoctonia*, *Trichoderma*, *Scopulariopsis*, *Trichophyton*, *Cladosporium* et *Aspergillus*.

Pour essayer de comprendre les interactions qui existent entre les différents genres de champignons endophytes recensés au niveau de la feuille du pistachier de l'Atlas durant les deux automnes (2015 et 2016), nous avons fait une matrice de corrélation. Les corrélations positives sont entre *Exophiala* et *Geomyces* (**0,40**), *Phoma* et *Rhizopus* (**0,42**), *Neoscytalidium* et

*Trichophyton* (0,44), *Mycocladius* et *Rhodotorula* (0,46), *Neoscytalidium* et *Rhizoctonia* (0,49), *Aspergillus* et *Scopulariopsis* (0,50), *Rhizoctonia* et *Trichoderma* (0,51), *Geomyces* et *Neoscytalidium* (0,53), *Geomyces* et *Geotrichum* (0,54), *Neoscytalidium* et *Scytaalidium* (0,57), *Neoscytalidium* et *Trichoderma* (0,58), *Rhizoctonia* et *Scytaalidium* (0,64), *Aspergillus* et *Rhizopus* (0,70), *Curvularia* et *Cladosporium* (0,71) et *Phoma* et *Rachicladosporium* (1,00). Les corrélations négatives sont entre *Aspergillus* et *Cladosporium* (-0,52), *Aspergillus* et *Phomopsis* (-0,43), *Aspergillus* et *Trichophyton* (-0,65), *Aspergillus* et *Trichoderma* (-0,48), *Alternaria* et *Trichophyton* (-0,57), *Cladosporium* et *Scopulariopsis* (-0,41) et *Rhizopus* et *Trichophyton* (-0,38).

Tableau 26 : genres à différences significatives pour les 2 automnes 2015 et 2016.

Genres	P	Seuil de signification	Groupes selon le Test de Newman et Keuls
<i>Rhizopus</i>	0,00	Hautement significative	A (A15) ; B (A16).
<i>Penicillium</i>	0,03	Significative	A (A16) ; B (A15).
<i>Rhizoctonia</i>	0,03	Significative	A (A16) ; B (A15).
<i>Trichoderma</i>	0,03	Significative	A (A16) ; B (A15).
<i>Scopulariopsis</i>	0,00	Hautement significative	A (A16) ; B (A15).
<i>Trichophyton</i>	0,01	Significative	A (A16) ; B (A15).
<i>Cladosporium</i>	0,01	Significative	A (A16) ; B (A15).
<i>Aspergillus</i>	0,01	Significative	A (A16) ; B (A15).

Le calcul de l'indice de diversité de Shannon (H) a montré que l'indice le plus élevé est celui du sujet 3 (jeune) (H=1.61) pour l'automne 2015 et les sujets 7 et 9 (moyens) (H=1.59) pour l'automne 2016. L'indice le plus faible est celui du sujet 11 (âgé) (H=0.97) pour l'automne 2015 et le sujet 5 (jeune) (H=0.93) pour l'automne 2016 (Tableau 27). D'autre part, cet indice est de 1.38 pour l'automne 2015 et de 1.38 pour l'automne 2016 (Tableau 28).

Le test de comparaison des moyennes montre que l'indice de diversité des sujets 1, 2, 4, 5, 6, 9, 11, 13 et 14 changent de groupe selon les années d'échantillonnage. Par contre, pour les sujets 3, 7, 10 et 12, il y a lieu de noter qu'ils ne changent pas au niveau des groupes d'appartenance selon les années considérées (Tableau 27). L'âge ne semble pas être un facteur déterminant dans ce changement de diversité.

**Tableau 27** : indices de Shannon Weaver calculés au niveau des feuilles du pistachier de l'Atlas pour les deux automnes considérés.

Sujets	H (%)± ES
S1 2015	1,38±0,05 ABCDE
S1 2016	1,54±0,06 CDE
S2 2015	1,52±0,05 ABCDE
S2 2016	1,51±0,05 BCDE
S3 2015	1,61±0,07 ABCDE
S3 2016	1,46±0,06 ABCDE
S4 2015	1,54±0,07ABC
S4 2016	1,28±0,03 ABCDE
S5 2015	1,50±0,058 ABCDE
S5 2016	0,93±0,06 E
S6 2015	1,61±0,05 ABCDE
S6 2016	1,32±0,08 DE
S7 2015	1,51±0,04 ABCDE
S7 2016	1,59±0,05 ABCDE
S8 2015	1,31±4,95 ABCD
S8 2016	1,36±0,08 ABCDE
S9 2015	1,24±0,04 A
S9 2016	1,59±0,06 ABCDE
S10 2015	1,35±0,03 ABCDE
S10 2016	1,40±0,03 ABCDE
S11 2015	0,971±0,08 AB
S11 2016	1,43±0,03 ABCDE
S12 2015	1,1±0,05 ABCDE
S12 2016	1,38±0,05 ABCDE
S13 2015	1,27±0,03 ABCDE
S13 2016	1,13±0,06 AB
S14 2015	1,43±0,05 AB
S14 2016	1,51±0,06 ABCDE

**Tableau 28** : indices de Shannon Weaver globaux calculés au niveau des feuilles du pistachier De l'Atlas pour les deux automnes échantillonnés.

Automnes	H global ± Erreur standard
<b>2015</b>	1.38±0,04
<b>2016</b>	1.38±0,04

## 2.8. Discussion

Les genres *Alternaria*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Epicoccum*, *Exophiala*, *Geotrichum*, *Muscodora*, *Phoma*, *Rachicladospodium*, *Rhizoctonia*, *Rhodotorula*, *Scedosporium*, *Scopulariopsis*, *Scytalidium*, *Trichoderma* et *Trichophyton* sont présents lors des deux automnes. Les abondances de ces genres sont différentes. Pour l'automne 2015, *Trichophyton* (32%), *Aspergillus* (27,6%) et *Cladosporium* (24,5%) sont les plus dominants. Par contre pour l'automne 2016, *Aspergillus* (42,2%), *Trichophyton* (15,9%), *Rhizopus* (11,5%), suivi par *Cladosporium* (10,8%) sont les plus dominants.

La communauté endophyte est dynamique (Suryanarayanan et Thennarasa, 2004). Cette différence d'abondance entre les genres dominants pour les deux automnes peut être expliquée par l'augmentation dans les températures moyennes minimales et maximales de 1°C et la diminution de la quantité de précipitations entre les deux saisons. L'automne 2016 est plus rude comparé à l'automne 2015. L'augmentation de l'abondance du genre *Aspergillus* durant l'automne 2016, peut être expliquée par les conclusions de l'étude de Kozakiewicz et Smith (1994), qui ont prouvé que le genre *Aspergillus* est capable de se développer dans de faibles conditions hydriques et des températures élevées.

*Trichophyton* est dominant pour l'automne 2015 et son abondance diminue pour l'automne 2016. Selon la matrice de corrélation, les genres *Aspergillus* et *Trichophyton* présentent une interaction antagoniste.

Certains genres tels que : *Chaetomium*, *Curvularia*, *Geomyces*, *Mycocladus*, *Neoscytalidium*, *Penicillium* sont présents uniquement lors de l'automne 2015. D'autres sont présents uniquement durant l'automne 2016, il s'agit de *Mucor*, *Phomopsis* et *Rhizopus*.

L'étude d'Olmo-Ruiz et Arnold (2014) a indiqué que la diversité et la structure de la communauté endophyte diffère significativement entre les années d'échantillonnage. Les sources de microorganismes colonisant la phyllosphère sont multiples. Les microorganismes qui colonisent la surface des feuilles peuvent provenir de plusieurs sources et peuvent arriver à différents stades de l'ontogénèse végétale (Kannadan et Rudgers, 2008).

### 2.9. Résultats quatre saisons

Le calcul des moyennes des abondances des différents genres de mycoendophytes foliaires pour chaque saison d'échantillonnage a montré que, plusieurs genres fongiques sont répertoriés comme mycoendophytes des feuilles de *P. atlantica*. Des différences d'abondance sont notées selon les saisons échantillonnées (Tableau 29). Ces dernières apparaissent significatives entre les saisons pour les genres suivants : *Aspergillus* (P=0,03), *Cladosporium* (P=0,00), *Epicoccum* (P=0,00), *Monilia* (P=0,03), *Penicillium* (P=0,01), *Phoma* (P=0,03), *Rhizoctonia* (P=0,03), *Rhizopus* (P=0,00), *Rhodotorula* (P=0,00), *Scopulariopsis* (P=0,00), *Trichophyton* (P=0,00) et *Xylaria* (P=0,03).

Le genre *Aspergillus* est recensé pour les quatre périodes d'échantillonnage et son abondance augmente au fil des années de manière significative. Selon le test de comparaison des moyennes, le printemps 2013 (A) et l'automne 2016 (B) se placent dans des groupes à part. L'automne 2015 et le printemps 2016 sont réunis dans le même groupe (AB). Durant le printemps 2013, nous avons noté aussi une forte abondance du genre *Epicoccum*, apparaissant co-dominant avec *Aspergillus*. Le test de comparaison des moyennes place cette saison, pour ce genre, dans un groupe à part (B). C'est le cas aussi pour le genre *Penicillium* (B), où une présence assez importante est notée durant cette saison. Le printemps 2016 se retrouve dans un autre groupe (AB). Les automnes 2015 et 2016 sont réunis dans le même groupe (A) et se caractérisent par des abondances faibles, voire nulles pour ce genre. Nous avons remarqué aussi une augmentation des abondances des genres *Cladosporium* et *Trichophyton* et l'installation des genres *Scopulariopsis*, *Rhodotorula*, *Rhizopus* et *Rhizoctonia* pour les années 2015 et 2016. L'abondance du genre *Cladosporium* est plus importante pour l'automne 2015 et le printemps 2016 (B), contrairement au printemps 2013 et à l'automne 2016 (A). *Trichophyton* semble être un genre plus abondant en automne. Mais il y a lieu de noter que pour cette même saison, son abondance diffère d'une année à une autre. Pour le genre *Rhodotorula*, son abondance augmente pour le printemps 2016 (B) (Tableau 28).

**Tableau 28** : abondance des champignons endophytes en fonction des saisons au niveau de la feuille de *Pistacia atlantica*.

Genres	Abondance (%) ± ES			
	Printemps 2013	Automne 2015	Printemps 2016	Automne 2016
<i>Acremonium</i>	1,2±1,2	-	-	-
<i>Alternaria</i>	2,4±1,3	2,1±1,2	4,7±1,6	3,4±3,7
<i>Aspergillus</i>	26,3±4,5 <sup>A</sup>	27,6±3,3 <sup>AB</sup>	30,8±3,2 <sup>AB</sup>	42,2±6,3 <sup>B</sup>
<i>Aureobasidium</i>	3,1±1,7	-	0,7±0,5	-
<i>Bipolaris</i>	0,4±0,4	-	-	-
<i>Chaetomium</i>	1,8±0,8	2,1±1,1	0,7±0,3	-
<i>Cladosporium</i>	9,4±2,0 <sup>A</sup>	24,5±3,9 <sup>B</sup>	26,7±3 <sup>B</sup>	10,8±2,1 <sup>A</sup>
<i>Cordyceps</i>	0,3±0,3	-	-	-
<i>Curvularia</i>	-	0,6±0,4	-	-
<i>Epicoccum</i>	25,8±5,3 <sup>B</sup>	1,9±0,7 <sup>A</sup>	1,3±0,9 <sup>A</sup>	1,6±0,7 <sup>A</sup>
<i>Exophiala</i>	-	0,4±0,4	-	0,2±0,1
<i>Fusarium</i>	-	-	0,2±0,2	-
<i>Geomyces</i>	-	0,3±0,3	0,5±0,4	-
<i>Geotrichum</i>	1,4±1	1±0,5	-	0,3±0,2
<i>Monilia</i>	1,4±0,7	-	-	-
<i>Mucor</i>	-	-	-	0,2±0,2
<i>Muscodor</i>	-	1,7±0,4	0,4±0,2	0,1±0,1
<i>Mycocladius</i>	-	0,2±0,2	0,4±0,3	-
<i>Neoscytalidium</i>	0,5±0,5	0,6±0,3	0,2±0,2	-
<i>Nigrospora</i>	0,4±0,4	-	-	-
<i>Penicillium</i>	15,3±5,6 <sup>B</sup>	1,3±0,5 <sup>A</sup>	3,2±1,2 <sup>AB</sup>	- <sup>A</sup>
<i>Phoma</i>	1,9±0,8 <sup>A</sup>	0,6±0,1 <sup>A</sup>	0,2±0,6 <sup>A</sup>	0,1±0,1 <sup>A</sup>
<i>Phomopsis</i>	0,7±0,5	-	1,1±0,6	0,5±0,3
<i>Rachicladospodium</i>	-	0,1±0,1	-	0,1±0,1
<i>Rhizoctonia</i>	0,3±1,2 <sup>A</sup>	2,7±0,9 <sup>B</sup>	0,2±0,2 <sup>A</sup>	0,3±0,2 <sup>A</sup>
<i>Rhizopus</i>	0,2±0,8 <sup>A</sup>	-	0,5±0,5 <sup>A</sup>	11,5±2,1 <sup>B</sup>
<i>Rhodotorula</i>	0,5±0,3 <sup>A</sup>	0,2±0,2 <sup>A</sup>	5,7±1,8 <sup>B</sup>	0,3±0,3 <sup>A</sup>
<i>Scedospodium</i>	0,3±0,3	2±0,5	2,2±0,9	0,3±0,2
<i>Scopulariopsis</i>	0,5±0,2 <sup>A</sup>	0,2±0,2 <sup>A</sup>	1±0,9 <sup>A</sup>	8,5±1,8 <sup>B</sup>
<i>Scytalidium</i>	-	0,1±0,1	-	0,1±0,1
<i>Trichoderma</i>	-	2,2±0,7	2,9±1,5	0,2±0,2
<i>Trichophyton</i>	3±1,6 <sup>A</sup>	32±4,4 <sup>C</sup>	10,6±2,1 <sup>AB</sup>	15,9±2,3 <sup>B</sup>
<i>Ulocladium</i>	0,2±0,2	-	1,3±2,5	-
<i>Xylaria</i>	1,3±0,7	-	-	-

ES : Erreur standard.

- : Absent des cultures.

Les lettres majuscules différentes pour une même ligne correspondent à des groupes selon le test de Newman et Keuls.

*Scopulariopsis* et *Rhizopus* voient leur fréquence augmenter pour l'automne 2016 (B). Le genre *Rhizoctonia* semble plus abondant pour l'automne 2015 (B). Le genre *Xylaria* est présent seulement pour le printemps 2013 et le genre *Phoma* est présent pour toutes les périodes échantillonnées.

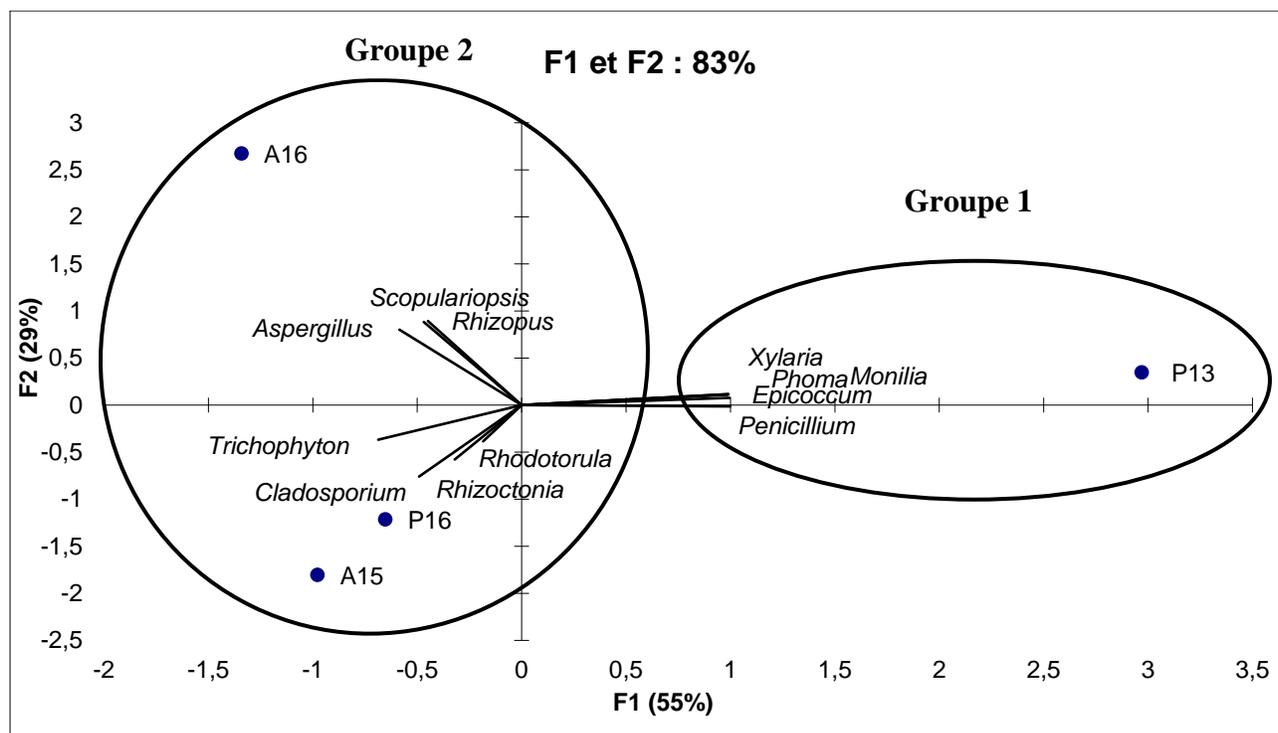
D'après les Anova faites sur les indices de diversité pour chaque saison d'échantillonnage, l'indice de diversité (H) présente une différence très hautement significative ( $P= 0,00$ ) entre les quatre saisons d'échantillonnage et selon le test de Newman et Keuls, 9 groupes homogènes sont obtenus. Il s'agit du groupe A avec tous les sujets échantillonnés, malgré la différence d'âge entre eux et ceci pour le printemps 2013, le sujet 5 moyen pour le printemps 2016 et le sujet 9 toujours moyen pour l'automne 2015. Le groupe AB compte les sujets 9 et 10 et qui sont moyens pour le printemps 2013, les sujets 2 jeune, 7, 8, 9 et 10 moyens et 13 âgé pour le printemps 2016 et les sujets 11 et 14 âgés pour l'automne 2015. Le groupe ABC recense les sujets 4 jeune et 12 âgé pour le printemps 2016 et les sujets 3 et 4 jeunes et 8 moyen pour l'automne 2015. Le groupe ABCD comporte un seul sujet, il s'agit du sujet 11 âgé. Le groupe ABCDE regroupe le sujet 6 moyen pour le printemps 2013, les sujets 1 et 3 jeunes, 6 moyen et 13 et 14 âgés pour le printemps 2016, les sujets 1 et 2 jeunes, 5, 6, 7 et 10 moyens, 12 et 13 âgés pour l'automne 2015 et les sujets 3 et 4 jeunes, 7, 8, 9, 10 moyens, 11, 12 et 14 âgés pour l'automne 2016. Le groupe BCDE comporte le sujet 2 jeune pour l'automne 2016. Le groupe CDE compte le sujet 1 jeune toujours pour l'automne 2016. Le groupe DE englobe le sujet 6 moyen pour l'automne 2016 et enfin le groupe E compte un seul sujet moyen (5) pour l'automne 2016 (Tableau 29).

Nous remarquons que certains groupes contiennent des sujets avec différents âges. L'âge des différents sujets échantillonnés ne joue pas un rôle important dans la diversité en mycoendophytes foliaires.

Tableau 29 : groupes homogènes concernant l'indice de diversité (H) pour les quatre saisons.

Groupes	Sujets
A	(1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 et 14) du printemps 2013, 5 du printemps 2016 et le 9 de l'automne 2015.
AB	9 et 10 du printemps 2013, 2, 7, 8, 9, 10 et 13 du printemps 2016 et le 11 et le 14 de l'automne 2015.
ABC	1, 2, 3, 4 et 12 du printemps 2016, 3, 4 et 8 de l'automne 2015.
ABCD	11 du printemps 2016.
ABCDE	6 du printemps 2013, 1, 3, 6, 13 et 14 du printemps 2016, 1, 2, 5, 6, 7, 10, 12 et 13 de l'automne 2015, 3, 4, 7, 8, 9, 10, 11, 12 et 14 de l'automne 2016.
BCDE	2 de l'automne 2016.
CDE	1 de l'automne 2016.
DE	6 de l'automne 2016.
E	5 de l'automne 2016.

Le plan  $\frac{1}{2}$  de l'ACP montre les changements au niveau du cortège de mycoendophytes entre les saisons échantillonnées. Ce dernier explique 83% du phénomène, avec pour l'axe 1, 55% et pour l'axe 2, 29% de l'inertie totale. Deux groupes semblent s'individualiser. Le premier concerne les individus échantillonnés pendant le printemps 2013 (P13), avec une présence des genres *Epicoccum*, *Penicillium*, *Monilia*, *Phoma* et *Xylaria*. Pour cette saison, le genre *Aspergillus* montre une abondance moins importante par rapport aux saisons précédentes. *Epicoccum* est co-dominant avec *Aspergillus*. La matrice de corrélation montre des interactions positives et fortes entre les genres recensés lors de cette saison (Tableau 30). Le deuxième groupe comporte les genres recensés à l'automne 2015 (A15), au printemps 2016 (P16) et à l'automne 2016 (A16), avec une dominance du genre *Aspergillus*, associé à *Cladosporium*, *Trichophyton*, *Scopulariopsis*, *Rhizopus*, *Rhizoctonia* et *Rhodotorula*. Ce sont les interactions positives et fortes entre *Aspergillus*, *Scopulariopsis* et *Rhizopus* qui conditionnent ce groupe (Figure 34). L'augmentation des températures minimales et la diminution des précipitations entre les années 2013, 2015 et 2016 semblent provoquer des changements dans les abondances de certains genres fongiques. Les genres dominants au printemps 2013 apparaissent sensibles à ces changements de conditions climatiques. La forte interaction positive entre ces derniers implique la diminution de leur fréquence. Les genres fongiques recensés lors du printemps 2016 apparaissent semblables à ceux retrouvés à l'automne 2015. Les conditions climatiques sont en effet semblables pour les mois d'échantillonnage (octobre 2015 et avril 2016). L'automne 2016 s'individualise par des genres fongiques qui voient leur fréquence augmenter pour cette saison. Il y a lieu de noter que les conditions climatiques sont plus rudes.



**Figure 36 :** répartition des différents genres de champignons endophytes identifiés au niveau de la feuille de *Pistacia atlantica* selon les saisons d'échantillonnage.

Tableau 30 : matrice de corrélation de Pearson.

	<i>Aspergillus</i>	<i>Cladosporium</i>	<i>Epicoccum</i>	<i>Monilia</i>	<i>Penicillium</i>	<i>Phoma</i>	<i>Rhizoctonia</i>	<i>Rhizopus</i>	<i>Rodotorula</i>	<i>Scropulariopsis</i>	<i>Trichophyton</i>	<i>Xylaria</i>
<i>Aspergillus</i>	1											
<i>Cladosporium</i>	-0,27	1										
<i>Epicoccum</i>	-0,50	-0,61	1									
<i>Monilia</i>	-0,50	-0,61	<b>1,00</b>	1								
<i>Penicillium</i>	-0,59	-0,46	<b>0,98</b>	<b>0,98</b>	1							
<i>Phoma</i>	-0,53	-0,56	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>0,99</b>	1						
<i>Rhizoctonia</i>	-0,37	0,28	-0,31	-0,32	-0,34	-0,34	1					
<i>Rhizopus</i>	<b>0,97</b>	-0,47	-0,34	-0,34	-0,46	-0,38	-0,34	1				
<i>Rodotorula</i>	-0,09	0,77	-0,31	-0,30	-0,14	-0,25	-0,40	-0,30	1			
<i>Scropulariopsis</i>	<b>0,98</b>	-0,45	-0,36	-0,36	-0,48	-0,40	-0,34	<b>1,00</b>	-0,28	1		
<i>Trichophyton</i>	0,03	0,35	-0,66	-0,67	-0,71	-0,69	0,90	0,00	-0,30	0,02	1	
<i>Xylaria</i>	-0,50	-0,61	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>0,98</b>	<b>1,00</b>	-0,32	-0,34	-0,30	-0,36	-0,67	1

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

### 2.10. Discussion

Nos résultats montrent une diversité en mycoendophytes foliaires durant les deux saisons d'échantillonnage. Les plantes supérieures constituent ainsi une véritable niche écologique, réservoir potentiel d'une vaste diversité microbiologique (Kogel et *al.*, 2006). Des champignons endophytes ont été isolés dans différents tissus d'espèces de plantes ligneuses, notamment les feuilles (Arnold et Lutzoni, 2007 ; Douanla-Meli et Langer, 2012 ; Douanla-Meli, et *al.*, 2013 ; Sadeghi et *al.*, 2019). Les champignons endophytes sont omniprésents dans la nature (Arnold et *al.*, 2003 ; Hyde et Soyong, 2008 ; Ghimire et *al.*, 2011 ; Sadeghi et *al.*, 2019). On estime qu'il existe plus d'un million de champignons endophytes qui survivent dans la nature et que de tels champignons ont été trouvés chez toutes les espèces de plantes étudiées à ce jour (Strobel et *al.*, 2004 ; Verma et *al.*, 2009 ; Asaf et *al.*, 2018). Les Ascomycota sont dominants, avec une faible proportion de Basidiomycota (Chi et *al.*, 2019). Ces résultats confirment les nôtres, car seulement deux genres recensés appartiennent aux Basidiomycota et trois genres appartiennent aux Zygomycota.

Les feuilles et les racines peuvent obtenir des champignons endophytes de différentes sources (Hardoim et *al.*, 2015 ; Guevara-Araya1 et *al.*, 2020), y compris des spores aéroportées pour les champignons endophytes foliaires et un inoculum présent dans le sol voisin, pour les champignons endophytes associés aux racines (Campisano et *al.*, 2017 ; Guevara-Araya1 et *al.*, 2020). Les champignons endophytes pénètrent dans les tissus végétaux au niveau du système racinaire, cotylédons, tige, feuille et fleur et ils peuvent soit se localiser au point d'entrée ou se propager dans toute la plante (Li et *al.*, 2012). D'un autre côté, des facteurs biotiques et abiotiques supplémentaires, notamment la chimie du tissu hôte, la température et les précipitations peuvent également être impliqués dans la formation des communautés de champignons endophytes (Campisano et *al.*, 2017 ; Guevara-Araya1 et *al.*, 2020).

Selon Stone et *al.* (2004), la fréquence des infections et la diversité des champignons endophytes augmentent avec l'âge de l'organe ou du tissu hôte (Istikorini et Hartoyo. 2019). Ces résultats ne vont pas dans le même sens que les nôtres, car l'âge des sujets n'a pas contribué dans la diversité de ces populations microbiennes. L'analyse de la diversité des espèces des communautés fongiques à l'aide de l'indice de Shannon (H) a révélé une différence considérable

entre les communautés fongiques associées au type de tissu et à la saison, mais pas à l'âge (Juybari et al., 2019). Ceci a été montré par plusieurs auteurs Bezerra et al. (2013) et Massimo et al. (2015) et Zeldà et al. (2018).

La phyllosphère supporte de nombreux microorganismes (Meyer et Leveau, 2012). La plupart régulent la croissance des plantes, la solubilisation de minéraux et ont des propriétés antagonistes contre les phytopathogènes (Nath et al., 2015). Ils améliorent l'adaptabilité écologique de la plante, en améliorant sa tolérance aux stress biotiques et abiotiques (Dastogeer et al., 2017 ; Mehmood et al., 2018).

Divers genres de mycoendophytes sont recensés au niveau des feuilles du pistachier de l'Atlas. La biodiversité des champignons endophytes associée à la plante hôte et la structure des communautés d'endophytes sont convertibles de manière dynamique, en fonction de la physiologie de la plante, des stress environnementaux, de leur interaction avec d'autres microorganismes parasites ou pathogènes et de facteurs biogéographiques (Arnold, 2007 ; Chauhan et al., 2019). Le climat est le principal facteur de la diversité et de la composition des communautés d'endophytes. En fait, la population d'endophytes dépend du statut physiologique de la plante hôte, qui est en partie lié à la variation saisonnière du climat (Bandhoa et al., 2018). En effet, des travaux ont montré que la saisonnalité influence les communautés de champignons associées (Carroll et Carroll 1978 ; Rodrigues, 1994 ; Collado et al. 1999 ; Martins et al., 2016 ; Materatski et al., 2016 ; Yadav et al., 2016). L'influence du facteur saison sur les assemblages des mycoendophytes foliaires est visible chez le pistachier de l'Atlas. Certains genres semblent caractéristiques du printemps et d'autres de l'automne. Mais, les années durant lesquelles nous avons réalisé notre échantillonnage présentent des conditions météorologiques différentes. L'année 2013 se distingue par des précipitations plus importantes que 2015 et 2016. Il y a lieu de noter aussi l'augmentation en 2015 et 2016, des températures moyennes minimales. La présence, mais aussi l'abondance de ces genres fongiques semblent différentes, en réaction à ces changements des paramètres climatiques.

Durant toutes les saisons d'échantillonnage, le cortège microbien semble être dominé par le genre *Aspergillus*, dont l'abondance augmente avec ces changements. Les espèces recensées de

ce genre sont parmi les champignons pigmentés. Les pigments produits (mélanine et caroténoïdes) pourraient fournir une protection contre les ultraviolets pour la plante (Gupta et *al.*, 2015). Les travaux de Sangamesh et *al.* (2017) ont montré qu'*Aspergillus* s'est avéré être aussi un genre fongique tolérant à une température élevée. Il est probable que les plantes poussant dans des habitats extrêmes abritent les *Aspergillus* profondément pigmentés, en tant que stratégie d'adaptation aux environnements thermophiles. Il est bien connu que la teneur en mélanine augmente, lorsque la température est élevée chez les microorganismes (Cockell et Knowland, 1999). Les espèces thermotolérantes d'*Aspergillus* sont les suivantes : *Aspergillus fischerianus*, *Aspergillus fumigatus* et *Aspergillus nidulans*. Les espèces d'*Aspergillus fumigatus* ont été isolées à partir des sols désertiques. La croissance des espèces d'*Aspergillus* est déterminée par la disponibilité en eau. Les espèces d'*Aspergillus* peuvent tolérer différentes conditions (Kozakiewicz et Smith, 1994). Les *Aspergillus* ont une large répartition géographique, mais sont plus souvent associés aux régions à climat chaud (Tabuc, 2007). Ce sont des champignons xérophiles, largement distribués dans la nature. Ils sont connus pour leur capacité à croître sur des substrats à faible activité hydrique. Plus important encore, ces organismes libèrent de l'eau métabolique au cours de leur croissance sur des substrats secs et créent ainsi des conditions favorables pour des champignons moins xérophiles (Hubka et *al.* 2013).

Les sécheresses persistantes sont devenues de plus en plus fréquentes dans la région méditerranéenne au cours des trois ou quatre dernières décennies, comme une conséquence du réchauffement climatique. Comme premier effet de cette pénurie d'eau, c'est la réduction de la disponibilité en eau de l'apoplaste (Moricca et Ragazzi, 2008). Un faible potentiel hydrique réduit la viabilité globale des champignons, par une baisse de développement du mycélium et des niveaux d'infection (Duniway, 1979 ; Moricca et Ragazzi, 2008). Dans des conditions de stress, les plantes hôtes développent différentes modifications structurelles et des produits chimiques de défense, ce qui laisse un accès à la colonisation d'*Aspergillus flavus* et d'*A niger*, qui sont considérés comme des champignons xérophiles, pendant la période sèche (Singh et *al.*, 2017).

La température et les précipitations ont un impact sur la colonisation en champignons endophytes (Borosi et *al.*, 2011 et Rather et *al.*, 2018). Dans les stress abiotiques, l'effet protecteur de l'acide abscissique est essentiel pour la croissance des plantes, car il favorise la fermeture

stomatique, afin de minimiser les pertes en eau et atténuer les dommages causés par le stress (Khan *et al.*, 2011). En réponse à un stress hydrique, des quantités relativement importantes d'ABA sont rapidement synthétisées dans les feuilles, où il semble jouer un rôle essentiel dans la régulation de l'ouverture et de la fermeture des stomates. La fermeture des stomates n'est pas toujours le résultat de la perception d'un déficit hydrique et de l'émission d'un signal par la feuille. Dans certaines situations, il apparaît que les stomates se ferment en réponse à une dessiccation du sol, avant qu'une diminution de la turgescence des cellules du mésophylle foliaire ne soit mesurable (Mansfeld et Atkinson, 1990 ; Hopkins, 2003). Des résultats apportent une assez bonne preuve de l'intervention de l'ABA dans une sorte de système d'alarme, qui communique très précocement des informations sur le potentiel hydrique du sol aux feuilles (Hopkins, 2003). L'ABA est impliqué dans la réponse de la plante à des changements brutaux de l'environnement : déficit hydrique, choc osmotique, carence en ions essentiels et anoxie des racines (Mazliak, 1982). L'ABA est une sorte de phytohormone de détresse, qui amènerait la plante à prendre des dispositions de défense à l'égard des agressions, comme la sécheresse ou l'approche de la mauvaise saison (Hopkins, 2003).

Plusieurs souches sont capables de produire des phytohormones phytostimulantes, comme l'ABA (Waqas *et al.*, 2012 ; Asaf *et al.*, 2018). Il faut toutefois remarquer que l'effet antitranspirant de l'ABA n'est pas bénéfique dans le temps pour la plante, puisque la fermeture des stomates a pour conséquence une diminution des échanges gazeux, entraînant une réduction du rendement de la photosynthèse. Dans ce cas, les champignons endophytes peuvent prendre le relais. En effet, ils ont la capacité de libérer les gibbérellines qu'ils synthétisent (Khan *et al.*, 2013 ; Nicoletti *et al.*, 2014) et qui peuvent ainsi réguler divers processus de développement des plantes (King et Evans, 2003 ; Davies, 2010 ; Asaf *et al.*, 2018) et favoriser également d'autres processus physiologiques chez les plantes (Asaf *et al.*, 2018). Ceci peut expliquer l'augmentation des abondances des genres *Aspergillus* et *Rhizopus*, avec les augmentations de températures et des déficits hydriques (Hedden *et al.*, 2001 ; Leitão et Enguita, 2016). *Cladosporium sphaerospermum* isolé des racines de *Glycine max* (L.) Merr a montré une synthèse de quantités importantes de GA3, GA4 et GA7 bioactifs (Hamayun *et al.*, 2009 ; Mishra *et al.*, 2014). Ces informations peuvent expliquer l'augmentation des fréquences du genre *Cladosporium*, pendant l'automne 2015 et le printemps 2016.

La production d'auxine se fait aussi chez les champignons endophytes. Il a été rapporté que les gibbérellines et les auxines (Waqas et al., 2012). *Penicillium* est l'un des taxons les plus couramment signalés concernant ce phénomène (Nicoletti et al., 2014). Certaines de ses espèces sont capables de produire des gibbérellines (Leitão et Enguita, 2016). Une souche de *Penicillium citrinum* favorise de manière significative la croissance des plantes et sécrétait des GA bioactifs en culture pure (Tabuc, 2007 ; White et al., 2010 ; Khan et al., 2011). Plusieurs cultures de *Penicillium* ont révélé la présence d'acide indole acétique (Khan et al., 2011 ; Waqas et al., 2012 ; Leitão et Enguita, 2016). Un autre rapport a montré la présence des GA, ainsi que l'acide indole acétique dans les cultures de *P. funiculosum* (Khan et al., 2011).

*Epicoccum* est aussi un genre mélanisé. Mais il y a lieu de noter qu'il décline au fil des saisons échantillonnées. Ceci est en corrélation avec la diminution de la fréquence du genre *Penicillium*, qui apparaît sensible aux augmentations des températures minimales et à la diminution des précipitations pour les années 2015 et 2016. Pourtant, le rôle de ce genre fongique n'est pas négligeable, lors de l'interaction avec la plante hôte. A titre d'exemple, *Epicoccum nigrum* est capable d'augmenter la biomasse du système racinaire et de produire des composés qui inhibent la croissance *in vitro* des pathogènes, tels *Fusarium*, *Colletotrichum* et *Monilia* (Fávaro et al., 2012). L'épicolactone isolée d' *E. nigrum* a une activité antifongique et peut induire la croissance des racines (Mielnichuk et Lopez, 2007 ; Elkhateeb et Daba, 2019).

Pendant les deux saisons automnales 2015 et 2016, nous avons remarqué une abondance du genre *Trichophyton*. Ce dernier est un champignon kératinophile. C'est un groupe écologiquement important, car ils jouent un rôle important dans la dégradation naturelle du substrat kératinique et des résidus. Ils sont connus pour avoir un système enzymatique spécialisé, qui leur permet de décomposer la kératine, une protéine complexe aux composés organiques simples. Ils sont présents dans l'environnement avec des schémas de distribution variables, qui dépendent de différents facteurs, tels que la présence humaine et/ou animale, qui est d'une importance fondamentale (Sharma et Choudhary, 2014).

Au vu de l'augmentation des températures moyennes annuelles, mais aussi des valeurs minimales et maximales de ces dernières pour les mois de prélèvement, on peut se questionner sur

le poids du changement climatique local dans la disparition des représentants de certains genres comme *Xylaria* et *Monilia*, qui n'ont été recensés qu'en 2013. Les précipitations et l'humidité sont les facteurs clés de la structure des mycoendophytes, façonnant les communautés en raison de leur importance pour la dispersion des spores et la colonisation (Rastogi et al., 2012 ; Vacher et al., 2016 ; Gomes et al., 2018 ; Materatski et al., 2019). L'apparition du genre *Xylaria* pendant le printemps 2013 et son absence durant les autres saisons, peut être expliquée par le stade phénologique, à savoir le débourrement et de meilleures conditions de température et de précipitations. L'endophyte *Xylaria* est généralement isolé à partir de tissus foliaires de différentes espèces de plantes, à différentes latitudes (Arnold et Lutzoni, 2007 ; Gazis et Chaverri 2010 ; Douanla-Meli et al., 2013 ; Gonzalez, 2016), ce qui indique sa capacité à coloniser une large gamme d'hôtes (Gonzalez, 2016). En modifiant les caractéristiques chimiques des feuilles, il a été démontré que *Xylaria* a une influence négative sur les préférences des herbivores chez *Cucumis sativus* (Estrada et al., 2013 ; Gonzalez, 2016). Le genre *Xylaria*, est connu pour sa diversité chimique et sa capacité à produire des composés bioactifs (Schneider et al., 1996 ; Oliveira et al., 2009 ; Specian et al., 2012 ; Baraban et al., 2013 ; Gonzalez, 2016), qui démontrent les propriétés antipathogènes *in vitro* (Arnold et al., 2003 ; Thirumalesh et al., 2014 ; Gonzalez, 2016).

Il est évident que la présence d'endophytes peut non seulement influencer sur la croissance des plantes, leur développement, leur forme et leur diversité, mais également sur la dynamique de la population, la diversité des communautés de plantes et le fonctionnement de l'écosystème (Abo Nouh, 2019). Les champignons endophytes jouent un rôle vital dans le fonctionnement écologique de la succession des plantes, grâce à leur interaction bénéfique qui s'est installée lors de l'évolution à long terme de l'écosystème (Ali et al., 2018 ; Abo Nouh, 2019).

## **Conclusion et perspectives**

Au terme de ces travaux originaux à travers lesquels nous avons tenté une approche de la variation de la diversité en mycoendophytes foliaires chez *Pistacia atlantica* Desf. en fonction des saisons, nous sommes arrivés à plusieurs conclusions.

Le pistachier de l'Atlas de dayate Aiat montre une forte fréquence de colonisation en champignons endophytes au niveau de ses feuilles. Elle est de 74, 69, 78 et de 94,64% respectivement pour le printemps 2013, le printemps 2016, l'automne 2015 et l'automne 2016. Elle est en moyenne de 78,91% pour les saisons considérées. L'analyse de variance type ANOVA révèle des différences significatives entre les 2 printemps (2013 et 2016), non significatives entre les 2 automnes (2015 et 2016) et non significatives pour l'ensemble.

Les isolats identifiés au niveau des feuilles du pistachier de l'Atlas appartiennent à 24, 22, 22 et 19 genres, respectivement pour le printemps 2013, printemps 2016, automne 2015 et automne 2016. La majorité de ces champignons appartiennent au phylum des Ascomycota. Les Basidiomycota et les Zygomycota y sont faiblement recensés. Les genres de champignons endophytes identifiés appartiennent aux classes suivantes : Eurotiomycètes, Dothidéomycètes, Leotiomycètes, Pezizomycètes et Sordariomycètes. Après l'identification des différents genres de champignons endophytes, nous avons constaté que chaque saison possède son propre cortège microbien.

Nous avons fait aussi une synthèse des résultats pour les saisons concernées par cette étude (printemps 2013, automne 2015, printemps 2016 et automne 2016). Le calcul des moyennes des abondances des différents genres de mycoendophytes foliaires pour chaque saison d'échantillonnage a montré que, plusieurs genres fongiques sont répertoriés comme mycoendophytes des feuilles de *P. atlantica*. Des différences d'abondance sont notées selon les saisons échantillonnées. Ces dernières apparaissent significatives entre les saisons pour les genres suivants : *Aspergillus* (P=0,03), *Cladosporium* (P=0,00), *Epicoccum* (P=0,00), *Monilia* (P=0,03), *Penicillium* (P=0,01), *Phoma* (P=0,03), *Rhizoctonia* (P=0,03), *Rhizopus* (P=0,00), *Rhodotorula* (P=0,00), *Scopulariopsis* (P=0,00), *Trichophyton* (P=0,00) et *Xylaria* (P=0,03).

L'indice de diversité (H) présente une différence très hautement significative (P=0,00) entre l'ensemble des saisons d'échantillonnage.

Nous remarquons que l'âge des différents sujets échantillonnés ne joue pas un rôle important dans la diversité en mycoendophytes foliaires. Des facteurs abiotiques tels que la température et les précipitations, ainsi que leurs effets sur la plante hôte provoquent des variations dans l'occurrence des champignons endophytes. Les périodes d'échantillonnage les plus pluvieuses et où l'humidité créée par la pluie est plus importante montrent une diversité et une richesse en mycoendophytes plus élevée. Ces changements affectent les différentes interactions plante–champignon, qui influencent finalement la niche écologique d'un habitat.

Le pouvoir adaptatif du pistachier de l'Atlas dépend fortement des conditions environnementales qui l'entourent. Ceci a été très bien montré par le cortège microbien qui change d'une saison à une autre et est ainsi dominé par des genres fongiques qui lui permettent de lutter contre le stress hydrique que subit sa feuille. Parmi ces genres, nous citons *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Epicoccum*, *Penicillium* et *Rhizopus*. D'autres genres tels que *Xylaria* et *Trichoderma* sont importants et peuvent assurer une lutte biologique, par la synthèse des substances antibiotiques. Enfin, le genre *Trichophyton* joue un rôle majeur dans la décomposition des substrats morts.

Vu le rôle important que jouent les champignons endophytes dans la résistance aux variations climatiques, il est important d'étudier l'interaction existant entre la plante et ces champignons et les avantages que peuvent offrir ces derniers à leurs hôtes. En effet, il serait intéressant de procéder à l'extraction des métabolites secondaires synthétisés par ces microorganismes. Ces derniers peuvent satisfaire les besoins de l'industrie pharmaceutique et protéger ainsi cette essence si précieuse, dans ces régions si fragiles. Il serait aussi très intéressant de faire la détermination moléculaire et une étude du microbiome du pistachier de l'Atlas sous différents bioclimats en Algérie et cela sur plusieurs années consécutives.

## **Valorisations des travaux**

**INTERANNUALS VARIATIONS IN DIVERSITY OF FOLIAR MYCOENDOPHYTES  
OF *PISTACIA ATLANTICA* FROM DAYATE AIAT (LAGHOUAT, ALGERIA)**

A. Zareb, N. Smail-Saadoun

Laboratoire Ressources Naturelles, Université Mouloud Mammeri, Tizi Ouzou, Algérie

Received: 28 December 2018 / Accepted: 20 March 2020 / Published online: 01 May 2020

---

# *ecologia* *mediterranea*

Vol. 47 (1) – 2021

Revue internationale d'écologie méditerranéenne  
*International Journal of Mediterranean Ecology*



Editors-in-Chief: Dr Élise Buisson & Dr Brigitte Talon

Institut méditerranéen de biodiversité et écologie (IMBE)  
*Mediterranean Institute of Biodiversity and Ecology*

Naturalia Publications

# Variations saisonnières de la diversité en mycoendophytes foliaires chez *Pistacia atlantica* de la daya de Aiat (Laghouat, Algérie)

*Seasonal variations in foliar mycoendophytes diversity in Pistacia atlantica of daya of Aiat (Laghouat, Algeria)*

Amina ZAREB<sup>1</sup> et Noria SMAIL-SAADOUN<sup>2</sup>

1. Laboratoire de ressources naturelles, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, Algérie.

2. Laboratoire de ressources naturelles, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, Algérie.

Auteur correspondant : zarebamina15@gmail.com

Received: 5 February, 2020; First decision: 31 August, 2020; Revised: 27 November, 2020; Second decision: 14 February, 2021; Revised: 18 February, 2021; Final decision: 4 March, 2021.

## Résumé

Les mycoendophytes vivent à l'intérieur des tissus végétaux et augmentent leur résistance aux facteurs abiotiques et biotiques. Notre travail porte sur les variations saisonnières de la diversité des mycoendophytes des feuilles de *Pistacia atlantica* Desf. de la daya de Aiat, dans la région de Laghouat (Algérie). Les saisons concernées sont les printemps 2013 et 2016 et les automnes 2015 et 2016. Plusieurs genres de mycoendophytes ont été répertoriés dans cette étude. L'abondance de certains d'entre eux présente une différence significative entre les saisons concernées. C'est le cas pour les genres *Aspergillus* ( $P = 0,03$ ), *Cladosporium* ( $P = 0,00$ ), *Epicoccum* ( $P = 0,00$ ), *Monilia* ( $P = 0,03$ ), *Penicillium* ( $P = 0,01$ ), *Phoma* ( $P = 0,03$ ), *Rhizoctonia* ( $P = 0,03$ ), *Rhizopus* ( $P = 0,00$ ), *Rhodotorula* ( $P = 0,00$ ), *Scopulariopsis* ( $P = 0,00$ ), *Trichophyton* ( $P = 0,00$ ) et *Xylaria* ( $P = 0,03$ ). Ces derniers forment des assemblages et des interactions spécifiques aux différentes

saisons d'échantillonnage. Selon l'analyse en composantes principales, deux groupes semblent s'individualiser. Le premier concerne les sujets échantillonnés pendant le printemps 2013, avec une présence des genres *Epicoccum*, *Penicillium*, *Monilia*, *Phoma* et *Xylaria*. Pour cette saison, le genre *Aspergillus* montre une abondance moins importante par rapport aux saisons précédentes. Le deuxième groupe comporte les genres recensés à l'automne 2015, au printemps 2016 et à l'automne 2016, avec une dominance d'*Aspergillus*, associé à *Cladosporium*, *Trichophyton*, *Scopulariopsis*, *Rhizopus*, *Rhizoctonia* et *Rhodotorula*. La distribution de ces micro-organismes foliaires semble influencée par l'augmentation des températures minimales et la diminution des précipitations des années 2015 et 2016 au niveau de notre zone d'étude. Les changements climatiques semblent avoir un impact sur la diversité des mycoendophytes foliaires du pistachier de l'Atlas de la région de Laghouat (Algérie).

**Mots-clés :** *Pistacia atlantica* Desf., mycoendophytes, diversité, changements climatiques, Laghouat (Algérie).

## Abstract

*Mycoendophytes living inside plant tissue can increase their resistance to abiotic and biotic factors. Our study focuses on seasonal variations in the diversity of mycoendophytes in the leaves of Pistacia atlantica Desf. from daya from Aiat, in the Laghouat region (Algeria). The concerned seasons are spring 2013 and 2016 and autumn 2015 and 2016. Several genera of mycoendophytes were identified in this study. The abundance of some of them presents a significant difference between the seasons concerned. This is the case for Aspergillus (P = 0.03), Cladosporium (P = 0.00), Epicoccum (P = 0.00), Monilia (P = 0.03), Penicillium (P = 0.01), Phoma (P = 0.03), Rhizoctonia (P = 0.03), Rhizopus (P = 0.00), Rhodotorula (P = 0.00), Scopulariopsis (P = 0.00), Trichophyton (P = 0.00) and Xylaria (P = 0.03). These last form assemblies and interactions, specific to the different sampling seasons. According to the principal component analysis, two groups seem to be individualized. The first concerns the trees sampled during spring 2013, with the presence of Epicoccum, Penicillium, Monilia, Phoma and Xylaria. For this season, the genus Aspergillus showed a lower abundance compared to previous seasons. The second group includes the genera recorded in autumn 2015, spring 2016 and autumn 2016, with a dominance of Aspergillus, associated with Cladosporium, Trichophyton, Scopulariopsis, Rhizopus, Rhizoctonia and Rhodotorula. The distribution of these leaf microorganisms seems to be influenced by the increase in minimum temperatures and the decrease in precipitation of the years 2015 and 2016 in our study area. Climate change seems to have an impact on the diversity of Atlas pistachio leaf mycoendophytes in the Laghouat region (Algeria).*

## Abridged version

Endophytic fungi give plants tolerance to environmental stresses. Thus, they can improve their performance during these difficult times. For this, the latter present seasonal qualitative and quantitative variations, mainly influenced by climatic conditions, such as temperature and precipitation. This work made it possible to identify several fungal genera like mycoendophytes of the leaves of *Pistacia atlantica* and this for different seasons, namely: spring of 2013 and 2016 and autumn of 2015 and 2016. Anova showed significant differences in abundance for certain genera, depending on the seasons sampled. These are *Aspergillus* (P = 0.03), *Cladosporium* (P = 0.00),

*Epicoccum* (P = 0.00), *Monilia* (P = 0.03), *Penicillium* (P = 0.01), *Phoma* (P = 0.03), *Rhizoctonia* (P = 0.03), *Rhizopus* (P = 0.00), *Rhodotorula* (P = 0.00), *Scopulariopsis* (P = 0.00), *Trichophyton* (P = 0.00) and *Xylaria* (P = 0.03). The genus *Aspergillus* is identified for all four sampling periods and its abundance has increased significantly over the years. During the spring of 2013, we also noted a high abundance of the genus *Epicoccum*, appearing to be co-dominant with *Aspergillus*. The average comparison test places this season in a separate group (B), characterized by a significant presence of the genus *Penicillium*. Spring 2016 is found in another group (AB). The autumns 2015 and 2016 are gathered in the same group (A) and are characterized by low abundances, even zero for this genus. We also noticed an increase in the abundance of the genera *Cladosporium* and *Trichophyton* and the establishment of the genera *Scopulariopsis*, *Rhodotorula*, *Rhizopus* and *Rhizoctonia* for the years 2015 and 2016. The abundance of the genus *Cladosporium* is greater for the fall of 2015 and the spring 2016 (B), unlike spring 2013 and autumn 2016 (A). The result of the Principal Component Analysis enabled the identification of two groups. The first concerns subjects sampled during spring 2013 (P13), with the presence of the genera *Epicoccum*, *Penicillium*, *Monilia*, *Phoma* and *Xylaria*. For this season, the genus *Aspergillus* shows a lower abundance compared to previous seasons. The second group includes the genera recorded in autumn 2015 (A15), spring 2016 (P16) and autumn 2016 (A16), with a dominance of *Aspergillus*, associated with *Cladosporium*, *Trichophyton*, *Scopulariopsis*, *Rhizopus*, *Rhizoctonia* and *Rhodotorula*. The increase in minimum temperatures and the decrease in precipitation between the years 2013, 2015 and 2016 seem to cause changes in the abundance of certain fungal genera. The dominant genera in spring 2013 appear sensitive to these changes in climatic conditions. The strong positive interaction between the latter implies the decrease in their frequency. The fungal genera recorded in spring 2016 appear similar to those found in autumn 2015. The climatic conditions are indeed similar for the sampling months (October 2015 and April 2016).

**Keywords:** *Pistacia atlantica* Desf., mycoendophytes, diversity, climate change, Laghouat (Algeria).

## Introduction

Les mycoendophytes sont des micro-organismes très divers, qui vivent comme symbiotes dans les tissus végétaux. Ils sont très diversifiés d'une plante à l'autre et d'un écosystème à l'autre (Rampadarath *et al.* 2018). En effet, chaque hôte poussant sur un site donné peut être considéré comme un écosystème distinct, les organes de la plante constituant le microhabitat de ces champignons (Petri *et al.* 1992 ; Collado *et al.* 1999). Ces derniers peuvent conférer à ces plantes une tolérance au stress environnemental. Ainsi, ils peuvent améliorer leurs performances en période de stress hydrique, de stress thermique, d'une faible disponibilité en éléments nutritifs ou d'une pression intense des herbivores (Brosi *et al.* 2010). Ces facteurs écologiques interviennent dans des interactions complexes, qui permettent de maintenir la communauté de champignons phyllosphériques. La mycoflore de la phyllosphère présente des variations saisonnières qualitatives et quantitatives, influencées par la température, l'humidité, les précipitations, la disponibilité des éléments nutritifs, l'âge et le type de la feuille (Satpute & Vanmare 2018). Les paramètres climatiques montrent donc une influence importante sur ces communautés fongiques, suggérant qu'elles seraient probablement affectées par ces changements climatiques dans un proche avenir (Gomes *et al.* 2018).

En Algérie, peu d'études ont été réalisées sur la diversité en champignons endophytes foliaires. Concernant le pistachier de l'Atlas, nous pouvons citer les travaux de Zareb *et al.* (2016 et 2018) et ceux de Benfoddil (2015), qui ont mis en évidence la présence de champignons endophytes au niveau des feuilles de cette essence et dressé un inventaire de ces derniers au niveau des feuilles de *Pistacia atlantica* Desf. récoltées dans deux dayas différentes de la région de Laghouat. Mais toutes ces études ont concerné une seule saison, à savoir le printemps. Les communautés fongiques de la phyllosphère ne sont pas stables dans le temps, mais varient en raison des cycles de vie fongiques qui déterminent le moment de la colonisation des feuilles (Jumpponen & Jones 2010). De plus, l'âge des feuilles ainsi que les conditions saisonnières qui peuvent favoriser la croissance ou la production de propagules conduisent à des abondances saisonnières dynamiques

parmi les habitants de la phyllosphère (Hata *et al.* 1998 ; Jumpponen & Jones 2010), d'où l'intérêt de l'approche faite dans cette étude. Cette dernière concerne la variation de la diversité en champignons endophytes au niveau de la feuille de *Pistacia atlantica* de la daya de Aiat (Laghouat, Algérie), pour des saisons et des années différentes. Il s'agit des printemps 2013 et 2016, et des automnes 2015 et 2016.

## Matériel et méthodes

### Site d'étude

La région de Laghouat est située à 400 km au sud d'Alger sur l'axe routier Alger-Ghardaia. Notre station d'étude, la daya de Aiat, dans la région de Timzerth, est située au sud de la ville de Laghouat. Sur le plan bioclimatique, la zone d'étude se place dans l'étage aride, avec une saison sèche de 11 mois par an (Limane *et al.* 2014). Les dayas sont des dépressions fermées de l'ordre métrique à kilométrique, où s'accumulent les eaux de ruissellement (Pouget 1980). La daya échantillonnée est un milieu diversifié et riche, malgré sa surface relativement réduite, avec 28 espèces végétales retrouvées au total. Seize (36,36 %) sont des espèces méditerranéennes. Il y a lieu de noter la présence de *P. atlantica* et *Ziziphus lotus*, qui appartiennent au groupe d'espèces localement liées à un appoint d'eau par ruissellement. Huit espèces seulement appartiennent aux groupes éco-floristiques d'espèces indicatrices des steppes du nord de l'Afrique. Six espèces recensées appartiennent au groupe psammophile lié aux sables grossiers plus ou moins fixés. Six des espèces recensées font partie du groupe rudéral lié au surpâturage prolongé. La daya de Aiat a été labourée sur les côtés sud et ouest pour une culture céréalière, ce qui explique la présence de *Hordeum vulgare* (Abrous & Hamouchi 2012).

L'échantillonnage des feuilles de pistachier de l'Atlas a été réalisé au mois d'avril pour les printemps 2013 et 2016 et au mois d'octobre pour les automnes 2015 et 2016. Une comparaison des données de température montre une différence des températures moyennes annuelles, minimales et moyennes maximales 2013, 2015 et 2016, mais aussi entre les mois pendant lesquels l'échantillonnage a été fait (tableau 1). Il y a lieu de noter une

**Tableau 1 – Caractéristiques climatiques de Laghouat pendant les mois d'échantillonnage (ONM Alger).****Table 1 – Climatic characteristics of Laghouat during the sampling months (ONM Alger).**

Caractéristiques climatiques	Avril 2013	Avril 2016	Octobre 2015	Octobre 2016
T (°C)	18,3	20,1	20,8	22,2
m (°C)	11,2	12,5	14,3	15,6
M (°C)	25,4	27,7	27,3	28,7
P (mm)	0,8	1,7	0,9	5,0

T : moyenne des températures mensuelles (°C) ; m : moyenne des températures minimales du mois (°C) ; M : moyenne des températures maximales du mois (°C) ; P : précipitations mensuelles (mm).

augmentation des températures moyennes minimales de 2013 à 2016, 12,6 °C et 13,3 °C respectivement. Le total des précipitations aussi est différent pour les trois années considérées. Il est de 88,8 mm pour l'année 2013, 42,6 mm pour l'année 2015 et 36,2 mm pour l'année 2016.

### Matériel végétal

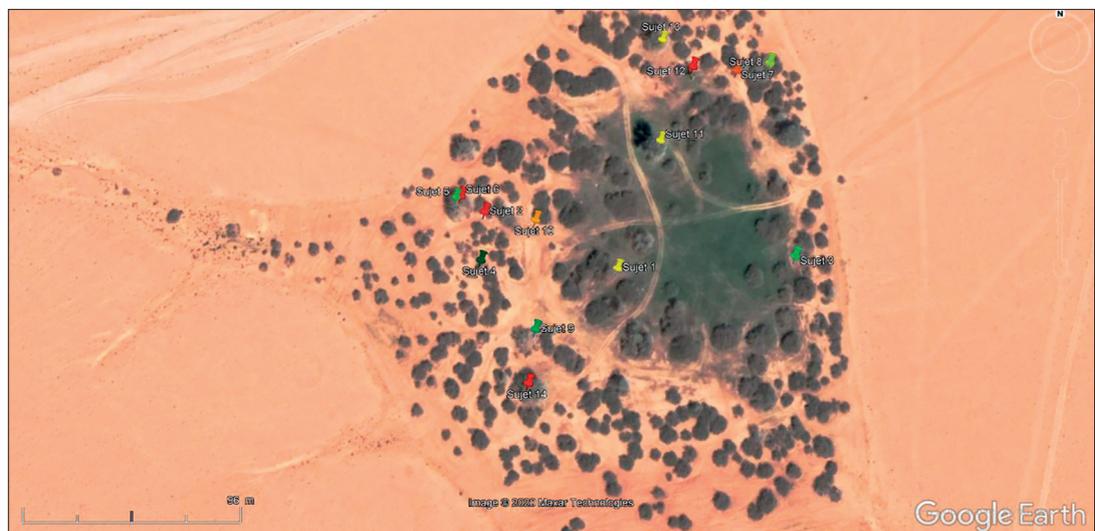
L'échantillonnage des feuilles s'est porté sur quatorze individus les plus accessibles, choisis de manière subjective. Ce sont les mêmes sujets qui ont été échantillonnés pour les quatre saisons considérées. Le choix a concerné des individus d'âges et de sexes différents (4 jeunes, 6 moyens et 4 âgés, mâles et femelles) et en bon état phytosanitaire. Les sujets immatures sont petits, n'ont pas encore de fleurs et sont complètement entourés de *Z. lotus*. Pour les sujets moyens, le sexe est

déterminé (5, 7 et 8 sont des sujets femelles, 6, 9 et 10 sont des sujets mâles) et la hauteur est plus importante. Ils sont toujours entourés de *Z. lotus*, mais d'une manière très éparse. Les sujets âgés (11, 12, 13 et 14) sont tous mâles et sont les plus importants en taille ; ils n'ont plus de *Z. lotus* autour (figure 1). Pour chaque individu, 20 feuilles sont récoltées tout autour de l'arbre par saison, pour réduire la variabilité individuelle. Une fois récoltées, les feuilles doivent être maintenues à l'état frais, elles sont ainsi mises dans des sacs en papier et transportées ensuite dans une glacière au laboratoire pour limiter le délai entre la récolte des feuilles et le début des mises en culture au laboratoire (24 à 36 heures au maximum).

### Isolement de champignons endophytes

#### Stérilisation superficielle

Le but de la stérilisation superficielle est d'éliminer les organismes épiphytes, qui demeurent au niveau du phylloplan. Pour cela, nous avons adopté le protocole de Helander *et al.* (1994). Vingt feuilles saines par individu sont mises en culture. Ces dernières ont subi un traitement à l'éthanol 95 % pour une durée de 2 minutes, un rinçage à l'eau distillée stérilisée, un traitement à l'eau de Javel pour une durée de 3 minutes, un 2<sup>e</sup> rinçage à l'eau distillée stérilisée, un 2<sup>e</sup> traitement à l'éthanol 95 % pour une durée de 30 secondes et enfin un 3<sup>e</sup> rinçage à l'eau distillée stérilisée.



**Figure 1 – Sujets échantillonnés au niveau de la daya de Aiat.**  
**Figure 1 – Subjects sampled at the daya from Aiat.**

## Mise en culture

Une fois stérilisées, les feuilles sont séchées en utilisant du papier buvard stérile. Elles sont ensuite coupées en fragments (0,5-1 cm), à l'aide d'un bistouri stérilisé, en évitant la foliole terminale. Les fragments de folioles (généralement au nombre de cinq) obtenus sont ensemencés sur un milieu de culture PDA, à raison de 5 explants/boîte de Petri. Par saison, 1 400 fragments (280 feuilles/individu) ont ainsi été mis en culture. Au total, 5 600 explants sont répartis sur le milieu de culture. Toutes ces manipulations se font entre deux bacs Bunsen sous une hotte. Les désinfectants (eau savonneuse, hypochlorite de sodium et alcool) sont utilisés pour éviter les risques de contamination venant de l'extérieur. L'incubation s'effectue à température ambiante pendant deux mois.

## Identification

### Identification macroscopique

Les caractères morpho-culturels sur un milieu de culture solide sont étudiés (couleur, contours, relief, consistance, transparence, aspect de la surface et taille).

### 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 ou basides sont identifiés. Les spores, ainsi que leurs dispositions (solitaire, chaîne, bouquet) sont observées. À l'aide de la clé de détermination de Tabuc (2007), une identification de 100 % des isolats a été faite jusqu'au genre.

## Analyses des données

Afin d'estimer la diversité fongique, les abondances des différents genres fongiques recensés ont été calculées suivant cette formule (Sudheep & Sridhar 2012).

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

avec :

A : abondance des genres ;

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

Nt : ensemble des répétitions d'un sujet ayant fructifié par rapport à l'ensemble des boîtes considérées.

Les abondances des genres identifiés pour les différentes saisons sont comparées entre elles. Des ANOVA et des tests de comparaison de moyennes concernant ces abondances ont été réalisés, pour faire apparaître d'éventuelles différences significatives entre les genres de champignons endophytes identifiés au niveau de la feuille de *P. atlantica* pour les saisons concernées. Une analyse en composantes principales (ACP) est faite en vue de mettre en évidence la distribution spatiale des différents genres de mycoendophytes chez les individus échantillonnés, en fonction des saisons d'échantillonnage et cela grâce au logiciel Stat Box 6.40. Une matrice de corrélation a été aussi réalisée, pour montrer les différentes corrélations existantes entre les différents genres de champignons endophytes identifiés.

## Résultats

Plusieurs genres fongiques sont répertoriés comme mycoendophytes des feuilles de *P. atlantica*. Des différences d'abondance sont notées selon les saisons échantillonnées (tableau 2). Ces dernières apparaissent significatives entre les saisons pour les genres suivants : *Aspergillus* (P = 0,03), *Cladosporium* (P = 0,00), *Epicoccum* (P = 0,00), *Monilia* (P = 0,03), *Penicillium* (P = 0,01), *Phoma* (P = 0,03), *Rhizoctonia* (P = 0,03), *Rhizopus* (P = 0,00), *Rhodotorula* (P = 0,00), *Scopulariopsis* (P = 0,00), *Trichophyton* (P = 0,00) et *Xylaria* (P = 0,03).

Le genre *Aspergillus* est recensé pour les quatre périodes d'échantillonnage et son abondance augmente au fil des années de manière significative. Selon le test de comparaison de moyennes, le printemps 2013 (A) et l'automne 2016 (B) se placent dans des groupes à part. L'automne 2015 et le printemps 2016 sont réunis dans le même groupe (AB). Durant le printemps 2013, nous avons noté aussi une forte abondance du genre *Epicoccum*, apparaissant codominant avec *Aspergillus*. Le test de comparaison des moyennes place cette saison, pour ce genre, dans un groupe à part (B). C'est le cas aussi pour le genre *Penicillium* (B), où une présence assez importante est notée durant cette saison. Le printemps 2016 se retrouve dans un autre groupe (AB). Les automnes 2015 et 2016 sont réunis dans le même groupe (A) et se caractérisent par des abondances faibles, voire nulles pour ce genre. Nous avons remarqué

aussi une augmentation des abondances des genres *Cladosporium* et *Trichophyton* et l'installation des genres *Scopulariopsis*, *Rhodotorula*, *Rhizopus* et *Rhizoctonia* pour les années 2015 et 2016. L'abondance du genre *Cladosporium* est plus importante pour l'automne 2015 et le printemps 2016 (B), contrairement au printemps 2013 et à l'automne 2016 (A). *Trichophyton* semble être un genre plus abondant en automne. Mais il y a lieu de noter que pour cette même saison,

son abondance diffère d'une année à une autre. Pour le genre *Rhodotorula*, son abondance augmente pour le printemps 2016 (B). *Scopulariopsis* et *Rhizopus* voient leur fréquence augmenter pour l'automne 2016 (B). Le genre *Rhizoctonia* semble plus abondant pour l'automne 2015 (B). Le genre *Phoma* est présent pour toutes les périodes échantillonnées (tableau 2).

Le plan ½ de l'ACP montre les changements au niveau du cortège de mycoendophytes

**Tableau 2 – Abondance des champignons endophytes en fonction des saisons au niveau de la feuille de *Pistacia atlantica*.**

**Table 2 – Abundance of endophytic fungi according to the seasons at the level of leaf of the *Pistacia atlantica*.**

Genres	Abondance ± ES			
	Printemps 2013	Automne 2015	Printemps 2016	Automne 2016
<i>Acremonium</i>	1,2 ± 1,2	-	-	-
<i>Alternaria</i>	2,4 ± 1,3	2,1 ± 1,2	4,7 ± 1,6	3,4 ± 3,7
<i>Aspergillus</i>	26,3 ± 4,5 <sup>A</sup>	27,6 ± 3,3 <sup>AB</sup>	30,8 ± 3,2 <sup>AB</sup>	42,2 ± 6,3 <sup>B</sup>
<i>Aureobasidium</i>	3,1 ± 1,7	-	0,7 ± 0,5	-
<i>Bipolaris</i>	0,4 ± 0,4	-	-	-
<i>Chaetomium</i>	1,8 ± 0,8	2,1 ± 1,1	0,7 ± 0,3	-
<i>Cladosporium</i>	9,4 ± 2,0 <sup>A</sup>	24,5 ± 3,9 <sup>B</sup>	26,7 ± 3,0 <sup>B</sup>	10,8 ± 2,1 <sup>A</sup>
<i>Cordyceps</i>	0,3 ± 0,3	-	-	-
<i>Curvularia</i>	-	0,6 ± 0,4	-	-
<i>Epicoccum</i>	25,8 ± 5,3 <sup>B</sup>	1,9 ± 0,7 <sup>A</sup>	1,3 ± 0,9 <sup>A</sup>	1,6 ± 0,7 <sup>A</sup>
<i>Exophiala</i>	-	0,4 ± 0,4	-	0,2 ± 0,1
<i>Fusarium</i>	-	-	0,2 ± 0,2	-
<i>Geomyces</i>	-	0,3 ± 0,3	0,5 ± 0,4	-
<i>Geotrichum</i>	1,4 ± 1,0	1,0 ± 0,5	-	0,3 ± 0,2
<i>Monilia</i>	1,4 ± 0,7	-	-	-
<i>Mucor</i>	-	-	-	0,2 ± 0,2
<i>Muscodor</i>	-	1,7 ± 0,4	0,4 ± 0,2	0,1 ± 0,1
<i>Mycocladus</i>	-	0,2 ± 0,2	0,4 ± 0,3	-
<i>Neoscytalidium</i>	0,5 ± 0,5	0,6 ± 0,3	0,2 ± 0,2	-
<i>Nigrospora</i>	0,4 ± 0,4	-	-	-
<i>Penicillium</i>	15,3 ± 5,6 <sup>B</sup>	1,3 ± 0,5 <sup>A</sup>	3,2 ± 1,2 <sup>AB</sup>	- <sup>A</sup>
<i>Phoma</i>	1,9 ± 0,8 <sup>A</sup>	0,6 ± 0,1 <sup>A</sup>	0,2 ± 0,6 <sup>A</sup>	0,1 ± 0,1 <sup>A</sup>
<i>Phomopsis</i>	0,7 ± 0,5	-	1,1 ± 0,6	0,5 ± 0,3
<i>Rachicladospodium</i>	-	0,1 ± 0,1	-	0,1 ± 0,1
<i>Rhizoctonia</i>	0,3 ± 1,2 <sup>A</sup>	2,7 ± 0,9 <sup>B</sup>	0,2 ± 0,2 <sup>A</sup>	0,3 ± 0,2 <sup>A</sup>
<i>Rhizopus</i>	0,2 ± 0,8 <sup>A</sup>	-	0,5 ± 0,5 <sup>A</sup>	11,5 ± 2,1 <sup>B</sup>
<i>Rhodotorula</i>	0,5 ± 0,3 <sup>A</sup>	0,2 ± 0,2 <sup>A</sup>	5,7 ± 1,8 <sup>B</sup>	0,3 ± 0,3 <sup>A</sup>
<i>Scedospodium</i>	0,3 ± 0,3	2,0 ± 0,5	2,2 ± 0,9	0,3 ± 0,2
<i>Scopulariopsis</i>	0,5 ± 0,2 <sup>A</sup>	0,2 ± 0,2 <sup>A</sup>	1,0 ± 0,9 <sup>A</sup>	8,5 ± 1,8 <sup>B</sup>
<i>Scytalidium</i>	-	0,1 ± 0,1	-	0,1 ± 0,1
<i>Trichoderma</i>	-	2,2 ± 0,7	2,9 ± 1,5	0,2 ± 0,2
<i>Trichophyton</i>	3,0 ± 1,6 <sup>A</sup>	32,0 ± 4,4 <sup>C</sup>	10,6 ± 2,1 <sup>AB</sup>	15,9 ± 2,3 <sup>B</sup>
<i>Ulocladium</i>	0,2 ± 0,2	-	1,3 ± 2,5	-
<i>Xylaria</i>	1,3 ± 0,7	-	-	-

ES : erreur standard ; - : absent des cultures.  
Les lettres majuscules différentes pour une même ligne correspondent à des groupes selon le test de Newman et Keuls.

entre les saisons échantillonnées. Ce dernier explique 83 % du phénomène, avec pour l'axe 1, 55 % et pour l'axe 2, 29 % de l'inertie totale. Deux groupes semblent s'individualiser. Le premier concerne les individus échantillonnés pendant le printemps 2013 (P13), avec une présence des genres *Epicoccum*, *Penicillium*, *Monilia*, *Phoma* et *Xylaria*. Pour cette saison, le genre *Aspergillus* montre une abondance moins importante par rapport aux saisons précédentes. *Epicoccum* est co-dominant avec *Aspergillus*. La matrice de corrélation montre des interactions positives et fortes entre les genres recensés lors de cette saison (tableau 3). Le deuxième groupe comporte les genres recensés à l'automne 2015 (A15), au printemps 2016 (P16) et à l'automne 2016 (A16), avec une dominance du genre *Aspergillus*, associé à *Cladosporium*, *Trichophyton*, *Scopulariopsis*, *Rhizopus*, *Rhizoctonia* et *Rhodotorula*. Ce sont les interactions positives et fortes entre *Aspergillus*, *Scopulariopsis* et *Rhizopus* qui conditionnent ce groupe (figure 2). L'augmentation des températures minimales et la diminution des précipitations entre les années 2013, 2015 et 2016 semblent provoquer des changements dans les abondances de certains genres fongiques. Les genres dominants au printemps 2013 apparaissent sensibles à ces changements de conditions climatiques. La forte interaction positive entre ces derniers implique la diminution de leur fréquence. Les genres fongiques recensés

lors du printemps 2016 apparaissent semblables à ceux retrouvés à l'automne 2015. Les conditions climatiques sont en effet semblables pour les mois d'échantillonnage (octobre 2015 et avril 2016). L'automne 2016 s'individualise par des genres fongiques qui voient leur fréquence augmenter pour cette saison. Il y a lieu de noter que les conditions climatiques sont plus rudes (tableau 1).

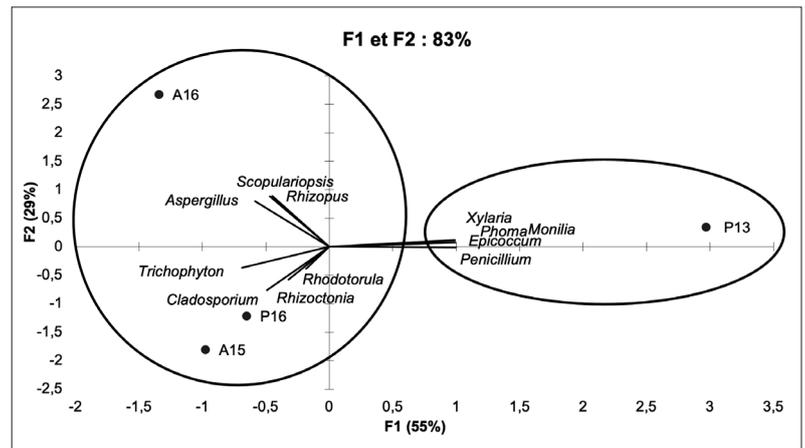


Figure 2 – Répartition des différents genres de champignons endophytes identifiés au niveau de la feuille de *Pistacia atlantica* selon les saisons d'échantillonnage.

Figure 2 – Distribution of the different genera of endophytic fungi identified on the *Pistacia atlantica* leaf according to the sampling seasons.

Tableau 3 – Matrice de corrélation de Pearson.  
Table 3 – Pearson correlation matrix.

	<i>Aspergillus</i>	<i>Cladosporium</i>	<i>Epicoccum</i>	<i>Monilia</i>	<i>Penicillium</i>	<i>Phoma</i>	<i>Rhizoctonia</i>	<i>Rhizopus</i>	<i>Rhodotorula</i>	<i>Scopulariopsis</i>	<i>Trichophyton</i>	<i>Xylaria</i>
<i>Aspergillus</i>	1											
<i>Cladosporium</i>	-0,27	1										
<i>Epicoccum</i>	-0,50	-0,61	1									
<i>Monilia</i>	-0,50	-0,61	<b>1,00</b>	1								
<i>Penicillium</i>	-0,59	-0,46	<b>0,98</b>	<b>0,98</b>	1							
<i>Phoma</i>	-0,53	-0,56	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>0,99</b>	1						
<i>Rhizoctonia</i>	-0,37	0,28	-0,31	-0,32	-0,34	-0,34	1					
<i>Rhizopus</i>	0,97	-0,47	-0,34	-0,34	-0,46	-0,38	-0,34	1				
<i>Rhodotorula</i>	-0,09	0,77	-0,31	-0,30	-0,14	-0,25	-0,40	-0,30	1			
<i>Scopulariopsis</i>	0,98	-0,45	-0,36	-0,36	-0,48	-0,40	-0,34	<b>1,00</b>	-0,28	1		
<i>Trichophyton</i>	0,03	0,35	-0,66	-0,67	-0,71	-0,69	0,90	0,00	-0,30	0,02	1	
<i>Xylaria</i>	-0,50	-0,61	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>0,98</b>	<b>1,00</b>	-0,32	-0,34	-0,30	-0,36	-0,67	1

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

## Discussion

Divers genres de mycoendophytes sont recensés au niveau des feuilles du pistachier de l'Atlas. Il est connu que le facteur saison détermine la composition des assemblages de champignons chez plusieurs espèces végétales, se développant dans des zones tempérées (Carroll & Carroll 1978 ; Collado *et al.* 1999) ou tropicales (Rodrigues 1994). L'influence du facteur saison sur les assemblages des mycoendophytes foliaires est visible chez le pistachier de l'Atlas. Certains genres semblent caractéristiques du printemps et d'autres de l'automne. Mais les années durant lesquelles nous avons réalisé notre échantillonnage présentent des conditions météorologiques différentes. L'année 2013 se distingue par des précipitations plus importantes que 2015 et 2016. Il y a lieu de noter aussi l'augmentation en 2015 et 2016 des températures moyennes minimales. La présence, mais aussi l'abondance de ces genres fongiques semblent différentes, en réaction à ces changements des paramètres climatiques. Durant toutes les saisons d'échantillonnage, le cortège microbien semble être dominé par le genre *Aspergillus*, dont l'abondance augmente avec ces changements. Les espèces recensées de ce genre sont parmi les champignons pigmentés. Les pigments produits (mélanine et caroténoïdes) pourraient fournir une protection contre les ultraviolets pour la plante (Gupta *et al.* 2015). Les travaux de Sangamesh *et al.* (2018) ont montré qu'*Aspergillus* s'est avéré être aussi un genre fongique tolérant à une température élevée. Il est probable que les plantes poussant dans des habitats extrêmes abritent les *Aspergillus* profondément pigmentés, en tant que stratégie d'adaptation aux environnements thermophiles. Il est bien connu que la teneur en mélanine augmente lorsque la température est élevée chez les micro-organismes (Cockell & Knowland 1999). Les *Aspergillus* ont une large répartition géographique, mais sont plus souvent associés aux régions à climat chaud (Tabuc 2007). Ce sont des champignons xérophiles, largement distribués dans la nature. Ils sont connus pour leur capacité à croître sur des substrats à faible activité hydrique. Plus important encore, ces organismes libèrent de l'eau métabolique au cours de leur croissance sur des substrats secs et créent ainsi des conditions favorables pour des champignons moins xérophiles (Hubka *et al.* 2013). Plusieurs souches telles qu'*Aspergillus niger*, *A. flavus*

et *Rhizopus stolonifer* sont capables de produire des hormones phytoestimulantes, comme l'acide abscissique (ABA) (Waqas *et al.* 2012 ; Asaf *et al.* 2018). Dans les stress abiotiques, l'effet protecteur de l'ABA est essentiel pour la croissance des plantes, car il favorise la fermeture stomatique, afin de minimiser les pertes en eau et atténuer les dommages causés par le stress (Khan *et al.* 2011). Il faut toutefois remarquer que l'effet antitranspirant de l'ABA n'est pas bénéfique dans le temps pour la plante, puisque la fermeture des stomates a pour conséquence une diminution des échanges gazeux, entraînant une réduction du rendement de la photosynthèse. Dans ce cas, les champignons endophytes peuvent prendre le relais. En effet, ils ont la capacité de libérer les gibbérellines qu'ils synthétisent (Khan *et al.* 2013 ; Nicoletti *et al.* 2014) et qui peuvent ainsi réguler divers processus de développement des plantes, notamment la croissance des tiges et des feuilles, l'initiation florale et la croissance des fleurs et des fruits (King & Evans 2003 ; Davies 2010 ; Asaf *et al.* 2018). Les gibbérellines favorisent également d'autres processus physiologiques chez les plantes, telles que la croissance des racines et le développement des poils absorbants et retardent également la sénescence de nombreux organes chez diverses espèces de plantes (Asaf *et al.* 2018). Cela peut expliquer l'augmentation des abondances des genres *Aspergillus* et *Rhizopus* avec les augmentations des températures et des déficits hydriques. L'une de ces gibbérellines bioactives est l'acide gibbérellique, souvent appelé GA3. Certaines souches fongiques sont capables de produire de plus grandes quantités de GA3 que les plantes (Hedden *et al.* 2001 ; Leitão & Enguita 2016). *Cladosporium sphaerospermum* isolé des racines de *Glycine max* (L.) Merr. a montré une synthèse de quantités importantes de GA3, GA4 et GA7 bioactifs, qui ont induit une croissance maximale des plants de différentes variétés de riz et de soja (Hamayun *et al.* 2009 ; Mishra *et al.* 2014). Ces résultats peuvent expliquer l'augmentation des fréquences du genre *Cladosporium* avec une forte abondance pendant l'automne 2015 et le printemps 2016.

*Epicoccum* est aussi un genre mélanisé. Mais il y a lieu de noter qu'il décline au fil des saisons échantillonnées. Cela est en corrélation avec la disparition du genre *Penicillium*, qui apparaît sensible aux augmentations des températures minimales et à la diminution des précipitations pour les années 2015 et 2016.

Pourtant, le rôle de ce genre fongique n'est pas négligeable, lors de l'interaction avec la plante hôte. À titre d'exemple, *E. nigrum* est capable d'augmenter la biomasse du système racinaire et de produire des composés qui inhibent la croissance *in vitro* des pathogènes, tels *Fusarium*, *Colletotrichum* et *Monilia* (Fávaro *et al.* 2012). L'épicolactone isolée d'*E. nigrum* a une activité antifongique et peut induire la croissance des racines (Mielnichuk & Lopez 2007 ; Elkhateeb & Daba 2019).

Au vu de l'augmentation des températures moyennes annuelles, mais aussi des valeurs minimales et maximales des mois de prélèvement, on peut se questionner sur le poids du changement climatique local dans la disparition des représentants de certains genres comme *Xylaria* et *Monilia*, qui n'ont été identifiés qu'en 2013. Les précipitations et l'humidité sont les facteurs clés de la structure des mycoendophytes, façonnant les communautés en raison de leur importance pour la dispersion des spores et la colonisation (Rastogi *et al.* 2013 ; Vacher *et al.* 2016 ; Gomes *et al.* 2018 ; Materatski *et al.* 2019).

## Remerciements

Nous remercions vivement le personnel de la conservation des forêts de Laghouat et plus spécialement M. le Conservateur, Kedari Ahmed *et al.* qui nous ont accompagnés durant toutes les saisons d'échantillonnage. Nous tenons à remercier l'ONM d'Alger pour les données climatiques et la Direction générale de la Recherche scientifique et du Développement technologique (DGRSDT) pour son soutien financier.

## Bibliographie

Abrous, A.M.S. & Hamouchi, N. (2012). *Contribution à la connaissance de la biodiversité des dayas à pistachier de l'Atlas. Cas de la daya de Timzerth (Wilaya de Laghouat)*. Mémoire d'ingénieur en sciences agronomiques. Université Mouloud Maameri. Tizi-Ouzou. Algérie, 140 p.

Asaf, L.S., Hamayuna, M., Gula, H., Leec, I.J. & Hussain, A. (2018). *Aspergillus niger* CSR3 regulates plant endogenous hormones and secondary metabolites by producing gibberellins and indole acetic acid. *Journal of Plant Interaction*, 13(1), 100-111.

Benfoddil, O. (2015). *Inventaire des champignons endophytes des feuilles de Pistacia atlantica Desf. de Dayate El Gouffa (Laghouat, Algérie)*. Mémoire

de magister de l'Université de Tizi Ouzou (Algérie), 171 p.

Brosi, G.B., McCulley, R.L., Bush, L.P., Nelson, J.A., Classen, A.T. & Norby, R.J. (2010). Effects of multiple climate change factors on the tall fescue-fungal endophyte symbiosis: infection frequency and tissue chemistry. *New Phytologist* 189, 797-805.

Carroll, G.C. & Carroll, F.E. (1978). Studies on the incidence of coniferous needle endophytes in the Pacific Northwest. *Can. J. Bot.* 56, 3034-3043.

Cockell, C.S. & Knowland, J. (1999). Ultraviolet radiation screening compounds. *Biol. Rev.* 74(3), 311-345.

Collado, J., Platas, G., Gonzalez, I. & Pelaez, F. (1999). Geographical and seasonal influences on the distribution of fungal endophytes in *Quercus ilex*. *New Phytol.* 144, 525-532.

Davies, P.J. (2010). The plant hormones: Their nature, occurrence, and functions. In: Davies P.J. (eds) *Plant Hormones*. Springer, Dordrecht, pp. 1-15.

Elkhateeb, W.A. & Daba, G.M. (2019). *Epicoccum* species as potent factories for the production of compounds of industrial, medical, and biological control applications. *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research*. 14 (3), 2574-1241.

Fávaro, L.C.d.L., Sebastianes, F.L.d.S. & Araújo W.L. (2012). *Epicoccum nigrum* P16, a sugarcane endophyte, produces antifungal compounds and induces root growth. *PLoS ONE* 7(6), e36826.

Gomes, T., Pereira, J.A., Benhadi, J. & Lino-Neto, T. (2018). Endophytic and epiphytic phyllosphere fungal communities are shaped by different environmental factors in a Mediterranean ecosystem. *Microb. Ecol.* 76(3), 668-679.

Gupta, V.K., Sreenivasaprasad, S. & Mach, R.L. (2015). *Fungal biomolecules: Sources, applications and recent developments*. Wiley Blackwell, India. 543 p.

Hamayun, M., Khan, S.A., Ahmed N., Tang, D.S. & Sang, M.O.K. (2009). *Cladosporium sphaerospermum* as a new plant growth-promoting endophyte from the roots of *Glycine max* (L.) Merr. *World J. Microb. Biot.* 25, 627-632.

Hata, K., Futai, K. & Tsuda, M. (1998). Seasonal and needle age-dependent changes of the endophytic mycobiota in *Pinus thunbergii* and *Pinus densiflora* needles. *Can. J. Bot.* 76, 245-250.

Hedden, P., Phillips, A.L., Rojas, M.C., Carrera, E. & Tudzynski B. (2001). Gibberellin biosynthesis in plants and fungi: A case of convergent evolution. *Journal Plant Growth Regulation*. 20(4), 319-331.

Helander, M.L., Sieber, T.N., Petrini, O. & Neuvonen, S. (1994). Endophytic fungi in Scot's pine needles: Spatial variation and consequences of simulated acid rain. *Can. J. Bot.* 72, 1108-1113.

Hubka, V., Kolarik, M., Kubatova, A. & Peterson, S.W. (2013). Taxonomic revision of *Eurotium* and transfer of species to *Aspergillus*. *Mycologia* 105(4), 912-937.

Jumpponen, A. & Jones, K.L. (2010). Seasonally dynamic fungal communities in the *Quercus macrocarpa* phyllosphere differ between urban and nonurban environments. *New Phytol.* 186, 496-513.

Khan, A.L., Hamayun, M., Nadeem, A.N., Javid, H., Sang, M.o., Kang, S.M., Yoon-Ha, K., Muhammad, A., Dong-Sheng, T., Waqas, M., Ramalingam, R., Young-Hyun, H. & In-Jung, L. (2011). Salinity stress resistance offered by endophytic fungal interaction between *Penicillium minioluteum* LHL09 and *Glycine max*. *J. Microb. Biot.* 21(9), 893-902.

- Khan, A.L., Hussain, J., Al-Harrasi, A., Al-Rawahi, A. & Lee, I.J. (2013). Endophytic fungi: Resource for gibberellins and crop abiotic stress resistance. *Crit. Rev. Biotechnol.* 35(1), 62-74.
- King, R.W. & Evans, L.T. (2003). Gibberellins and flowering of grasses and cereals: Prizing open the lid of the "florigen" black box. *Annu. Rev. Plant Biol.* 54(1), 307-328.
- Leitão, A.L. & Enguita, F.J. (2016). Gibberellins in *Penicillium* strains: Challenges for endophyte-plant host interactions under salinity. *Microbiol. Res.* 183, 8-18.
- Limane, A., Smail-Saadoun, N., Belkebir-Boukais, A. & Kissoum-Hamdimi, K. (2014). Root architecture adaptation of *Pistacia atlantica* subsp. *atlantica* according to an increasing climatic and edaphic gradient: Case of a north-south transect in Algeria. *Turk. J. Bot.* 38, 536-549.
- Materatski, P., Varanda, C., Carvalho, T., Dias, A.B., M., Campos, D., Rei, F. & Felix, M.D.R. (2019). Spatial and temporal variation of fungal endophytic richness and diversity associated to the phyllosphere of olive cultivars. *Fungal Biol-uk* 123, 66-76.
- Mielnichuk, N. & Lopez, S.E. (2007). Interaction between *Epicoccum purpurascens* and xylophagous basidiomycetes on wood blocks. *Forest Pathol.* 37, 236-242.
- Mishra, Y., Singh, A., Batra, A. & Sharma, M.M. (2014). Understanding the biodiversity and biological applications of endophytic fungi: A Review. *Microbial & Biochemical Technology*, 1948-5948. <http://dx.doi.org/10.4172/1948-5948.S8-004>.
- Nicoletti, R., Fiorentino, A. & Scognamiglio, M. (2014). Endophytism of *Penicillium* species in woody plants. *The Open Mycology Journal.* 8, 1-26
- Petrini, O., Sieber T.N., Toti, L. & Viret, O. (1992). Ecology, metabolite production and substrate utilization in endophytic fungi. *Nat. Toxins.* 1, 185-196.
- Pouget M., 1980. *Les relations sol-végétation dans les steppes sud-algéroises*. Travaux et documents de l'ORSTOM, ORSTOM, Paris.
- Rampadarath, S., Puchooa, D., Jeewon, R. & Bandhoa, K. (2018). Diversity seasonal variation and antibacterial activity of endophytic fungi associated with the genus *Jatropha* in Mauritius. *Journal of Biotechnology & Biomaterials.* 8(1).
- Rastogi, G., Coaker, G.L. & Leveau, J.H.J. (2013). New insights into the structure and function of phyllosphere microbiota through high-throughput molecular approaches. *FEMS Microbiol. Lett.* 348(1), 1-10.
- Rodrigues, K.F. (1994). The foliar fungal endophytes of the Amazonian palm *Euterpe oleracea*. *Mycologia* 86, 376-385.
- Sangamesh, M.B., Jambagi, S., Vasanthakumari, M.M., Shetty, N.J., Kolte, H.G., Ravikanth, G., Nataraja, K.N. & Shaanker, U. (2018). Thermotolerance of fungal endophytes isolated from plants adapted to the Thar Desert, India. *Symbiosis* 75, 135-147.
- Satpute S.B. & Vanmare D.J. (2018). Qualitative and quantitative variation in phyllosphere mycoflora of *Hamelia patens* Jacq. *Journal of Medicinal Plants Studies* 6(1), 31-33.
- Sudheep, N.M. & Sridhar, K.R. (2012). Non-mycorrhizal fungal endophytes in two orchids of Kaiga forest (Western Ghats), India. *J. Forestry Res.* 23(3), 453.
- Tabuc, C., (2007). *Flore fongique de différents substrats et conditions optimales de production des mycotoxines*. Thèse de doctorat de l'Institut national polytechnique de Toulouse (France), 190 p.
- Vacher, C., Hamp, A., Porte, A.J., Sauer, U., Compant, S. & Morris, C.E. (2016). The phyllosphere: Microbial jungle at the plant-climate interface. *The Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 47, 1-24.
- Waqas, M., Khan, A.L., Kamran, M., Hamayun, M., Kang, S.M., Kim, Y.H. & Lee, I.J. (2012). Endophytic fungi produce gibberellins and indoleacetic acid and promotes host-plant growth during stress. *Molecules* 17, 10754-10773.
- Zareb, A., Lehadi, L., Rezki-Sekhi, L., Boubrima, A. & Smaïl-Saadoun, N. (2018). Contribution à la recherche de mycoendophytes foliaires chez *Pistacia atlantica* Desf. de dayate Saadi (Hassi Delaa, Laghouat, Algérie). *Revue Agrobiologia* 8(2), 1021-1026.
- Zareb, A., Smail-Saadoun, N. & Rezki-Sekhi, L. (2016). Endophytic fungi of leaf of Atlas pistachio of Dayate Aiat (Laghouat, Algeria). *Proceeding of Option Méditerranéenne, XV, Grempe Meeting on Almonds and Pistachios* A. 119, 155-158.

## **Références bibliographiques**

## Références bibliographiques

- 1- Abdous O., 2010. Approche de l'adaptation de l'architecture racinaire du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf) à la sécheresse : cas des populations de Theniet El Had (Tissemsilt) et de la daya de Tilhremt (Laghouat). Mémoire d'ingénieur Agronome, Département des Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri, Tizi Ouzou. 132 p.
- 2- Abo Nouh F.A., 2019. Endophytic fungi for sustainable agriculture. *Microbial Biosystems* 4(1) : 31–44.
- 3- Abrous A.M.S. et Hamouchi N., 2012. Contribution à la connaissance de la biodiversité des dayas à pistachier de l'Atlas : cas de la daya de Timzerth (Wilaya de Laghouat). Mémoire d'ingénieur en Sciences Agronomiques. Université Mouloud MAAMERI, Tizi-Ouzou. Algérie. 140p.
- 4- Agrios G.N., 2005. in plant diseases caused by fungi. *Plant Pathology* (Fifth Edition).
- 5- Ahmad, N., Hamayun M., Khan S. A., Khan A.L., Lee I. J., et Shin D. H., 2010. Gibberellin-producing endophytic fungi isolated from *Monochoria vaginalis*. *J. Microbiol. Biotechnol* 20 : 1744-1749.
- 6- Ait Said S., 2011. Stratégies adaptatives de deux espèces du genre *Pistacia* (*P. lentiscus* L. et *P. atlantica* Desf.) aux conditions d'altitude, de salinité et d'aridité : approches morpho-anatomiques, phytochimiques et ecophysiologiques. Doctorat en Sciences biologiques. Option : Biologie Végétale. Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie. 180p.
- 7- Ait Slimane L., 2004. Architecture racinaire et adaptation du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf. subsp. *atlantica*) à la sécheresse : cas de la population de Béni Ounif (Wilaya de Béchar). Mémoire d'ingénieur Agronome. Département des Sciences Agronomiques. Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques. Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, Algérie. 107 p
- 8- Ajayi-Oyetunde O. O., et Bradley C. A., 2018. *Rhizoctonia solani*: taxonomy, population biology and management of rhizoctonia seedling disease of soybean; *Plant Pathology* 67: 3–17.

- 9- Albrechtsen, B.R., Björkén, L., Varad, A., Hagner, Å., Wedin, M., Karlsson, J., et Jansson, S., 2010. Endophytic fungi in European aspen (*Populus tremula*) leaves-diversity, detection, and a suggested correlation with herbivory resistance. *Fungal Diversity* 41 :17–28.
- 10- Ali, A. H., Radwan, U., El-Zayat, S. et El-Sayed, M. A. 2018., Desert Plant-Fungal Endophytic Association : The Beneficial Aspects to their Hosts. *Biological Forum - An International Journal* 10 (1): 138-145.
- 11- Aly, A.H., Debbab, A., Kjer, J., et Proksch, P., 2010. Fungal endophytes from higher plants: a prolific source of phytochemicals and other bioactive natural products. *Fungal Diversity* 41 :1–16.
- 12- Alyafi J., 1979. Approches systématiques et écologiques du genre *Pistacia* dans la région méditerranéenne. Thèse de 3<sup>e</sup> cycle. Faculté des sciences et techniques de St.-Jerome, Marseille, France.
- 13- Amara M., 2014. Contribution à l'étude des groupements à *Pistacia atlantica* subsp. *atlantica* dans le Nord-Ouest algérien. Thèse de doctorat, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, Algérie. 214 p.
- 14- Amghar F. et Kadi-Hanifi., 2002. Effet du pâturage sur la biodiversité du sol dans cinq stations d'Alfa au sud algérois. U.S.T.H.B.
- 15- Amroun R., 2013. Caractérisation des propriétés physiques et chimiques des sols sous pistachier l'Atlas dans la daya de Timzerth (Wilaya de Laghouat). Mémoire d'ingénieur Agronome. Département des Sciences Agronomiques. Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques. Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, Algérie.
- 16- Andriamialiharisoa R.F., 2011. Metabolites secondaires particuliers des feuilles de cinq populations de *mascarocoffea* et des endophytes des feuilles de *Coffea sp* A315. Mémoire pour l'obtention du diplôme d'études approfondies en Sciences de La Vie. Option : Biotechnologie et Microbiologie. Université D'antananarivo. 103p.
- 17- Anonyme a, 2010. Secteur agricole, wilaya de Laghouat, 11 p.
- 18- Ansari S.H., Ali, M., et Quadry, J.S., 1993. Tree new tetracyclic triterpenoids from *Pistacia integerrima* galls. *Pharmazie* 49 : 356-357.

- 18- Ansari, M.W., Trivedi, D.K., Sahoo, R.K., Gill, S.S., et Tuteja, N., 2013. A critical review on fungi mediated plant responses with special emphasis to *Piriformospora indica* on improved production and protection of crops. *Plant Physiol Biochem* 70:403–410.
- 19- Araujo, W., Marcon, J., Maccheroni, W.J., Van Elsas, J., Van Vuurde, J. et Azevedo, J., 2002. Diversity of endophytic bacterial populations and their interaction with *Xylella Fastidiosa* in citrus plants. *Appl. Environ. Microbiol* 68: 4906-4914.
- 20- Arnold A.E., 2007. Understanding the diversity of foliar fungal endophytes: progress, challenges, and frontiers. *Fungal Biol Rev* 21:51-66.
- 21- Arnold A.E., et Lutzoni, F., 2007. Diversity and host range of foliar fungal endophytes: are tropical leaves biodiversity hotspots? *Ecology* 88(3): 541-549
- 22- Arnold, A.E., Maynard, Z., et Gilbert, G.S., 2001. Fungal endophytes in dicotyledonous neotropical trees: patterns of abundance and diversity. *Mycol. Res* 12: 1502-1507.
- 23- Arnold, A.E., Mejia, L.C., Kyllö, D., Rojas, E.I., Maynard, Z., Robbins, N., et Herre, E.A., 2003. Fungal endophytes limit pathogen damage in a tropical tree. *Proc Natl Acad Sci USA* 100: 15649–15654.
- 24- Aruna, A., Abhinash, M., Parvathi, D., et Krishna Reddy, V., 2018. Ecological and seasonal variation in the occurrence of endophytic fungi associated with *Calotropis gigantea*. *International Journal of Current Research in Life Sciences* 07(02): 1152-1157.
- 25- Asaf, L. S., Hamayuna, M., Gula, H., Leec, I.J. et Hussaina, A., 2018. *Aspergillus niger* CSR3 regulates plant endogenous hormones and secondary metabolites by producing gibberellins and indole acetic acid. *Journal of Plant Interactions* 13(1) : 100-111.
- 26- Audenaert, K., De Meyer, G.B. et Höfte, M.M., 2002. Abscisic acid determines basal susceptibility of tomato to *Botrytis cinerea* and suppresses salicylic acid-dependent signaling mechanisms. *Plant Physiol* 128 (2):491–501.
- 27- Azevedo, J.L., Walter, M.J. et Pereira, JO., 2000. Endophytic microorganisms: a review on insect control and recent advances on tropical plants. *Electron J Biotechnol* 3:40-65.
- 28- Bagnouls, F. et Gaussen, H., 1953. Saison sèche et indice xérothermique. *Bull Soc Hist Nat Toulouse* 88: 193-239.
- 29- Balbi, V., et Devoto, A., 2007. Jasmonate signaling network in *Arabidopsis thaliana*: Crucial regulatory nodes and new physiological scenarios. *New Phytol* 177: 301–318.

- 30- Baraban, E.G., Morin, J.B., Phillips, G.M., Phillips, A.J., Strobel, S.A., et Handelsman, J., 2013. Xyolide, a bioactive nonenolide from an Amazonian endophytic fungus, *Xylaria feejeensis*. *Tetrahedron Letters* 54:4058–4060.
- 31- Barrow, J.R., et Aaltonen, R.E., 2001. Evaluation of the internal colonization of *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt. roots by dark septate fungi and the influence of host physiological activity *Mycorrhiza* 11:199–205.
- 32- Bateman, G.L., et Murray, G., 2001. Seasonal variations in populations of *Fusarium* species in wheat-field soil. *Appl. Soil Ecol* 18 (2):117–128.
- 33- Belhadj, S., 2007. Etude eco-botanique de *Pistacia atlantica* Desf. (*Anacardiaceae*) en Algérie, préalable à la conservation des ressources génétiques de l'espèce et à sa valorisation. Thèse de doctorat en sciences Agronomiques, option : écologie végétale de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou. 177p.
- 34- Belhadj, S., Derridj, A., Aigouy, T., Gers, C., Gauquelin, T., et Mevy, J.P., 2007. Comparative morphology of leaf epidermis in eight populations of atlas pistachio (*Pistacia atlantica* Desf. *Anacardiaceae*). *Microsc Res Techniq* 70: 837–846.
- 35- Belhadj, S., Derridj, A., Auda, Y., Gers, C. et Gauquelin, T., 2008. Analyse de la variabilité morphologique chez huit populations spontanées de *Pistacia atlantica* en Algérie. *Can J Botany* 86 : 520–532.
- 36- Belharret, O., et Rekkeb, S., 2004. Architecture racinaire et adaptation du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf. subsp. atlantica) à la sécheresse: cas de la population de Ain Oussera (Wilaya de Djelfa). Mémoire d'ingénieur Agronome. Département des Sciences Agronomiques. Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques. Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, Algérie. 75 p.
- 37- Benabdallah F.Z., 2011. Etude morphologique des feuilles et des fruits du pistachier de l'atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) et valorisation des huiles essentielles des feuilles et de l'oléorésine. Mémoire de magistère en Biologie, option Biotechnologie. Université Mohamed KHEIDER Biskra. 60p.
- 38- Benfoddil O., 2015. Inventaire des champignons endophytes des feuilles de *Pistacia atlantica* Desf. de dayate El Guouffa (Laghouat, Algérie). Mémoire de Magister. Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques. Département des Sciences Biologiques. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie. 147 p.

- 39- Benmessaoud N., 2010. Biodiversité fongique du sable de quatre plages (Beau séjour, Eden, Les Andalouses et Madagh) du littoral ouest Algérien. Mémoire de Magister en Sciences de l'environnement. Option : Biologie et pollution Maritimes de l'université d'Oran, Algérie. 190p.
- 40- Bentaleb T., 2011. Caractérisation physique et chimique des sols sous pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) dans la daya de Boucédraia (wilaya de Djelfa). Mémoire d'ingénieur Agronome, Département des Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri, Tizi Ouzou, Algérie. 62 p.
- 41- Bentaleb T., 2011. Caractérisation physique et chimique des sols sous pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) dans la daya de Boucédraia (wilaya de Djelfa). Mémoire d'ingénieur Agronome, Département des Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri, Tizi Ouzou, Algérie. 62 p.
- 42- Berg, G., Grube, M., Schloter, M., et Smalla, K., 2014. Unraveling the plant microbiome: looking back and future perspectives. *Front. Microbiol* 5: 148.
- 43- Bettucci, L., Alonso, R., et Fernandez, L. M., 1997. A comparative study of fungal populations in healthy and symptomatic twigs and seedlings of *Eucalyptus globulus* in Uruguay. *Sydowia* 49, 109–117.
- 44- Bezerra, J.D.P., Santos, M.G.S., Barbosa, R.N., Svedese, V.M., Lima, D.M.M., Fernandes, M.J.S., Gomes, B.S., Paiva, L.M., Almeida-Cortez, J.S., Souza-Motta, C.M., 2013. Fungal endophytes from cactus *Cereus jamacaru* in Brazilian tropical dry forest: a first study. *Symbiosis* 60, 53–63.
- 45- Boddy L., 2016. Interactions with Humans and Other Animals. in *The Fungi* (Third Edition).
- 46- Bollmark, L., Sennerby-Forsse, L. et Ericsson T. 1999. Seasonal dynamics and effects of nitrogen supply rate on nitrogen and carbohydrate reserves in cutting-derived *Salix viminalis* plants. *Canadian Journal of Forest Research* 29: 85-94.
- 47- Bomke, C., et Tudzynski, B., 2009. Diversity, regulation, and evolution of the gibberellin biosynthetic pathway in fungi compared to plants and bacteria. *Phytochemistry* 70: 1876-1893.
- 48- Bouabdelli, Z., Belhadj, S., Smail Saadoun, N., Mevy, J.P., Notonnier, R., Tonetto, A., Ortas, B., et Gauquelin, T., 2018. Influence de l'aridité sur la variation de la colonisation

- mycorhizienne arbusculaire chez cinq populations naturelles du Pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.). Revue d'Ecologie (Terre et Vie) 73 (3).
- 49- Boubrima A., 2014. Diversité architecturale du système racinaire du pistachier de l'Atlas en fonction du sol sous-jacent dans deux dayas de la région de Laghouat (Algérie) : dayate Saadi, Hassi Delâa et dayate Aïat, Timzerth. Mémoire de Magister. Faculté des Sciences. Département de Biologie. Université Amar Telidji, Laghouat, Algérie. 270 p.
- 50- Bounceur D., 2009. Contribution à l'étude des caractéristiques physiques et chimiques des sols sous pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf. subsp atlantica) : cas de la daya de Tirlhemt (wilaya de Laghouat). Mémoire Ing. Agronome. Département des sciences agronomiques. Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, Algérie. 85 p.
- 51- Bournine K., 2007. Caractérisation physique et chimique des sols rhizosphériques et globaux sous pistachier de l'Atlas dans les régions de Ain Oussera (wilaya de Djelfa) et Béni Ounif (wilaya de Béchar). Mémoire d'ing. Agro, UMMTO, 109 p.
- 52- Brodersen, P., Petersen, M., Nielsen, H.B., Zhu, S., Newman, M.A., Shokat, K.M. Rietz, S., Parker, J., et Mundy, J., 2006. Arabidopsis MAP kinase 4 regulates salicylic acid- and jasmonic acid/ethylene-dependent responses via EDS1 and PAD4. Plant J 47, 532–546.
- 53- Brosi, G.B., McCulley, R.L., Bush, L.P., Nelson, J.A., Classen, A.T., et Norby, R.J., 2011. Effects of multiple climate change factors on the tall fescue–fungal endophyte symbiosis: infection frequency and tissue chemistry. New Phytol 189:797–805
- 54- Butler, M.J., et Day A.W. Fungal melanins: a review Can J Microbiol. 1998, 44(12):1115–1136, doi : 10.1139/w98-119.
- 55- Buyer, J., Zuberer, D., Nichols, K., Franzluebbers, A., 2011. Soil microbial community function, structure, and glomalin in response to tall fescue endophyte infection. Plant Soil 339, 401e412.
- 56- 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.
- 57- Castegnaro M., et Pfohl-Leskowicz, A., 2002. Les mycotoxines : contaminants omniprésents dans l'alimentation animale et humaine, dans La sécurité alimentaire du consommateur, Lavoisier, Tec & Doc.

- 58- Cerqueira, G.C., Arnaud, M.B., Inglis, D.O., Skrzypek, M.S., Binkley, G., Simison, M., Miyasato, S.R., Binkley, J., Orvis, J., Shah, P., Wymore, F., 2014. The *Aspergillus* genome database: multispecies curation and incorporation of RNA-Seq data to improve structural gene annotations. *Nucleic Acids Res* 42:705–10.
- 59- Chaba, B., Chraa, O., et Khichane, M., 1991. Germination, morphogenèse racinaire et rythmes de croissance du Pistachier de l'Atlas. In *Physiologie des arbres et arbustes en zones arides et semi-arides*, Groupe d'Etude de l'Arbre 465-472.
- 60- Chabasse, D., Bouchara, J.P., de Gentile, L., Brun, S., Cimon, B., et Penn, P., 2002. Les moisissures d'intérêt médicale. Cahier de formation de Biologie médicale n 25. Laboratoire de Parasitologie-Mycologie CHU d'Angers.
- 61- Chauhan, N.M., Gutama, A.D., et Aysa, A., 2019. Endophytic fungal diversity isolated from different agro-ecosystem of Enset (*Ensete ventericosum*) in Gedeo zone, SNNPRS, Ethiopia. *BMC Microbiology* 19:172.
- 62- Chebieb N., 2008. Approche de l'adaptation de l'architecture racinaire du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf. ssp. *atlantica*) à la sécheresse : cas de la population de Tirlhemt (Wilaya de Laghouat). Mémoire Ingénieur agronome, Département des Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, Algérie. 118p.
- 63- Chehrit-Hacid F., 2016. Etude de la variabilité biochimique, physiologique et évaluation des activités biologiques des polyphénols de deux espèces du genre *Pistacia* (*P. lentiscus* L. et *P. atlantica* Desf.). Doctorat en Sciences Biologiques Option : Biologie végétale. UMMTO, Algérie. 117.
- 64- Chi, W C., Chen, W., He, C.C., Guo, S.Y., Cha, H.J., Tsang, L.M., Ho, T.W., et Pang, K.L., 2019. A highly diverse fungal community associated with leaves of the mangrove plant *Acanthus ilicifolius* var. *xiamenensis* revealed by isolation and metabarcoding analyses. *PeerJ* 7:e7293 <http://doi.org/10.7717/peerj.7293>.
- 65- Chowdhary, L.K., et Kaushik, N., 2015. Fungal endophyte diversity and bioactivity in the Indian medicinal plant *Ocimum sanctum* Linn. *PLoS One* 10: 1-25.
- 66- Clay, K., et Schardl, C.L., 2002. Evolutionary origins and ecological consequences of endophyte symbiosis with grasses. *Am Nat* 160: 99-127.
- 67- Clay, K., Marks, S., et Cheplick, G.P., 1993. Effects of insect herbivory and fungal endophyte infection on competitive interactions among grasses. *Ecology* 74 : 1767-1777.

- 68- Cockell C.S., Knowland J. Biol Rev. 1999. Ultraviolet radiation screening compounds. Biol Rev Camb Philos Soc. 74(3):311–345, doi.org/10.1017/ S0006323199005356.
- 69- 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* 144 : 525±532.
- 70- Contreras-Cornejo, H.A., Macias-Rodriguez, L., Cortes-Penagos, C., Lopez-Bucio, J., 2009. *Trichoderma virens*, a plant beneficial fungus, enhances biomass production and promotes lateral root growth through an auxin-dependent mechanism in Arabidopsis. *Plant Physiol* 149:1579–1592.
- 71- Costa, J.M., et Loper, JE. 1994. Characterization of siderophore production by the biological control agent *Enterobacter cloacae*. *Mol Plant Microbe Interact.* 7(4):440–448.
- 72- Couturier J. 2007. Etude de quelques mécanismes de transport impliqués dans l'absorption et la remobilisation de l'azote chez le peuplier. Sylviculture, foresterie. Université Henri Poincaré –Nancy 1, 2007. Français. p 267.
- 73- Crozier A., 2000. Biosynthesis of hormones and elicitor molecules. *Biochemistry and molecular biology of plants.*
- 74- Currah, R.S., Sigler, L., et Hambleton, S., 1987. New records and new taxa of fungi from the mycorrhizae of terrestrial orchids of Alberta. *Canadian Journal of Botany* 65, 2473–82.
- 75- Dahmani W., 2011. Etude de la variabilité morphologique du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) dans les zones steppiques de la région de Tiaret. Mémoire de magistère. Spécialité Biodiversité végétale méditerranéenne de l'Algérie occidentale. Option : valorisation, conservation et restauration. Faculté des sciences université d'Oran, Algérie. 139p.
- 76- Dastogeer, K.M., LI, H., Sivasithamparam, K., Jones, M.G., DU, X., Ren, Y., et Wylie, S.J., 2017. Metabolic responses of endophytic *Nicotiana benthamiana* plants experiencing water stress. *Environ Exp Bot* 143:59–71.
- 77- David, A.S., Seabloom, E.W., May, G., 2016. Plant host species and geographic distance affect the structure of aboveground fungal symbiont communities, and

- environmental filtering affects belowground communities in a coastal dune ecosystem. *Microb Ecol* 71:912–26.
- 78- Davies P.J. 2010. The plant hormones: their nature, occurrence, and functions. *Plant hormones*. Springer 1–15.
- 79- Deguiche M., 2008. Caractérisation des sols sous pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.): cas de la daya de Timzerth (Wilaya de Laghouat). Mémoire d'ingénieur Agronome, Département des Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri, Tizi Ouzou, Algérie. 88 p.
- 80- Djenidi H. 2012. Etude du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) : essais de germination, extraction des polyphénols et activité antimicrobienne. Magistère en Biologie. Option : Biotechnologies. Faculté des sciences exactes et sciences de la nature et de la vie. Département des Sciences de la Nature et de la Vie. Université Mohamed Kheider. Biskra. Algérie. 80p.
- 81- Douanla-Meli, C., et Langer, E., 2012. Diversity and molecular phylogeny of fungal endophytes associated with *Diospyros crassiflora*. *Mycology* 3:175–187
- 82- Douanla-Meli, C., Langer, E., et Mouafo, F.T., 2013. Fungal endophyte diversity and community patterns in healthy and yellowing leaves of *Citrus limon*. *Fungal Ecol* 6:212–222.
- 83- Dufresne P., 2018. Identification des champignons d'importance médicale. Stage de laboratoire. Guy St-Germain.
- 84- Duniway J. M., 1979. Water relations of water molds. *Annu. Rev. Phytopathol.* 17 :431-460.
- 85- Durrieu., 2007. La classification des champignons (3). La lettre de la SMF. N° 9.
- 86- Elkhateeb, W.A. et Daba, G.M., 2019. *Epicoccum* species as potent factories for the production of compounds of industrial, medical, and biological control applications. *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research* 14 (3), 2574-1241
- 87- El-Nagerabi, S.A.F., Elshafie, A.E., Alkhanjari, S.S., 2013. Endophytic fungi associated with *Ziziphus* species and new records from mountainous area of Oman. *Biodiversitas* 14 (1) : 10-16.

- 88- Estrada, C., Degner, E.C., Rojas, E.I., Weislo, W.T., et Van Bael, S.A., 2015. The role of endophyte diversity in protecting plants from defoliation by leaf-cutting ants. *Current Science* 109:55–61
- 89- Faeth, S.H., et Fagan, W.F., 2002. Fungal endophytes common host plant symbiosis but uncommon mutualisms *Integrative And Comparative Biology* 42 : 360-368.
- 90- Faeth, S.H., et Sullivan, T.J., 2003. Mutualistic asexual endophytes in a native grass are usually parasitic. *Am Nat* 16 : 310–325.
- 91- Faith M., 2020. *Trichophyton spp-* An Overview. Microbe note. <https://microbenotes.com/trichophyton-spp/>
- 92- Faouzi, K., Rharrabti, Y., Dardour M., Boukroute A., Mahyou, H., Labghial M., Berrichi A., 2015. Delimitation des peuplements du pistachier de L'atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) dans la région orientale du MAROC par le G.P.S. COMBINE AU S.I.G. ISSN 2170-1318.
- 93- Farrar S.C., et Farrar J.F., 1986. Compartmentation And Fluxes Of Sucrose In Intact Leaf Blades Of Barley. *New Phytol* 103 : 645-657.
- 94- Fávoro, L.C.d.L., Sebastianes, F.L.d.S. et Araújo W.L., 2012. *Epicoccum nigrum* P16, a sugarcane endophyte, produces antifungal compounds and induces root growth. *PLoS ONE* 7(6), e36826.
- 95- Fisher, P.J., Petrini, O., Petrini, L.E., et Sutton, B.C., 1994. Fungal endophytes from the leaves and twigs of *Quercus ilex* L. from England, Majorca and Switzerland. *New Phytologist* 127: 133-137.
- 96- Fitriarni, D., et Kasiamdari, R.S., 2018. Isolation and Identification of Endophytic Fungi from Leave and Stem of *Calopogonium mucunoides*. *Journal of Tropical Biodiversity and Biotechnology* 3: 30-36.
- 97- Fitt, B.D., McCartney, H.A., et Walklate, P. 1989. The role of rain in dispersal of pathogen inoculum. *Annu Rev Phytopathol* 27:241–70.
- 98- Fitter, A.H., Helgason, T., et Hodge, A., 2011. Nutritional exchanges in the arbuscular mycorrhizal symbiosis : Implications for sustainable agriculture. *Fungal biology reviews* 25 : 68-72.

- 99- Fouda, A.H., MohamedEid, S.E.D.H.A., Ewais, E.E.D., 2015. Biotechnological applications of fungal endophytes associated with medicinal plant *Asclepias sinaica* (Bioss). *Annals of Agricultural Sciences* Volume 60 (1) : 95-104.
- 100- Fu, S.F., Wei, J.Y., Chen, H.W., Liu, Y.Y., Lu, H.Y., et Chou, J.Y., 2015. Indole-3-acetic acid: a widespread physiological code in interactions of fungi with other organisms. *Plant Signal Behav* 10: 1048052.
- 101- Fulchieri, M., Lucangeli, C., Bottini, R., 1993. Inoculation with *Azospirillum lipoferum* affects growth and gibberellin status of corn seedling roots. *Plant Cell Physiol* 34(8):1305-1309.
- 102- Gao, Y.H., Bai, W.X., Sun, W.H., Zhou, W.N., Wu, G.L., Zhu, Z.Q., Ma, J.Y., Li, H.Y., 2019. Diversity of Culturable Endophytic Fungi Associated with Bryophytes, Pteridophytes and Spermatophytes from Dawei Mountain Nature Reserve, China. *Chiang Mai J. Sci* 46(4) : 626-638.
- 103- García, A., Rhoden, S.A., Rubin Filho, C.J., Nakamura, C.V., et Pamphile, J.A., 2012. Diversity of foliar endophytic fungi from the medicinal plant *Sapindus saponaria* L. and their localization by scanning electron microscopy. *Biol Res* 45 : 139-148.
- 104- Garcia-Hermoso, D., 2013. Diagnostic microbiologique des mucormycoses. Institut Pasteur, Unité de Mycologie Moléculaire et Centre National de Référence Mycoses Invasives et Antifongiques, CNRS URA3012, 25, rue du Docteur Roux, 75724Paris Cedex 15, France *Med Sci (Paris)* 29 : 13–18.
- 105- Gazis, R, et Chaverri, P. 2010. Diversity of fungal endophytes in leaves and stems of wild rubber trees (*Hevea brasiliensis*) in Peru. *Fungal Ecology* 3 :240–254
- 106- Ghimire, S.R., Charlton, N.D., Bell, J.D., Krishnamurthy, Y.L., et Craven, K.D., 2011. Biodiversity of (*Panicum virgatum* L.) fungal endophyte communities inhabiting switch grass growing in the native tall grass prairie of northern Oklahoma. *Fungal Diversity* 47 :19–27.
- 107- Gillaud V., 2006. Mycologie. Edition de boeck. 978-2-8041-5028-0. 55p.
- 108- Gomes, S., Martins-Lopes, P., Lopes, L., Guedes-Pinto, H., 2009. Assessing genetic diversity in *Olea europaea* L. using ISSR and SSR markers. *Plant Mol. Biol. Rep* 123 : 82-89.

- 109- Gomes, T., Pereira, J.A., Benhadi, J., Lino-Neto, T., Baptista, P., 2018. Endophytic and epiphytic phyllosphere fungal communities are shaped by different environmental factors in a mediterranean ecosystem. *Microb. Ecol* 1161-1169.
- 110- Gonzalez T.M., 2016. The defensive role of foliar endophytic fungi for a South American tree. *AoB PLANTS* 8 : plw050; doi: 10.1093/aobpla/plw050.
- 111- González, V., et Tello, M.L., 2011. The endophytic mycota associated with *Vitis vinifera* in central Spain. *Fungal Diversity* 47 : 29-42.
- 112- González-Teuber, M., Vilo, C., Bascuñán-Godoy, L., 2017. Molecular characterization of endophytic fungi associated with the roots of *Chenopodium quinoa* inhabiting the Atacama Desert, Chile. *Genom Data* 11:109–12.
- 113- Göre, M.E., et Bucak, C., 2007. Geographical and seasonal influence on the distribution of fungal endophytes in *Laurus nobilis*. *Forest Pathol* 37: 281-288.
- 114- Gosling, P., Hodge, A., Goodlass, G., et Bending, G.D., 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi and organic farming. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 113, 17–35. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.09.009>.
- 115- Gouda, S., Das, G., Sen, S.K., Shin, H.S., et Patra, J.K., 2016. Endophytes: a treasure house of bioactive compounds of medicinal importance. *Front Microbiol* 7 :1538.
- 116- Grime, J.P., Cornelissen, J.H.C., Thompson, K., Hodgson, J.G., 1996. Evidence of a causal connection between anti-herbivore defense and the decomposition rate of leaves. *Oikos* 77:489–494.
- 117- Guevara-Araya, M.J., Vilo, C., Urzúa, A., et González-Teuber, M., 2020. Differences in community composition of endophytic fungi between above- and below-ground tissues of *Aristolochia chilensis* in an arid ecosystem. *Revista Chilena de Historia Natural* 93:3. <https://doi.org/10.1186/s40693-020-00091-y>.
- 118- Gupta, V.K., Sreenivasaprasad, S., et Mach, R.L., 2015. *Fungal bio-molecules: sources, applications and recent developments*. 1st edn. Wiley Blackwell, India. pp.117-136.
- 119- Haboul C., 2011. Approche de l'adaptation d l'architecture racinaire du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf. ssp. atlantica) à la sécheresse : cas de la population de la daya de Boucédraïa (wilaya de Djelfa). Mémoire d'ingénieur Agronome,

Département des Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri, Tizi Ouzou, Algérie. 221p.

- 120- Hadj Aissa F.Z., 2004. Etude de l'évolution de l'activité anti-oxydante des feuilles et des fruits du pistachier de l'atlas (*Pistacia atlantica* Desf). Mémoire de Magister. Laboratoire des Sciences Fondamentales. Université Omar Telidji de Laghouat, Algérie. 108p.
- 121- Hamayun, M., Hussain, A., Khan, S.A., Kim, H.Y., Khan, A.L., Waqas, M., Irshad, M., Iqbal, A., Rehman, G., et Jan, S., 2017. Gibberellins producing endophytic fungus *Porostereum spadiceum* AGH786 rescues growth of salt affected soybean. *Front Microbiol* 8:686.
- 122- Hamayun, M., Khan, S.A., Ahmad, N., Tang, D.S., Sang-Mo, K., 2009. *Cladosporium sphaerospermum* as a new plant growth-promoting endophyte from the roots of *Glycine max* (L.) Merr. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 25: 627-632.
- 123- Hamayun, M., S. A. Khan, A.L. Khan., J.H. Shin., et Lee, I. J., 2010. Exogenous gibberellic acid reprograms soybean to higher growth, and salt stress tolerance. *J. Agric. Food Chem* 58: 7226-7232.
- 124- Hamilton, C.E., Gundel, P.E., Helander, M., et Saikkonen, K., 2012. Endophytic mediation of reactive oxygen species and antioxidant activity in plants: a review. *Fung Divers* 54(1):1–10.
- 125- Hamitouche F., 2016. Influence des propriétés physico-chimiques du sol sur l'architecture racinaire de *Pistacia atlantica* Desf. de Dayate El Gouffa, commune Ain Madhi, W. Laghouat. Mémoire de Magister. Département des sciences Biologiques. Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques. Université Mouloud Mammeri, Tizi Ouzou, Algérie. 111 p.
- 126- Hardoim, P.R., van Overbeek, L.S., Berg, G., Pirttila, A.M., Compant, S., Campisano, A., Döring, M., et Sessitsch, A., 2015. The hidden world within plants: ecological and evolutionary considerations for defining functioning of microbial endophytes. *Microbiol Mol Biol Rev* 79:293–320.

- 127- Harfouche, A., Chebouti-Meziou, N., et Chebouti, Y., 2005. Comportement comparé de quelques provenances algériennes de pistachier de l'Atlas introduites en réserve naturelle de Mergueb (Algérie). *Forêt méditerranéenne* 26 : 135-142.
- 128- Harper, J.K., Arif, A.M., Ford, E.J., Strobel, G.A., Porco, J.A., Tomer, D.P., Oneill, K.L., Heider, E.M., Grant, D.M., 2003. Pestacin: a 1, 3-dihydro isobenzofuran from *Pestalotiopsis microspora* possessing antioxidant and antimycotic activities. *Tetrahedron* 59(14):2471–2476.
- 129- Hawksworth D.L., 2001. The magnitude of fungal diversity : the 1.5 million species estimate revisited. *Mycol. Res* 105 : 1422-1431.
- 130- Hawksworth, D.L., et Lucking, R., 2017. Fungal Diversity Revisited: 2.2 to 3.8 Million Species. *Microbiology spectrum* 5(4).
- 131- Hedden, P., Phillips, A.L., Rojas, M.C., Carrera, E., et Tudzynski, B., 2001. Gibberellin biosynthesis in plants and fungi: a case of convergent evolution? *J. Plant Growth Regul* 20 (4), 319–331.
- 132- Helander, M.L., Sieber, T.N., Petrini, O., et Neuvonen, S., 1994. Endophytic fungi in Scot's pine needles: spatial variation and consequences of simulated acid rain. *Canadian Journal of Botany* 72: 1108- 1113.
- 133- Heller, R., Esnault, R., et Lance, C., 2000. *Physiologie végétale. Tome II, Développement*, 6ème édition de l'Abrégé. Dunod, ISBN 2-10-004497-4, 366p.
- 134- Herrera-Carrillo, Z., Torres, M.S., Singh, A.P., Vorsa, N., Gianfagna, T., Meyer, W., White, J.F., 2009. Phenolic, flavonoid and antioxidant profiling for cool-season grasses with and without endophyte. *Proceedings of the 18th Annual Rutgers Turfgrass Symposium*.
- 135- Herrera-Medina, M.J., Steinkellner, S., Horst Vierheilig, H., Ocampo Bote, J.A., García Garrido, J.M., 2007. Abscisic acid determines arbuscule development and functionality in the tomato arbuscular mycorrhiza. *New Phytologist* 175: 554-564.
- 136- Hibbett, D.S., Ohman, A., Glotzer, D., Nuhn, M., Kirk, P., Nilsson, R.H., 2011. Progress in molecular and morphological taxon discovery in fungi and options for formal classification of environmental sequences. *Fungal Biol. Rev* 25 (1), 38–47.

- 137- Higgins, K.L., Coley, P.D., Kursar, T.A., Arnold, A.E., 2011. Culturing and direct PCR suggest prevalent host generalism among diverse fungal endophytes of tropical forest grasses. *Mycologia* 103 (2), 247–260.
- 138- Hopkins W.A., 2003. *Physiologie végétale*. Deuxième Edition, édition De Boeck. Rue des Minimes 39, B-1000 Bruxelles. ISBN2-7445-0089-5. 425p.
- 139- Houbraeken, J., de Vries, R.P., et Samson, R.A., 2014. Modern taxonomy of biotechnologically important *Aspergillus* and *Penicillium* species. *Adv Appl Microbiol* 86:199-249.
- 140- Huang, W.Y., Cai, Y.Z., Hyde, K.D., Corke, H., Sun, M., 2007. Endophytic fungi from *Nerium oleander* L (Apocynaceae): main constituents and antioxidant activity. *World J Microb Biotechnol* 23(9):1253-1263.
- 141- Huang, W.Y., Cai, Y.Z., Hyde, K.D., Corke, H., Sun, M., 2008. Biodiversity of endophytic fungi associated with 29 traditional Chinese medicinal plants. *Fungal Divers* 33:61–75.
- 142- Hubka, V., Kolarik, M., Kubatova, A., Peterson, S.W., 2013. Taxonomic revision of *Eurotium* and transfer of species to *Aspergillus*. *Mycologia* 105 (4): 912-93.
- 143- Hyde, K.D., et Soyong k., 2008. The endophytic fungi dilemma. *Fungal diversity* 33 : 163-173.
- 144- Ifticene-Habani, N., et Messaoudène, M., 2016. Croissance radiale et sensibilité au climat du pistachier de l'Atlas, *Pistacia atlantica* Desf., en Algérie. *Bois et forêts des tropiques* 329 (3) : 3-15.
- 145- Islam, S.M.A., Math, R.K., Kim, J.M., Yun, M.G., Cho, J.J., Kim, E.J., Lee, Y.H., Yun, H.D., 2010. Effect of plant age on endophytic bacterial diversity of balloon flower (*Platycodon grandiflorum*) root and their antimicrobial activities. *Curr. Microbiol* 61: 346-356.
- 1- Istikorini, Y., et Hartoyo, P.P., 2019. The Diversity of Endophytic Fungi in Kemaitan (*Lunasia amara* Blanco). *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 394. doi:10.1088/1755-1315/394/1/012016.
- 146- Iwen, P., Schutte, S.D., et Florescu, D.F., 2012. Invasive *Scopulariopsis brevicaulis* infection in an immunocompromised patient and review of prior cases caused by *Scopulariopsis* and *Microascus* species. *Medical Mycology* 50: 561–569.

- 147- Jin, H., Yan, Z., Liu, Q., Yang, X., Chen, J., et Qin, B., 2013. Diversity and dynamics of fungal endophytes in leaves, stems and roots of *Stellera chamaejasme* L. in northwestern China. *Antonie Leeuwenhoek* 104:949-63.
- 148- Jumpponen, A., et Jones, K.L., 2009. Massively parallel 454 sequencing indicates hyperdiverse fungal communities in temperate *Quercus macrocarpa* phyllosphere. *New Phytol* 184 : 438–48.
- 149- Jumpponen, A., et Trappe, J., 1998. Dark septate endophytes: a review of facultative biotrophic root-colonizing fungi. *New Phytol* 140: 295-310.
- 150- Juybari, H.Z., Ghanbary, M.A.T., Rahimian, H., Karimi, K., Arzanlou, M., 2019. Seasonal, tissue and age influences on frequency and biodiversity of endophytic fungi of *Citrus sinensis* in Iran. *Forest pathology*. DOI: 10.1111/efp.12559
- 151- Kadi Bennane S., 2004. Etude biosystématique et évolution adaptative de trois populations de *Pistacia atlantica* Desf. ssp. *atlantica* (Ain Oussera, Messaad et Tamanrasset) par le biais du complexe stomatique, mémoire de magister en Sciences Agronomiques, option Forêt et conservation de la biodiversité. UMMTO, Algérie.
- 152- Kafkas, S., Kaska, N., 1998. Suitability of some selected and fast growing *Pistacia Atlantica* Desf. types as pistachio nut rootstock. *Cahiers Options Méditerranéennes*, 33: 185-190.
- 153- Kannadan, S., et Rudgers, J.A., 2008. Endophyte symbiosis benefits a rare grass under low water availability. *Functional Ecology* 22 : 706–713.
- 154- Kebci S., 2008. Approche de l'adaptation de l'architecture racinaire du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf. subsp. *atlantica*) à la sécheresse : cas de la population de Tizrhemt (Wilaya de Laghouat). Mémoire d'ingénieur Agronome. Département des Sciences Agronomiques. Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques. Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, Algérie. 118 p.
- 155- Khan, A.L., Gilani, S.A., Waqas, M., Al-Hosni, K., Al-Khiziri, S., Kim, Y.H, Ali, L, Kang, S.M., Asaf, S., Shahzad, R., 2017. Endophytes from medicinal plants and their potential for producing indole acetic acid, improving seed germination and mitigating oxidative stress. *J Zhejiang Univ B*. 18(2):125–137.
- 156- Khan, A.L., Hamayun, M., Ahm., Hussain J., Kang, SM., Kim, Y.H., Adnan, M., Tang, D.S., Waqas, M., Radhakrishnan, R., Hwang, Y.H., et Lee, I.J., 2011. Salinity Stress

- Resistance Offered by Endophytic Fungal Interaction Between *Penicillium minioluteum* LHL09 and *Glycine max.* L. J. Microbiol. Biotechnol 21(9), 893–902.
- 157- Khan, A.L., Hamayun, M., Nadeem, A.N., Javid, H., Sang, M.o., Kang, S.M., Yoon-Ha, K., Muhammad, A., Dong-Sheng, T., Waqas, M., Ramalingam, R., Young-Hyun, H. et In-Jung, L., 2011. Salinity stress resistance offered by endophytic fungal interaction between *Penicillium minioluteum* LHL09 and *Glycine max.* J. Microb. Biot. 21(9), 893-902.
- 158- Khan, A.L., Hussain, J., Al-Harrasi, A., Al-Rawahi, A., Lee, I.J., 2013. Endophytic fungi: resource for gibberellins and crop abiotic stress resistance. Crit Rev Biotechnol doi:10.3109/07388551.2013.800018.
- 159- Khan, R., 2007. Isolation, identification and Cultivation of Endophytic Fungi From Medicinal Plants for the Production and characterisation of fungal Bioactive Fungal Metabolites. Thèse de doctorat en phylosophie du Departement of Microbiology University of Karachi, Pakistan : 75-270.
- 160- Khan, S.A., Hamayun, H. J., Yoon, H.Y., Kim, S. J., Suh, S. K., Hwang, 2008., Plant growth promotion and *Penicillium citrinum*. BMC Microbiol 8: 231-237.
- 161- Kidd, S., Halliday, C., Alexiou, H., et ELLIS, D., 2016. Descriptions of medical fungi.third edition. [www.mycology.adelaide.edu.au](http://www.mycology.adelaide.edu.au).
- 162- Kilpatrick, J.A., et Chilvers, G.A., 1981. Variation in a natural population of *Epicoccum purpurascens*. Transactions of the British Mycological Society 77 (3 ) : 497-508.
- 163- King, R.W., Evans, L.T., 2003. Gibberellins and flowering of grasses and cereals: prizing open the lid of the ‘florigen’ black box. Annu Rev Plant Biol 54(1):307–328.
- 164- Kogel, K.H., Franken, P., et Hucklhoven, R., 2006. Endophyte or Parasite-What decides? Current Opinion in Plant Biology 9 (4): 358-363.
- 165- Kozakiewicz, Z., et Smith, D., 1994. Physiology of *Aspergillus*. Part of the Biotechnology Handbooks book series BTHA 7:23-40|.
- 166- Krings, M., Taylor, T.N., Hass, H., Kerp, H., Dotzler, N., et Hermsen, E.J., 2007. Fungal endophytes in a 400-million-yr-old land plant: infection pathways, spatial distribution, and host responses. New Phytologist 174(3) :648-57.

- 167- Kuldan, G., et Bacon, C., 2008. *Clavicipitaceous* endophytes: Their ability to enhance resistance of grasses to multiple stresses. *Biological Control* 46: 57–71.
- 168- Kumar, D.S.S., et Hyde, K.D., 2004. Biodiversity and tissue-recurrence of endophytic fungi in *Tripterygium wilfordii*. *Fungal Diversity* 17 : 69-90.
- 169- Kusmenoglu, S., Baser K.H.C., et Özek T., 1995. Constituents of the essential oil from the hulls of *Pistacia vera* L. *Journal of Essential Oil Research* 7: 44-442.
- 170- Lakshman H.C., et Kurandawad J.M., 2013. Diversity of the endophytic fungi isolated from *Spilanthes acmella* L. - a promising medicinal plant. *Int J Pharm Bio Sci* 4(2) : (B) 1259 – 1266.
- 171- Larkin, B. G., Hunt, L. S., et Ramsey, P. W., 2012. Foliar nutrients shape fungal endophyte communities in Western white pine (*Pinus monticola*) with implications for white-tailed deer herbivory. *Fungal Ecology* 5, 252-260.
- 172- Lata, R., Chowdhury, S., Gond, S. et White, J. F., 2018. Induction of abiotic stress tolerance in plants by endophytic microbes. *Applied Microbiology* 66(4): 268-276.
- 173- Latge, J.P., 1999. *Aspergillus fumigatus* and aspergillosis. *Clin Microbiol Rev* 12(2) : 310-350.
- 174- Le Houérou H.N., 1995. Bioclimatologie et biogéographie des steppes arides du Nord de l'Afrique : Diversité biologique, développement durable et désertisation. *Options méditerranéennes. Série B* 10 : 396 p.
- 175- Leitão, A.L., et Enguita, F.J., 2016. Gibberellins in *Penicillium* strains: Challenges for endophyte-plant host interactions under salinity stress. *Microbiological Research* 183 8-18.
- 176- León, P., et Sheen, J., 2003. Sugar and hormone connections. *Trends Plant Sci.* 8(3):110–116.
- 177- Leslie, J.F., Summerell, B.A., 2006. *The Fusarium Laboratory Manual*. Blackwell Publishing Ltd., Oxford, UK.
- 178- Li, H.Y., Wei, D.Q., Shen, M., et Zhou, Z.P., 2012. Endophytes and their role in phytoremediation. *Fungal Diversity* 54 : 11-18.
- 179- Limane A., 2009. Architecture racinaire du pistachier de l'Atlas en relation avec les propriétés physico-chimiques du sol sous-jacent: cas de la population de la réserve nationale d' « El-Mergueb » (Wilaya de M'sila), Algérie. Mémoire de Magister.

Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques. Département de biologie animale et végétale. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie. 157 p.

- 180- Limane A., 2018. Réponses architecturales racinaires et stratégies d'absorption hydrominérale chez *Pistacia atlantica* en fonction d'un gradient d'aridité croissante : cas d'un transect Nord-Sud en Algérie. Doctorat en Sciences Biologiques. UMMTO. 275P.
- 181- Limane A., Smail-Saadoun N., Belkebir-Boukais A., Kissoum-Hamdini K., 2014. Root architecture adaptation of *Pistacia atlantica* subsp *atlantica* according to an increasing climatic and edaphic gradient: case of north-south transect in Algeria. Turkish Journal of Botany 38 (3): 536-549.
- 182- Lindow, S.E., et Brandl, M.T., 2003. Microbiology of the phyllosphere. Appl. Environ. Microbiol 69 : 1875-1883.
- 183- Lorenzo, O., Chico, J.M., Sánchez-Serrano, J.J., Solano, R., 2004. Jasmonate-insensitive1 encodes a MYC transcription factor essential to discriminate between different jasmonate-regulated defence responses in Arabidopsis. Plant Cell 16:1938-1950.
- 184- Loro, M., Valero-Jiménez, C.A., Nozawa, S., Márquez, L.M., 2012. Diversity and composition of fungal endophytes in semi-arid Northwest Venezuela. J. Arid Environ 85, 46-55.
- 185- Ma, Y., Rajkumar, M., Zhang, C., Freitas, H., 2016. Beneficial role of bacterial endophytes in heavy metal phytoremediation. J Environ Manage 174:14–25.
- 186- Maameri S., 2008. Etude de *Pistacia atlantica* de deux régions du sud Algérien : dosage des lipides, dosage des polyphénols, essais antileishmaniens. Mémoire de magister. Faculté des Sciences, département de Biologie. Option Biochimie et Microbiologie appliquées. Université M'hamed BOUGARA de Boumerdes, Algérie 108p.
- 187- Maciá-Vicente, J.G., Jansson, H.B., Abdullah, S.K., Descols, E., Salinas, J., LopezLlorca, L.V., 2008. Fungal endophytes from natural vegetation in Mediterranean environments with special reference to *Fusarium* species. FEMS Microbiol Ecol 64:90–105.

- 188- Maggio, A., Barbieri, G., Raimondi, G., et de Pascale, S., 2010. Contrasting Effects of GA3 Treatments on Tomato Plants Exposed to Increasing Salinity. *J. Plant Growth Regul* 29, 63-72.
- 189- Magurran A.E., 1988. Croom Helm Ltd. London, doi: 10.1007/978-94-015-7358-0-1.
- 190- Malinowski, D.P., et Belesky, D.P., 2000. Adaptations of endophyte-infected cool-season grasses to environmental stresses: mechanisms of drought and mineral stress tolerance. *Crop Science* 40: 923–940.
- 191- Malla, R., Prasad, R., Kumari, R., Giang, P., Pokharel, U., Oelmüller, R., et Varma, A., 2004. Phosphorus solubilizing symbiotic fungus: *Piriformospora indica*. *Endocyt Cell Res* 15:579–600.
- 192- Mandyam, K., et Jumpponen A., 2005. Seeking the elusive function of the rootcolonising dark septate endophytic fungi. *Studies in Mycology* 53 : 173–189.
- 193- Mansfield, T.A., et Atkinson, C.J., 1990. Stomatal behaviour in water stresses plants. In *stress responses in plants: adaptation and acclimatation mechanisms*, p.241-264. Wiley. Liss.
- 194- Martínez-Alvarez, P., Alves-Santos, F.M., et Diez, J.J., 2012. In vitro and in vivo interactions between *Trichoderma viride* and *Fusarium circinatum*. *Silva Fenn* 46, 303-316.
- 195- Martins, F., Pereira, J.A., Bota, P., Bento, A., et Baptista, P., 2016. Fungal endophyte communities in above- and belowground olive tree organs and the effect of season and geographic location on their structures. *Fungal Ecol* 20, 193-201
- 196- Massimo, N.C., Devan, M.N., Arendt, K.R., Wilch, M.H., Riddle, J.M., Furr, S.H., Steen, C., U'Ren, J.M., Sandberg, D.C., Arnold, A.E., 2015. Fungal endophytes in aboveground tissues of desert plants: infrequent in culture, but highly diverse and distinctive symbionts. *Microb Ecol* 70:61–76.
- 197- Materatski, P., Varanda, C., Carvalho, T., Dias, A.B., Campos, D., Rei, F., Maria Felix, M.D.R., 2018. Spatial and temporal variation of fungal endophytic richness and diversity associated to the phyllosphere of olive cultivars. *Fungal Biology* 123(1) : 66-76.

- 198- Mauch-Mani, B., et Mauch, F., 2005. The role of abscisic acid in plant–pathogen interactions. *Curr Opin Plant Biol* 8(4):409–414.
- 199- Mazliak., 1982. *Physiologie végétale, Croissance et développement. Tome II ;* Hermann, Paris.
- 200- Mechiah F., 2015. Approche des symbioses racinaires de *Pistacia atlantica* Desf. de dayate El Gouffa (Laghouat, Algérie). Mémoire de Magister. Département de biologie. Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie.
- 201- Mehmood, A., Hussain, A., Irshad, M., Hamayun, M., Iqbal, A., et Khan, N., 2018. In vitro production of IAA by endophytic fungus *Aspergillus awamori* and its growth promoting activities in *Zea mays*. *Symbiosis* 77: 225–235.
- 202- Meikle R.D., 1977. *Flora of Cyprus*. Bentham-Moxon Trust, Royal Botanic Gardens. Kew, R.-U. 1: 364–371.
- 203- Meyer, K.M., et Leveau, J.H.J., 2012. Microbiology of the phyllosphere: a playground for testing ecological concepts. *Oecologia* 168: 621–629.
- 204- Mielnichuk, N., et Lopez, S.E., 2007. Interaction between *Epicoccum purpurascens* and xylophagous Basidiomycetes on wood blocks. *Forest Pathol* 37: 236-242.
- 205- Millard P., 1996. Ecophysiology of the internal cycling of nitrogen for tree growth. *Zeitschrift fur Pflanzenernahrung und Bodenkunde* 159: 1-10.
- 206- Mishra, V.K., Singh, G., Passari, A.K., Yadav, M.K., Gupta, V.K., Singh, B.P., 2016. Distribution and antimicrobial potential of endophytic fungi associated with ethnomedicinal plant *Melastoma malabathricum* L. *J. Environ. Biol* 37 (2): 229.
- 207- Mishra, Y., Singh, A., Batra, A., et Sharma, M., 2014. Understanding the Biodiversity and Biological Applications of Endophytic Fungi: A Review. *Microbial & Biochemical Technology*. ISSN:1948-5948. <http://dx.doi.org/10.4172/1948-5948.S8-004>.
- 208- Monaco, P., Previtiera L., et Mangoni, L., 1982. Terpenes in *Pistacia* plants: A possible defence role for monoterpenes against gall-forming aphids. *Phytochemistry* 21: 2408-2410.
- 209- Monasra, F., Rovira, M., Vargas, F.G., Romero, M.A., Battle, I., Rouskas, D., et Mendes Gaspar, A., 1997. Caractérisation isoenzymatique de divers espèces du genre

- Pistacia* et leurs hybrides : Etude de leur comportement comme porte greffe du pistachier *Pistacia vera* L. Options méditerranéennes, série B 16: 133-142.
- 210- Moncrieff, G.R., Scheiter, S., Slingsby, J.A., Higgins, S.I., 2015. Understanding global change impacts on South African biomes using dynamic vegetation models. South Afr. J. Bot 101 : 16–23.
- 211- Monjauze A. 1968. Répartition et ecologie de *Pistacia atlantica* DESF. en Algérie. Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Du N 56 : 1–127.
- 212- Monjauze A., 1980. Connaissance du bétoum *Pistacia atlantica* Desf. Biologie et forêt. Rev. For. Fran. 4 : 357-363.
- 213- Monjauze A., 1982. Le pays des dayas et *Pistacia atlantica* Desf. Dans le Sahara Algérien. Rev. For. Fran. 4 : 277
- 214- Moricca, S., et Ragazzi A., 2008. Fungal endophytes in Mediterranean oak forests: A lesson from *Discula quercina*. Phytopathology 98 : 380-386.
- 215- Morsy, M.R., Oswald, J., He, J., Tang, Y., et Roossinck, M.J. 2010. Biochem Biophys Res Commun 401 : 225-230, doi : 10.1016/j.bbrc.2010.09.034.
- 216- Müller, M.M., Valjakka, R., Suokko, A., Hantula, J., 2001. Diversity of endophytic fungi of single Norway spruce needles and their role as pioneer decomposers. Mol Ecol 10: 1801-1810.
- 217- Murali, T.S., Suryanarayanan, T.S., Venkatesan, G., 2007. Fungal endophyte communities in two tropical forests of southern India: diversity and host affiliation. Mycol. Prog 6 :3, 191–199.
- 218- Nath, R., Sharma, G., et Barooah, M., 2015. Plant growth promoting endophytic fungi isolated from Tea (*Camellia sinensis*). Shrubs OF Assam, India. Applied Ecology And Environmental Research 13(3): 877-891.
- 219- Nègre R., 1962. Petite flore des régions arides du Maroc occidental. Tome II. Paris, France : CNRS.
- 220- Nicoletti, R., Fiorentino, A., et Scognamiglio, M., 2014. Endophytism of *Penicillium* Species in Woody Plants. The Open Mycology Journal 8:1-26.
- 221- Ogoshi A, 1984. Studies on the taxonomy of the genus *Rhizoctonia*. Annals of the Phytopathological Society of Japan 50: 307–9.

- 222- Oliveira, C.M., Silva, G.H., Regasini, L.O., Zanardi, L.M., Evangelista, A.H., Young, M.C.M., Bolzani, V.S., Araujo, A.R., 2009. Bioactive metabolites produced by *Penicillium* sp.1 and sp.2, two endophytes associated with *Alibertia macrophylla* (Rubiaceae). *Zeitschrift Für Naturforschung C* 64:824–830.
- 223- Olmo-Ruiz M.D., Arnold A E. 2014. Interannual variation and host affiliations of endophytic fungi associated with ferns at La Selva, Costa Rica. *Mycologia* 106: 1, 8-21.
- 224- Oono, R., Lefèvre, E., Simha, A., et Lutzoni, F., 2015. A comparison of the community diversity of foliar fungal endophytes between seedling and adult loblolly pines (*Pinus taeda*). *Fungal Biology* 119 (10) : 917-928.
- 225- Osono T., 2006. Role of phyllosphere fungi of forest trees in the development of decomposer fungal communities and decomposition processes of leaf litter. *Can J Microbiol* 52:701-716
- 226- Ozenda P., 1983. Flore du Sahara. Deuxième Edition, CNRS, Paris, 622 p.
- 227- Ozenda P., 2004. Flore et végétation du Sahara. 2ème éd. Paris, France. CNRS Ed.
- 228- Panaccione, D.G., Beaulieu, W.T., Cook, D., 2014. Bioactive alkaloids in vertically transmitted fungal endophytes. *Funct Ecol* 28: 299- 314.
- 229- Parent-Michaud M., 2018. Prévalence et mécanismes de résistance aux triazolés des espèces d'*Aspergillus* section Fumigati. Université de Montréal Département de microbiologie, infectiologie et immunologie Faculté de Médecine. Mémoire présenté en vue d'obtention du grade de M. Sc. en Microbiologie et immunologie. 128p.
- 230- Paulus, B., Kanowski, J., Gadek, P., et Hyde., K.D., 2006. Diversity and Distribution of saprobic microfungi in leaf litter of on Australian tropical rainforest. *Mycological Research* 110: 1441 -1454.
- 231- Perrone, G., Susca, A., Cozzi, G., Ehrlich, K., Varga, J., Frisvad, J.C., Meijer, M., Noonim, Mahakarnchanakul, W., et Samson, R.A., 2007. Biodiversity of *Aspergillus* species in some important agricultural products. *Studies in Mycology* 59: 53–66. 2007.
- 232- Petrini O., 1991. Fungal endophytes of tree leaves. In: Andrews JH, Hirano SS, editors. *Microbial ecology of leaves*. New York: Springer 179-197.
- 233- Petrini, O., Carroll, G.C., 1981. Endophytic fungi in foliage in some *Cupressaceae* in Oregon. *Canadian Journal of Botany* 59: 629-636.

- 234- Petrini, O., Sieber, T.N., Toti, L., et Viret, O., 1992. Ecology, metabolite production, and substrate utilization in endophytic fungi. *Natural Toxins* 1: 185-196.
- 235- Pharis, R.P., King, R.W., 1985. Gibberellins and reproductive development in seed plants. *Ann Rev Plant Physiol* 36(1):517-568.
- 236- Pitt, J.I., et Hocking, A.D., 2013. *Fungi and food spoilage*. Springer. DOI 10.1007/978-0-387-92207-2.
- 237- Porras-Alfaro, A., et Bayman, P., 2011. Hidden Fungi, Emergent Properties: Endophytes and Microbiomes. *Annu. Rev. Phytopathol* 49:291–315.
- 238- Promputtha, I., Hyde, K.D., McKenzie, E.H.C., Peberdy, J.F., Lumyong, S., 2010. Can leaf degrading enzymes provide evidence that endophytic fungi becoming saprobes? *Fungal Divers* 41: 89-99.
- 239- Purahong W., et Hyde K.D., 2011. Effects of fungal endophytes on grass and non-grass litter decomposition rates. *Fungal Diversity* 47: 1–7.
- 240- Quézel, P., et Médail, F., 2003. *Ecologie et Biogéographie Biologie des forêts du bassin méditerranéen*. Elsevier, Paris. 573p.
- 241- Raab G., 2010. Contribution à l'étude des symbioses mycorhiziennes du pistachier de l'Atlas : cas de la population de la daya de Timzerth (wilaya de Laghouat). Mémoire d'ingénieur Agronome, UMMTO, Algérie.
- 242- Rampadarath, S., Puchooa, D., Jeewon, R., et Bandhoa, K. 2018. Diversity seasonal variation and antibacterial activity of endophytic fungi associated with the genus *jatropha* in *mauriti*us. *Journal of Biotechnology & Biomaterials*. 8: 1.
- 243- Rasche, F., Hodl, V., Poll, C., Kandeler, E., Gerzabek, M., Van Elsas, J., Sessitsch, A., 2006. Rhizosphere bacteria affected by transgenic potatoes with antibacterial activities compared with the effects of soil, wild-type potatoes, vegetation stage and pathogen exposure. *FEMS Microbiol.Ecol* 56:219-235.
- 244- Raskin I., 1992. Role of salicylic acid in plants. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol* 43: 439-463.
- 245- Rastogi, G., Sbodio, A., Tech, J.J., Suslow, T.V., Coaker, G.L., Leveau, J.H.J., 2012. Leaf microbiota in an agroecosystem spatio temporal variation in bacterial community composition on field-grown lettuce. *ISME J* 6:1812-1822.

- 246- Rather, R.A., Srinivasan, V., et Anwar, M., 2018. Seasonal deviation effects foliar endophyte assemblage and diversity in *Asparagus racemosus* and *Hemidesmus indicus*. BMC Ecology 18(52).
- 247- Redman, R.S., Dunigan, D.D., Rodriguez, R.J., 2001. Fungal symbiosis from mutualism to parasitism: who controls the outcome, host or invader? New Phytol 151 (3):705–716.
- 248- Reinhardt, D., Mandel, T., et Kuhlemeier, C., 2000. Auxin Regulates the Initiation and Radial Position of Plant Lateral Organs. The Plant Cell 12: 507–518.
- 249- Reinoso, H., Luna, V., Dauría, C., Pharis, R.P., et Bottini, R., 2002. Dormancy in peach (*Prunus persica*) flower buds: VI: effects of gibberellins and an acylcyclohexanedione (trinexapac-ethyl) on bud morphogenesis in field experiments with orchard trees and on cuttings. Can J Bot 80 (6):664–674.
- 250- Remus-Emsermann, M.N.P., et Leveau, J.H.J., 2010. Linking environmental heterogeneity and reproductive success at single-cell resolution. ISME J 4:215-222.
- 251- Richardson, M., Chapman, G., Hoveland, C., et Bacon, C., 1992. Sugar alcohols in endophyte-infected tall fescue under drought. Crop Sci 32 (4):1060–1061.
- 252- Rivera-Orduña, F.N., Sanchez, R.A.S., Bustamante, Z.R.F, Rodriguez, J.N.G., et Cotera, L.B.F., 2011. Diversity of endophytic fungi of *Taxus globosa* (Mexican yew). Fungal Diversity 47:65–74.
- 253- Rodrigues KF., 1994. The foliar fungal endophytes of the amazonian palm *Euterpe oleracea*. Mycologia 86: 376-385.
- 254- Rodrigues, K.F., Leuchtman, A. et Petrini, O., 1993. Endophytic species of *Xylaria*: cultural and isozymic studies. Sydowia 45: 116-138.
- 255- Rodriguez, R., White JR, J., Arnold, A. et Redman, A. R. A. 2009. Fungal endophytes: diversity and functional roles. New Phytol 182:314–330.
- 256- 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.
- 257- Sadeghi, F., Samsampour, D., Seyahoei, M.A., Bagheri, A., Soltani, J., 2019. Diversity and Spatiotemporal Distribution of Fungal Endophytes Associated with *Citrus reticulata* cv. Siyadoo. Current Microbiology 76 : 279–289.

- 258- Saikkonen, K., Wäli, P., Helander, M., Faeth, S.H., 2004. Evolution of endophyte–plant symbioses 9 6(1):275-280.
- 259- Samson, R. A., Visagie, C. M., Houbaken, J., Hong, S. B., Hubka, V., Klaassen, C. H., Perrone, G., Seifert, K. A., Susca, A., Tanney, J. B., Varga, J., Kocsube, S., Szigeti, G., Yaguchi, T. et Frisvad, J. C., 2014. Phylogeny, identification and nomenclature of the genus *Aspergillus*. *Stud Mycol* 78:141-173.
- 260- Sandhya, V., Shrivastava, M., Ali, S.Z., et Prasad, V.S.S.K., 2017. Endophytes from maize with plant growth promotion and biocontrol activity under drought stress. *Russ Agric Sci* 43(1): 22–34.
- 261- Sandoval-Denis, M., Gené, J., Sutton, D.A., Cano-Lira, J.F., de Hoog, G.S., Decock, C.A., Wiederhold, N.P., Guarro, J., 2016. Redefining *Microascus*, *Scopulariopsis* and allied genera. *Persoonia* 36: 1–36.
- 262- Sandoval-Denis, M., Sutton, D.A., Fothergill, A.W., 2013. *Scopulariopsis*, a poorly known opportunistic fungus: spectrum of species in clinical samples and in vitro responses to antifungal drugs. *Journal of Clinical Microbiology* 51: 3937-3943.
- 263- Sangamesh M.B., Jambagi S., Vasanthakumari M.M., Shetty N.J., Kolte H., Ravikanth Saona, N., Albrechtsen, B., Ericson, L., Bazely, D., 2010. Environmental stresses mediate endophyte-grass interactions in a boreal archipelago. *J. Ecol* 98 : 470-479.
- 264- Sarma, P., Dkhar, M.S., Kayang, H., Kumar, M., Dubey, N.K., et Raghuwanshi, R., 2018. Diversity of endophytic fungi associated with the medicinally important aromatic plant *Gaultheria fragrantissima*. *Studies in Fungi* 3(1): 309-320.
- 265- Satpute, S.B., et Vanmare, D.J., 2018. Qualitative and quantitative variation in phyllosphere mycoflora of *Hamelia patens* Jacq. *Journal of Medicinal Plants Studies* 6(1): 31-33.
- 266- Schneider, G., Anke, H., et Sterner, O., 1996. Xylaramide, a new antifungal compound, and other secondary metabolites from *Xylaria longipes*. *Zeitschrift für Naturforschung C* 51:802–806.

- 267- Selim, K.A., El-Beih, A.A., El-Rahman, T.M., et El-Diwany, A.I., 2012. Biology of Endophytic Fungi. *Current Research in Environmental & Applied Mycology* 2(1): 31-82.
- 268- 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.
- 269- Selvanathan, S., Indrakumar, I., et Johnpaul, M., 2011. Biodiversity Of The Endophytic Fungi Isolated From *Calotropis Gigantea* (L.) R.BR. *Recent Research in Science and Technology* 3(4): 94-100.
- 270- Senequier-Crozet, A., et Canard, B., 2016. Les champignons endophytes : impact sur les écosystèmes et production de molécules d'intérêt thérapeutique. Thèse en Sciences Pharmaceutique. Faculté de Pharmacie de Grenoble ; France.
- 271- Seyis Bilkay, I., Karakoç, S., et Aksöz, N., 2010. Indole-3-acetic acid and gibberellic acid production in *Aspergillus niger*. *Turk J Biol* 34 : 313-318.
- 272- Sharma, R., et Choudhary, N., 2014. A study on role of keratinophilic fungi in nature: A REVIEW. *ISSN (online): 2320-4257*.
- 273- Sheibani A., 1996. Distribution, use and conservation of pistachio in Iran : Taxonomy, distribution, conservation and uses of *Pistacia* genetic resources. Edited by S. Padulosi 51-56.
- 274- Shi, Q., et Zuo, C., 1992. Chemical components of the leaves of *Pistacia chinensis* Bge. *Zhongguo Zhongyao Zazhi* 17: 422-446.
- 275- Shim, M.Y., Jeon, Y.J., Kim, S.H., 2007. Characterization of a Brown Rot Fungus Isolated from Dwarf Flowering Almond in Korea. *Mycobiology* 30-35.
- 276- Shinozaki, K., Yamaguchi-Shinozaki, K., 2007. Gene networks involved in drought stress response and tolerance. *J. Exp. Bot* 58: 221-227.
- 277- Shobana, G., Rather, R.A., et Kathiravan, G., 2011. Seasonal recurrence of endophytic fungi of *Orthosiphon spiralis*. *International journal of science and nature* 2(4): 723-726.
- 278- Singaravelan, N., Grishkan, I., Beharav, A., Wakamatsu, K., Shosuke, I., 2008. Adaptive Melanin Response of the Soil Fungus *Aspergillus niger* to UV Radiation Stress at "Evolution Canyon", Mount Carmel, Israel. *PLoS One* 3(8): 2993.

- 279- Singh, D.K., Sharma, V.K., Kumar, J., Mishra, A., Verma, S.K., Sieber, T.N., et Kharwar, R.N. 2017. Diversity of endophytic mycobiota of tropical tree *Tectona grandis* Linn.f.: Spatiotemporal and tissue type effects. *Scientific Reports* 7: 3745.
- 280- Singh, D.K., Sharma, V.K., Kumar, J., Mishra, A., Verma, S.K., Sieber, T.N., Kharwar, R.N., 2017. Diversity of endophytic mycobiota of tropical tree *Tectona grandis* Linn. f.: spatiotemporal and tissue type effects. *Sci. Rep* 7 (1):3745.
- 281- Soon-Ok, R., Lee, J.H., Khan, S.A., Lee, I.J., Rhee, I.K., Lee, K.S., Kim, J.G., 2007. Isolation and Identification of Fungal Strains Producing Gibberellins from the Root of plants. *Kor. J. Microbiol. Biotechnol* 35, 357–363.
- 282- Specian, V., Sarragiotto, M.H., Pamphile, J.A., et Clemente, E., 2012. Chemical characterization of bioactive compounds from the endophytic fungus *Diaporthe helianthi* isolated from *Luehea divaricata*. *Brazilian Journal of Microbiology* 43:1174-1182.
- 283- Stone, J.K., Bacon, C.W., White, J.F., 2000. An overview of endophytic microbes: Endophytis defined.- In: Bacon, C. W., White, J. F. (ed.) *Microbial endophytes*, New York: Dekker 3-30.
- 284- Stone, J.K., Polishook, J.D., et White, J.F., 2004 Endophytic fungi In: Mueller, G.M., , G F., et Foster, M.S., (eds.), *Biodiversity of Fungi: Inventory and Monitoring Methods*. (New York: Elsevier Academic Press).
- 285- Strobel, G.A. 2002. Rainforest endophytes and bioactive products. *Crit. Rev. Biotechnol* 22:315-333.
- 286- Strobel, G.A., 2018. The Emergence of Endophytic Microbes and Their Biological. *J. Fungi* 4:57.
- 287- Strobel, G.A., Daisy, B., Castillo, U., et Harper, J., 2004. Natural products from endophytic microorganisms. *J Nat Prod* 67(2):257–268.
- 288- Strobel, G.A., et Daisy, B., 2003. Bioprospecting for microbial endophytes and their natural products. *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 67: 491-502.
- 289- Sudheep, N.M., et Sridhar, K.R., 2012. Non-mycorrhizal fungal endophytes in two orchids of Kaiga forest (Western Ghats), India. *Journal of Forestry Research* 23(3): 453.
- 290- Sun, X., Guo, L.D., et Hyde, K.D., 2011. Community composition of endophytic fungi in *Acer truncatum* and their role in decomposition. *Fungal Diversity* 47 : 85695.

- 291- Suradkar, K.P., Hande, D.V., et Kadu, S.R., 2014. Seasonal diversity of endophytic fungi from ten medicinal plants. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci* 3(9): 260-265.
- 292- Suryanarayanan, T.S., et Thennarasan, S., 2004. Temporal variation in endophyte assemblages of *Plumeria rubra* leaves. *Fungal Diversity* 15: 197-204.
- 293- Suryanarayanan, T.S., et Vijaykrishna, D., 2001. Fungal endophytes of aerial roots of *Ficus benghalensis*. *Fungal Diversity* 8: 155-161.
- 294- Suryanarayanan, T.S., Murali, T.S., Thirunavukkarasu, N., Rajulu, M.G., Venkatesan, G., et Sukumar, R., 2011. Endophytic fungal communities in woody perennials of three tropical forest types of the Western Ghats, southern India. *Biodivers. Conserv* 20 (5) : 913-928.
- 295- Suryanarayanan, T.S., Thirunavukkarasu, N., Govindarajulu, M.B., et Gopalan, V., 2012. Fungal endophytes : an untapped source of biocatalysts. *Fungal Diversity* 54: 19-30.
- 296- Suryanarayanan, T.S., Wittlinger, S.K., et Faeth, S.H., 2005. Endophytic fungi associated with cacti in Arizona. *Mycol Res* 109 : 635–639.
- 297- Tabuc C. Flore fongique de differents substrats et conditions optimales de production des mycotoxines. 2007. Thèse de doctorat de l'institut national polytechnique de Toulouse, Université de Bucarest, Spécialité : Pathologie, Mycologie, Genetique et Nutrition UPSP de Mycotoxicologie. Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse. Laboratoire Biologie Animale. France, 190p.
- 298- Tahrou A., 2005. Architecture racinaire et adaptation du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica*) à la sécheresse. Cas de la population d'Oued Bésbès (Wilaya de Médéa). Mémoire d'ingénieur Agronome. Département des Sciences Agronomiques. Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques. Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, Algérie. 101p.
- 299- Tedersoo L, Nilsson, R. H., Abarenkov, K., Jairus, T., Sadam, A., Saar, I., Bahram, M., Bechem, E., Chuyong, G., Kõljalg, U., 2010. Pyrosequencing and Sanger sequencing of tropical mycorrhizal fungi provide similar results but reveal substantial methodological biases. *New Phytol* 188: 291-301.
- 300- Tetlow, I.J., et Farrar, J.F., 1993. Apoplastic sugar concentration and pH in barley leaves infected with brown rust. *Journal of Experimental. Biology* 44 : 929-936.

- 301- Thirumalesh, B.V., Thippeswamy, B., et Krishnappa, M., 2014. Antibacterial activity of *Xylaria* species in vitro against *Xanthomonas campestris* pv. *mangiferaeindicae* isolated from bacterial black spot of mango fruit. *International Journal of Life Sciences Biotechnology and Pharma Research* 3:125-130.
- 302- Thrower, L.B., Lewis, D.H., 1973. Uptake of sugars by *Epichloë typhina* (Pers. Ex Fr.) Tul. In culture and from its host. *Agrostis stolonifera* L'. *New Phytol* 72: 501-508.
- 303- Tibpromma, S., Kevin, D., Hyde, Jayarama, D., Bhat, Peter, E., Mortimer, Jianchu, X., Promputtha, I., Doilom, M., Yang, Alvin M.C., Tang, Samantha, C., Karunarathna., 2018. Identification of endophytic fungi from leaves of *Pandanaceae* based on their morphotypes and DNA sequence data from southern Thailand. *MycKeys* 33: 25-67.
- 304- Tisgouine Z., 2010. Approche de caractéristiques physiques et chimiques des sols sous pistachier de l'Atlas de la forêt de Theniet El Had (wilaya de Tissemsilt). Mémoire d'ingénieur en Sciences Agronomiques. Département des Sciences Agronomiques. UMMTO. Tizi-Ouzou, Algérie. 68p.
- 305- Toghueo R.M.K., 2020. Bioprospecting endophytic fungi from *Fusarium* genus as sources of bioactive metabolites. *Mycology* 11:1-21.
- 306- Toofanee, S.B., et Dulymamode, R., 2002. Fungal endophytes associated with *Cordemoya integrifolia*. *Fungal Diversity* 11 : 169-175.
- 307- Torres, MS., Singh, A.P., Shah, S., Herrera-Carrillo, Z., Gianfagna, T., White, J.F., Vorsa, N., 2009. LC-MS-MS identification and quantification of phenolics in symbiotic tall fescue. *Proceedings of the 18th Annual Rutgers Turfgrass Symposium*; New Brunswick (NJ): Rutgers University, Center for Interdisciplinary Studies in Turfgrass Science 57.
- 308- Upton, D.J., McQueen-Mason, S.J., et Wood, A.J. 2017. An accurate description of *Aspergillus niger* organic acid batch fermentation through dynamic metabolic modelling. *Biotechnol Biofuels* 10: 258.
- 309- Vacher, C., Hampe, A., Porte, A.J., Sauer, U., Compant, S., Morris, C.E., 2016. The phyllosphere: microbial jungle at the plant-climate interface. *Rev. Ecol. Evol. Syst* 47:1-24.

- 310- Vannini, A., Paganini, R., et Anselmi, N., 1996. Factors affecting discharge and germination of ascospores of *Hypoxylon mediterraneum* (DeNot.) Mill. Eur. J. Forest Pathol 26 : 12-24.
- 311- Vardhana, J., Kathiravan, G., et Dhivya, R., 2017. Biodiversity of Endophytic Fungi and its Seasonal Recurrence from Some Plants. Research J. Pharm. and Tech 10(2).
- 312- Verma, V.C., Kharwar, R.N., Strobel, G.A., 2009. Chemical and functional diversity of natural products from plant associated endophytic fungi. Nat Prod Commun 4(11):1511-1532.
- 313- Vesterlund, S.R., Helander, M., Faeth, S.H., Hyvönen, T., et Saikkonen, K., 2011. Environmental conditions and host plant origin override endophyte effects on invertebrate communities. Fungal Diversity 47: 109–118.
- 314- Vyas, D.N., Sharma, S., Srivastava, A., Shrivastava, N., et Upasani, V.N., 2019. Diversity of endophytic fungi from the medicinal plant *Mucuna pruriens*. International journal of basic and applied research. [www.pragatipublication.com](http://www.pragatipublication.com). ISSN 2249-3352 (P) 2278-0505 (E).
- 315- Wakelin, S.A., Warren, R.A., Harvey, P.R., Ryder, et M.H., 2004. Phosphate solubilization by *Penicillium spp.* closely associated with wheat roots. Biol Fert Soils 40(1):36–43.
- 316- Wang, Y., Mopper, S., et Hasenstein, K. H. 2001. Effects of salinity on endogenous ABA, IAA, JA, and SA in *Iris hexagona*. J. Chem. Ecol 27: 327-342.
- 317- Waqas, M., Khan, A.L., Hamayun, M., Shahzad, R., Kim, Y.H., Choi, K.S., Lee, I.J., 2015. Endophytic infection alleviates biotic stress in sunflower through regulation of defence hormones, antioxidants and functional amino acids. Eur J Plant Pathol 141(4):803–824.
- 318- Waqas, M., Khan, A.L., Kamran, M., Hamayun, M., Kang, S.M., Kim, Y.H., et Lee, I.J., 2012. Endophytic Fungi Produce Gibberellins and Indoleacetic Acid and Promotes Host-Plant Growth during Stress. Molecules 17: 10754-10773.
- 319- Wasilewska, A., Vlad, F., Sirichandra, C., Redko, Y., Jammes, F., Valon, C., Frey, N., Leung, J., 2008. An Update on Abscisic Acid Signaling in Plants and More. *Mol. Plant* 1: 198–217.

- 320- Wei, J.G., Xu, T., Guo, L.D., Liu, A.R., Zhang, Y., et Pan, X.H., 2007. Endophytic *Pestalotiopsis* species associated with plants of *Podocarpaceae*, *Theaceae* and *Taxaceae* in southern China. *Fungal Divers* 24:55-74.
- 321- White, J.F., et Torresa, M.S., 2010. Is plant endophyte-mediated defensive mutualism the result of oxidative stress protection? *Physiol Plantarum* 138: 440-6.
- 322- Wu, F., Yang, D., Zhang, L., Chen, Y., Hu, X., Li, L., et Liang, J., 2018. Diversity Estimation and Antimicrobial Activity of Culturable Endophytic Fungi from *Litsea cubeba* (Lour.) Pers. in China. *Forest* 10(1) : 33.
- 323- Xiong, L., Schumaker, K.S., et Zhu, J., 2002. Cell signalling during cold, Drought and salt stresses. *Plant Cell* 14:163–183.
- 324- Yaaqobi, A., El Hafid, L., et Haloui, B., 2009. Etude biologique de *Pistacia atlantica* Desf. de la région orientale du Maroc. *Biomatec Echo* 3(6) : 39-49.
- 325- Yadav, M., Yadav, A., Kumar, S., et Yadav, J.P., 2016. Spatial and seasonal influences on culturable endophytic mycobiota associated with different tissues of *Eugenia jambolana* Lam and their antibacterial activity against MDR strains. *BMC Microbiol* 16 (1): 44.
- 326- Yaltrik F., 1967. *Anacardiaceae*. Contribution to the taxonomy of woody plants in Turkey. *Notes from the Royal. Botanic Garden Edinburgh* 28: 11-12.
- 327- Yichen, C., Li, P.D., Zhao, J., Wang, H.K., Jeewon, R., Bhojroo, V., Aruna, B., Lin, F.C., et Wang, Q., 2018. Morphmolecular characterization of *Meira nicotianae* sp. nov., a novel Basidiomycetous, anamorphic yeastlike fungus associated with growth improvement in tobacco plant. *Phytotaxa* 365 (2): 169–181.
- 328- Young, A.J., Guo, D., Desmet, P.G., Midgley, G.F., 2016. Biodiversity and climate change: risks to dwarf succulents in Southern Africa. *J. Arid Environ.* 129, 16–24.
- 329- Yousaf, S., Andria, V., Reichenauer, T., Smalla, K., et Sessitsch, A., 2010. Phylogenetic and functional diversity of alkane degrading bacteria associated with Italian ryegrass (*Lolium multiflorum*) and Birds foot trefoil (*Lotus corniculatus*) in a petroleum oil- contaminated environment. *J. Hazard Mater* 184: 523-532.
- 330- Yu, J., Wu, Y., He, Z., Li, M., Zhu, K., et Gao, B., 2018. Diversity and Antifungal Activity of Endophytic Fungi Associated with *Camelliaoleifera*, *Mycobiology* 46(2): 85-91.

- 331- Yuan, Z.C., Haudecoeur, E., Faure, D., Kerr, K.F., Nester, E.W., 2008. Comparative transcriptome analysis of *Agrobacterium tumefaciens* in response to plant signal salicylic acid, indole-3-acetic acid and  $\gamma$ - amino butyric acid reveals signalling cross-talk and agrobacterium– plant co-evolution. *Cell Microbiol* 10: 2339-2354.
- 332- Yuan, Z.L., Zhang, C.L., Lin, F.C., 2010. Role of diverse non-systemic fungal endophytes in plant performance and response to stress: progress and approaches. *J Plant Growth Regul* 29: 116-26.
- 333- Zareb A., 2014. Contribution à l'étude des mycoendophytes foliaires du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) de dayate Aiat (Timzerth, Laghouat, Algérie). Mémoire de Magister. Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques. Département des Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, Algérie. 146 p.
- 334- Zareb, A., Smail-Saadoun, N., et Rezki-Sekhi, L., 2016. Endophytic fungi of leaf of Atlas pistachio of Dayate Aiat (Laghouat, Algeria). Option Méditerranéenne, XV, Grempe Meeting on Almonds and Pistachios, A no 119.
- 335- Zeldi, P., Theresa, A.S., Avelinga, Jacobsb, A., Don, A., Cowanc., 2018. Seasonal variability in fungal endophytes from *Aizoaceae* plants in the Succulent Karoo biodiversity hotspot, South Africa. *Journal of Arid Environments* 156: 19-26.
- 336- Zhang, H.W., Song, Y.C., et Tan, R.X., 2006. Biology and chemistry of endophytes. *Natural Product Reports* 23 : 753-771.
- 337- Zhao, X., Sun, H., Hou, A., Zhao, Q., Wei, T., et Xin, W., 2005. Antioxidant properties of two gallotannins isolated from the leaves of *Pistacia*. *Biochimica Biophysica Acta* 17(25): 103-110.
- 338- Zhdanova, N.N., Vasil'evskaya, A.I., 1988. Melanin-containing fungi in extreme conditions. *Naukova Dumka* (in Russian), Kiev., pp. 286.
- 339- Zimmerman, N.B., et Vitousek, P.M., 2012. Fungal endophyte communities reflect environmental structuring across a Hawaiian landscape. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 109:13022–7.
- 340- Zohary D., 1996. The genus *Pistacia* L. in Padulos S., Caruso T and Barone E. (Eds). *Taxonomy, Distribution, Conservation and uses of Pistacia* genetic resources. I.P.G.R.I. Palermo, Italy. 1-11 p.

- 341- Zohary M., 1952. A monographical study of the genus *Pistacia*. Palest. J. Bot., Jerusalem Series. 5:187-228.
- 342- Zohary M., 1987. Flora Palaestina. *Platanaceae* to *Umbelliferae*. Second printing. Israel Academy of Sciences and Humanities, Jerusalem, Israel 2: 296–300.

**Résumé-** En Algérie, le pistachier de l'Atlas est l'arbre par excellence des milieux steppiques. Le but du présent travail est de montrer la présence, mais aussi l'importante variation saisonnière de la diversité en mycoendophytes au niveau des feuilles du pistachier de l'Atlas. Nous avons choisi pour cela la population de dayateAiat située dans la région de Timzerth, wilaya de Laghouat, constituée par quatorze sujets (d'âge et de sexe différents) et choisis d'une manière subjective. Vingt feuilles saines sont choisies pour la mise en culture. Pour chaque feuille cinq fragments sont mis en culture sur un milieu PDA. Ensuite incubées à une température ambiante pendant 2 mois. Les champignons endophytes présents au niveau des feuilles du pistachier de l'Atlas présentent une fréquence de colonisation importante, elle est de 78, 91%, avec respectivement 74% pour le printemps 2013, 69% pour le printemps 2016, 78% pour l'automne 2015 et 94,64% pour l'automne 2016. Ce fort taux de colonisation peut être expliqué par les conditions climatiques, telles que températures et précipitations qui caractérisent chaque saison d'échantillonnage et non pas par l'âge des sujets. L'isolement et l'identification morphologique (macroscopique et microscopique) des champignons endophytes, recensent 24 genres pour le printemps 2013, 22 genres pour le printemps 2016, 22 genres pour l'automne 2015 et 19 genres pour l'automne 2016. La majorité de ces champignons appartiennent au phylum des Ascomycota. Les Basidiomycota et les Zygomycota y sont faiblement recensés. Nous avons constaté que chaque saison possède son propre cortège microbien. Pour le printemps 2013, certains genres de champignons sont dominants. Il s'agit d'*Aspergillus* (26,3%), *Epicoccum* (25,8%) et *Penicillium* (15,3%). Pour le printemps 2016, les genres dominants sont *Aspergillus* (30,8%), *Cladosporium* (26,7%) et *Trichophyton* (10,6%). L'indice de ShannonWeaver (H) est de 1.25 pour le printemps 2013 et de 1.27 pour le printemps 2016. Pour l'automne 2015, les genres dominants sont *Aspergillus* (27,6%), *Trichophyton* (32%) et *Cladosporium* (24,5%). Durant l'automne 2016, les genres dominants sont *Aspergillus* (42,5%), *Trichophyton* (15,9%), *Rhizopus* (11,5%) et *Cladosporium* (10,8%). Le calcul de l'indice de diversité de Shannon (H) a montré le même indice (1,38) pour les deux automnes 2015 et 2016. La synthèse des résultats pour les 4 saisons a montré que, plusieurs genres fongiques sont répertoriés comme mycoendophytes des feuilles de *P. atlantica*. Des différences d'abondance sont significatives entre les saisons pour les genres suivants : *Aspergillus* (P=0,03), *Cladosporium* (P=0,00), *Epicoccum* (P=0,00), *Monilia* (P=0,03), *Penicillium* (P=0,01), *Phoma* (P=0,03), *Rhizoctonia* (P=0,03), *Rhizopus* (P=0,00), *Rhodotorula* (P=0,00), *Scopulariopsis* (P=0,00), *Trichophyton* (P=0,00) et *Xylaria* (P=0,03). Le genre *Aspergillus* est recensé pour les quatre périodes d'échantillonnage et son abondance augmente au fil des années de manière significative. Nous avons remarqué aussi une augmentation des abondances des genres *Cladosporium* et *Trichophyton* et l'installation des genres *Scopulariopsis*, *Rhodotorula*, *Rhizopus* et *Rhizoctonia* pour les années 2015 et 2016. L'indice de diversité (H) présente une différence très hautement significative (P= 0,00) entre les quatre saisons d'échantillonnage. L'âge des différents sujets échantillonnés ne joue pas un rôle important dans la diversité en mycoendophytes foliaires. Des facteurs abiotiques tels que la température, les précipitations et l'humidité atmosphérique, ainsi que leurs effets sur la plante hôte provoquent des variations dans l'occurrence des champignons endophytes.

**Mot- clés :** mycoendophytes foliaires, pistachier de l'Atlas, diversité, variations climatiques, Timzerth (Laghouat, Algérie).

**Abstract-** In Algeria, the Atlas pistachio tree is the tree par excellence in steppe environments. The aim of this work is to show the presence, but also the important seasonal variation in the diversity of mycoendophytes in the leaves of the Atlas pistachio tree. We have chosen for this the population of dayateAiat located in the region of Timzerth, wilaya of Laghouat, made up of fourteen subjects (of different age and sex) and chosen subjectively. Twenty healthy leaves are chosen for cultivation. For each leaf, five fragments are cultured on a PDA medium. Then incubated at room temperature for 2 months. The endophytic fungi present in the leaves of the Atlas pistachio tree have a high colonization frequency, it is 78.91%, with 74% respectively for spring 2013, 69% for spring 2016, 78% for fall 2015 and 94.64% for fall 2016. This high rate of colonization can be explained by climatic conditions, such as temperatures and precipitation which characterize each sampling season and not the age of the subjects. The isolation and morphological identification (macroscopic and microscopic) of endophytic fungi identify 24 genera for spring 2013, 22 genera for spring 2016, 22 genera for fall 2015 and 19 genera for fall 2016. The majority of these fungi belong to the phylum Ascomycota. Basidiomycota and Zygomycota are poorly recorded there. We have found that each season has its own microbial procession. For spring 2013, the dominant genera of Fungi are *Aspergillus* (26.3%), *Epicoccum* (25.8%) and *Penicillium* (15.3%). For spring 2016, the dominant genera are *Aspergillus* (30.8%), *Cladosporium* (26.7%) and *Trichophyton* (10.6%). The Shannon Weaver (H) index is 1.25 for spring 2013 and 1.27 for spring 2016. For fall 2015, the dominant genera are *Aspergillus* (27.6%), *Trichophyton* (32%) and *Cladosporium* (24.5%). During the autumn of 2016, the dominant genera are *Aspergillus* (42.5%), *Trichophyton* (15.9%), *Rhizopus* (11.5%) and *Cladosporium* (10.8%). The calculation of Shannon's diversity index (H) showed the same index (1.38) for both autumn 2015 and 2016. The synthesis of the results for the 4 seasons showed that, several fungal genera are listed as mycoendophytes of the leaves of *P. atlantica*. Differences in abundance are significant between seasons for the following genera: *Aspergillus* (P = 0.03), *Cladosporium* (P = 0.00), *Epicoccum* (P = 0.00), *Monilia* (P = 0.03), *Penicillium* (P = 0.01), *Phoma* (P = 0.03), *Rhizoctonia* (P = 0.03), *Rhizopus* (P = 0.00), *Rhodotorula* (P = 0.00), *Scopulariopsis* (P = 0.00), *Trichophyton* (P = 0.00) and *Xylaria* (P = 0.03). The genus *Aspergillus* is recorded for all four sampling periods and its abundance increases significantly over the years. We also noticed an increase in the abundances of the genera *Cladosporium* and *Trichophyton* and the installation of the genera *Scopulariopsis*, *Rhodotorula*, *Rhizopus* and *Rhizoctonia* for the years 2015 and 2016. The diversity index (H) shows a very highly significant difference (P = 0.00) between the four sampling

seasons. The age of the different subjects sampled does not play an important role in the diversity of leaf mycoendophytes. Abiotic factors such as temperature, precipitation and atmospheric humidity, as well as their effects on the host plant cause variations in the occurrence of endophytic fungi.

**Key-word:** mycoendophytes leaf, pistachio Atlas, climatic variations, Timzerth, Laghouat, Algeria.

**ملخص-** في الجزائر، شجرة البطم الأطلسي هي الشجرة بامتياز في بيئات السهوب. الهدف من هذا العمل هو إظهار التواجد، ولكن أيضاً الاختلاف الموسمي الكبير في تنوع الفطريات الأندوفية في أوراق شجرة البطم الأطلسي. من أجل ذلك، أخذنا عينة من البطم الأطلسي من عيات في منطقة تيمزرت، ولاية الأغواط، المكونة من أربعة عشر موضوعاً (من مختلف الأعمار والجنس) وتم اختياره عشوائياً. يتم اختيار عشرين ورقة صحية، خمس قطع من الأوراق تزرع في وسط الزراعة. ثم حضنت في درجة حرارة الغرفة لمدة شهرين

الفطريات الأندوفية الموجودة في أوراق شجرة البطم الأطلسي لها عدد الاحتلال مرتفع، فهي 78.91٪، 74٪ على التوالي لربيع 2013، 69٪ لربيع 2016، 78٪ لخريف 2015 و 94.64٪ لخريف 2016. ارتفاع عدد الاحتلال يمكن تفسيره بالظروف المناخية، مثل درجات الحرارة وهطول الأمطار التي تميز كل موسم أخذت عينات وليس حسب عمر المواضيع. العزل والتعرف المورفولوجي (الميكروسكوب والميكروسكوب) للفطريات الأندوفية، حدد 24 جنساً لربيع 2013، 22 جنساً لربيع 2016، 22 جنساً لخريف 2015 و 19 جنساً لخريف 2016. غالبية هذه الفطريات تنتمي إلى

فصيلة Ascomycota و نسبة قليلة من Basidiomycota و جد قليلة من Zygomycota .

لقد وجدنا أن كل موسم له موكب من الفطريات خاص به. بالنسبة لربيع 2013، تسوده أنواع معينة:

*Aspergillus* (26,3%) ، *Epiccocum* (25,8%) و *Penicillium* (15,3%).

لربيع 2016 الأجناس السائدة هي: *Aspergillus* (30,8%) ، *Cladosporium* (26,7%) و *Trichophyton* (10,6%)

مؤشر Shannon Weaver (H): 1.25 لربيع 2013 و 1.27 لربيع 2016.

بالنسبة لخريف 2015، الأجناس السائدة هي: *Aspergillus* (27,6%) ، *Trichophyton* (32%) و *Cladosporium* (24,5%)

خلال خريف عام 2016، كانت الأجناس السائدة هي: *Aspergillus* (42,5%) ، *Trichophyton* (15,9%) ، *Rhizopus* (11,5%) و *Cladosporium* (10,8%)

(H). نفس المؤشر (1.38) لكل من خريف 2015 و 2016

أظهر تركيب نتائج الفصول الأربعة أن العديد من الأجناس الفطرية مدرجة على أنها فطريات لأوراق *P. atlantica*

*Aspergillus* (P = 0.03)، *Cladosporium* (P = 0.00)، *Epiccocum* (P = 0.00)، الاختلافات في الوفرة معنوية بين المواسم للأجناس التالية، *Monilia*، *Penicillium* (P = 0.01)، *Phoma* (P = 0.03)، *Rhizoctonia* (P = 0.03)، *Rhizopus* (P = 0.00)، *Rhodotorula* (P = 0.00)، *Scopulariopsis* (P = 0.00)، *Trichophyton* (P = 0.00) and *Xylaria* (P = 0.03).

*Cladosporium* و *Trichophyton* لجميع فترات أخذ العينات الأربع وتزداد وفرته بشكل ملحوظ على مر السنين لاحظنا أيضاً زيادة في وفرة أجناس *Aspergillus* مع

و زيادة في *Rhizoctonia* و *Rhizopus* و *Rhodotorula* و *Scopulariopsis* للأعوام 2015 و 2016

يُظهر دليل التنوع (H) (P = 0.00) فرقاً كبيراً للغاية بين مواسم أخذ العينات الأربعة

لا يلعب عمر الموضوعات المختلفة التي تم أخذ عينات منها دوراً مهماً في تنوع الخلايا الفطرية الورقية بل العوامل مثل درجة الحرارة والتساقط والرطوبة الجوية تسبب اختلافات في الفطريات الداخلية

**الكلمات المفتاحية:** فطر الأندوفيت، البطم الأطلسي، التنوع، التغيرات المناخية، تيمزرت (الأغواط، الجزائر)