

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE DE MOULoud MAMMERI DE TIZI-OUZOU
FACULTE DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET DES SCIENCES
AGRONOMIQUES
DEPARTEMENT DES SCIENCES BIOLOGIQUES



MEMOIRE DE MASTER

Spécialité : Diversité et adaptation de la flore méditerranéenne

THEME

**Contribution à l'étude de la diversité en
mycoendophytes des fruits de *Pistacia atlantica*
Desf. : cas de la région de Metlili (Ghardaïa)**

Présenté par : Brahimi-Saidani Roza

Le : 31 octobre 2016

Devant le jury composé de :

Mme Nait Kaci-Boudiaf M. M.A.B à l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou Présidente

Mme Smail-Saadoun N. Professeur à l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou Promotrice

Mr Medjkoun N. M.A.A à l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou Examineur

Année universitaire 2015 /2016

Remerciements

Mes sincères remerciements sont à Madame SMAIL-SAADOUN Noria (Professeur à l'UMMTO), pour m'avoir encadré pendant mon mémoire de Master. Merci aussi pour votre disponibilité, votre patience et votre compréhension. Merci d'avoir pris le temps de corriger et m'aider à finaliser ce travail ; Un immense merci à vous.

Je remercie aussi Mme NAIT KACI-BOUDIAF M. d'avoir accepté de présider le jury de soutenance et d'examiner mon travail.

Mr MEDJKOUN N. qui a accepté d'examiner ce travail. Qu'il soit remercié.

Je remercie aussi Mme REZKI-SEKHI L. et Mme BELKBIR-BOUKAIS A. membres du laboratoire « Ressources Naturelles » de l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, où j'ai effectué mon mémoire. Merci pour votre aide et votre soutien.

Un grand merci pour la Conservation des forêts de la wilaya de Laghouat qui m'ont fait la récolte des fruits utilisés dans ce travail.

Je remercie également Melle. ZAREB A ; OUZID Y et MECHIAH F pour leur soutien et le partage du savoir et des informations.

Ce travail est dédiée à :

A mes chers parents qui m'ont encouragée à être ce que je suis.

*A mon cher mari MBA, qui par sa compréhension, sa
patience et ses encouragements, a soutenu sans cesse mes efforts
durant la réalisation de ce travail.*

*A ma grand-mère et mes tantes : Yamina, Samia, Djamilia
et ses fils : Rayan et Amine.*

A mes chers frères : Rabah et Lyes.

*A ma belle-mère et mon beau père pour leur amour et leur
encouragement.*

*A mes belles sœurs : Tina et Dyhia et mon beau-frère :
Kouci.*

A tous ceux qui m'aiment.

Rosa

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau I : températures (°C) moyennes mensuelles, maxima et minima pour dix ans (2003-2012) dans la wilaya de Ghardaïa (Dahou, 2014).....	39
Tableau II : valeurs des précipitations dans la wilaya de Ghardaïa (période 2003-2012) (Dahou, 2014).....	40
Tableau III : données et paramètres utilisés dans la classification écoclimatique de la station de Ghardaïa (Dahou, 2014).....	41
Tableau IV : fréquence de colonisation des fruits du pistachier de l'Atlas de Metlili (Ghardaïa).....	48
Tableau V : l'analyse de variance (Anova) des fréquences de colonisation des fruits du pistachier de l'Atlas de Metlili (Ghardaïa).....	50
Tableau VI : fréquence moyenne de colonisation (FC%) par les champignons endophytes des fruits et des feuilles de <i>Pistacia atlantica</i> Desf.....	51
Tableau VII : diversité des mycoendophytes isolés à partir des fruits du pistachier de l'Atlas de Metlili (Ghardaïa).....	50
Tableau VIII : l'abondance des mycoendophytes isolés à partir des fruits du pistachier de l'Atlas de Metlili (Ghardaïa).....	60
Tableau IX : comparaison de l'abondance des genres fongiques isolés à partir des fruits du pistachier de l'Atlas de Metlili, les feuilles de dayate El-Gouffa et dayate Aïat.....	62
Tableau X : matrice des corrélations entre les taux de mycoendophytes recensés.....	65

Liste des figures

Liste des figures

Figure 1 : modes de croissance des champignons endophytes dans les tissus des plantes hôtes (Kusari et Spiteller, 2012).....	7
Figure 2 : représentation schématique du cycle de vie des champignons endophytes du genre <i>Neotyphodium</i> (Repussard et al., 2013).....	8
Figure 3 : principaux modes de transmission chez les champignons endophytes (Saikkonen et al., 2004).....	8
Figure 4 : quelques espèces d' <i>Absidia</i> (Hoffmann et al., 2007).....	11
Figure 5 : organes de fructifications du genre <i>Rhizopus</i> (Lecellier, 2013).....	12
Figure 6 : observation microscopique d' <i>Aspergillus</i> (Krimitzas et al., 2013).....	14
Figure 7 : pycnidium de <i>Phoma herbarum</i> (A), <i>Phoma. carteri</i> (B) (100 µm) (Aveskamp et al., 2008).....	15
Figure 8 : chlamydospores de <i>Phoma glomerata</i> (A= 100 µm, B= 10µm) (Aveskamp et al., 2008).....	15
Figure 9 : quelques substances antimicrobiennes produites par les champignons endophytes (Yu et al., 2010 ; Selim et al., 2012).....	23
Figure 10 : quelques substances anticancéreuses produites par les champignons endophytes (Pimentel et al., 2011 ; Selim et al., 2012).....	25
Figure 11 : quelques antioxydants produits par les champignons endophytes (Selim et al., 2012).....	27
Figure 12 : pistachier de l'Atlas (Laghouat, avril 2015).....	30
Figure 13 : racines du pistachier de l'Atlas (Liman et al., 2014).....	30
Figure 14 : feuilles du pistachier de l'Atlas (Laghouat, avril 2015).....	31
Figure 15 : fruits du pistachier de l'Atlas (Laghouat, avril 2015).....	32
Figure 16 : la présence des mycoendophytes dans les feuilles de pistachier de l'Atlas (x40) (Smail-Saadoun et al., 2015).....	34
Figure 17 : mycoendophytes colorant les stomates en bleu (x 200) (Smail-Saadoun et al., 2015).....	34
Figure 18 : localisation de la wilaya de Ghardaïa (google.fr).....	37
Figure 19 : limites administratives de la région de Metlili (Atlas, 2004 in Dahou, 2014).....	38

Liste des figures

Figure 20 : diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен de la région de Ghardaïa (2003-2012) (Dahou, 2014).....	40
Figure 21 : zonation écoclimatique de la station de Ghardaïa selon la méthode de Le Houérou (1995).....	42
Figure 22 : fruits du pistachier de l'Atlas utilisées dans l'étude.....	43
Figure 23 : fruits du pistachier de l'Atlas ensemencés sur les milieux de cultures (P.D.A)....	44
Figure 24 : étapes de la stérilisation superficielle et ensemencement des fruits de <i>Pistacia atlantica</i> Desf.....	45
Figure 25 : fréquence de colonisation (%) des champignons endophytes des fruits des pistachiers de l'Atlas.....	49
Figure 26 : observation microscopique d' <i>Aspergillus niger</i> isolés à partir des fruits du pistachier de l'Atlas après deux mois d'incubations. a- colonie fongique d' <i>Aspergillus niger</i> dans un milieu PDA, b- <i>Aspergillus niger</i> (400).....	53
Figure 27 : observation microscopique d' <i>Aspergillus sulphureus</i> isolé à partir des fruits du pistachier de l'Atlas après deux mois d'incubation. a- colonie fongique d' <i>Aspergillus sulphureus</i> dans un milieu PDA, b- <i>Aspergillus sulphureus</i> (400).....	54
Figure 28 : observation microscopique d' <i>Aspergillus candidus</i> isolé à partir des fruits du pistachier de l'Atlas après deux mois d'incubation. a- colonie fongique d' <i>Aspergillus candidus</i> dans un milieu PDA, b- <i>Aspergillus candidus</i> (400).....	55
Figure 29 : observations microscopiques d' <i>Aspergillus neoniger</i> isolé à partir des fruits du pistachier de l'Atlas après deux mois d'incubations. a- colonie fongique d' <i>Aspergillus neoniger</i> sur milieu PDA, b- <i>Aspergillus neoniger</i> (400).....	56
Figure 30 : observations microscopiques de <i>Rhizopus</i> isolé à partir des fruits du pistachier de l'Atlas après deux mois d'incubation. a- colonie de <i>Rhizopus</i> sur milieu PDA, b- <i>Rhizopus</i> (400).....	56
Figure 31 : observation microscopique de <i>Gliocladium</i> isolé des fruits du pistachier de l'Atlas après deux mois d'incubation. a- colonie fongique de <i>Gliocladium</i> sur milieu PDA, b- <i>Gliocladium</i> (400).....	57

Liste des figures

- Figure 33** : observation microscopique d'*Aspergillus acidus* isolé des fruits du pistachier de l'Atlas après deux mois d'incubation. a- colonie fongique d'*Aspergillus acidus* sur milieu PDA, b- *Aspergillus acidus* (400)..... 58
- Figure 34** : observation microscopique d'*Aspergillus aureoterreus* isolé des fruits du pistachier de l'Atlas après deux mois d'incubation. a- colonie fongique d'*Aspergillus aureoterreus* sur milieu PDA, b- *Aspergillus aureoterreus* (400)..... 58
- Figure 35** : observation microscopique d'*Aspergillus flavus* isolé des fruits du pistachier de l'Atlas après deux mois d'incubation. a- colonie fongique d'*Aspergillus flavus* sur milieu PDA, b- *Aspergillus flavus* (400)..... 59
- Figure 36** : statut général de l'abondance des mycoendophytes des fruits de *Pistacia atlantica* Desf..... 61
- Figure 37** : composition des mycoendophytes des fruits de *Pistacia atlantica* Desf. selon le phylum à Metlili..... 63
- Figure 38** : ACP représentant les boîtes utilisées et les champignons endophytes recensés chez le pistachier de l'Atlas de Metlili..... 67

Introduction générale

Introduction générale

Les plantes, en tant qu'êtres vivants fixés au sol sont exposées à de multiples facteurs biotiques et abiotiques. Pour survivre à ces changements, elles produisent au cours de leur évolution des stratégies adaptatives différentes d'une plante à une autre. Les plantes des zones arides ont développé des stratégies uniques, comme les associations symbiotiques qui réduisent le stress, améliorent la nutrition et protègent contre la sécheresse et les pathogènes. Le pistachier de l'Atlas en est le bon exemple.

Le bétoum ou le pistachier de l'Atlas est une espèce qu'on trouve dans les milieux arides, semi arides et même saharien (Smail-Saadoun, 2005). Il est connu par son adaptation à la sécheresse. C'est une essence importante tant sur le plan écologique, biogéographique qu'économique. Cet arbre est à la fois protecteur et productif ; ainsi il a beaucoup d'intérêts médical, pharmaceutique et économique. Cependant cette espèce ne cesse de régresser d'année en année suite à des actions climatiques et surtout anthropique (Faouzi et *al.*, 2015), malgré son adaptation aux conditions climatiques et édaphiques des régions dans lesquelles elle se trouve (Smail-Saadoun et *al.*, 2015). L'aire du pistachier ne cesse de décliner, suite à l'exploitation anarchique des arbres (fourrage et bois de chauffage) et au pâturage qui empêche la régénération naturelle et le développement des jeunes pousses (Belhadj, 2007). Le pistachier de l'Atlas est utilisé comme un porte-greffe pour *Pistacia vera*, à cause de sa résistance à l'aridité et à son système racinaire trop puissant mais aussi à ses faibles exigences climatiques (Chaba et *al.*, 1991 ; Lagha, 1993 ; Monastra et *al.*, 2000). L'arbre fournit un bois d'artisanat et toutes les espèces de pistachier constituent un apport en fourrage considérable pour l'alimentation du bétail surtout en automne. Cette essence peut entrer dans le cadre de la lutte contre la désertification, utilisée pour la fixation des dunes comme brise vents (Belhadj, 2003 *in* Maamri, 2008).

En Algérie, si la régénération de l'espèce avait été protégée depuis longtemps, elle se serait traduite par la constitution d'une population plus homogène, plus nombreuse et plus productive (Monjauze, 1980).

Le pistachier de l'Atlas est une espèce connue par des interactions symbiotiques avec les mycoendophytes, en raison de son développement dans des conditions arides et son besoin de ces champignons pour lutter contre les conditions du milieu (Smail-Saadoun et *al.*, 2015).

Les champignons endophytes sont généralement définis comme étant les espèces qui existent dans les tissus vivants de plantes, pour une partie ou la totalité de leur cycle de vie, sans causer de dommages apparents à leurs hôtes (Rodriguez et *al.*, 2009). Ils ont été isolés à partir de presque tous les organes de chaque plante échantillonnée (Rodriguez et *al.*, 2009 ; Currie et *al.*, 2014). Ils ont été largement étudiés dans les différentes zones géographiques et climatiques et se sont révélés être omniprésents dans les tissus végétaux et riche en diverses espèces (Ghimire et *al.*, 2011 ; Rivera-Orduña et *al.*, 2011 ; Li et *al.*, 2012b ; Tanwar et Aggarwal, 2013).

Les champignons endophytes confèrent dans leur association symbiotique à la plante hôte une amélioration de son état en synthétisant certains métabolites fonctionnels et en retour bénéficient de la protection et des nutriments de la plante (Kogel et *al.*, 2006). Certains endophytes sont susceptibles de renforcer la tolérance des végétaux hôtes à des stress environnementaux (sécheresse, forte variation de température, forte salinité...), à des phytopathogènes ou à des herbivores (Waller et *al.*, 2005). Les endophytes sont l'un des groupes les plus créatifs de producteurs de métabolites secondaires qui jouent des rôles biologiques importants pour la vie humaine (Selim et *al.*, 2012). Ils ont été rapportés pour produire de nouvelles propriétés antibactériennes, antifongiques, antivirales, anti-inflammatoires, anti-tumorales (Guo et *al.*, 2008 , Yu et *al.*, 2010). Ce sont des sources potentielles d'agents naturels novateurs en vue de l'exploitation dans l'industrie pharmaceutique, l'agriculture et dans les applications environnementales (Selim et *al.*, 2012).

Nous avons effectué ce travail de recherche au niveau du laboratoire Ressources Naturelles de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou (U.M.M.T.O). Notre objectif a été une contribution à la mise en évidence de mycoendophytes dans les fruits de *Pistacia atlantica* Desf. de la région de Metlili (Ghardaïa). Les études préalables sur les mycoendophytes du pistachier de l'Atlas au laboratoire ont concerné les racines et les feuilles de cette espèce. A notre connaissance c'est la première fois qu'une étude se fait sur les fruits chez le pistachier de l'Atlas, en Algérie.

Introduction générale

Dans ce travail, nous nous sommes intéressés à la diversité et l'abondance des champignons endophytes au niveau du fruit de *Pistacia atlantica* après culture sur milieu PDA.

Ce travail est subdivisé en quatre grands chapitres :

- ❖ Le chapitre 1 concerne une bibliographie sur les mycoendophytes ;
- ❖ Le chapitre 2 donne la description du pistachier de l'Atlas ;
- ❖ Le chapitre 3 présente le matériel et les méthodes utilisés dans cette étude ;
- ❖ Le chapitre 4 concerne les résultats et la discussion de ces derniers.

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

Chapitre 1 :
Les mycoendophytes

1 Introduction

Les champignons causant des infections asymptomatiques dans les tissus de plantes vivantes ont été appelés champignons endophytes (Hyde et Soyong, 2008). En 1866, De Barry les a nommés comme tout organismes trouvés dans la plante (Petrini, 1986 ; Maheshwari, 2006 ; Arnold, 2007).

La définition la plus couramment utilisée pour décrire les endophytes est celle de Petrini (1991), qui définit les endophytes comme étant tous les microorganismes vivant dans les organes végétaux internes à un certain moment de leur vie, sans causer de dommage apparents chez l'hôte (Hyde et Soyong, 2008). Le terme endophyte a été cité pour la première fois par De Barry en 1866, l'origine du mot provient du grec « endo » qui signifie « dedans » et « phyton » qui veut dire plante, à l'intérieur de la plante, et qui désignait tout organisme survenant dans les tissus de plantes (Hyde et Soyong, 2008).

Les endophytes ont été largement étudiés dans les différentes zones géographiques et climatiques. Ils sont omniprésents dans les tissus végétaux, qui sont riches en diverses espèces (Ghimire et *al.*, 2011 ; Rivera - Orduña et *al.*, 2011; Li et *al.*, 2012b ; Tanwar et Aggarwal, 2013). Il y a près de 300.000 espèces de plantes sur la terre, chaque plante est l'hôte d'un ou plusieurs endophytes, et beaucoup d'entre eux peuvent coloniser plusieurs hôtes. Ils ont été isolés à partir de presque tous les organes de chaque plante échantillonnée et sur toutes les plantes étudiées à ce jour (Rodriguez et *al.*, 2009 ; Currie et *al.*, 2014).

Les champignons endophytes présentent une grande diversité. Ils sont hétérotrophes et prélèvent des nutriments à l'hôte sans que celui-ci ne présente des signes de maladie. Ils peuvent croître dans le milieu intracellulaire ou intercellulaire (Sénéquier-Crozet et Canard, 2016) (Figure 1).

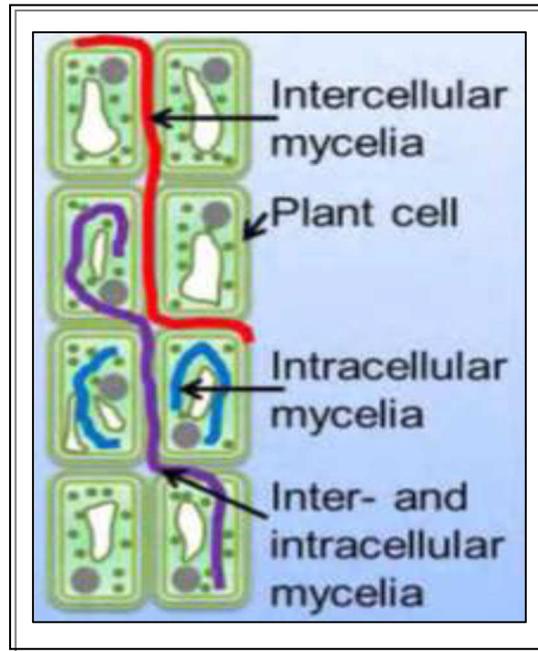


Figure 1 : modes de croissance des champignons endophytes dans les tissus des plantes hôtes
(Kusari et Spiteller, 2012).

2 Mode de transmission

Le mode de transmission est le moyen par lequel le champignon endophyte peut coloniser un autre individu à partir de l'hôte initial. Il existe deux types de transmission pour les endophytes (Sénéquier-Crozet et Canard, 2016).

➤ Transmission verticale

Les endophytes sont initialement contenus dans la graine et se retrouvent plus tard dans les différentes parties de la plante après la germination (Andriamialiharisoa, 2011), ex : *Neotyphodium* (Figure 2 et Figure 3).

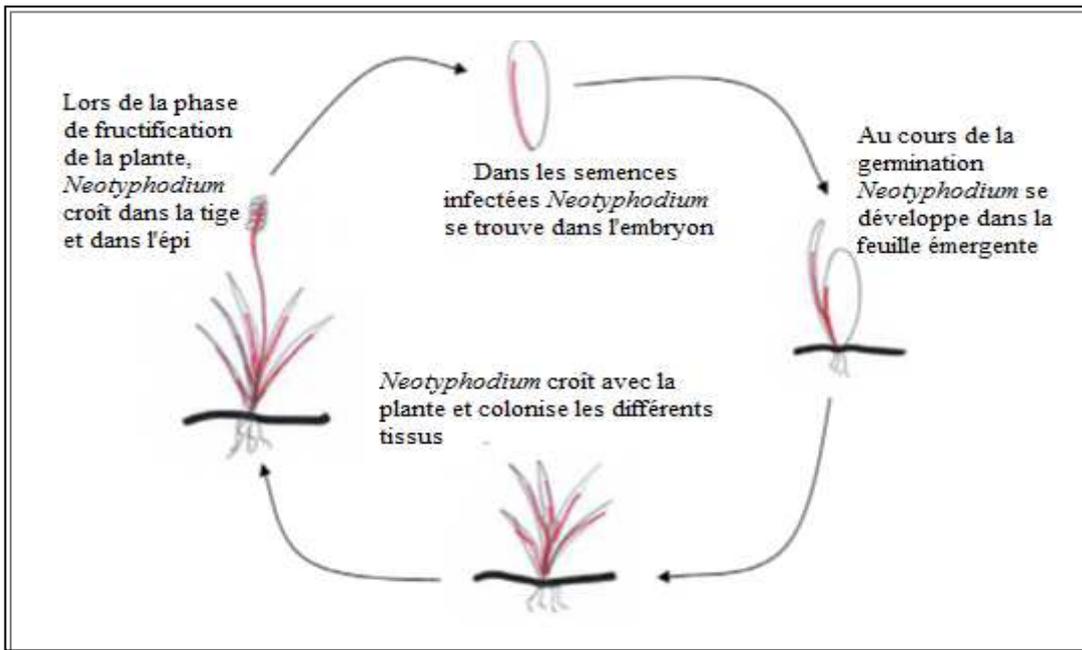


Figure 2 : représentation schématique du cycle de vie des champignons endophytes du genre *Neotyphodium* (■) (Repussard et al., 2013).

➤ **Transmission horizontale**

Ce second mode s'effectue via les spores. Les spores de champignon emportées par le vent ou la pluie se déposent sur les parties aériennes et les racines de la plante, pénètrent à travers les stomates ou en troue des appressoria (organes de fixation et de germination des spores) et colonisent finalement l'intérieur de la plante (Figure 3) (Andriamialiharisoa, 2011).

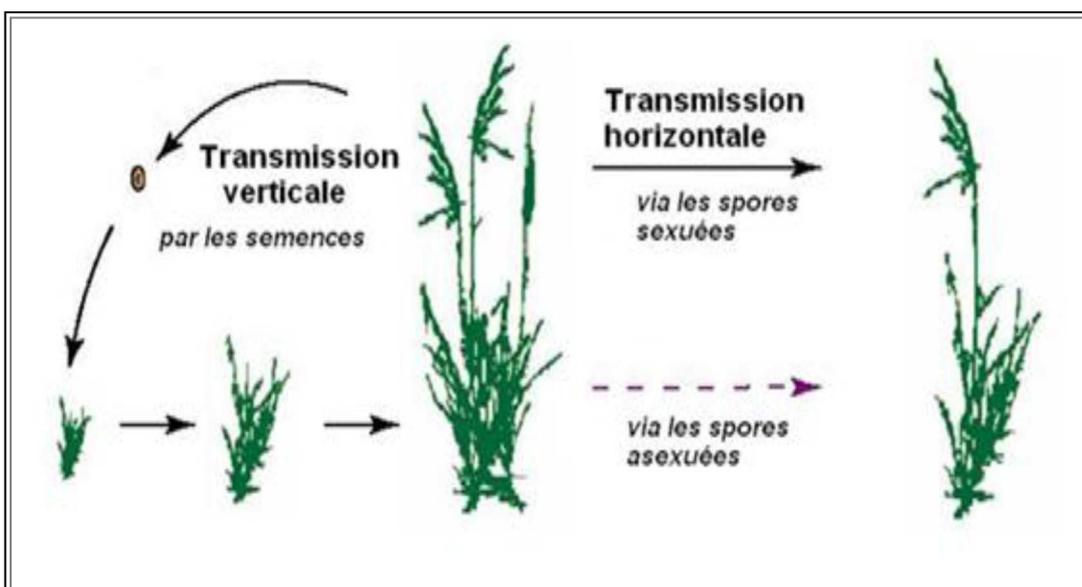


Figure 3 : principaux modes de transmission chez les champignons endophytes (Saikkonen et al., 2004).

3 Diversité et taxonomie

La classification des champignons est basée sur le mode de reproduction sexuée. Les champignons appartenant au règne des Eumycota sont des champignons pour lesquels le mode de reproduction sexuée est connu. On parle alors de champignons téléomorphes. Pour certains champignons appelés anamorphes, le mode de reproduction sexuée est inconnu et seule une multiplication asexuée ou végétative est observée. L'ensemble de ces champignons sont regroupés au sein de la division des Deuteromycota, que l'on appelle aussi « champignons imparfaits ou « *Fungi imperfecti* » (Lecellier, 2013).

Le développement des méthodes moléculaires a permis de classer certains d'entre eux dans le règne des Eumycota et plus particulièrement dans les Ascomycota en les rattachant à une forme sexuée connue. Ce groupe ne représentant pas un véritable groupe de champignons, il est constitué de nombreuses espèces, il est très hétérogène et il ne constitue pas un ensemble phylogénétique. Les Deuteromycota sont divisés en trois classes : les Blastomycètes, regroupant les levures, les Hyphomycètes et les Coelomycètes (Lecellier, 2013).

La plupart des champignons endophytes appartiennent à l'embranchement des Ascomycota ; cependant certains appartiennent à d'autres taxons tels que les Deuteromycota, Basidiomycota, Zygomycota et Oomycota (Saar et *al.*, 2001). Ils représentent un groupe très diversifié (Zabalgoitia, 2008) avec une estimation de 1.5 millions d'espèces (Fernandes et *al.*, 2009) et une moyenne d'environ 50 espèces d'endophytes par espèce de plante, dont les multiples couches des tissus sont utilisées comme habitat. Ils ont été isolés à partir de toutes les plantes étudiées à ce jour, des plantes allant des grandes arbres (Oses et *al.*, 2008), palmier (Frohlich et *al.*, 2000), les graminées marines (Alva et *al.*, 2002) et même à partir des lichens (Li et *al.*, 2007). Et aussi, à partir de plante poussant dans les forêts aussi bien tropicales, tempérées que boréales (Stone et *al.*, 2004).

3-1 Zygomycota

Ce phylum regroupait approximativement 1065 espèces décrites (Ainsworth, 2008) caractérisées par des thalles filamenteux siphonnés et des spores dépourvues de flagelle (Hibett et *al.*, 2007).

Parmi les champignons qui appartiennent au phylum des Zygomycota on trouve les genres *Absidia* et *Rhizopus*.

❖ *Absidia*

Le genre *Absidia* est un champignon ubiquiste du sol, constitué d'espèces fongiques (Mucorales, Zygomycètes) qui représentent d'importants agents étiologiques de mucormycoses chez les humains (infection de personnes immunodéprimées par un champignon) et les animaux (Ribes et *al.*, 2000 ; Ritz et *al.*, 2005 ; Thirion-Delalande et *al.*, 2005).

Le genre *Absidia* englobe les espèces mésophiles et thermotolérantes. La morphologie du genre est bien caractérisé et se concentre sur des structures végétatives anamorphes, les structures génératives téléomorphes (Zycha et *al.*, 1969 ; O'Donnell, 1979; Von Arx, 1983 ; Benny et *al.*, 2001). Les caractéristiques principales du genre *Absidia* sont ; la présence d'une apophyse sous le sporange, les sporangiophores, les hyphes forment souvent des stolons cintrés avec rhizoïdes à croissance rapide (Van, 1876) (Figure 4).

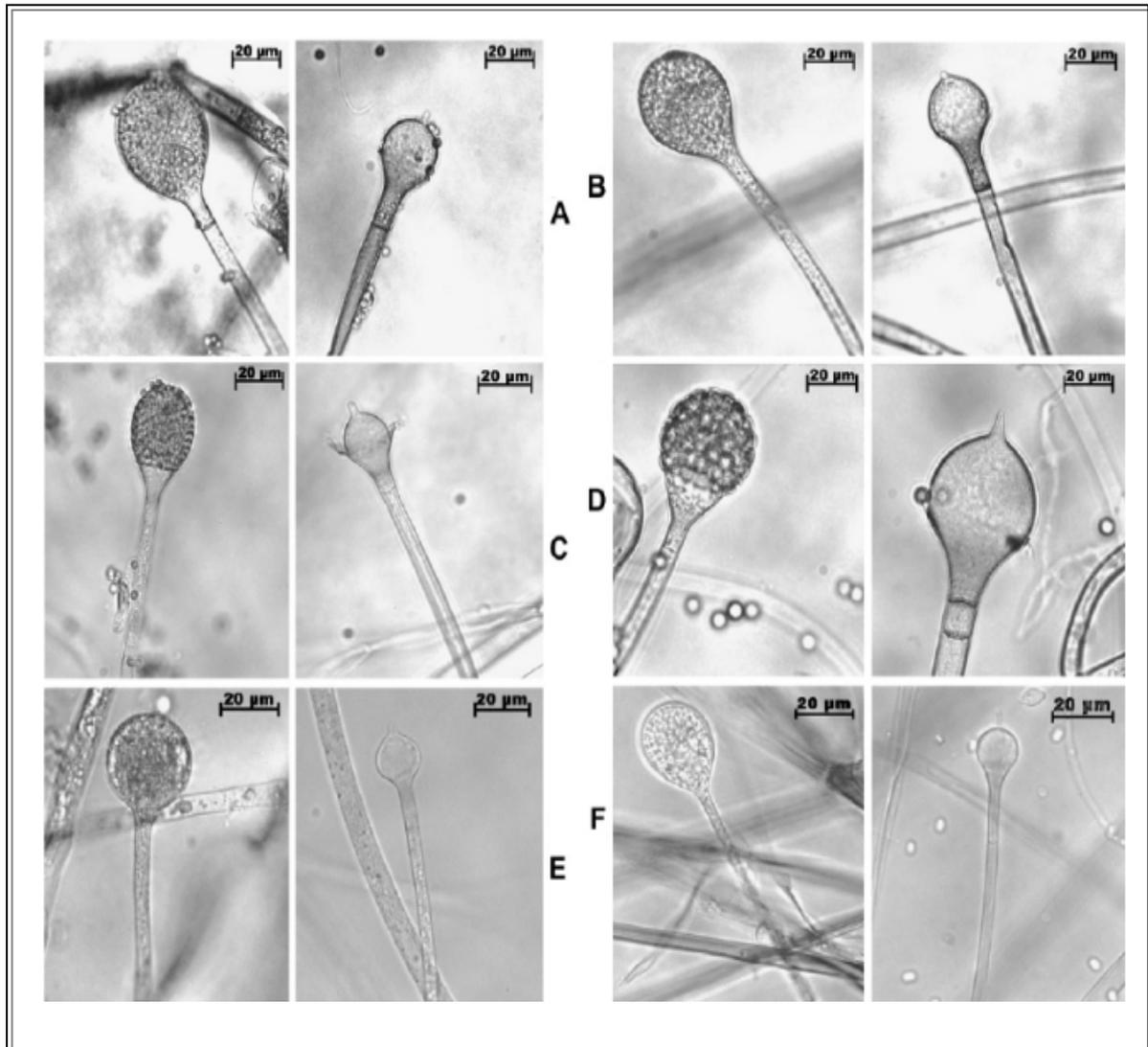


Figure 4 : quelques espèces d'*Absidia* (Hoffmann et al., 2007)

Absidia californica (A). *A. coerulea* (B). *A. glauca* (C) *A. macrospora* (D). *A. cuneospora* (E). *A. anomala* (F).

❖ *Rhizopus*

Le genre *Rhizopus* est un champignon qui appartient aux Zygomycota. Ils sont généralement saprophytes et peuvent être trouvés sur les matières organiques en décomposition, sur les feuilles ou dans le sol. Les *Rhizopus* sont rencontrés dans la production d'acides organiques, principalement l'acide lactique et l'acide fumarique, et dans la production d'enzymes, par exemple les amylases, les pectinases, les cellulases, les protéases. Certaines souches de *Rhizopus* sont également connues pour être des agents pathogènes opportunistes (Bach, 2014) (Figure 5).

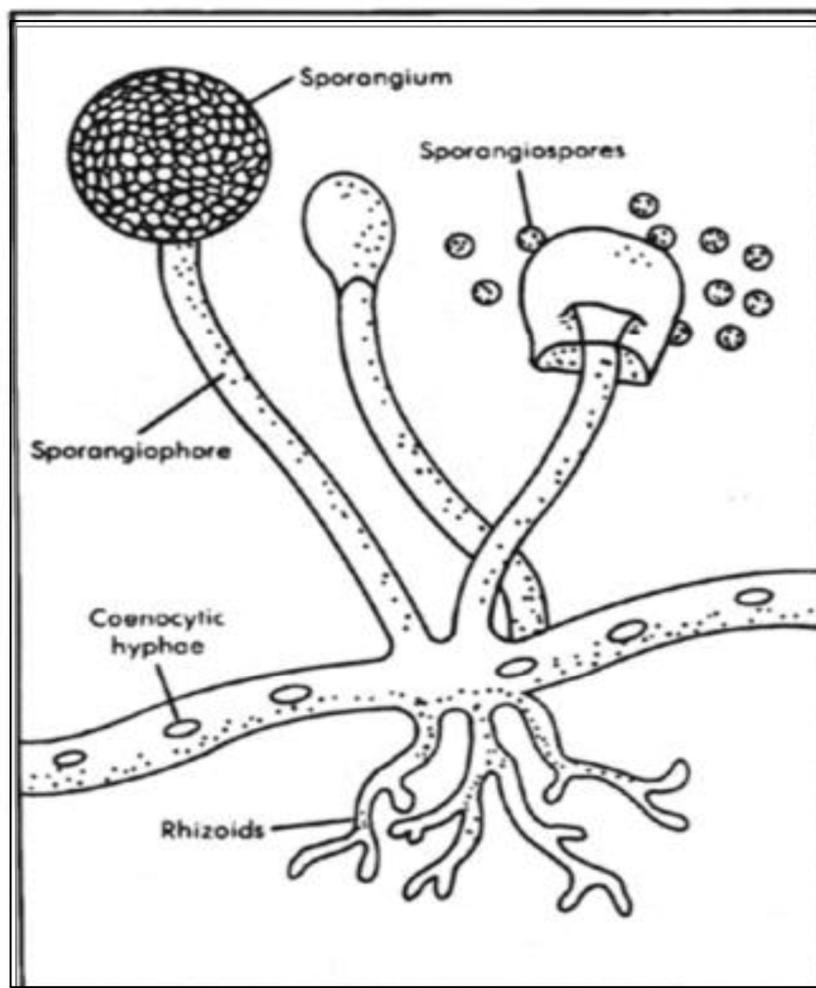


Figure 5 : organes de fructifications du genre *Rhizopus* (Lecellier, 2013).

3-2 Deutéromycota (Champignons imparfaits ou *Fungi imperfecti*)

Les Deutéromycota sont très hétérogène, englobent toutes les espèces de champignons, pour lesquelles la reproduction sexuée n'est pas connue. La majorité des Deutéromycota sont des formes imparfaites d'Ascomycota. Ces champignons sont unicellulaires ou à thalle filamenteux septé (Tabuc, 2007).

3-3 Ascomycota

Les Ascomycota sont composés d'environ 64 000 espèces décrites (Ainsworth, 2008). Ils possèdent des thalles unicellulaires ou pluricellulaires filamenteux septés. Ils forment en cas de reproduction sexuée des cellules différenciées appelées asques, qui produisent des ascospores après une caryogamie et une méiose (Sénéquier-Crozet et Canard, 2016). La division des Ascomycota se scinde en trois sous-divisions Pezizomycotina, Saccharomycotina et Taphrinomycotina (Lecellier, 2013).

Parmi les champignons qui appartiennent aux Ascomycota on trouve les *Aspergillus* et *Phoma*.

❖ *Aspergillus*

Le genre *Aspergillus* est l'un des plus anciens genres de champignons décrits par Micheli en 1729 (Ross, 1951). Il appartient au phylum des Ascomycota (Batt, 2014). Composé de plus de 300 espèces, y compris les espèces anamorphes, il est facilement identifiable grâce à son conidiophore. Les *Aspergillus* sont cosmopolites et fréquents dans la nature (Samson et al., 2014).

Le genre *Aspergillus* englobe les organismes qui ont de grandes caractéristiques pathologiques, agricoles, industrielles et pharmaceutiques. Ils jouent un rôle important dans la dégradation des substrats organiques, en particulier le matériel végétal (Bignell, 2010 ; Goldman et Osmani, 2008 ; Samson et Varga, 2009). Les *Aspergillus* sont connus pour leur capacité à sécréter une variété de composés chimiques biologiquement actifs, y compris les antibiotiques, les mycotoxines, immunosuppresseurs, et des agents hypocholestérolémiants (Goldman et Osmani, 2008).

Ce genre est ubiquiste et occupe tous les sols, y compris ceux des régions arides. C'est un champignon xérophile. Il a été isolé des sols désertiques du Mexique, Chili, Argentine, Arabie Saoudite et Iraq (Abdullah et *al.*, 1986 ; Samaniego-Gaxiola et Chew-Madinaveitia, 2007) (Figure 6).

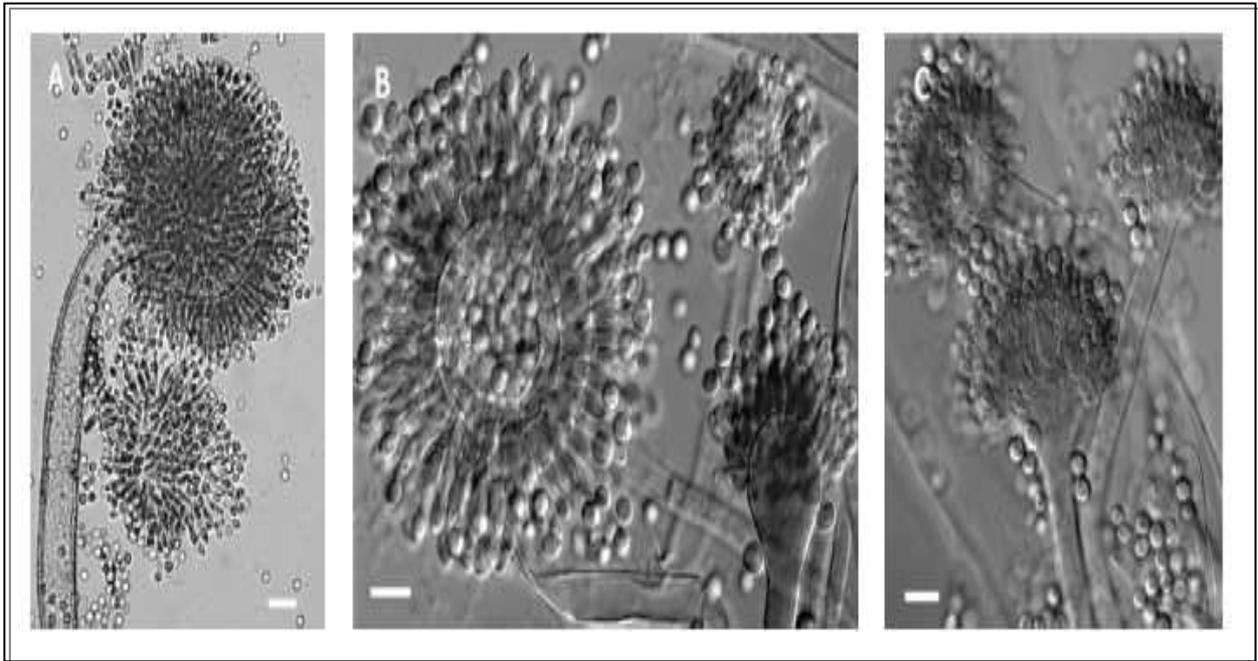


Figure 6 : observation microscopique d'*Aspergillus* (Krimitzas et *al.*, 2013).

A, *Aspergillus ochraceus* (10 μ m). B, *Aspergillus flavus* (10 μ m). C, *Aspergillus parasiticus* (10 μ m).

❖ *Phoma*

Les espèces du genre *Phoma* sont des champignons endophytes qui appartiennent aux Ascomycota. Plus de 220 espèces sont actuellement reconnues. Elles sont des champignons omniprésents dans la nature. Ils occupent de nombreuses niches écologiques. Les espèces du genre *Phoma* ont la forme d'une pycnide et produisent des chlamydospores.

Plusieurs espèces ont été montrées comme champignons phytopathogènes qu'on retrouve sur des cultures économiquement importantes (Aveskamp et *al.*, 2008) (Figure 7 et Figure 8).

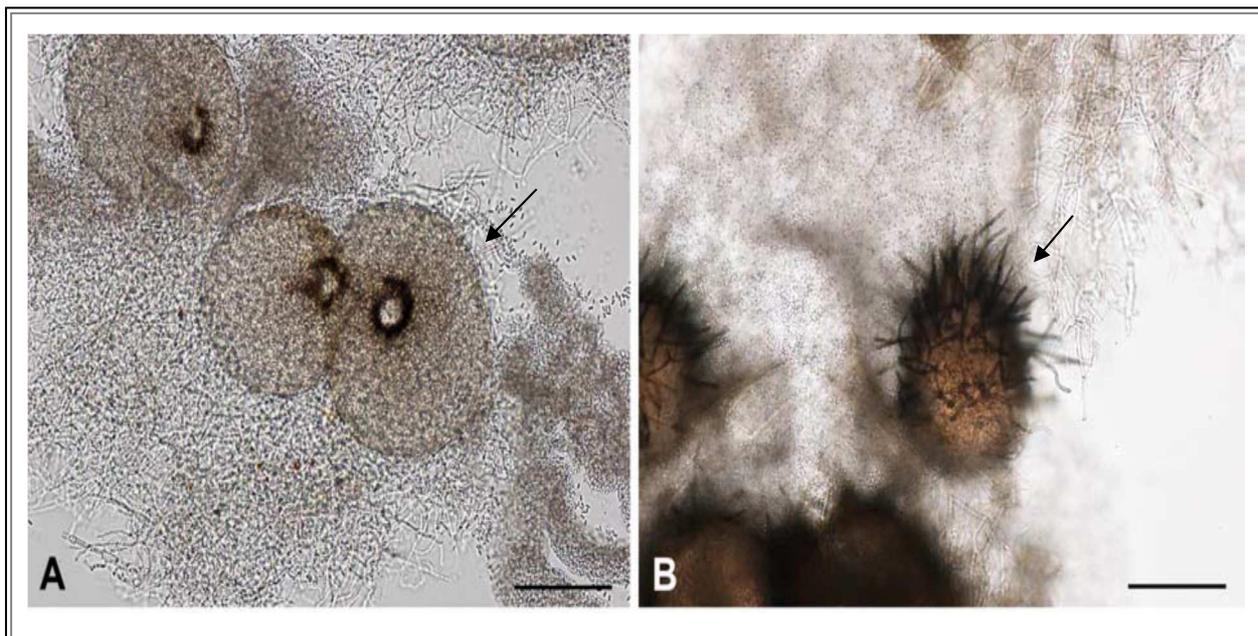


Figure 7 : pycnidium de *Phoma herbarum* (A), *Phoma. carteri* (B) (100 μ m) (Aveskamp et al., 2008).



Figure 8 : chlamydospores de *Phoma glomerata* (A= 100 μ m, B= 10 μ m) (Aveskamp et al., 2008).

3-4 Basidiomycota

Les Basidiomycota sont composés d'environ 31500 espèces décrites (Ainsworth, 2008). Ils regroupent des champignons possédant des thalles unicellulaires ou pluricellulaires filamenteux septés. Ils forment en cas de reproduction sexuée des cellules différenciées appelées basides, qui produisent des basidiospores après une caryogamie et une méiose. Ces spores sont formées par bourgeonnement et sont portées à l'extérieur de la baside par de petites pointes appelées stérigmates (Sénéquier-Crozet et Canard, 2016). La division des Basidiomycota se décompose en trois sous-divisions Pucciniomycotina, Ustilaginomycotina et Agaricomycotina (Lecellier, 2013).

4 Relation hôte-endophyte

Les champignons endophytes représentent un composant important de la diversité fongique, et ils sont connus pour avoir un effet, et être affectés par la diversité des communautés végétales et de leurs structures (Sanders, 2004 ; Gonthier et *al.*, 2006 ; Krings et *al.*, 2007). Presque toutes les espèces de plantes vasculaires examinées à ce jour hébergent des endophytes. Les endophytes colonisent également les herbes marines, les mousses et les fougères (Tan et Zou, 2001). Ils sont pratiquement présents dans tous les organes d'une plante hôte, et certains sont transmis par les semences (Hyde et Soyong, 2008).

Une variété de relations peut coexister entre les endophytes et leurs plantes hôtes, allant de mutualisme, symbiose à l'antagonisme et légèrement la pathogénicité (Schulz et Boyle, 2005 ; Arnold, 2007, Purahong et Hyde, 2011). Les relations hôtes-endophytes peuvent être décrites en termes de spécificité de l'hôte, récurrence de l'hôte, la sélectivité, ou la préférence de l'hôte (Zhou et Hyde, 2001 ; Cohen, 2006).

Des études récentes montrent que les endophytes ne sont pas spécifiques de l'hôte (Cohen, 2006). Les endophytes peuvent envahir une large gamme d'hôte. Les études suggèrent que certaines souches du même champignon, isolées à partir des différentes parties du même hôte, diffèrent dans leur capacité d'utilisations de substances (Carroll et Petrini, 1983).

Les endophytes peuvent être isolés à partir de différentes plantes. Ils appartiennent à des familles et classes différentes, et croissent dans des conditions écologiques et géographiques différentes (Petrini et *al.*, 1986).

Les champignons endophytes favorisent indirectement la croissance des plantes en produisant des substances spéciales métabolites et enzymes principalement secondaires, qui sont responsables de l'adaptation des plantes aux stress abiotiques tels que la lumière, la sécheresse et stress biotiques, comme les herbivores, les insectes et les attaques des nématodes ou des pathogènes (Barz et *al.*, 1988 ; Kogel et *al.*, 2006).

Sous certaines conditions, les endophytes peuvent devenir parasites, et même des agents pathogènes provoquant une infection symptomatique (Brown et *al.*, 1998). Le parasitisme est une exception dans les interactions plantes-endophytes ; il peut être considéré comme un état déséquilibré d'une symbiose, lorsque l'hôte est affaibli et les conditions physiologiques ou écologiques favorise la virulence (Müller et *al.* . 2005, Schulz et Boyle, 2005 ; Kogel et *al.*, 2006).

Les endophytes de certaines plantes pourraient être pathogène d'autres plantes, en fonction de l'équilibre entre la pathogénicité et l'endophytisme des microorganismes dans les différents hôtes (Saikkonen et *al.*, 2004).

5 Rôles biologiques des endophytes

Les endophytes jouent un rôle vital dans divers aspects de la vie, variant de ses effets sur les plantes hôtes à ses effets sur la vie humaine et l'environnement. Les endophytes sont capables de synthétiser des agents bioactifs qui peuvent être utilisés par les plantes pour la défense contre les agents pathogènes et / ou en stimulant leur croissance. D'autres agents se sont révélés utiles comme nouveaux médicaments. Les plantes sont affectées par les endophytes de diverses manières, et les fonctions potentielles de ces endophytes ne sont pas clairement définies, mais dans la plupart des cas, la présence de ces microorganismes dans les plantes hôtes est bénéfique. Les endophytes peuvent activement ou passivement favoriser la croissance des plantes à travers une variété de mécanismes. Sous forme de métabolites, les endophytes offrent une variété de remise en forme pour accueillir les plantes améliorées en augmentant la résistance des plantes aux stress biotiques et abiotiques, ainsi que d'améliorer la croissance des plantes (Selim et *al.*, 2012).

De nombreux endophytes sont rapportés comme étant capable de fixer l'azote (N), permettent la solubilisation des phosphates, augmentent l'absorption du phosphore (P) et synthétisent même les hormones végétales telles que les auxines, l'éthylène et les gibbérellines, qui sont importants pour la croissance des plantes et la régulation de leur développement (Baldani *et al.*, 1986 ; Goodman *et al.*, 1986 ; Barraquio *et al.*, 1997 ; Gasoni et Gurfmkel, 1997 ; Malinowski *et al.*, 1999 ; Zou *et al.*, 1999 ; Malinowski et Belesky, 2000 ; Boddey *et al.*, 2003 ; Loiret *et al.*, 2004 ; Sandhiya *et al.*, 2005 ; Firáková *et al.*, 2007).

Les endophytes peuvent aider les plantes à tolérer et supporter les facteurs de stress biotiques et abiotiques (stress hydrique, salin, hautes températures, ...etc.) (Malinowski et Belesky, 2000). La présence de l'espèce endophyte *Curvularia sp.* associée avec l'espèce végétale *Dichantheium lanuginosum* qui fréquente les régions où la température du sol peut atteindre 57°C, peut tolérer mieux les hautes températures du sol et le stress hydrique (Redman *et al.*, 2002). Waller *et al.* (2005) ont rapporté la possibilité de l'endophyte *Piriformospora indica* pour induire la résistance aux maladies fongiques et la tolérance de la salinité chez l'orge.

L'un des mécanismes de résistance contre les herbivores est l'amélioration totale des performances de la plante par les endophytes afin de tolérer ces derniers (Gehring *et al.*, 2002). Un exemple des maladies provoquées par les endophytes est la toxicose de la fétuque touchant les ruminants et les chevaux après avoir pris de *Festuca arundinaceae* infectée par le champignon endophyte *Epichloë typhina* ; des symptômes tels que rythme cardiaque lent, suppression du système immunitaire, problèmes de reproduction atteignent les animaux (Roberts et Andrae, 2004). Roberts *et al.* (2005) ont démontré que cette toxicose est due à un certains nombres de composés tels que l'acide lysergique et les amides dont de forte concentration de ces derniers a été trouvé infectant les semences et les feuilles des herbes.

Ce groupe fongique peut protéger leur plantes-hôtes contre les insectes ravageurs (Arnold *et al.*, 2000 ; Paul *et al.*, 2006 ; Gogoi *et al.*, 2007 ; Huang *et al.*, 2008 ; Rowan et Latch, 1994 ; Clay, 1989 ; Akello *et al.*, 2007 ; Sadrati *et al.*, 2013 ; Sharma et Kumar, 2013 ; Vega *et al.*, 2008). Ainsi, dans le domaine agricole, certains espèces fongiques endophytes ont été isolées à partir des plantes médicinales et ont été utilisés comme agents de contrôle biologique (Backman *et al.*, 2008).

Parmi les 50 espèces d'endophytes fongiques, 03 espèces foliaires isolées à partir des aiguilles de l'épinette rouge *Picea rubens* ont montré la toxicité contre le ver des bourgeons *Choristoneura fumiferana* (Lepidoptera, Tortricidae) (Sumarah *et al.*, 2010).

Beauveria bassiana, *Lecanicillium lecanii* et *Aspergillus parasiticus* sont des entomopathogènes qui ont été identifiés comme des endophytes dans plusieurs plantes et peuvent être inoculé au champ avec succès (Gimenez *et al.*, 2007). L'inoculation des plantes-hôtes avec les champignons *B. bassiana* et *L. lecanii* a montré une diminution de la consommation de la partie foliaire, ainsi que la reproduction de l'espèce aphidiène *Aphis gossypii* (Hemiptera, Aphididae) et une réduction dans le développement nymphal du fléau australien, la locuste *Chortoicetes terminifera* (Orthoptera, Acrididae) (Gurulingappa, 2010).

Les endophytes peuvent aussi offrir la protection aux plantes contre d'autres bioagresseurs ; *Meira geulakonigii* colonise les fruits de pamplemousse et les protège contre les acariens (Pazet *et al.*, 2007). L'inoculation avec *Fusarium oxysporum* a réduit les populations de nématodes dans les racines de la tomate et la banane (*Rhadopholus similis*) (Niere, 2001 ; Sikora *et al.*, 2008).

Biils *et al.* (2012) ont isolé une nouvelle espèce fongique endophyte *Hypoxyton pulicicidum* qui a une activité insecticide. Ces dernières années, plusieurs alcaloïdes ont été découverts à partir des champignons endophytes des plantes hôtes qui ont exposé des activités insecticides excellentes (Petroski *et al.*, 1992 ; Zhang *et al.*, 2012).

5 Applications biotechnologiques des endophytes

Les endophytes ont une grande capacité à produire divers enzymes, qui pourraient être utilisées dans diverses applications biotechnologiques comme les applications environnementales des enzymes de dégradation, les applications médicales et biotransformations des composés organiques avec de nombreux avantages par rapport aux autres méthodes (Firàková et al., 2007 ; Pimentel et al., 2011 ; Sury et al., 2012).

6-1 Endophytes producteur d'enzymes

La plupart des endophytes qui utilisent le xylane et la pectine montrent une activité lipolytique et produisent les peroxydases, les lactases, chitinase et glucanase (Sieber et al., 1991 ; Leuchtmann et al., 1992 ; Moy et al., 2002 ; Li et al., 2004 ; Promputtha et al., 2011). Les endophytes peuvent être des nouveaux et des bons producteurs de xylanase. Ils produisent également des enzymes nécessaires pour la colonisation des tissus végétaux. (Leuchtmann et al., 1992 ; Suto et al., 2002).

Streptosporangium sp, un endophyte actinomycète isolé à partir des feuilles de maïs (*Zea mays L.*) a montré la production des glucoamylases. Cette enzyme isolée présentait des propriétés thermostables (Stamford et al., 2002).

6-2 Applications de biotransformation

La biotransformation peut être définie comme l'utilisation de systèmes biologiques pour produire des modifications chimiques à des composés qui ne sont pas dans leurs substrats naturels (Borges et al., 2007). Une molécule peut être modifiée en transformant les groupes fonctionnels, avec ou sans dégradation du squelette de carbone. De telles modifications entraînent la formation de nouveaux produits (Borges et al., 2009). Pimentel et al. (2011) ont rapporté un grand nombre de procédés de biotransformation par les endophytes.

Les endophytes sont capables de produire de nombreuses enzymes (Firàková et al., 2007), afin qu'ils puissent être utilisés comme biocatalyseurs dans la transformation chimique des produits naturels et des médicaments, en raison de leur capacité à modifier les structures chimiques avec un degré élevé de stéréospécificité et de produire des enzymes qui facilitent la production de composés d'intérêt.

7 Applications pharmaceutiques des endophytes

Les endophytes sont les synthétiseurs chimiques à l'intérieur des plantes (Owen et Hundley, 2004). Un grand nombre d'entre eux sont capables de synthétiser des composés bioactifs, qui peuvent être utilisés en tant que sources potentielles de prospects pharmaceutiques. Les champignons endophytes ont été révélées utiles pour la découverte de nouveaux médicaments, comme il a été évoqué par la diversité chimique de leurs métabolites secondaires. Ils produisent le plus grand nombre de métabolites secondaires par rapport aux autres catégories de microorganismes (Zhang *et al.*, 2006).

De nombreux champignons endophytes ont été rapportés pour avoir des propriétés antibactériennes, antifongiques, antivirales, anti-inflammatoires et anti-tumorales (Guo *et al.*, 2008 ; Yu *et al.*, 2010).

Les préoccupations pharmaceutiques et médicales des nouveaux médicaments sont la toxicité de ces derniers sur les tissus humains. Le tissu végétal où les endophytes existent est un système eucaryote et il semblerait que les métabolites secondaires produits par les endophytes peuvent réduire la toxicité cellulaire (Strobel, 2003).

7-1 Champignons endophytes comme source de substances antimicrobiennes

La fréquence croissante des souches pathogènes multi-résistantes a limité l'effet d'un traitement antimicrobien traditionnel, ce qui implique le besoin de nouveaux agents thérapeutiques contre les maladies infectieuses (Larsenet *et al.*, 2005). La sélection des extraits bruts des champignons endophytes pour leur activité antimicrobienne indique qu'ils peuvent posséder la stabilité de l'activité antimicrobienne contre les pathogènes testés tels que *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Saccharomyces cerevisiae* et *Alternaria sp...etc.* (Selim *et al.*, 2012).

La cryptocine et la cryptocandine (Figure 9) sont des métabolites fongicides obtenus de l'espèce endophyte *Cryptosporiopsis cf. quercina* isolée à partir d'une plante médicinale *Tripterigeum wilfordii*. Cryptocandine, un peptide antimycosique, a démontré une excellente activité antifongique contre quelques pathogènes fongiques humain importants, y compris *Candida albicans* et *Trichophyton sp.* et contre plusieurs champignons phytopathogènes incluant *Sclerotinia sclerotiorum* et *Botrytis cinerea* (Strobelet Daisy, 2003; Padhi *et al.*, 2013).

La phomopsichalasmine est une substance naturelle bioactive isolée de l'espèce endophyte *Phomopsis sp.* a démontré une activité antibactérienne contre *Bacillus subtilis*, *Salmonella enterica* et *Staphylococcus aureus*. L'acide collétotrique (Figure 9) obtenu de *Colletotricum gloeosporioides* isolé à partir d'*Artemisia mongolica* a démontré une activité antimicrobienne contre les bactéries, ainsi que le champignon *Helminthosporium sativum* (Padhi *et al.*, 2013).

Les guanacastépènes dont le guanacastépène A (Figure 9) est un diterpénoïde, qui est produit par un champignon endophyte inconnu isolé de *Daphnopsis americana*. Il a démontré une activité antibactérienne contre les souches résistantes de *Staphylococcus aureus* et *Enterococcus faecium* (Selim *et al.*, 2012).

En outre, le métabolite altersetine (Figure 9), purifié à partir de l'endophyte *Alternaria sp.* qui affiche une activité puissante contre des bactéries pathogènes à gram positif (Hellwig *et al.*, 2002; Premjanuet Jayanthi, 2012).

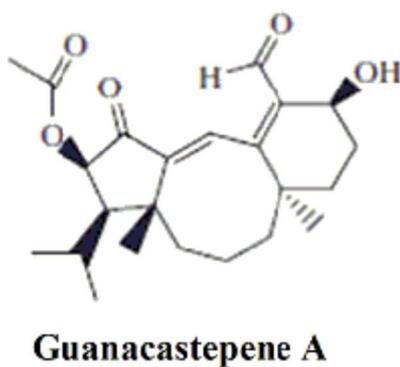
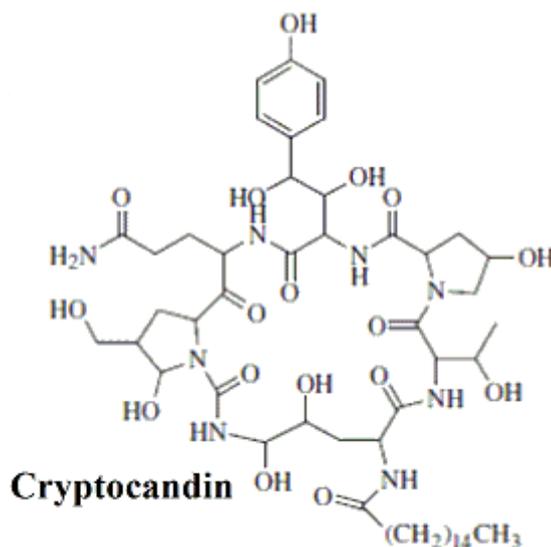
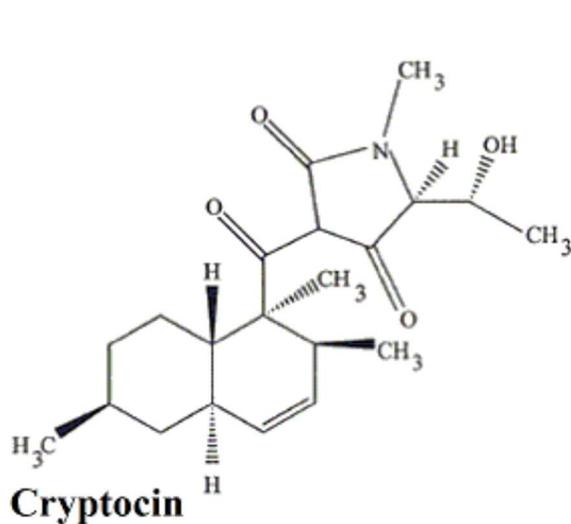
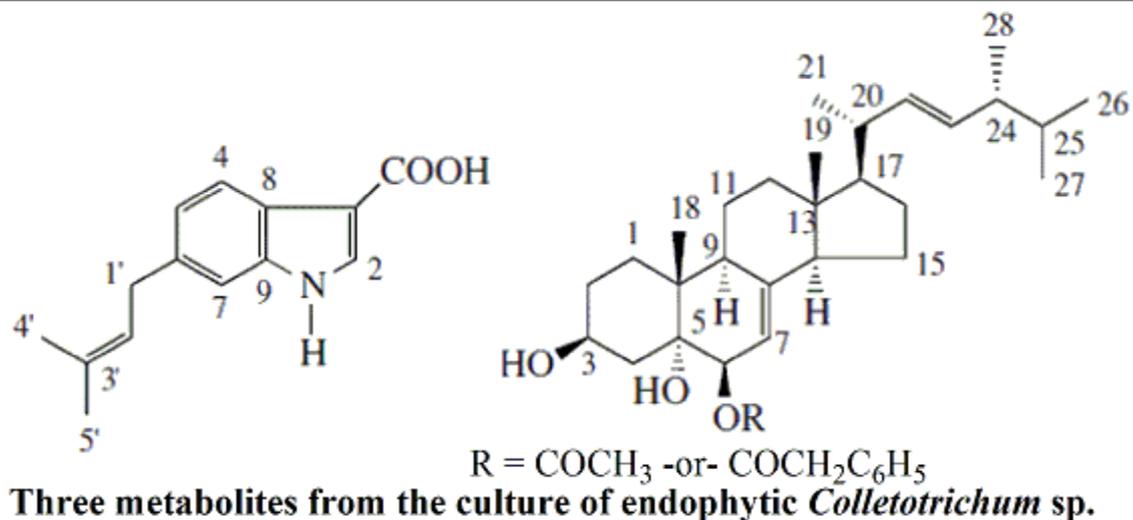


Figure 9 : quelques substances antimicrobiennes produites par les champignons endophytes (Yu et al., 2010 ; Selim et al., 2012).

7-2 Champignons endophytes comme source de substances anticancéreuses

Le cancer est une maladie caractérisée par une prolifération cellulaire irrégulière, qui conduit à la propagation de cellules anormales et une croissance des tissus incontrôlés (American Cancer Society, 2009). Il a été considéré comme l'une des principales causes de décès dans le monde (environ 13% de tous les décès) en 2004 (OMS, 2009). Les médicaments anti-cancéreux présentent une toxicité non spécifique pour la prolifération des cellules normales, possèdent d'énormes effets secondaires et ils ne sont pas efficaces contre de nombreuses formes de cancer (Gangadevi et Muthumary, 2008 ; Pasut et Veronese, 2009).

La guérison du cancer a été améliorée principalement en raison des améliorations du diagnostic qui permettent des traitements plus tôt et plus précis (Pasut et Veronese, 2009). Il y a certaines preuves que les composés bioactifs produits par endophytes pourraient être des approches alternatives pour la découverte de nouveaux médicaments, étant donné que de nombreux produits naturels à partir de plantes, microorganismes, et les sources marines ont été identifiés comme agents anti-cancéreux (Firàkovà et *al.*, 2007). Les propriétés anticancéreuses de plusieurs métabolites secondaires d'endophytes ont été étudiées récemment (Pimentel et *al.*, 2011) et il a été prouvé que ces composés bioactifs pourraient être des approches alternatives pour la découverte de nouveaux médicaments anticancéreux (Firàkovà et *al.*, 2007 ; Guo et *al.*, 2008 ; Debbab et *al.*, 2011).

Le premier médicament anticancéreux produit par les champignons endophytes est le taxol (Figure 10), un diterpénoïde (Gangadevi et Muthumary, 2008 ; Firàkovà et *al.*, 2007). Ce composé interfère avec la multiplication des cellules cancéreuses, réduit ou interrompt leur croissance et leur propagation. La FDA (Food and Drug Administration) a approuvé le taxol pour le traitement du cancer avancé du sein, le cancer du poumon et du cancer de l'ovaire réfractaire (Cremasco et *al.*, 2009). Le taxol a été isolé du champignon *Taxomyces andreanae* (Stierle et *al.*, 1993 ; Strobel et *al.*, 1993 ; Li et *al.*, 1996 ; Strobel et *al.*, 1996) à partir de l'écorce de l'arbre *Taxus brevifolia*. Ces arbres sont rares, à croissance lente et produisent peu de taxol, ce qui explique son prix élevé lorsqu'il est obtenu par cette source naturelle (Gangadevi et Muthumary, 2008).

Le Taxol a également été trouvé dans un certain nombre d'endophytes telles que *Phyllosticta spinarum*, *Bartalinia robillardoides*, *Pestalotiopsis terminaliae*, *Botryodiplodia theobroma*, et dans d'autres genres communs tels que *Alternaria*, *Aspergillus*, *Botrytis*, *Cladosporium*, *Fusarium* et *Mucor spp* qui ont été rapportés en tant que producteurs de taxol (Gangadevi et Muthumary, 2008 ; Kumaran et al., 2008 ; Gangadevi et Muthumary, 2009 ; Pandi et al., 2010 ; Zhao et al., 2010).

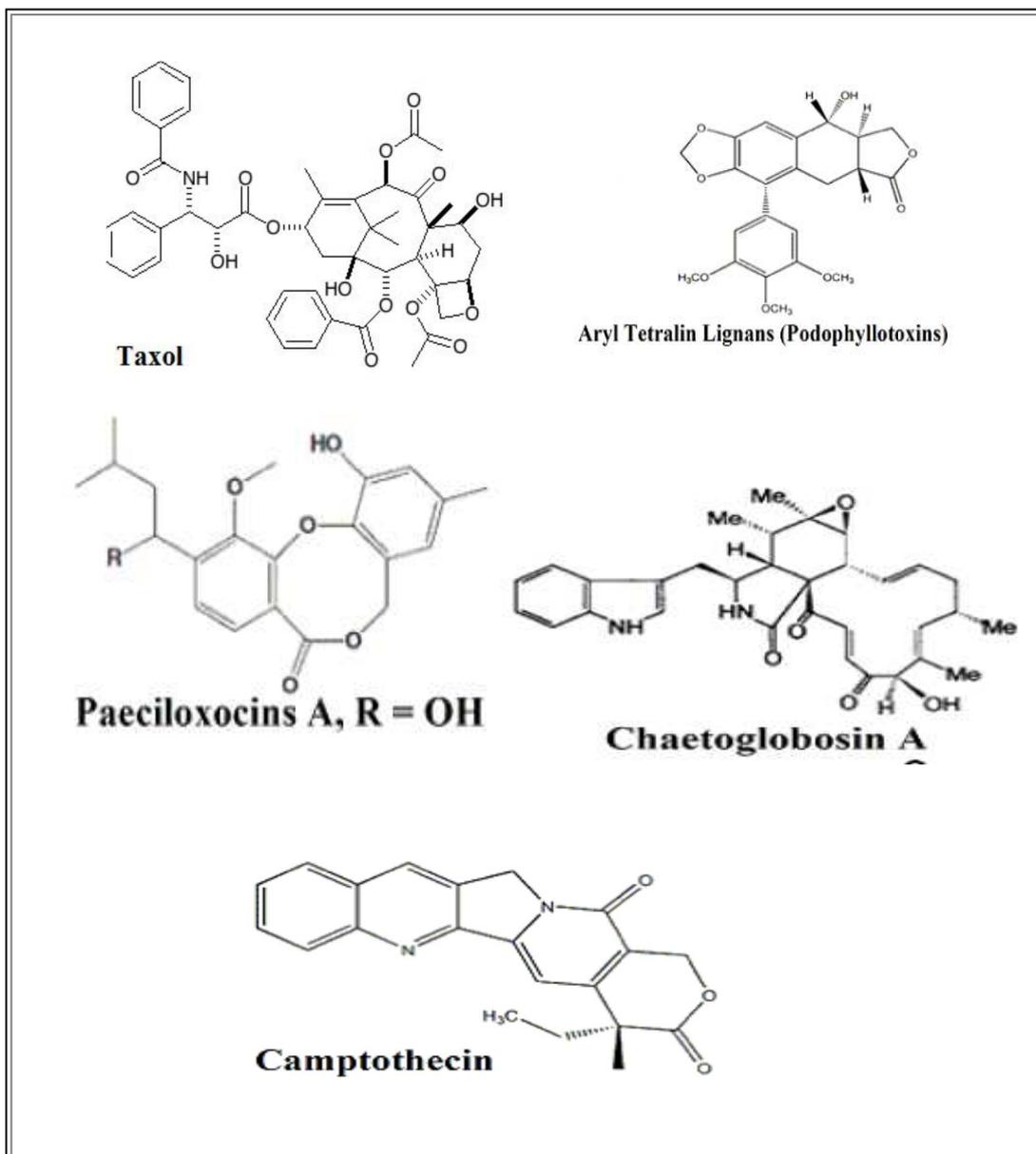


Figure 10 : quelques substances anticancéreuses produites par les champignons endophytes (Pimentel et al., 2011 ; Selim et al., 2012)

Les alcaloïdes sont également des agents anticancéreux très puissants, par exemple les alcaloïdes cytochalasines (Wagenaar et *al.*, 2000), la camptothécine (Figure 10), qui est un puissant antinéoplasique et elle est utilisée en tant que médicament pour le traitement des maladies de la peau en Chine (Guo et *al.*, 2008). Les camptothécines ont été trouvés dans un champignon endophyte isolé à partir de l'écorce interne de *Nothapodytes foetida* (Puri et *al.*, 2005) et également obtenus d'un champignon endophyte *Fusarium solani* isolé de *Camptotheca acuminata* (Kusari et *al.*, 2009b).

Les lignanes sont d'autres types d'agents anti-cancéreux (Gordaliza et *al.*, 2004), ils montrent une énorme diversité structurale et biologique, en particulier dans la chimiothérapie du cancer (Korkina et *al.*, 2007).

Les podophyllotoxines sont actuellement utilisés dans la chimiothérapie de diverses maladies cancéreuses. Il a été signalé que les phenylpropanoïdes produit par les endophytes ont beaucoup d'intérêts dans les applications médicales comme agent anticancéreux et antioxydant (Korkina et *al.*, 2007).

7-3 Champignons endophytes comme source de substances antioxydantes

L'importance des composés qui portent des activités antioxydantes réside dans le fait qu'ils sont très efficaces contre les dommages provoqués par les espèces réactives de l'oxygène (ERO) et les radicaux libres dérivés de l'oxygène, ce qui contribue à une variété d'effets pathologiques, tels les dommages de l'ADN, la carcinogenèse et la dégénérescence cellulaire (Huang et *al.*, 2007 ; Seifried et *al.*, 2007). Les antioxydants ont été considérés comme une thérapie prometteuse pour la prévention des maladies comme le cancer, les maladies cardiovasculaires, l'athérosclérose, l'hypertension artérielle, le diabète, les maladies neurodégénératives (Alzheimer et maladie de Parkinson) et le vieillissement (Valko et *al.*, 2007).

Le pestacine et l'isopestacine (Figure 11) sont des composés présentant une activité antioxydante. Ils ont été obtenus à partir de *Pestalotiopsis microspora*, un champignon endophyte isolé de *Terminalia morobensis* (Selim et al., 2012).

L'extrait de méthanol d'un endophyte *Xylaria sp* isolé à partir d'une plante médicinale *Ginkgo biloba* présente une forte capacité antioxydante due à la présence des composés phénoliques et des flavonoïdes (Liu et al., 2007). En outre, le champignon endophyte *Phyllosticta sp* isolé de *Guazuma tomentosa* a également présenté une forte activité antioxydante (Srinivasan et al., 2010).

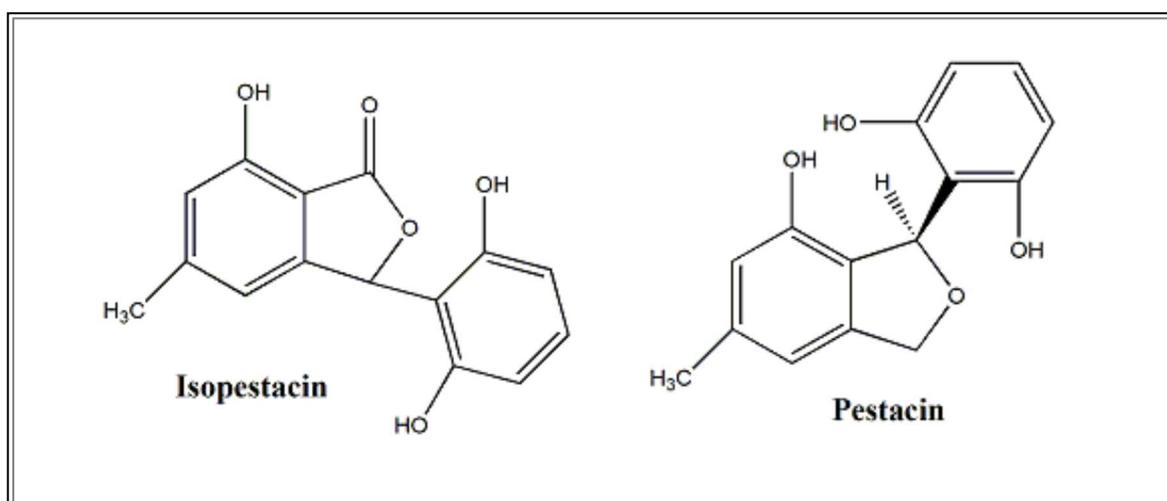


Figure 11 : quelques antioxydants produits par les champignons endophytes (Selim et al., 2012).

7-4 Champignons endophytes comme source de substances antivirales

Les champignons endophytes sont des producteurs importants d'agents antiviraux, tels que les acides cytoniques A et B, nouveau cytomégalo virus humain, inhibiteurs de la protéase qui ont été isolés à partir du champignon endophyte *Cytonaema sp* (Guo et al., 2000). Une étude sur le *Quercus coccifera* a conduit à l'isolement d'endophytes qui ont la capacité de synthétiser l'hinnuliquinone, un inhibiteur puissant du virus d'immunodéficience humaine type 1 (VIH 1) (Singh et al., 2004).

Chapitre 2 :
Description du
pistachier de l'Atlas

1 Introduction

Le genre *Pistacia* a été défini par Linné en 1737 qui inclut des arbres à feuilles caduques sauf pour *P.lentiscus* (Zohary, 1952 et Alyafi, 1979 in Basha, 2006). Le genre *Pistacia* appartient à la famille des Anacardiaceae. Ce genre comprend environ 11 espèces, appartenant à l'ordre des Sapindales. D'origine asiatique ou méditerranéenne, les pistachiers sont des espèces dioïques (fleurs mâles et femelles poussant sur des sujets différents) (Trost et al., 2001 ; Trost et al., 2002). En Algérie, le genre *Pistacia* est représenté par quatre espèces, en l'occurrence *P. lentiscus*, *P. terebinthus*, *P. vera* et *P. atlantica* Desf. (Trost et al., 2000).

Le pistachier de l'Atlas est l'une des rares espèces arborescentes présentes dans les régions semi arides, arides et voir même sahariennes (SMAIL-SAADOUN, 2005). Il colonise de façon diffuse un territoire considérable centré sur les pays méditerranéens à saison sèche et chaude bien marquée. Il est l'arbre le plus étendue au nord de l'Afrique et du Proche Orient. Cependant, Monjauze (1980) le qualifie d'endémique en Afrique.

2 Description du pistachier de l'Atlas

Le pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) est appelé communément « elbétoum, botma, betouma ou btoma » en langue arabe et « iggh » en berbère. C'est un arbre ubiquiste, présentant une silhouette impressionnante à l'âge adulte. Son feuillage serré se présente au plus faible indice d'évapotranspiration. Cette résistance à la sécheresse pourrait être son caractère principal (Monjauze, 1980).

Le pistachier de l'Atlas est une espèce qui peut atteindre 10 à 20 mètres de haut, à tronc bien individualisé et à frondaison hémisphérique. Le port est arrondi et à ramifications étalées (Figure 12). Le rameau jeune est rougeâtre (Benabdallah, 2012).

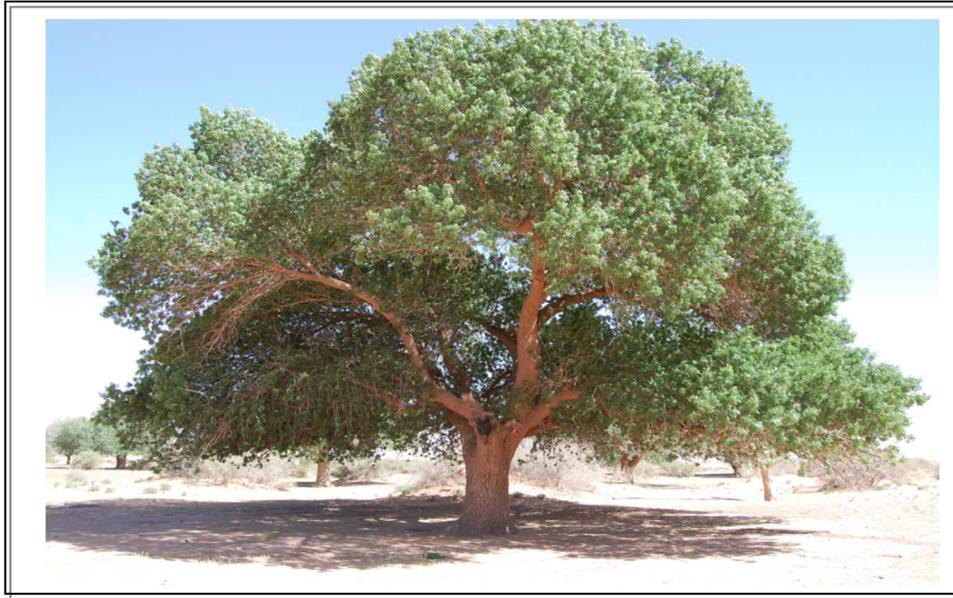


Figure 12 : pistachier de l'Atlas (Laghouat, avril 2015).

Le pistachier de l'Atlas emploie une stratégie d'endurance, avec un système racinaire qui est flexible et évolutif dans le temps et l'espace, il peut réussir à coloniser les milieux inhospitaliers. Il a évolué pour réussir dans des biotopes difficiles tels que les dayas et les oueds, en maximisant l'accès aux ressources hydrominérales, qui lui permettent de prospérer pendant la saison sèche (Limane et *al.*, 2014). Le jeune pistachier émet un pivot séminal orthogéotrope d'où émanent beaucoup de ramifications secondaires. Avec l'âge, ce pivot disparaît et laisse les racines secondaires s'organiser selon la texture du sol (Limane, 2009) (Figure 13).



Figure 13 : racines du pistachier de l'Atlas (Liman et *al.*, 2014).

Les feuilles sont souples, caduques en hiver, imparipennées à rachis finement ailé à folioles lancéolées (Quézel et Santa, 1963 et Yaaqobi et *al.*, 2009). Elles sont composées de 7-11 folioles, alternes et mesurent plus de 12 cm de longueur totale (Monjauze, 1980) (Figure 14).



Figure 14 : feuilles du pistachier de l'Atlas (Laghout, avril 2015).

Le pistachier de l'Atlas est une espèce dioïque. Les fleurs sont apétales (Yaaqobi et *al.*, 2009) et rougeâtres en grappes terminales pour les mâles et axillaires pour les femelles (Monjauze, 1980). La pollinisation est effectuée par le vent (anémophile) (Benabdallah, 2012).

Les fruits gros comme un pois sont appelés Elkhodiri par les populations locales en raison de la prédominance de la couleur vert foncé à maturité. Ce sont des drupes légèrement ovales quelque fois allongés, à épiderme qui se ride en séchant sur un endocarpe induré, mais très mince abritant deux cotylédons, riches en huile dense très énergétique (Monjauze, 1980). Ses fruits ont de petites graines vertes de 8 mm de taille (Yousfi et *al.*, 2009) et riches en matières grasses (Maamri, 2008) (Figure 15).

La fructification débute vers la fin du mois de mars. Les fruits prennent au départ une couleur jaune qui change progressivement au rouge puis au bleu. Ils atteignent leur maturité au mois de septembre tout en ayant une couleur vert foncé (Yaaqobi et *al.*, 2009).



Figure 15 : fruits du pistachier de l'Atlas (Laghout, avril 2015).

3 Intérêts pharmacologiques, nutritionnelles et industrielles du genre

Pistacia

Les espèces du genre *Pistacia* sont utilisées en traitement de l'eczéma, la paralysie, la diarrhée, les infections de la gorge, la jaunisse, l'asthme, les douleurs d'estomac et des calculs rénaux (Reeby et *al.*, 1982 ; Caley et *al.*, 1993 ; Kristiansen et *al.*, 2000).

Elles ont aussi diverses activités biologiques, antioxydants, anti-inflammatoires et insecticides (Carter et *al.*, 1985 ; Gigant et *al.*, 2013 ; Despiau et *al.*, 2014).

La résine de différentes espèces de *Pistacia* est traditionnellement utilisée comme une gomme à mâcher et protège les lèvres contre la sécheresse, contre certaines maladies d'estomac et comme antiseptique pour le système respiratoire (Murugesan et *al.*, 2012 ; Clark et *al.*, 2006). Elle est aussi utilisée comme un rafraichissant dans les boissons, dans certains mélanges de cosmétiques et de parfumerie et dans la production de dentifrice (Murugesan et *al.*, 2012).

Les espèces de *Pistacia* ont une large utilisation dans l'industrie alimentaire (Trost et *al.*, 2004 ; Dérien et *al.*, 1999).

4 Pistachier de l'Atlas et mycoendophytes

Le pistachier de l'Atlas est l'arbre par excellence des milieux steppiques. Il pénètre même dans les régions sahariennes, il est très bien adapté à l'aridité climatique et édaphique des régions dans lesquelles elle se trouve. Parmi les mécanismes d'adaptation, nous pouvons citer les associations symbiotiques (mycorhizes et champignons endophytes) que cette essence contracte, qui réduisent le stress, améliorent la nutrition et la survie (Smail-Saadoun et *al.*, 2005).

Un nombre important de travaux de recherche ont été réalisés par l'équipe du Laboratoire Ressources Naturelles de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou sur le pistachier de l'Atlas, qui ont permis de mettre en évidence la présence des mycorhizes et des mycoendophytes sur cette espèce.

Une étude menée par Zareb (2014) a démontré pour la première fois que les feuilles du pistachier de l'Atlas de dayate Aiat (Timzerth, wilaya de Laghouat) sont colonisées par des mycoendophytes avec une diversité importante de ces derniers. Cette étude a montré la présence de 21 genres fongiques dont *Aspergillus*, *Alternaria*, *Cladosporium*, *Epicoccum*, *Monilia*, *Phoma* et autres. Les genres dominants sont *Aspergillus* et *Epicoccum*.

Par ailleurs, un inventaire des champignons endophytes des feuilles de *Pistacia atlantica* Desf. de dayate El Gouffa (Laghouat) réalisé par Benfoddil (2015) a montré la présence de 24 genres fongiques dont *Aspergillus*, *Epicoccum*, *Phoma*, *Trichoderma*, *Acremonium* et autres. Les genres dominants sont *Aspergillus*, *Epicoccum*, *Phoma* et *Trichoderma*.

Tous les tissus foliaires du pistachier de l'Atlas portent des mycoendophytes (épiderme, stomates, trichomes glandulaires et non glandulaires, parenchyme et vaisseaux conducteurs) (Figure 16 et Figure 17) (Zareb, 2014 ; Smail-Saadoun et *al.*, 2015).



Figure 16 : la présence des mycoendophytes dans les feuilles de pistachier de l'Atlas (x40) (Smail-Saadoun et *al.*, 2015).

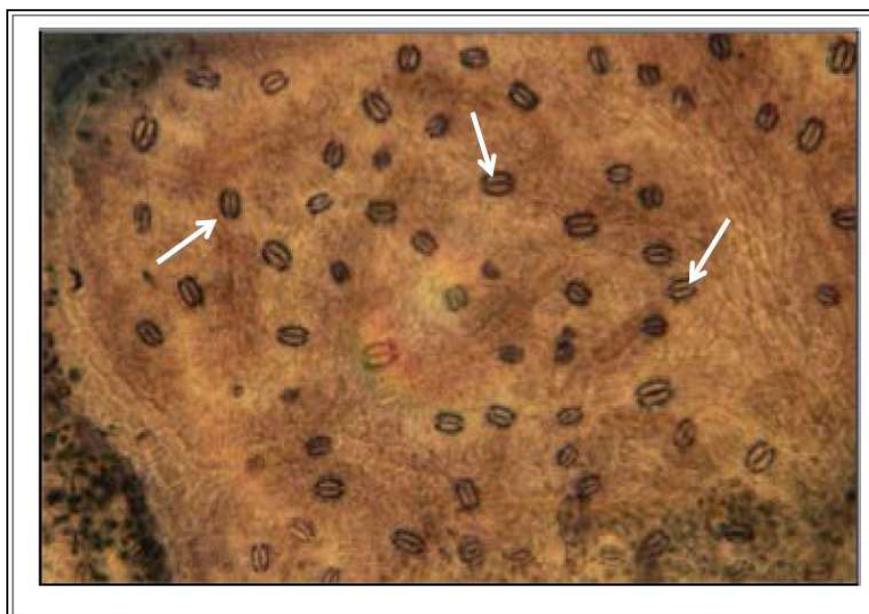


Figure 17 : mycoendophytes colorant les stomates en bleu (x 200) (Smail-Saadoun et *al.*, 2015).

En outre, les racines du pistachier de l'Atlas abritent des microorganismes symbiotiques. Ceci a été approuvé dans une étude sur le système racinaire du pistachier de l'Atlas de dayate El Gouffa (Laghouat, Algérie) (Mechiah, 2015), qui a montré la présence des structures mycorhiziennes et mycoendophytiques au niveau des espaces inter et intracellulaires des tissus corticaux. Des différentes structures ont été observées comme les hyphes intra et extra-racinaires, les appressoriums, les arbuscules, les enroulements, les vésicules, les spores intra et extra-racinaires, les cellules auxiliaires, les hyphes foncées et septées (DSE) et les microsclérotés.

Chapitre 3 :
Matériel et méthodes

1 Description de la zone d'étude

La wilaya de Ghardaïa se situe au centre de la partie Nord du Sahara algérien à environ 600 km au sud de la capitale du pays, Alger. Elle couvre une superficie de 86.560 km², elle est limitée au Nord par les wilayas de Laghouat et Djelfa, à l'Est par la wilaya d'Ouargla, à l'Ouest par la wilaya d'El Bayadh et au Sud par les wilayas de Tamanrasset et Adrar (Dahou, 2014) (Figure 18 et Figure 19).



Figure 19 : localisation de la wilaya de Ghardaïa (google.fr).

Notre station d'étude Metlili est une commune de la wilaya de Ghardaïa, située à 40 km de chef-lieu de la wilaya. Elle couvre une superficie de 7300 km², elle est limitée au Nord par la wilaya d'El Bayadh et les communes de Bounoura, El Atteuf et Zelfana, au Sud par la commune de Sebseb, à l'Est par la wilaya d'Ouargla et à l'Ouest par la wilaya d'El Bayadh (Dahou, 2014).

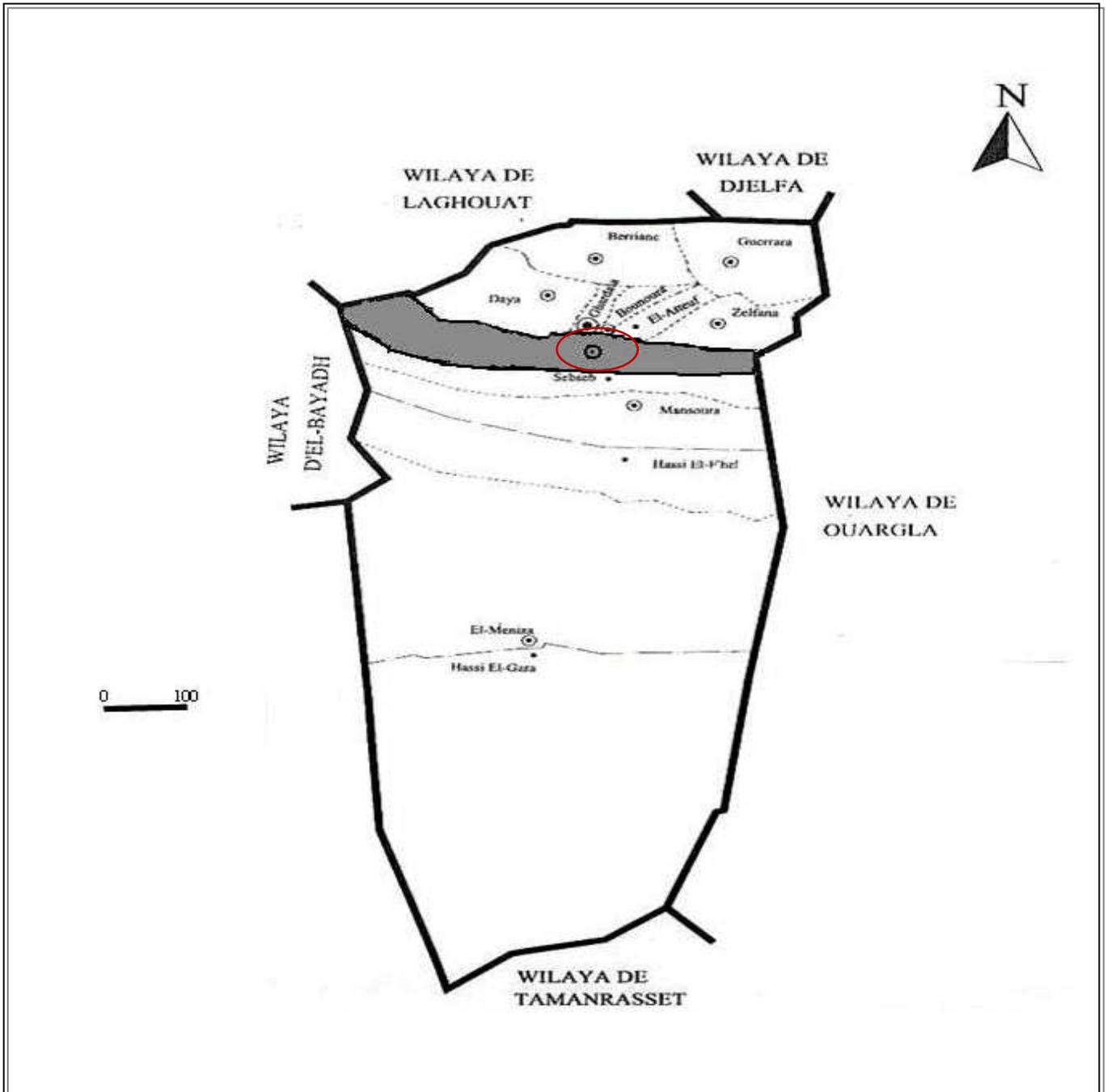


Figure 19 : limites administratives de la région de Metlili (Atlas, 2004 in Dahou, 2014).

1-2 Bioclimat de la zone d'étude

La région de Ghardaïa est typiquement saharienne, se caractérise par deux saisons : une saison chaude et sèche (d'avril à septembre) et une autre tempérée (d'octobre à mars) avec une grande différence entre les températures de l'été et de l'hiver (A.N.R.H, 2007 *in* Dahou, 2014).

Vu qu'il n'y a pas une station météorologique dans la commune de Metlili, la présente caractérisation climatique est faite à partir d'une synthèse climatique de 10 ans entre 2003 et 2012, à partir des données de l'Office Nationale de Météorologie sur la région de Ghardaïa (O.N.M., Ghardaïa 2012 *in* Dahou, 2014).

1-2-1 Températures

La température représente un facteur de toute première importance du faite qu'elle peut contrôler l'ensemble des phénomènes métaboliques et conditionne de ce fait la répartition de la totalité des espèces et des communautés d'êtres vivants dans la biosphère (Ramade, 2003 *in* Dahou, 2014).

Tableau I : températures (°C) moyennes mensuelles, maxima et minima pour dix ans (2003-2012) dans la région de Ghardaïa (Dahou, 2014).

T (°C)	J	F	M	A	M	J	Jlt	A	S	O	N	D
M	17,39	18,88	24,47	28,58	33,16	38,37	42,07	41,09	35,87	28,47	22,93	17,95
m	6,13	7,40	10,96	14,88	18,66	24,34	27,29	27,49	22,65	17,96	11,45	7,17
M+m/2	11,82	13,40	17,68	21,66	26,05	31,75	34,97	34,34	29,53	23,54	17,42	12,63

- T : température exprimée en °C ;
- M : moyennes mensuelles des températures maximales en °C ;
- m : moyennes mensuelles des températures minimales en °C ;
- (M+m)/2 : moyennes mensuelles des températures en °C.

Les valeurs de la température affichées dans le tableau I caractérisent le climat d'une région saharienne. On remarque d'après les valeurs du tableau I que la température maximale est notée durant le mois de juillet avec une température de 42,07°C et la température minimale est notée durant le mois de janvier avec une température de 6,13°C.

Tableau II : valeurs des précipitations dans la région de Ghardaïa (période 2003-2012)
(Dahou, 2014).

Mois	J	F	M	A	M	J	Jlt	A	S	O	N	D	Moye
P (mm)	11,8	1,79	3,55	8,75	1,89	3,23	3,2	4,56	22,5	9,71	5,84	4,11	80,8

Les précipitations annuelles moyennes pour la période 2003-2012 est de 80,83 mm. Le mois le plus pluvieux durant cette période est le mois de septembre avec 22,46 mm (Tableau II).

1-2-2 Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen

Il représente les courbes de températures et de précipitations. La saison aride apparaît quand la courbe des précipitations se positionne au-dessous de celle des températures (Faurie et al., 2011 in Dahou, 2014). Le diagramme Ombrothermique de la région de Ghardaïa indique le prolongement de la période sèche toute l'année (Figure 20).

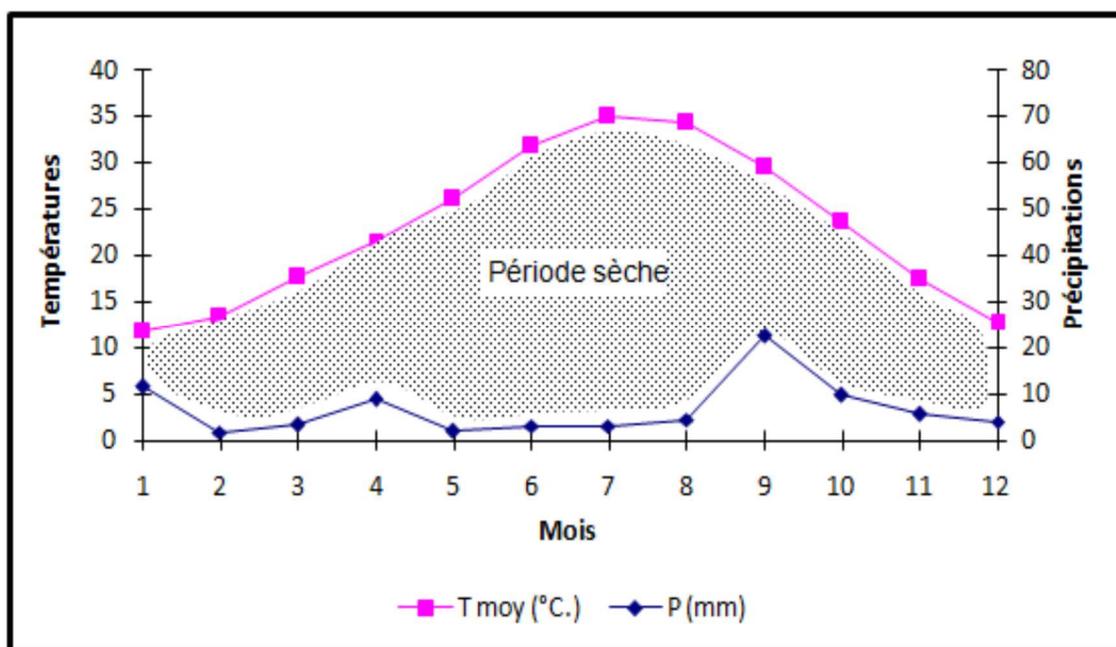


Figure 20 : diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen de la région de Ghardaïa (2003-2012) (Dahou, 2014).

1-2-3 La zonation éoclimatique de Le Houérou

Le Houérou (1995) a dressé une zonation éoclimatique des régions arides de l'Afrique du Nord sur les ordonnées de quotient pluvio-évapotranspiratoire (P/ETPp), et sur les abscisses des moyennes des températures minimales du mois le plus froid. ETP correspond à l'évapotranspiration calculée à partir de la formule de Penman (Hamitouche, 2016) :

$$ETP = [(M+m/2)] \times 68,64$$

Le tableau III retrace les différents calculs effectués pour classer notre station dans la zonation éoclimatique de Le Houérou (1995) (Figure 21).

Tableau III : données et paramètres utilisés dans la classification éoclimatique de la station de Laghouat (Dahou, 2014).

Station étudiée	P (mm)	M (C°)	m (C°)	M+m/2	ETPp	P/ETPp	(P/ETPp)×100	Classification
Ghardaïa	80,83	42,07	6,13	24,1	1654,22	0,0488	4,88	Hyper aride

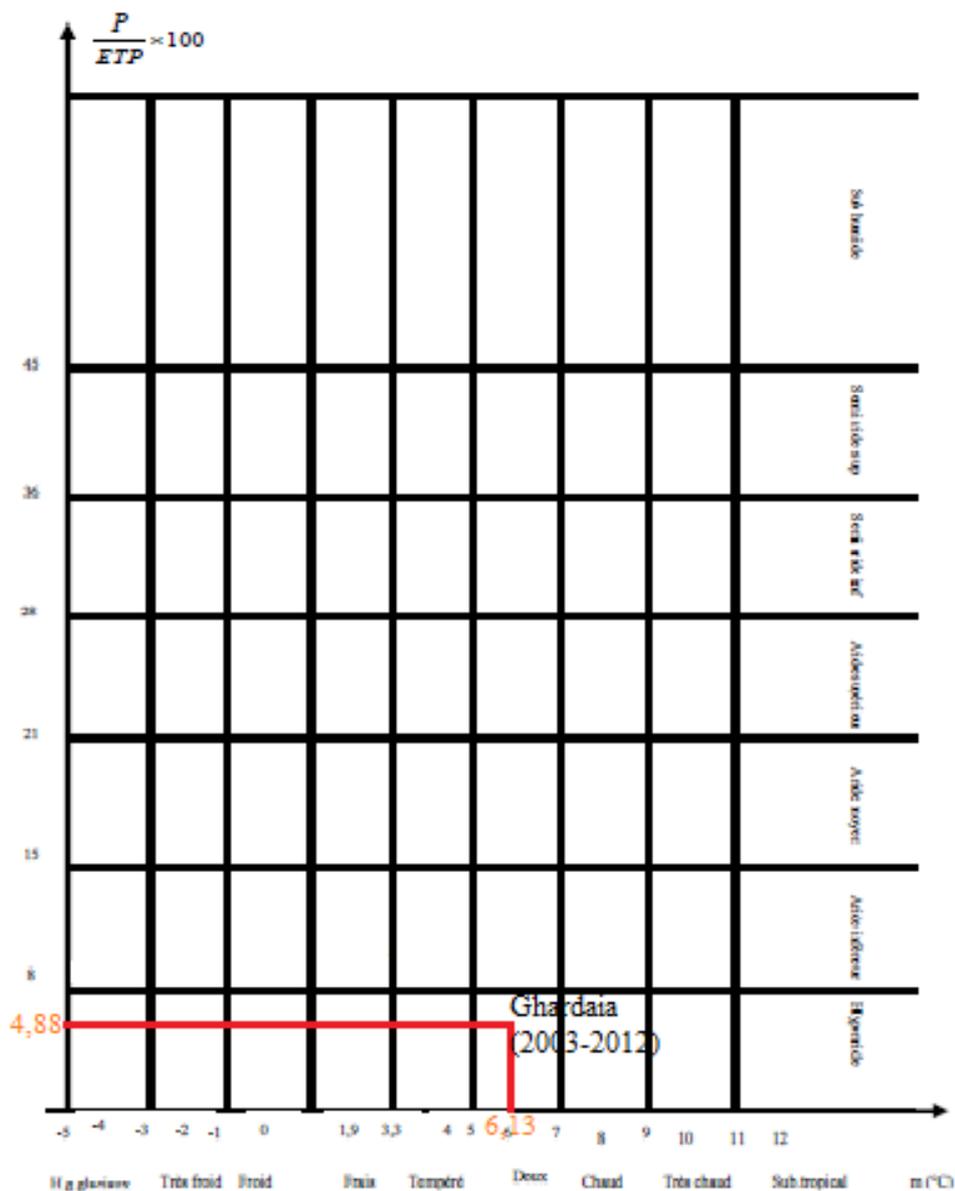


Figure 21 : zonation écoclimatique de la station de Ghardaïa selon la méthode de Le Houérou (1995)

2 Echantillonnage sur le terrain

Les fruits du pistachier de l'Atlas (Figure 22), objet de notre étude ont été récoltés au mois de septembre 2015. L'échantillonnage des fruits s'est fait sur plusieurs sujets femelles. Ces fruits ont ensuite été mélangés. La récolte a été faite par le personnel de la conservation des forêts de Laghouat.



Figure 22 : fruits du pistachier de l'Atlas utilisées dans l'étude.

2-1 Mise en culture des fruits

2-1-1 Stérilisation superficielle

La stérilisation superficielle est appliquée dans le but d'éliminer les microorganismes et les épiphytes qui se trouvent au-dessus des fruits. Pour cela, nous avons adopté le protocole de Helander et son équipe (1995) qui est donné comme suit :

- traitement à l'éthanol 96% pendant 02 minutes ;
- rinçage à l'eau distillée stérilisée ;
- traitement à l'eau de javel pendant 03 minutes ;

- 2^{ème} rinçage à l'eau distillé stérile ;
- 2^{ème} traitement à l'éthanol 96 % pendant 30 secondes ;
- 3^{ème} rinçage à l'eau distillé stérile.

Une fois stérilisée, les fruits sont séchés en utilisant du papier buvard stérile. Les fruits sont ensuite coupés en deux à l'aide d'un bistouri stérilisé. Les fruits coupés sont ensemencés sur les milieux de culture P.D.A (Figure 23 et Figure 24).

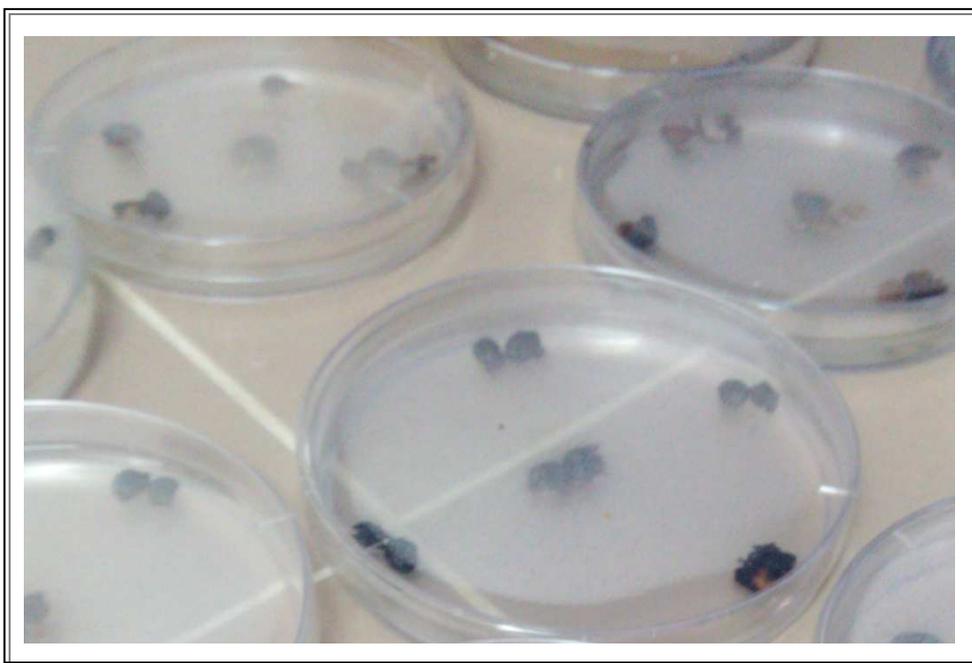


Figure 23 : fruits du pistachier de l'Atlas ensemencés sur les milieux de cultures (P.D.A).

2-1-2 Mise en culture

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

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

Les pommes de terre sont pelées, lavées et coupés en petits morceaux. Elles sont ensuite cuites dans 200 ml d'eau pendant 15 à 20 min. 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 bien homogène. Le milieu prêt est versé dans des bouteilles pour la stérilisation à l'étuve à une température de 120°C. Quelques grammes d'antibiotiques (amoxicilline) sont ajoutés au milieu préparé. Après refroidissement du milieu, ce dernier est versé dans des boîtes de pétris entre deux bcs bunsen.

Des fruits ont été choisis aléatoirement. Les fragments de fruits sont déposés sur ce milieu, voir 5 explants par boîte de pétri. Au total, 120 explants sont répartis sur le milieu de culture P.D.A. Toutes ces manipulations se font entre deux bcs bunsens. Des désinfectants (alcool, eau savonneuse) sont utilisés pour éviter les risques de contamination venant de l'extérieur. L'incubation s'effectue à température ambiante pendant deux mois.

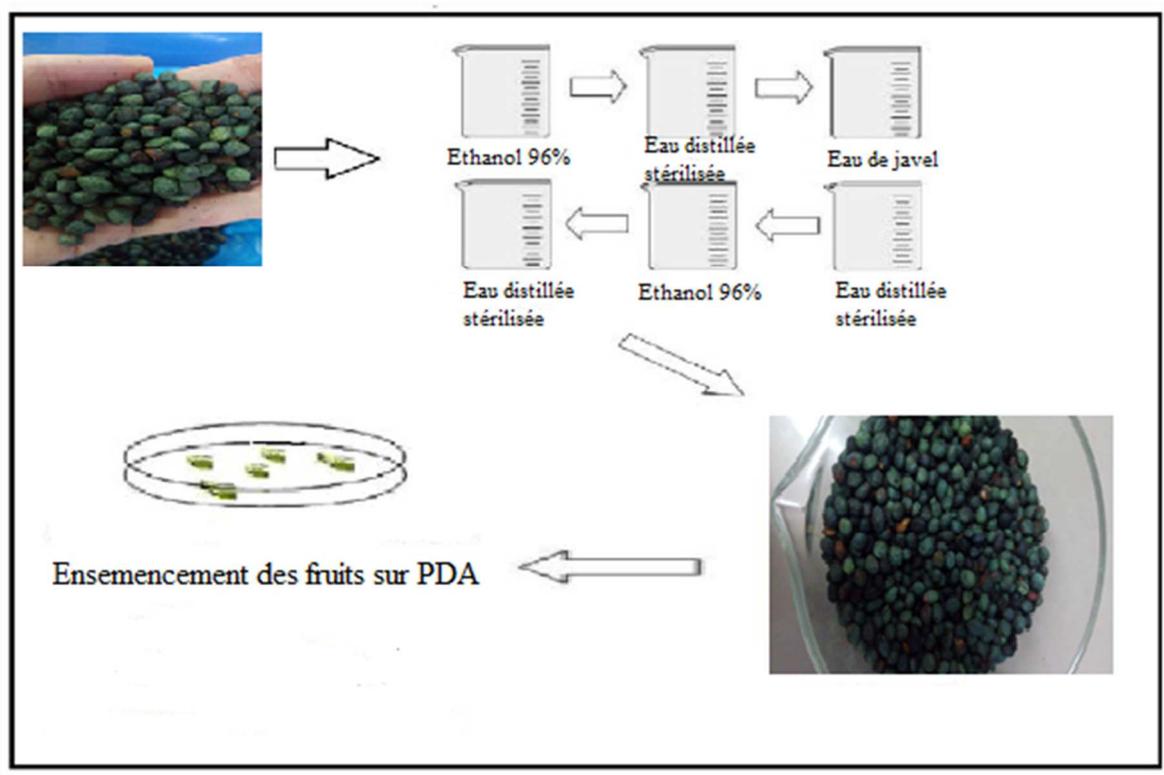


Figure 24 : étapes de la stérilisation superficielle et ensemencement des fruits de *Pistacia atlantica* Desf.

2-2 Identification

2-2-1 Observation macroscopique

Elle consiste en une observation macroscopique de la texture (laineuse, duveteuse, poudreuse...), la topographie (plane, surélevée...) et la couleur des colonies (brun, noir, gris...).

2-2-2 Observation microscopique

L'observation microscopique des champignons consiste à étudier la morphologie d'une colonie mycéliale dans laquelle les pycnides, asques, zygospores, sclérotés, chlamydospores et basides sont identifiés. Les spores, s'ils existent, (interne ou externe, thallicque ou blastique, isolées ou en chaîne : phialospores, alieuspores, blastospores), ainsi que leurs dispositions (solitaire, chaîne, bouquet) sont observées.

Nous nous sommes référées pour l'identification aux différents articles collectés et aux clés de détermination des Deutéromycètes de Kiffer et Morellet (1997).

2-3 Analyses statistiques

La fréquence de colonisation a été calculée selon la formule suivante

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

Des histogrammes concernant les différences de fréquences de colonisation sont tracées. Des analyses de variances (Anova) sont faites grâce au logiciel Stat Box 6.40, pour mettre en évidence la présence de différences significatives entre les différents fruits.

Concernant les fréquences des genres dénombrés au niveau des fruits de pistachier de l'Atlas, des diagrammes sont établis. Une analyse en composante principale (A.C.P) est réalisée en vue de mettre en évidence la distribution spatiale des différents champignons endophytes en fonction des sujets échantillonnés, grâce au logiciel Stat Box 6.40.

Chapitre 4 :
Résultats et discussion

1 Fréquences de colonisation

A l'issue de la mise en culture des fruits du *Pistacia atlantica* Desf. de la station de Metlili (Ghardaïa), nous avons mis en évidence pour la première fois en Algérie la présence de champignons endophytes au niveau des fruits de cet arbre.

La majorité des fruits mis en culture montrent la présence de mycoendophytes. 107 fruits au total étaient infectés par des endophytes, ce qui présente un taux d'infection important de 89%. Les fréquences de colonisation (FC) après deux mois d'incubation sont exprimées en pourcentage (%) pour les fragments sélectionnés et représentées dans le Tableau IV et la Figure 26.

Tableau IV : fréquence de colonisation des fruits du pistachier de l'Atlas de Metlili (Ghardaïa).

Boîtes	N C	F C (%)	Moy (%)
Boîte 01	5/5	100	89
Boîte 02	5/5	100	
Boîte 03	5/5	100	
Boîte 04	5/5	100	
Boîte 05	5/5	100	
Boîte 06	5/5	100	
Boîte 07	5/5	100	
Boîte 08	5/5	100	
Boîte 09	5/5	100	
Boîte 10	0/5	0	
Boîte 11	5/5	100	
Boîte 12	5/5	100	
Boîte 13	5/5	100	
Boîte 14	3/5	60	
Boîte 15	5/5	100	
Boîte 16	5/5	100	
Boîte 17	2/5	40	
Boîte 18	5/5	100	
Boîte 19	3/5	60	
Boîte 20	5/5	100	
Boîte 21	5/5	100	
Boîte 22	5/5	100	
Boîte 23	4/5	80	
Boîte 24	5/5	100	

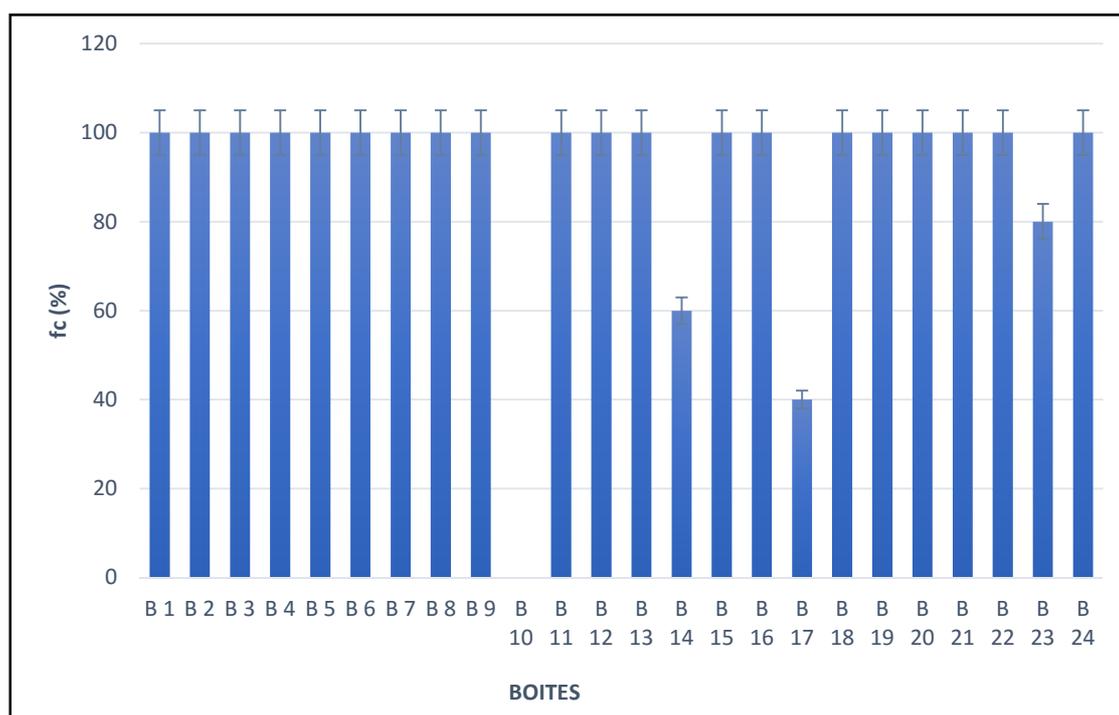


Figure 25 : fréquence de colonisation (%) des champignons endophytes des fruits des pistachiers de l'Atlas.

D'après les résultats du Tableau 4 et la Figure 25, nous constatons que la fréquence de colonisation par les mycoendophytes est importante. La majorité des fruits ensemencés dans les boites de pétri ont montré la présence de mycoendophytes avec un fort taux de colonisation. 19 boites sur 24 ont montrés l'infection de tous les fruits ensemencés (5/5) avec un taux de 100% de colonisation. La boite 23 montre l'infection de 4 fruits avec un taux d'infection de 80%. Les boites 14 et 17 montrent respectivement l'infection de 3 et 2 fruits sur 5 ; avec un taux d'infection de 60 et 40%. Une boite sur les 24 utilisées a montré un taux d'infection nul (0%).

Une analyse de variance (Anova) (Tableau V) montre que la fréquence de colonisation des mycoendophytes au niveau des fruits de Metlili (Ghardaïa) présente une différence hautement significative entre les fruits échantillonnés ($P < 0,01$).

Tableau V : l'analyse de variance (Anova) des fréquences de colonisation des fruits du pistachier de l'Atlas de Metlili (Ghardaïa)

	ddl	SC	CM	F	Proba
Boite	23,00	71916,67	3126,81	6,82	0,00
Var.résiduelle	96,00	44000,00	458,33		
Total	119,00	115916,67			

Au cours des dernières années les champignons endophytes ont été détectés dans des centaines de plantes (Amin et *al.*, 2015). C'est un groupe taxonomique et écologique hétérogène. Ils sont omniprésents (Agostinelli, 2012) et peuvent croître dans le milieu intracellulaire ou extracellulaire (Canard et Sénéquier-Crozet, 2016). Ils ont été trouvés dans toutes les espèces de plantes étudiées (Algues, mousses, fougères, conifères, Graminées, des palmiers, des arbustes et des Angiospermes Monocotylédones et Dicotylédones) (Arnold, 2007 ; Hyde et Soyong, 2008). Les champignons endophytes ont une diversité considérable, chaque plante a été signalée comme l'hôte d'un ou plusieurs mycoendophytes (Verma et *al.*, 2007 ; Kharwar et *al.*, 2008).

Cette étude démontre pour la première fois la présence des mycoendophytes au niveau des fruits du pistachier de l'Atlas de Metlili. Des études ont mis en évidence la présence des champignons endophytes colonisent les fruits et les graines des différentes espèces. Les champignons endophytes colonisent les fruits et les graines sans les endommager, ni former de spores. Ils sont caractérisés par une transmission verticale qui s'effectue par le biais de la graine. Ceci a été prouvé sur les *Neotyphodium* des graines de *Festuca arundinacea* qui colonisent directement les graines de leur hôte (Selosse et Gibert, 2011).

Zareb (2014) et Benfoudil (2015) ont mis en évidence la présence des mycoendophytes au niveau des feuilles du pistachier de l'Atlas.

Une comparaison des fréquences de colonisation par les mycoendophytes des fruits de *Pistacia atlantica* Desf. de Metlili avec celles obtenues par Zareb (2014) sur les feuilles de cette espèce de dayate Aiat (Laghout) et celle de Benfoudil (2015) sur celles d'El Gouffa (Laghout) été (Tableau 6).

Tableau VI : fréquence moyenne de colonisation (FC%) par les champignons endophytes des fruits et des feuilles de *Pistacia atlantica* Desf.

Organes	Fruits	Feuilles	
Stations	Metlili	El Gouffa	Aiat
FC (%)	89	78,1	68,7

A partir du Tableau VI, nous pouvons voir que les fréquences de colonisation par les champignons endophytes au niveau des fruits du pistachier de l'Atlas sont plus élevées comparées aux feuilles. Les champignons endophytes procurent à la plante qui l'héberge plusieurs avantages. Ainsi, les plantes colonisées par les endophytes tolèrent mieux les différents stress tel que le déficit hydrique, les attaques de champignons pathogènes ou les ultraviolets (White et Torres, 2010).

Les feuilles sont des organes végétatifs qui assurent à la plante les échanges avec l'atmosphère au cours de la photosynthèse, transpiration et respiration. Ces feuilles sont en continuité avec les tiges et les racines. Elles peuvent donc recevoir des mycoendophytes directement du sol. Ces derniers peuvent aussi pénétrer par les stomates. La fréquence et la diversité de ces derniers dépend de la saison et des conditions environnementales. Le fruit résulte de la transformation de l'ovaire après fécondation, il contient une graine déshydratée et en état de dormance. Ce fruit et cette graine constituent une discontinuité dans le cycle de développement de la plante. Aucun mycoendophyte ne peut y pénétrer une fois ces derniers déshydratés. Ceci peut expliquer la différence des taux de colonisation par les champignons endophytes chez les feuilles et les fruits du pistachier de l'Atlas.

Le taux d'infection des parties aériennes, à l'instar des feuilles et des fruits, évolue aussi avec l'âge de ces dernières, c'est ainsi que Kumaresan et Suryanarayanan, (2002) ont démontré

que le taux d'infection de *Rhizophora apiculata* (Rhizophoraceae) augmente pour les fruits arrivant au terme de nouaison et pour les feuilles adultes. Les fruits sur lesquels nous avons travaillé sont mûrs. Ils ont été récoltés en septembre. Pour les feuilles, l'échantillonnage a été fait en avril. Le pistachier de l'Atlas a des feuilles caduques. Elles tombent au mois de novembre et réapparaissent en mois de mars. Elles sont matures au mois de juin.

2 Diversité des champignons endophytes

Après deux mois d'incubation des fruits de *Pistacia atlantica* Desf. sur milieu PDA, nous avons procédé à l'identification des différents taxons de mycoendophytes présents. Cette identification est basée sur des critères morphologiques. Les différents isolats fongiques sont donnés dans le Tableau VII.

Tableau VIII : diversité des mycoendophytes isolés à partir des fruits du pistachier de l'Atlas de Metlili (Ghardaïa).

Genres	Espèce	Phylum	Ordre	Famille
<i>Absidia</i>	/	Zygomycota	Mucorales	Mucoraceae
<i>Aspergillus</i>	<i>A. niger</i>	Ascomycota	Eurotiales	Trichocomaceae
	<i>A. flavus</i>			
	<i>A. sulphureus</i>			
	<i>A. candidus</i>			
	<i>A. acidus</i>			
	<i>A. puniceus</i>			
	<i>A. neoniveus</i>			
	<i>A. neoniger</i>			
<i>A. aureoterreus</i>				
<i>Gliocladium</i>	/	Ascomycota	Hypocreales	Hypocreaceae
<i>Phoma</i>	/	Ascomycota	Microascales	Microascaceae
<i>Rhizopus</i>	/	Zygomycota	Mucorales	Mucoraceae
<i>Trichophyton</i>	/	Ascomycota	Onygenales	Arthrodermataceae
SNI	/	/	/	/

A partir des données du Tableau 7, nous déduisons que le genre *Aspergillus* est le plus riche en espèce dans les fruits du pistachier de l'Atlas au niveau de la zone étudiée. Les *Aspergillus* sont cosmopolites et fréquent dans la nature (Samson et al., 2014), la plupart des espèces qui appartiennent à ce genre sont connues par leur tolérance aux températures élevées, ce qui a été prouvé dans différentes études réalisées sur des espèces d'*Aspergillus* (Coleman et al., 2002 ; Pratheeba et al., 2014 ; Lacey et Magan, 1991). En outre, les conidies des *Aspergillus niger* et *Aspergillus flavus* se dispersent facilement par les mouvements de l'air (Coleman et al., 2002 ; Gibson et al., 1994).

Dans ce travail les *Aspergillus* sont les plus riches en espèces (9) qui appartiennent à des sections différentes, comme *Nigri*, *Usti*, *Flavi*, *Candidi*, *Terrei* et *Circumdati*.

Aspergillus niger, appartient au phylum des *Ascomycota*, section *Nigri*. Il se trouve couramment dans le monde entier, il est donc capable de se développer dans une grande variété de biotopes avec très différentes conditions environnementales, telles que la nature des sources de carbone disponibles et d'autres éléments nutritifs, la température et l'humidité. Ils sont parmi les espèces les plus communes, trouvées dans les communautés fongiques. Cette espèce est capable de se propager efficacement dans un large éventail d'environnements. *Aspergillus Niger* et d'autres *Aspergillus* noirs poussent principalement sur les matières organiques brutes, qui se compose principalement de parois cellulaires (Samson et al., 2011) (Figure 26).

Aspergillus sulphureus est un champignon *Ascomycota*, appartient à la section des *Circumdati* (Samson et al., 2006) (Figure 27).

Aspergillus candidus appartient à la section *Candidi*. C'est un champignon xérophile et capable de se développer sur les grains entreposés avec une teneur de 15% d'humidité (Lacey et Magan., 1991) et à des températures allant jusqu'à 55°C. Elle est l'une des moisissures les plus fréquemment rencontrés dans les céréales et la farine (rabie et al., 1997 ; Weidenbörner et al., 2000 ; Ismail et al., 2004 ; Hocking, 2003). *A. candidus* provoque la perte de la viabilité et le germe de décoloration dans les céréales (Papavizas et Christensen, 1960 ; Battacharya et Raha, 2002; Lugauskas et al., 2006). Elle produit des enzymes utilisés dans l'industrie de la fermentation pour la production des galacto-oligosaccharides (Zheng et al., 2006), et le D-mannitol (Smiley et al., 1969). *A. candidus* est prétendu être impliqué dans un large éventail d'infections humaines, y compris l'aspergillose invasive (Rippon, 1988 ; Ribeiro et al., 2005). Cette espèce est caractérisé par des têtes de conidies blanches, globuleuses, grandes et bisériés,

des petites têtes unisériées, des conidiophores lisses et conidies (Raper et Fennell, 1965 ; Kozakiewicz, 1989) (Figure 28).

Aspergillus neoniger c'est une espèce appartient à la section *Nigri*. Ces conidiophores sont bisériés avec des vésicules globuleuses, stipe à paroi lisse finement rugueuse et hyaline. Les conidies sont globuleuses, brunes, grossièrement dépolie (Samson et al., 2011). *Aspergillus neoniger* est une espèce isolée du sable de désert en Namibie, et de l'eau de la mangrove au Venezuela. Morphologiquement, il ressemble à *Aspergillus niger* et *Aspergillus tubingensis*. Cette espèce a également été identifiée dans le sol du désert près de *Welwitschia mirabilis*, Namibie (Varga et al., 2007b) (Figure 29).

Le genre *Rhizopus* contient plusieurs espèces. Les plus communes sont isolées du sol, les graines des céréales et des matières végétales en décomposition. Les espèces de *Rhizopus* se développent sur les légumes et les fruits (Breton, 1985) (Figure 30).

Aspergillus acidus c'est une espèce de la section *Nigri* (Samson et al., 2011). Ces conidiophores sont bisériés avec des vésicules globuleuses, stipe à paroi lisse finement rugueuse, hyaline. Des conidies globuleuses et brunes, à parois lisses à rugueuses. Cette variété est reconnue par Raper et Fennell (1965) comme une variété d'*Aspergillus citricus*. Cependant Al-Musallan (1980), ne pouvait pas distinguer cette variété de l'agrégat *A. Niger*. *Aspergillus acidus* semble être l'espèce dominante sur les feuilles de thé (Mogensen et al., 2009), et elle a également été identifié dans les cas de aspergillose humaines (Alcazar-Fuoli et al., 2009) (Figure 32).

Aspergillus aureoterreus appartient à la section *Terrei*. Cette variété a été proposée par Thom et Raper (1945), sur la base des colonies à croissances lentes (Figure 34).

Aspergillus flavus fait partie de la section *Flavi* (Samson et al., 2011). *Aspergillus flavus* est la deuxième espèce des *Aspergillus* la plus importante, elle provoque des infections

humaines. L'importance de ce champignon augmente dans les régions avec un climat sec et chaud (Narasimhan et Pushkar, 2015). *Aspergillus flavus* est l'une des espèces les plus communes qui produisent les aflatoxines (Sargeant et al. 1961), se produisant dans la plupart des types d'aliments dans les pays tropicaux. Cette espèce est très commune sur le maïs, l'arachide et de coton. Les populations des *Aspergillus flavus* sont génétiquement et phénotypiquement diverses (Geiser et al., 2000) avec des isolats produisant des conidies abondamment, produit des grandes sclérotés, et des quantités variables d'aflatoxines (Cotty, 1989) (Figure 35).

L'abondance des différents taxons de mycoendophytes identifiés au niveau des fruits du pistachier de l'Atlas sont présentés dans le Tableau VIII et Figure 36.

Tableau VIII : l'abondance des mycoendophytes isolés à partir des fruits du pistachier de l'Atlas de Metlili (Ghardaïa).

Genres	Espèce	Abondance (%)	Phylum
<i>Absidia</i>	/	0,83	Zygomycota
<i>Aspergillus</i>	<i>A. niger</i>	23,33	Ascomycota
	<i>A. flavus</i>	18,33	
	<i>A. sulfereus</i>	0,83	
	<i>A. candidus</i>	1,66	
	<i>A. acidus</i>	5	
	<i>A. puniceus</i>	0,83	
	<i>A. neoniveus</i>	0,83	
	<i>A. neoniger</i>	0,83	
	<i>A. aurentireus</i>	0,83	
<i>Gliocladium</i>	/	4,16	Ascomycota
<i>Phoma</i>	/	1,66	Ascomycota
<i>Rhizopus</i>	/	0,83	Zygomycota
<i>Trichophyton</i>	/	1,66	Ascomycota
SNI	/	27,39	/

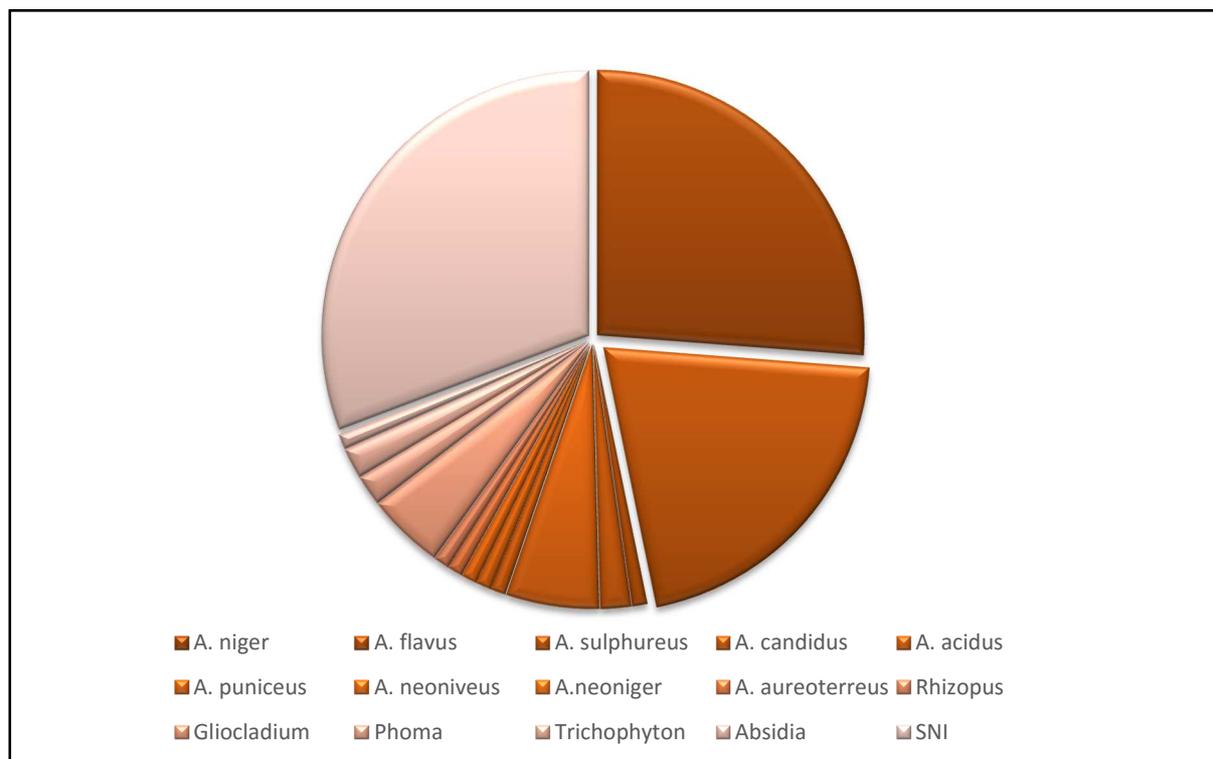


Figure 36 : statut général de l'abondance des mycoendophytes des fruits de *Pistacia atlantica* Desf.

A partir des données ci-dessus, nous déduisons que les isolats non identifiés (SNI) présentent un taux important dans cette étude (27,39). Le champignon endophyte dominant dans cette étude est le genre *Aspergillus*. La dominance des *Aspergillus* au sein de cette étude est due au fait que ce genre est xérophile et ubiquiste (Abduallah et al., 1986 ; Chew-Madinaveitia, 2007). Une étude a été réalisée sur des espèces d'*Aspergillus* comme *Aspergillus niger* et *Aspergillus flavus* qui a montré qu'ils ont une capacité tolérante qui permettent la croissance dans une large gamme de température allant de 6 à 47°C pour *A. niger* et de 12 à 48°C pour *A. flavus* (Pratheeba et al., 2014). Cela explique nos résultats et la forte abondance d'*Aspergillus niger* qui est de 23,33% suivi par *Aspergillus flavus* qui est de 18,33%.

La comparaison de la diversité et de l'abondance des champignons endophytes des fruits de Metlili (Ghardaïa) et des feuilles de dayate Aiat (Timzerth) et de dayate El-Gouffa est donnée dans le tableau IX.

Tableau IX : comparaison de l'abondance des genres fongiques isolés à partir des fruits du pistachier de l'Atlas de Metlili, les feuilles de dayate El-Gouffa et dayate Aiat.

Mettili		El Gouffa		Aïat	
Genre de champignon	Abondance (%)	Genre de champignon	Abondance (%)	Genre de champignon	Abondance (%)
<i>Absidia</i>	0,83	<i>Absidia</i>	2,7	<i>Acremonium</i>	0,5
<i>Aspergillus</i>	52,47	<i>Acremonium</i>	8,09	<i>Alternaria</i>	2,75
<i>Gliocladium</i>	4,16	<i>Alternaria</i>	0,37	<i>Aspergillus</i>	27,25
<i>Phoma</i>	1,66	<i>Apophysomyces</i>	0,37	<i>Aureobasidium</i>	2
<i>Rhizopus</i>	0,83	<i>Arthrimum</i>	2,57	<i>Bipolaris</i>	1
<i>Trichophyton</i>	1,66	<i>Aspergillus</i>	16,91	<i>Chaetomium</i>	1
SNI	27,39	<i>Aureobasidium</i>	4,41	<i>Cladosporium</i>	4,5
		<i>Bahusakala</i>	0,37	<i>Cordyceps</i>	1,5
		<i>Bipolaris</i>	0,74	<i>Curvularia</i>	1
		<i>Cheatomium</i>	2,94	<i>Epicoccum</i>	25,6
		<i>Circinella</i>	1,47	<i>Geotrichum</i>	1,5
		<i>Cladosporium</i>	8,46	<i>Monilia</i>	2
		<i>Colletotrichum</i>	0,37	<i>Mucor</i>	0,25
		<i>Epicoccum</i>	9,19	<i>Neoscytalidium</i>	0,25
		<i>Geotrichum</i>	1,1	<i>Nigospora</i>	0,25
		<i>Gymnoascus</i>	0,74	<i>Paraphaephaeria recurvifoliae</i>	0,25
		<i>Hypoxylon</i>	2,57	<i>Phoma</i>	1,75
		<i>Mucor</i>	0,37	<i>Phomopsis</i>	0,5
		<i>Neoscytalidium</i>	1,1	<i>Rhizoctonia</i>	0,5
		<i>Penicillium</i>	2,57	<i>Scedosporium</i>	0,5
		<i>Phoma</i>	9,19	<i>Xylaria</i>	1,3
		<i>Scedosporium</i>	2,21	SNI	1,25
		<i>Trichoderma</i>	9,19		
		<i>Verticillium</i>	4,04		
		SNI	8,09		

A partir du Tableau IX, nous pouvons voir que le nombre de mycoendophytes est plus important au niveau des feuilles par rapport aux fruits, 24 genres fongiques dans la dayas El-Gouffa ; 21 à dayate Aiat (Timzerth) et 6 genres seulement au niveau de Metlili. Les isolats non identifiés (SNI) sont beaucoup plus rencontrés pour les fruits de Metlili avec 27,39% contre 8,09% à El Gouffa et 1,25% à dayate Aiat. Nous pouvons noter aussi que le genre dominant au niveau des feuilles et des fruits est l'*Aspergillus*.

La microflore atmosphérique peut varier dans la composition et la concentration journalière et même selon la saison et la réponse à des événements environnementaux tels : les précipitations et les vents forts (Kinkel, 1997 ; Zak, 2002). Cette hypothèse pourrait expliquer les variations des abondances fongiques entre les deux dayas et la station de Metlili. Etant échantillonnée en 2013 pour dayate Aïat, en 2014 pour El Gouffa et en 2015 pour Metlili.

Certains genres fongiques recensés sur fruits sont complètement absents sur les feuilles. C'est le cas de *Gliocladium*, *Rhizopus* et *Trichophyton*. Cela peut s'expliquer par la saison d'échantillonnage : printemps pour les feuilles et automne pour les fruits.

Aspergillus est le plus abondant au niveau des feuilles des deux dayas (27,25% à dayate Aïat, 16,91% à El-Gouffa) et au niveau des fruits (52,47%). *Gliocladium* est le second en matière d'abondance dans la station de Metlili et absent dans les deux autres stations. Il est en codominance avec *Absidia*, *Phoma* et *Trichophyton*.

Les mycoendophytes identifiés appartiennent à deux phylums différents, 86% d'entre eux font partie des Ascomycota et 14% sont des Zygomycota comme le démontre la Figure 37.

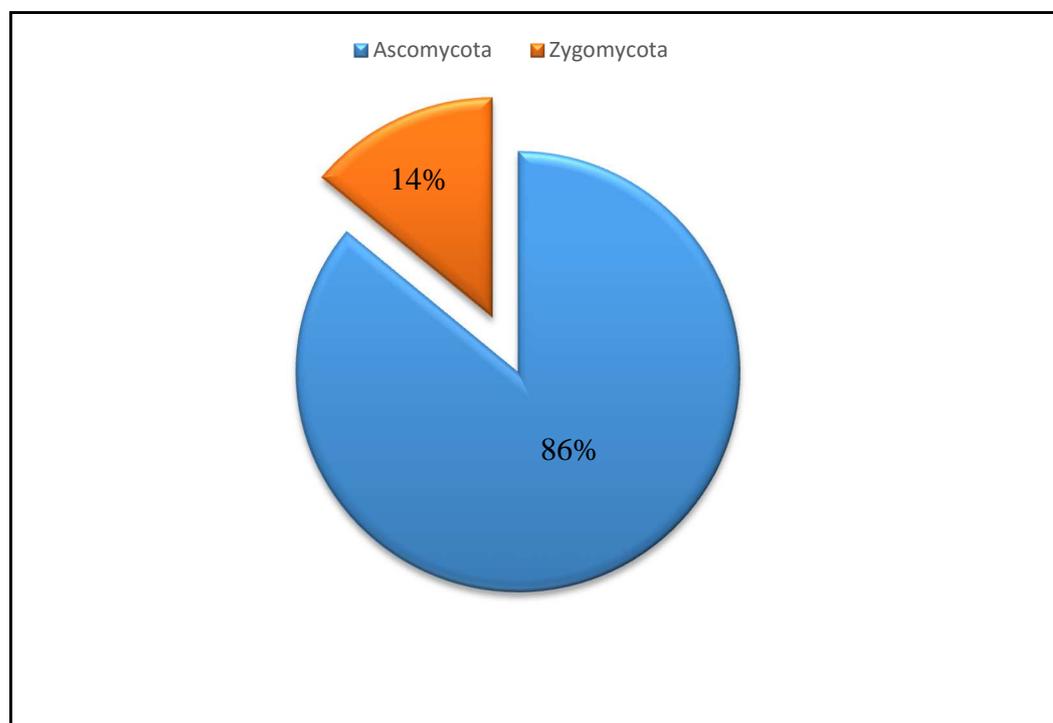


Figure 37 : composition des mycoendophytes des fruits de *Pistacia atlantica* Desf. selon le phylum à Metlili.

3 Discussion générale

Une analyse en composantes principales (ACP) est réalisée entre les différents champignons endophytes des fruits du pistachier de l'Atlas. La matrice de corrélation montre des interactions importantes, elles peuvent être négatives ou positives (Tableau X).

Nous remarquons à partir du Tableau 10 que les corrélations de **1** sont révélées entre *Aspergillus puniceus* et *Aspergillus aureoterreus*, *Aspergillus neoniger* et *Rhizopus*.

Aspergillus acidus est le mycoendophyte possédant le plus grand nombre de fortes corrélations positives (3), dont celles avec *Aspergillus neoniveus* (**0,52**), *Aspergillus neoniger* (**0,52**) et *Rhizopus* (**0,52**). *Aspergillus niger* est corrélé avec *Aspergillus flavus* (**0,47**). Ces corrélations entre les différentes souches fongiques peuvent être expliquées par la synergie qui existe entre elles.

Les mycoendophytes *Aspergillus sulphurus*, *Aspergillus candidus*, *Aspergillus aureoterreus*, *Gliocladium*, *Phoma*, *Trichophyton* et *Absidia* ne possèdent pas de corrélations significatives avec les autres endophytes.

Nous avons notés aussi au niveau de cette étude des corrélations négatives significatives entre les mycoendophytes. SNI a une forte corrélation négative avec 2 genres fongiques : *Aspergillus flavus* (**-0,54**) et *Aspergillus niger* (**-0,43**).

Tableau X : matrice des corrélations entre les taxons de mycoendophytes recensés.

	<i>A. niger</i>	<i>A. flavus</i>	<i>A. sulphureus</i>	<i>A. candidus</i>	<i>A. acidus</i>	<i>A. puniceus</i>	<i>A. neoniveus</i>	<i>A. neoniger</i>	<i>A. aureoterreus</i>	<i>Rhizopus</i>	<i>Gliocladium</i>	<i>Phoma</i>	<i>Trichophyton</i>	<i>Absidia</i>	SNI
<i>A. niger</i>	1	0,47	-0,03	0,00	-0,26	0,03	-0,07	-0,23	0,03	-0,23	-0,36	-0,23	-0,31	0,09	-0,43
<i>A. flavus</i>	0,47	1	0,27	-0,11	-0,27	0,02	-0,19	0,00	0,02	0,00	-0,37	-0,19	-0,26	0,18	-0,54
<i>A. sulphureus</i>	-0,03	0,27	1	-0,06	-0,10	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04	-0,08	-0,04	-0,06	-0,04	-0,14
<i>A. candidus</i>	0,00	-0,11	-0,06	1	0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,01	-0,06	-0,08	-0,06	0,10
<i>A. acidus</i>	-0,26	-0,27	-0,10	0,06	1	0,24	0,52	0,52	0,24	0,52	0,13	-0,10	-0,14	-0,10	0,20
<i>A. puniceus</i>	0,03	0,02	-0,04	-0,06	0,24	1	-0,04	-0,04	1,00	-0,04	-0,08	-0,04	-0,06	-0,04	-0,07
<i>A. neoniveus</i>	-0,07	-0,19	-0,04	-0,06	0,52	-0,04	1	-0,04	-0,04	-0,04	-0,08	-0,04	-0,06	-0,04	0,19
<i>A. neoniger</i>	-0,23	0,00	-0,04	-0,06	0,52	-0,04	-0,04	1	-0,04	1,00	-0,08	-0,04	-0,06	-0,04	-0,01
<i>A. aureoterreus</i>	0,03	0,02	-0,04	-0,06	0,24	1,00	-0,04	-0,04	1	-0,04	-0,08	-0,04	-0,06	-0,04	-0,07
<i>Rhizopus</i>	-0,23	0,00	-0,04	-0,06	0,52	-0,04	-0,04	1,00	-0,04	1	-0,08	-0,04	-0,06	-0,04	-0,01
<i>Gliocladium</i>	-0,36	-0,37	-0,08	-0,01	0,13	-0,08	-0,08	-0,08	-0,08	-0,08	1	-0,08	0,24	-0,08	0,13
<i>Phoma</i>	-0,23	-0,19	-0,04	-0,06	-0,10	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04	-0,08	1	-0,06	-0,04	-0,14
<i>Trichophyton</i>	-0,31	-0,26	-0,06	-0,08	-0,14	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	0,24	-0,06	1	-0,06	-0,19
<i>Absidia</i>	0,09	0,18	-0,04	-0,06	-0,10	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04	-0,08	-0,04	-0,06	1	-0,14
SNI	-0,43	-0,54	-0,14	0,10	0,20	-0,07	0,19	-0,01	-0,07	-0,01	0,13	-0,14	-0,19	-0,14	1

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

Le plan ½ de l'ACP explique 34% du phénomène, avec 19% pour l'axe 1 et 15% pour l'axe 2 (Figure 38).

Selon l'axe 1, nous observons la formation de deux groupes. Le premier groupe comporte les boîtes n°1, 2, 3, 4, 5, 12, 13, 18, 19, 20, 21, 23 et 24. Le second groupe englobe les boîtes n° 6, 7, 8, 9, 10, 11, 14, 15, 16, 17 et 22.

Concernant les mycoendophytes, le premier groupe se caractérise par la présence d'*Absidia*, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger* et *Aspergillus sulphureus*. *Aspergillus niger* et *A. flavus* sont très abondants au niveau des boîtes n°1, 2, 3, 4, 5, 12, 13, 18, 20, 21, 23 et 24, leur corrélation est significative et positive.

Le deuxième groupe comporte les autres champignons recensés dans cette étude. Il englobe les boîtes n°6, 7, 8, 9, 10, 11, 14, 15, 17 et 22 où *Aspergillus aureoterreus*, *A. puniceus*, *A. neoniger*, *A. acidus*, *A. neoniveus*, *A. candidus*, *Phoma*, *Rhizopus*, *Trichophyton*, *Gliocladium* et SNI sont présents. *Rhizopus*, *Aspergillus acidus*, *Aspergillus aureoterreus* et *Aspergillus puniceus* sont corrélés positivement. Une forte corrélation est notée entre *Rhizopus*, *Aspergillus neoniger* et *Aspergillus acidus* et entre *Aspergillus aureoterreus* et *Aspergillus puniceus*, ce qui signifie que la présence de l'un dépend de la présence de l'autre.

Selon l'axe 2, les souches non identifiées (SNI) s'opposent à *Aspergillus niger* et *A. flavus*.

La présence des champignons endophytes dans les fruits du pistachier de l'Atlas confirme une transmission verticale effectuée par le biais de la graine vers les différentes parties de la plante à la germination. Les mycoendophytes recensés par Zareb (2014) et par Benfoddil (2015) au niveau des feuilles proviennent au moins en partie des graines.

Dans cette étude, nous avons travaillé sur des fruits provenant de Metlili (Ghardaïa), à un climat hyperaride, avec une saison sèche qui dure toute l'année. Ceci explique la forte dominance des *Aspergillus*, parce que ce genre appartient aux champignons xérophiles.

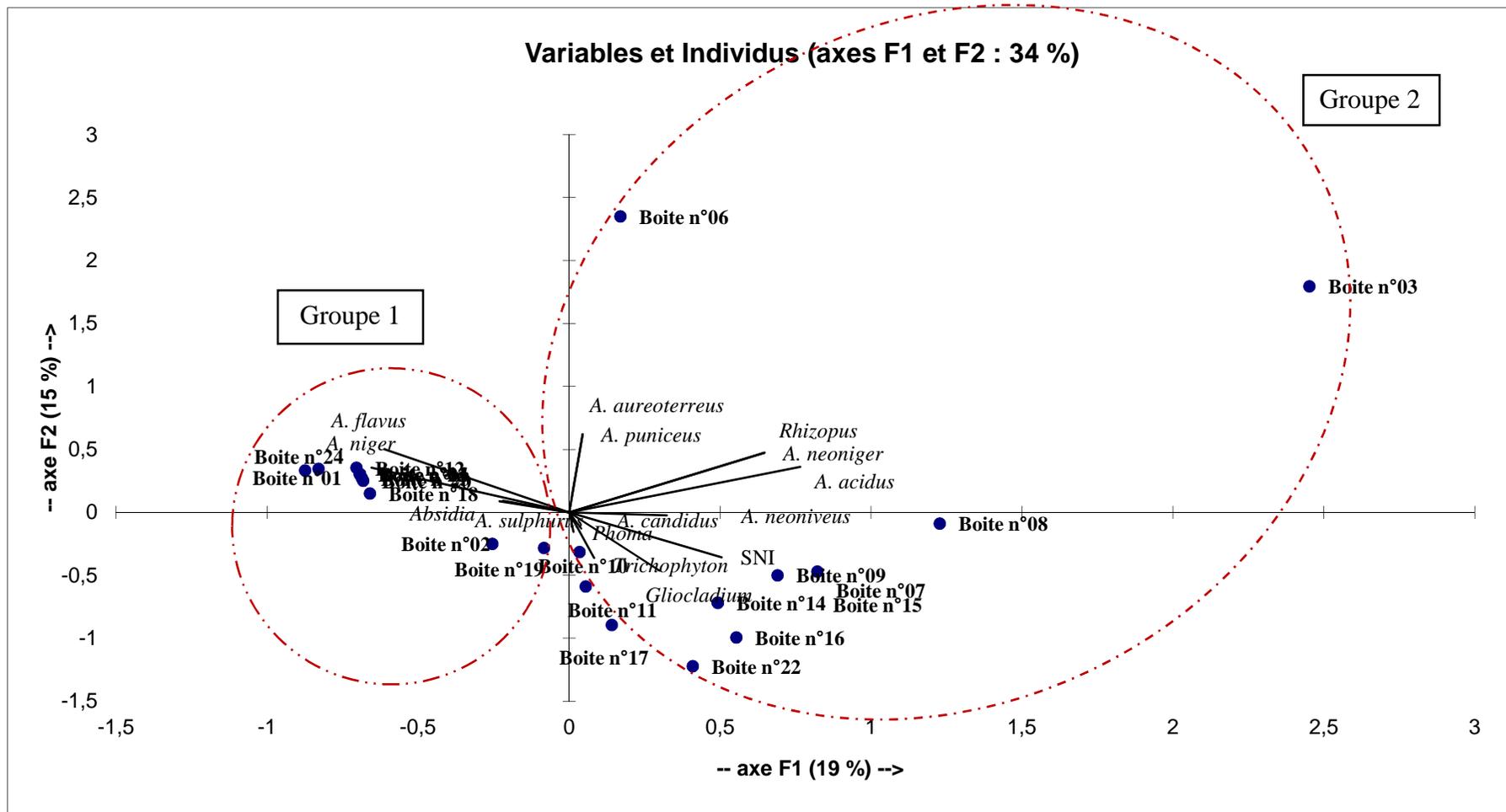


Figure 38 : ACP représentant les boîtes utilisées et les champignons endophytes recensés chez le pistachier de l'Atlas de Metlili.

Les espèces les plus abondantes dans les fruits du pistachier de l'Atlas sont *Aspergillus niger* (23,33%) et *Aspergillus flavus* (18,33%). La forte abondance d'*Aspergillus niger* est peut-être due à son rôle dans les activités antimitotiques. En effet, les différents représentants de ce genre synthétise des composés équivalent au taxol et au lapachol dont le rôle est d'inhiber les divisions cellulaires d'où sa présence dans le fruit pour empêcher la germination de la graine (Channabasava et Govindappa, 2014 ; Ouzid et *al.*, 2016). Le rôle de ces différents composés est d'empêcher une germination précoce de ces graines dans ces contrées hyperarides. Les mycoendophytes semblent contribuer au phénomène de dormance attribué jusqu'à présent uniquement à la plante.

*Conclusion générale et
perspectives*

Conclusion générale et perspectives

Dans ce travail, nous avons mis en évidence pour la première fois en Algérie la présence des champignons endophytes au niveau des fruits du pistachier de l'Atlas.

La première partie de cette étude a concerné la fréquence de colonisation des fruits du pistachier de l'Atlas par les champignons endophytes après deux mois d'incubation. Elle est en moyenne de 89%. L'anova nous a révélé que la différence de colonisation entre les fruits échantillonnés est hautement significative. Beaucoup d'études ont prouvées que le taux d'infection varie selon les organes et les différences structurelles des tissus de la plante hôte. Le taux de colonisation peut également varier selon la localisation géographique et l'environnement de la plante hôte.

La deuxième partie de notre étude consiste à identifier les isolats fongiques prélevés des fruits du pistachier de l'Atlas de Metlili. Nous avons identifié 6 genres de mycoendophytes : *Aspergillus* avec 52,47%, *Gliocladium* avec 4,16%, *Phoma* et *Trichophyton* avec 1,66%, *Absidia* et *Rhizopus* avec 0,83%. Les isolats non déterminés (SNI) présentent 27,39% de l'ensemble des isolats fongiques.

Dans cette étude, nous ne sommes pas contentées d'identifier les isolats fongiques au niveau du genre, mais nous avons essayé d'aller jusqu'au niveau spécifique. Nous avons pu identifier 9 espèces appartiennent au genre *Aspergillus* avec des différentes abondances ; *Aspergillus acidus* (5), *Aspergillus aureoterreus* (0,83), *Aspergillus candidus* (1,66), *Aspergillus flavus* (18,33), *Aspergillus neoniger* (0,83), *Aspergillus neoniveus* (0,83), *Aspergillus niger* (23,33), *Aspergillus puniceus* (0,83), *Aspergillus sulphurus* (0,83).

Les associations endophytes-plantes sont très importantes, vue les nombreux bénéfiques qu'ils apportent à la plante, comme la protection contre les pathogènes et les herbivores et la lutte contre la sécheresse.

Conclusion générale et perspectives

En perspectives, ce travail peut être poursuivi par :

- une identification moléculaire des mycoendophytes pour la confirmation des déterminations ;
- une extraction des métabolites secondaires de ces mycoendophytes ;
- étendre cette étude à différentes populations de pistachier de l'Atlas présents en Algérie et même en Afrique du Nord.

*Références
bibliographiques*

Références bibliographiques

- 1 Abdullah S.K., Al-Khesraji T.O., Al-Edany T.Y. 1986. Soil mycoflora of the Southern desert of Iraq. *Sydowia*. Vol (39) :8-1.
- 2 Ainsworth GC, Hawksworth DL, Bisby GR. 2008. Ainsworth & Bisby's dictionary of the *actinomycetes*. 3rd ed. Philadelphia : Saunders 161: 1–188.
- 3 Akello J., Dubois T., Gold CS., Coyne D., Nakavuma J., Paparu P., 2007. *Beauveria bassiana* (Balsamo) vuillemin as an endophyte in tissue culture banana (*Musa* spp.). *Journal of Invertebrate Pathology* 96, 34–42.
- 4 Alcazar-Fuoli L, Mellado E, Alastruey-Izquierdo A, Cuenca-Estrella M, Rodriguez-Alva P., McKenzie E. H. C., Pointing S. B., Pena-Muralla R. and Hyde K. D. 2002. Do sea grasses harbour endophytes? *Fungal Diversity Research Series*. 7: 167-178.
- 6 American Cancer Society. 2009. "Cancer Facts & Figures 2009," American Cancer Society, Atlanta, Ga, USA.
- 7 Andéol Sénéquier-Crozet, Benjamin Canard, 2016. Les champignons endophytes : impact sur les écosystèmes et production de molécules d'intérêt thérapeutique, thèse de doctorat d'état. Sciences pharmaceutiques. Université Grenoble Alpes. 104p.
- 8 Andriamielihariisoa Ravaka Fanoharantsoa, 2011. Métabolites 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. Faculté des Sciences, département de biochimie fondamentale et appliquée. Université d'Antananarivo, Option biotechnologie et microbiologie. 103p.
- 9 Antonios Krimitzas., Ioanna Pyrri., Vassili N., Kouvelis., Evangelia Kapsanaki-Gotsi., Milton A. Typas., 2013. A Phylogenetic Analysis of Greek Isolates of *Aspergillus* Species Based on Morphology and Nuclear and Mitochondrial Gene Sequences. Volume 2013, Article ID 260395, 18p.
- 10 ARNOLD A. E., MAYNARD Z., GILBERT G. S., COLEY P. D. & KURSAR T. A., 2000. Are tropical fungal endophytes hyperdiverse. *Ecology Letters*, 3: 267-274.
- 11 Arnold AE., 2007 – Understanding the diversity of foliar endophytic fungi: progress, challenges, and frontiers. *Fungal Biology Reviews* 21, 51–66.
 - a. *Aspergillus candidus*. *Journal of Infection* 51: e195–e197.
- 12 Aurélie Lecellier., 2013. Caractérisation et identification des champignons filamenteux par spectroscopie vibrationnelle, thèse de doctorat, Université de Reims Champagne-Ardenne. 196p.

Références bibliographiques

- 13 Aveskamp, M.M., De Gruyter, J., Crous, P.W., 2008. Biology and recent developments in the systematics of *Phoma*, a complex genus of major quarantine significance. *Fungal Diversity* 31: 1-18.
- 14 Baldani JI., Baldani VLD., Seldin L., Döbereiner J., 1986 – Characterization of *Herbaspirillum seropedicae* gen. nov. sp. nov. a root-associated nitrogen-fixing bacterium. *International Journal of Systematic Bacteriology*. 36, 86–93.
- 15 Barraquio WL., Revilla L., Ladha JK., 1997 – Isolation of endophytic diazotrophic bacteria from wetland rice. *Plant and Soil* 194, 15–24.
- 16 Barz W., Daniel S., Hinderer W., Jaques U., Kessmann H., Koster J., Tiemann K., 1988. *In* : *Plant Cell Biotechnology* (Pais M, Mavituna F, Novais J, eds.): 211–213 Springer (NATO ASI series), Berlin, Heidelberg, New York.
- 17 Basha A.I., 2006. Assess of genetic diversity of *Pistacia* spp. in wild populations and field gene banks from central and west asia. Thèse de doctorat. Département d'Agrobiologique et Agrochimique. Université de degli studia della Tuscia di Veterbo, Italia. 212p.
- 18 Batt Carl A., 2014. *Encyclopedia of Food Microbiology*. Editor Mary Lou Tortorello, U.S. Food and Drug Administration, Bedford Park, IL, USA. 1014p.
- 19 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 savoir sa valorisation. Thèse de doctorat en Sciences Agronomiques. Option : Ecologie Végétale. Faculté des sciences Biologiques et Agronomiques. UMMTO. 183p.
- 20 Benabdallah F.Z., 2012. 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.
- 21 Benfoddil O. 2015. Inventaire des champignons endophytes des feuilles de *Pistacia atlantica* Desf. de dayate El Gouffa (Laghouat, Algérie). Mémoire de Magister. Spécialité : Sciences Biologiques. Option : Ecologie végétale appliquée et gestion de l'environnement. UMMTO. 173p.
- 22 Benny GL., Humber RA., Morton JB. 2001. Zygomycota : zygomycetes. *In* : McLaughlin DJ, McLaughlin EG, Lemke PA (eds), *The Mycota. Part A. Systematics and Evolution*, vol. VII. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, pp. 113–146.

Références bibliographiques

- 23 Bhattacharya K, Raha S (2002). Deteriorative changes of maize, groundnut and soybean seeds by fungi in storage. *Mycopathologia* 155: 135–141.
- 24 Bignell E., 2010. *Aspergillus : molecular biology and genomics*. Caister Academic Press.
- 25 Boddey RM., Urquiaga S., Alves BJR., Reis V., 2003 – Endophytic nitrogen fixation in sugarcane : present knowledge and future applications. *Plant and Soil* 252, 139–149.
- 26 Borges KB., Borges WDS., Durán-Patrón R., Pupo MT., Bonato PS., Collado IG., 2009. Stereoselective biotransformations using fungi as biocatalysts. *Tetrahedron Asymmetry* 20, 385–397.
- 27 Borges KB., Borges WDS., Pupo MT., Bonato PS., 2007. Endophytic fungi as models for the stereoselective biotransformation of thioridazine. *Applied Micro-biology and Biotechnology* 77, 669–674.
- 28 Carroll O G.C., Petrini., 1983. *Mycologia*. 75 53-63.
- 29 Chaba B., Chraa O., Khichane M. 1991. Germination, morphogénèse racinaire et rythmes de croissance du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.). *Physiologie des arbres et arbustes en zones arides et semi-arides*. Groupe d'étude de l'arbre. Paris, France. P. 465-472
- 30 -Channabasava., Govindappa M., 2014. First report of anticancer agent, lapachol producing endophyte, *Aspergillus niger* of *Tabebuia argentea* and its in vitro cytotoxicity assays. *Bangladesh J Pharmacol* 2014 ; 9: 129-139.
- 31 Clay K., 1990. Fungal endophytes of grasses. *Annual Review of Ecology and Systematics* 21, 255–297.
- 32 Cohen SD., 2006 – Host selectivity and genetic variation of *Discula umbrinella* isolates from two oak species : analyses of intergenic spacer region sequences of ribosomal DNA. *Microbial Ecology* 52, 463–469.
- 33 Currie, A.F., Wearn, J., Hodgson, S., Wendt, H., Broughton, S.J., Jin, L., 2014. Foliar fungal endophytes in herbaceous plants : a marriage of convenience. In : Verma, V.C., Gange, A.C. (Eds.), *Advances in Endophytic Research*. Springer, New Delhi, pp. 61e81.
- 34 -Dahou F. 2014. Etude des sols alluvionnaires de Oued Metlili. Mémoire d'Ingénieure. Spécialité : Agronomie Saharienne. Option : Mise en valeur des sols Sahariens. Université Kasdi-Merbah. Ouargla. 81p.
- 35 Debbab A., Aly AH., Proksch P., 2011. Bioactive secondary metabolites from endophytes and associated marine derived fungi. *Fungal Diversity* 49, 1–12.

Références bibliographiques

- 36 Eckert, M., Monnier, F., Shchetnikov, G. T., Titanyuk, I. D., Osipov, S. N., Toupet, L., Dérien, S., Dixneuf, P. H. (2005). Tandem catalytic carbene addition/bicyclization of enynes. One-step synthesis of fluorinated bicyclic amino esters by ruthenium catalysis. *Organic Letters*. 7, 3741-3743.
- 37 Faouzi K., Rharrabti Y., Dardour M., Boukroute A., Mahyou H., Labghial M., Berrichi A., 2015. Délimitation 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. *Algerian journal of arid environment*. Vol (5) n°1 : 32-39.
- 38 Fernandes M. R. V., Costa e Silva T. A., Pfenning L. H., Da Costa-Neto C. M., Heinrich T. A., De Alencar S. M., De Lima M. A. and Kegaki M. 2009. Biological activities of the fermentation extract of the endophytic fungus *Alternaria alternata* isolated from *Coffea arabica* L. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*. 45 : 678-685.
- 39 Firáková S., Šturdíková M., Múčková M., 2007 – Bioactive secondary metabolites produced by microorganisms associated with plants. *Biologia* 62/3, 251–257.
- 40 Frohlich J., Hyde K. D. and Petrini O. 2000. Endophytic fungi associated with palms. *Mycological Research*. 104 : 1202-1212.
- 41 fungi. (10ème édition), *CAB International*. 771 p
- 42 Furstner, A. (2000). Olefin metathesis and beyond a list of abbreviations can be found at the end of this article. *Angewandte Chemie International Edition in English*. 39, 3012-3043.
- 43 G. Pasut and F. M., 2009. Veronese, "PEG conjugates in clinical development or use as anticancer agents : an overview," *Advanced Drug Delivery Reviews*, vol. 61, no. 13, pp. 1177– 1188.
- 44 Gangadevi V., Muthumary J., 2008. Taxol, an anticancer drug produced by an endophytic fungus *Bartalinia robillar-doides* Tassi, isolated from a medicinal plant, *Aegle marmelos* Correa ex Roxb. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 24, 717–724.
- 45 Gangadevi V., Muthumary J., 2009. Taxol production by *Pestalotiopsis terminaliae*, an endophytic fungus of *Terminalia arjuna* (arjun tree). *Biotechnology and Applied Bio-chemistry* 52, 9–15.
- 46 Gehring CA., Whitman TG., 2002. Mycorrhizae-herbivore interactions : population and community consequences. *In* : Mycorrhizal ecology (Van der Heijden M, Sanders I, eds.): 295–320 Springer, Berlin.

Références bibliographiques

- 47 Ghimire SR, Charlton ND, Bell JD, Krishnamurthy YL, Craven KD. 2011. Biodiversity of fungal endophyte communities inhabiting switchgrass (*Panicum virgatum* L.) growing in the native tallgrass prairie of northern Oklahoma. *Fungal Divers.* 47:19–27.
- 48 Gogoi D. K., Deka H. P., Saikia B. R. & Bora T. C., 2007. Optimization of process parameters for improved production of bioactive metabolite by a novel endophytic fungus *Fusarium sp.* DF2 isolated from *Taxus wallichiana* of North East India. *World J. Microbiol Biotechnol.* 1-9.
- 49 Goldman GH., Osmani SA., 2008. The aspergilli. CRC Press.
- 50 Gonthier P., Gennaro M., Nicolotti G., 2006 – Effect of water stress on endophytic mycota of *Quercus robur*. *Fungal Diversity* 21, 69–80.
- 51 Goodman RN., Kiraly Z., Wood RKS., 1986 – The Biochemistry and Physiology of Plant Disease. University of Missouri Press, Columbia.
- 52 Guo B., Dai JR., Ng S., Huang Y., Leong C., Ong W., Carte BK., 2000. Cytonic acids A & B : novel tridepside inhibitors of hCMV protease from the endophytic fungus *Cytonaema* species. *Journal of Natural Products* 63, 602–604.
- 53 Guo B., Wang Y., Sun X., Tang K. 2008 – Bioactive Natural Products from Endophytes : A Review1. *Applied Biochemistry and Microbiology* 44, 136–142.
- 54 Guo B., Wang Y., Sun X., Tang K. 2008 – Bioactive Natural Products from Endophytes : A Review1. *Applied Biochemistry and Microbiology* 44, 136–142
- 55 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, Laghouat. Mémoire de Magister. Spécialité : Sciences Biologiques. Option : Ecologie végétale appliquée et gestion de l'environnement. UMMTO. 140p.
- 56 Hibbett DS, Binder M, Bischoff JF, Blackwell M, Cannon PF, Eriksson OE, et al. 2007. A higher-level phylogenetic classification of the fungi. *Mycol Res.* 111(5) : 509–47
- 57 Hina A., Saleem S., Syeda Q. U. N., 2013. Morphological identification of *aspergillus* species from the soil of larkana district (Sindh, Pakistan). *Asian J Agri Biol*, 1(3) :105-117.
- 58 Hocking AD (2003). Microbiological facts and fictions in grain storage. In : *Proceedings of the Australian Postharvest Technical Conference*. Wright EJ, Webb MC, Highley E, eds. Canberra : CSIRO : 55–58.
- 59 Hoffmann K., Discher S., Voigt K. 2007. Revision of the genus *Absidia* (Mucorales, Zygomycetes) based on physiological, phylogenetic, and morphological characters ;

Références bibliographiques

- thermotolerant *Absidia* spp. form a coherent group, Mycocladiaceae fam. nov. Institute of Microbiology, Max Planck Institute for Chemical Ecology, Germany, pp. 1170-1178.
- 60 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 Diversity*, 33: 61-75.
- 61 Huang WY., Cai YZ., Xing J., Corke H., Sun M., 2007. Potential antioxidant resource : endophytic fungi isolated from traditional Chinese medicinal plants. *Economic Botany* 61, 14–30.
- 62 Hyde K.D., Soyong K. 2008. The fungal endophyte dilemma. *Fungal Divers.* 33:163–173.
- 63 Ismail MA, Taligoola HK, Chebon SK (2004). Mycobiota associated with rice grains marketed in Uganda. *Journal of Biological Sciences* 4: 271–278.
- 64 Kogel KH., Franken P., Hüchelhoven R. 2006 – Endophyte or parasite – what decides? *Current Opinion in Plant Biology* 9, 358–363.
- 65 Kogel KH., Franken P., Hüchelhoven R., 2006 – Endophyte or parasite – what decides ? *Current Opinion in Plant Biology* 9, 358–363.
- 66 Korkina LG., 2007. Phenylpropanoids as naturally occurring antioxidants : from plant defense to human health. *Cellular and Molecular Biology* 53, 15–25.
- 67 Kozakiewicz Z (1989). *Aspergillus* species on stored products. *Mycological Papers*
- 68 Krings M., Taylor TN., Hass H., Kerp H., Dotzler N., Hermsen EJ., 2007 – Fungal endophytes in a 400-million-yr-old land plants : infection pathways, spatial distribution, and host response. *New Phytologist* 174, 648–657.
- 69 Kumaran RS., Muthumary J., Hur BK., 2008. Production of taxol from *Phyllosticta spinarum*, an endophytic fungus of *Cupressus* sp. *Engineering in Life Sciences* 8, 438–446.
- 70 Kumaresan V., Suryanarayanan T. S., 2002. Occurrence and distribution of endophytic fungi in a mangrove community. *Mycological Research*, 105: 1388-1391.
- 71 Kusari S., Lamshoof M., Spiteller M., 2008. *Aspergillus fumigatus* Fresenius, an endophytic fungus from *Juniperus communis* L. Horstmann as a novel source of the anticancer pro-drug deoxypodophyllotoxin. *Journal of Applied Microbiology* ISSN 1364-5072.

Références bibliographiques

- 72 Kusari S., Spiteller M. 2012. Metabolomics of endophytic fungi producing associated plant secondary metabolites : progress, challenges and opportunities. *Metabolomics*. (1866) : 241–66
- 73 Kusari S., Zühlke S., Spiteller M., 2009b. An endophytic fungus from *Camptotheca acuminata* that produces camptothecin and analogues. *Journal of Natural Products* 72, 2–7.
- 74 L. Zhang., R. An., J. Wang et al. 2005. “Exploring novel bioactive compounds from marine microbes,” *Current Opinion in Microbiology*, vol. 8, no. 3, pp. 276–281.
- 75 Lacey J., Magan N., 1991. Fungi in cereal grains : their occurrence and water and temperature relationships. In : *Cereal Grain Mycotoxins, Fungi and Quality in Drying and Storage*. (Chelkowski J, ed.) Amsterdam : Elsevier : 77–118.
- 76 Le Houérou H.N., 1995. Bioclimat et biogéographie des steppes arides du Nord de l’Afrique. Diversité biologique, développement durable et désertification. Options Méditerranéennes. SERIE B, 396p.
- 77 Leuchtman A., Petrini O., Petrini LE., Carroll GC., 1992. Isozyme polymorphism in six endophytic *Phyllosticta* species. *Mycological Research* 96, 287–294.
- 78 Li HM., Sullivan R., Moy M., Kobayashi DY., Belanger FC., 2004. Expression of a novel endophytic fungal chitinase in the infected host grass. *Mycologia* 96, 526–536.
- 79 Li HY., Shen M., Zhou ZP., Li T., Wei YL., Lin LB.. 2012b. Diversity and cold adaptation of endophytic fungi from five dominant plant species collected from the Baima Snow Mountain, Southwest China. *Fungal Divers.* 54 : 79–86.
- 80 Li JY., Strobel GA., Sidhu R., Hess WM., Ford E., 1996. Endophytic taxol producing fungi from Bald Cypress *Taxodium distichum*. *Microbiology* 142, 2223–2226
- 81 Li W. C., Zhou J., Guo S. Y. and Guo L. D. 2007. Endophytic fungi associated with lichens in Baihua mountain of Beijing, China. *Fungal Diversity*. 25: 69-80.
- 82 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 en Biologie et Ecologie des populations et des communautés. Option : Ecologie des populations et des peuplements. Faculté des sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques. Département de Biologie Animale et Végétale. UMMTO. 10p.

Références bibliographiques

- 83 Limane A., Smail-Saadoun, N., Belkebir-Boukais, A., Kissoum-Hamdni, 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.
- 84 Liu X., Dong M., Chen X., Jiang M., Lu X., Yan G., 2007. Antioxidant activity and phenolics of an endophytic Xylaria sp. from *Ginkgo biloba*. *Food Chemistry* 105, 548–554.
- 85 Loiret FG., Ortega D., Kleiner P., Ortega R., Rodes R., Dong Z., 2004 – A putative new endophytic nitrogen-fixing bacterium *Pantoea* sp. from sugarcane. *Journal of Applied Microbiology* 97, 504–511.
- 86 Lugauskas A, Raila A, Railiene M, Raudoniene V (2006). Toxic micromycetes in grain raw material during its processing. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine* 13: 147–161.
- 87 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. Université M'hamed BOUGARA de Boumerdes, Option Biochimie et Microbiologie appliqués. 140p.
- 88 Malinowski, DP., Belesky DP., 2000 – Adaptations of Endophyte-Infected Cool-Season Grasses to Environmental Stresses : Mechanisms of Drought and Mineral Stress Tolerance. *Crop Science* 40, 923–940.
- 89 Malinowski, DP., Belesky DP., 2000 – Adaptations of Endophyte-Infected Cool-Season Grasses to Environmental Stresses : Mechanisms of Drought and Mineral Stress Tolerance. *Crop Science* 40, 923–940.
- 90 Malinowski., DP., Brauer DK., Belesky DP., 1999 – *Neotyphodium coenophialum*-endophyte affects root morphology of tall fescue grown under phosphorus deficiency. *Journal of Agronomy and Crop Science* 183, 53-60.
- 91 Mechiah F. 2015. Approche des symbioses racinaires de *Pistacia atlantica* Desf. de dayate El Gouffa (Laghouat, Algérie). Mémoire de Magister. Spécialité : sciences Biologiques. Option : Ecologie végétale appliquée et gestion de l'environnement. UMMTO. 110p.
- 92 Mogensen JM, Varga J, Thrane U, Frisvad JC (2009). *Aspergillus acidus* from Puerh
- 93 Monastra F., Rovira M., Varagas F.J., Romero M.A., Battle I., Rouskas D., Mendes Gaspar A. 2000. Caractérisation isoenzymatique de diverses espèces du genre *pistacia*

Références bibliographiques

- et leurs hybrides : Etude de leur comportement comme porte greffe du *Pistacia vera* L.
Ed : Ciheam-Options Méditerranéennes ; 135.
- 94 Monjauze A., 1980. Connaissance du bétoum *Pistacia atlantica* Desf. Biologie et forêt.
Rev. For. Fran. 4 : 357-363.
- 95 Moy M., Li HJM., Sullivan R., White JF., Belanger FC., 2002. Endophytic fungal β -1,6-glucanase expression in the infected host grass. *Plant Physiology* 130, 1298–1308.
- 96 Müller CB., Krauss J., 2005. Symbiosis between grasses and asexual fungal endophytes.
Current Opinion in Plant Biology 8,450–456.
- 97 Murahashi, S. I., Sasao, S., Saito, E., Naota, T. (1992). Ruthenium-catalyzed hydration of nitriles and transformation of δ -keto nitriles to ene-lactams. *Journal of Organic Chemistry*. 57, 2521- 2523.
- 98 Murahashi, S. I., Sasao, S., Saito, E., Naota, T. (1993). Ruthenium-catalyzed hydration of nitriles and transformation of δ -ketonitriles to ene-lactams : Total synthesis of (-) pumiliotoxin C. *Tetrahedron*. 49, 8805- 8826.
- 99 O'Donnell KL, 1979. *Zygomycetes in Culture*. [Palfrey Contributions in Botany, No.2]. Department of Botany, University of Georgia, Athens.
- 100 Oses R., Valenzuela S., Freer J., Sanfuentes E. and Rodriguez J. 2008. Fungal endophytes in xylem of healthy Chilean trees and their possible role in early wood decay. *Fungal Diversity*. 33: 77-86.
- 101 Ouzid Y., Smail-Saadoun N., Houali K., 2016. Activité antimittotique de l'extrait d'*Alternaria* : mycoendophyte foliaire de *Peganum harmala* de dayate Aiat (Laghout, Algérie). 7^{ème} journée Scientifiques Internationales sur la valorisation des Bioressources. BIOLIVAL. 29-30 avril & 1 mai 2016, Tunisie.
- 102 Owen NL., Hundley N., 2004. Endophytes-the chemical synthesizers inside plants. *Science Progress* 87, 79–99.
- 103 Padhi L., Mohanta Y. A. K. & Panda S. K., 2013. Endophytic fungi with great Promises : A review. *Journal of Advanced Pharmacy Education & Research*, 3 (3) : 152-170.
- 104 Pandi M., Manikandan R., Muthumary J., 2010. Anticancer activity of fungal taxol derived from *Botryodiplodia theobromae* Pat., an endophytic fungus, against 7, 12 dimethyl benz(a)anthracene (DMBA)-induced mammary gland carcinogenesis in Sprague dawley rats. *Biomedicine and Pharmacotherapy* 64, 48–53.

Références bibliographiques

- 105 Papavizas GC, Christensen CM (1960). Grain storage studies. XXIX. Effect of invasion by individual species and mixtures of species of *Aspergillus* upon germination and development of discoloured germs in wheat. *Cereal Chemistry* 37: 197–203.
- 106 Paul N. C., Kim W. K., Woo S. K., Park M. S. & Yu S. H., 2006. Diversity of endophytic fungi associated with *Taraxacum coreanum* and their antifungal activity. *Mycobiology.*, 34 (4) : 185-190.
- 107 Petrini O., Fokkema N J., Van den Hueval J., eds 1986. *In Microbiology of the Phyllosphere*. Cambridge, UK, Cambridge University Press. 175-187.
- 108 Phillips, A. J., Abell, A. (1999). Ring closing metathesis of nitrogen-containing compounds : applications to heterocycles, alkaloids and peptidomimetics. *Aldrichimica Acta.* 32, 75-89.
- 109 Pimentel MR., Molina G., Dionísio AP., Junior MRM., Pastore GM., 2011. The Use of Endophytes to Obtain Bioactive Compounds and Their Application in Biotransformation Process. *Biotechnology Research International* 2011, 1–11.
- 110 Porrás-Alfaro A. & Bayman P., 2011. Hidden fungi, emergent properties : endophytes and microbiomes. *Annu. Rev. Phytopathol.*, 49: 291-315.
- 111 Pratheeba M., Umaa Rani K., Ramesh B., 2014. Studies on antimicrobial and anticancer activity of *solanum trilobatum*. *Asian J Pharm Clin Res*, Vol 7, Suppl 1, 2014, 213-219.
- 112 Puri SC., Verma V., Amna T., Qazi GN., Spitteller M., 2005. An endophytic fungus from *Nothapodytes foetida* that produces camptothecin. *Journal of Natural Products* 68, 1717–1719.
- 113 Quezel P., et Santa S., 1963. Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Tome II. Ed. Centre national de la recherche scientifique, Paris, France.
- 114 Rabie CJ, Lübben A, Marais GJ, Vuuren HJ (1997). Enumeration of fungi in barley. *International Journal of Food Microbiology* 35: 117–127.
- 115 Raper KB, Fennell DI (1965). *The genus Aspergillus*. Baltimore: Williams & Wilkins.
- 116 Raper KB, Fennell DI. 1965. *The genus Aspergillus*. Baltimore: Williams & Wilkins.
- 117 Redman RS., Sheehan KB., Stout RG., Rodriguez RJ., Henson JM., 2002. Thermotolerance conferred to plant host and fungal endophyte during mutualistic symbiosis. *Science* 298, 1581.

Références bibliographiques

- 118 Repussard C., Zbib N., Tardieu D., Guerre P. 2013. Les champignons endophytes du genre *Neotyphodium* et leurs toxines : généralités et problématique française. *Revue Méd. Vét.*, 2013, 164, 12, 583-606
- 119 Ribeiro SCC, Santana ANC, Arriagada GH, Martins JEC, Takagaki TY (2005). A
- 120 Ribes JA, Vanover-Sams CL, Baker DJ, 2000. Zygomycetes in human disease. *Clinical Microbiology Reviews* 13: 236–301
- 121 Rippon JW (1988). *Medical Mycology. The pathogenic fungi and the pathogenic*
- 122 Ritz N., Ammann RA., Casaulta Aebischer C., Gugger M., Jatton K., Schmid RA., Aebi C., 2005. Failure of voriconazole to cure disseminated zygomycosis in an immunocompromised child. *European Journal of Pediatrics* 164 : 231–235.
- 123 Rivera-Orduña FN., Suarez-Sanchez RA., Flores-Bustamante ZR., Gracida-Rodriguez JN., Flores-Cotera LB. 2011. Diversity of endophytic fungi of *Taxus globosa* (Mexican yew). *Fungal Divers.* 47:65–74.
- 124 Roberts C. A., Benedict H. R., Hill N. S., Kjallenbach R. L. and Rottinghaus G. E. Determination of ergot alkaloid content in tall fescue by nearinfrared spectroscopy. *Crop Science* 2005 ; 45: 778-783.
- 125 Roberts C. and Andrae J. Tall fescue toxicosis and management. *Online Crop Management* 2004 ; doi: 10 : 1094/ CM-2004-0427-01-MG.
- 126 Rodriguez R.J., White Jr., J.F., Arnold A.E., Redman R.S., 2009. Fungal endophytes : diversity and functional roles. *New Phytologist* 182, 314e330.
- 127 Ross C F., 1951. A case of pulmonary aspergillosis. *J. Pathol. Bacteriol.* 63(3) :
- 128 Saar D. E., Polans N. O., Sorensen P. D. and Duvall M. R. Angiosperm DNA contamination by endophytic fungi : Detection and methods of avoidance. *Plant Molecular Biology Reporter* 2001 ; 19: 249-260.
- 129 Sadrati N., Daoud H., Zerroug A., Dahamna S. & Bouharati S., 2013. Screening of antimicrobial and antioxidant secondary metabolites from endophytic fungi isolated from wheat (*Triticum durum*). *Journal of Plant Protection Research*, 53 (2): 128-136.
- 130 Saikkonen K., Wali P., Helander M. & Faeth S.H., 2004. Evolution of endophyte-plant symbioses. *TRENDS in Plant Science*, 9 (6) : 275-280.
- 131 Saikkonen K., Wäli P., Helander M., Faeth SH., 2004 – Evolution of endophyte-plant symbioses. *Trends in Plant Science* 9, 275–280.

Références bibliographiques

- 132 Samaniego-Gaxiola JA., Chew-Madinaveitia Y. 2007. Diversidad de géneros de hongos en suelo en tres campos con diferentes condiciones agrícolas en la laguna, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. Vol (78) : 383-390.
- 133 Samson R.A., Visagie C.M., Houbraken J., Hong S-B., Hubka V., Klaassen C.H.W., Perrone G., Seifert K.A., Susca A., Tanney J.B., Varga J., Kocsubé S., Szigeti G., Yaguchi T., Frisvad J.C. 2014. Phylogeny, identification and nomenclature of the genus *Aspergillus*. *Studies in Mycology*. Vol (78) : 141-173.
- 134 Samson RA and Varga J., 2009. What is a species in *Aspergillus* ? *J. Med. & Vet. Mycol.* 47: 13-20
- 135 Samson Robert A., János Varga., Jens C., 2011. Taxonomic studies on the genus *Aspergillus*. *Studies in Mycology*. 103p.
- 136 Sanders IR., 2004 – Plant and arbuscular mycorrhizal fungal diversity-are we looking at the relevant levels of diversity and are we using the right techniques ? *New Phytologist* 164, 415–418.
- 137 Sandhiya GS., Kumari STC., Balachandar D., Kumar K., 2005. Endophytic colonization and in planta nitrogen fixation by a diazotrophic *Serratia* sp. in rice, *Indian Journal of Experimental Biology*. 43, 802–807.
- 138 Schulz B., Boyle C., 2005 – The endophytic continuum. *Mycological Research* 109, 661–686.
- 139 Schulz B., Boyle C., 2005 – The endophytic continuum. *Mycological Research* 109, 661–686.
- a. section *Candidi* based on molecular, morphological and physiological data.
- 140 Seifried HE., Anderson DE., Fisher EI., Milner JA., 2007. A review of the interaction among dietary antioxidants and reactive oxygen species. *Journal of Nutritional Biochemistry* 18, 567-579.
- 141 Selim K.A., El-Beih A.A., AbdEl-Rahman T.M., El-Diwany A.I. 2012. Biology of Endophytic Fungi. *Current Research in Environmental & Applied Mycology*. Vol (1) n° 2 : 31-61
- 142 Selosse M-A., Gibert A., 2011. Les champignons qui dopent les plantes. *La Recherche* novembre 2011. N° 457 : 72-75.
- 143 Sharma R. & Kumar B. S. V., 2013. Isolation characterization and antioxidant potential of endophytic fungi of *Ocimum sanctum* Linn. (Lamiaceae). *Indian Journal of Applied Research*, 3 (7) : 5-10.

Références bibliographiques

- 144 Sieber, TN., Sieber-Canavesi F., Dorworth CE., 1991. Endophytic fungi on red alder (*Alnus rubra*) leaves and twigs in British Columbia. *Canadian Journal of Botany* 69, 407–411.
- 145 Simon, J. P., Paul, A. S., James, E. T., Michael, K. W., Williams, J. M. J. (2009). Synthesis of furans, pyrroles and pyridazines by a ruthenium-catalysed isomerisation of alkyne diols and in situ cyclisation. *Tetrahedron*. 65, 8981-8986.
- 146 Singh SB., Ondeyka JG., Tsipouras N., Ruby C., Sardana V., Schulman M., Sanchez M., Pelaez F., Stahlhut MW., Munshi S., Olsen DB., Lingham RB., 2004. Hinnuliquinone, a C₂-symmetric dimeric non-peptide fungal metabolite inhibitor of HIV-1 protease. *Biochemical and Biophysical Research Communications* 324,108–113.
- 147 Smail-Saadoun N. 2005. Types stomatiques du genre *Pistacia* : *Pistacia atlantica* Desf. ssp. *atlantica* et *Pistacia lentiscus* L. *Options méditerranéennes, série A, N°63*, 369-371.
- 148 Smail-Saadoun N., Zareb A., Lehadi L., Rezki-Sekhi L., 2015. Contribution à la recherche de mycoendophytes foliaires chez *Pistacia atlantica* Desf. de dayate Saadi (Hassi Delâa, Laghouat, Algérie). Email : saadoun.n2002@gmail.com
- 149 Smiley KL, Cadmus MC, Liepins P (1967). Biosynthesis of D-mannitol from Dglucose
- 150 Srinivasan L., Jagadish K., Shenbhagaraman R., Muthumary J., 2010. Antioxidant activity of endophytic fungus *Phyllosticta* sp. isolated from *Guazuma tomentosa*. *Journal of Phytology* 2, 37–41.
- 151 Stamford TL., Stamford NP., Coelho LC., Araujo JM., 2002. Production and characterization of a thermostable glucoamylase from *Streptosporangium* sp. endophyte of maize leaves. *Bioresource Technology* 83,105–109.
- 152 Stierle A., Strobel GA., Stierle D., 1993. Taxol and taxane production by *Taxomyces andreanae*. *Science* 260, 214–216.
- 153 Stone J. K, White J. F., Jr. and Polishook J. D. 2004. Endophytic fungi. In : Mueller G, Bills G and Foster M.(eds). *Measuring and Monitoring Biodiversity of fungi. Inventory and monitoring methods*, Elsevier Academic Press, Boston, MA. pp. 241-270.
- 154 Strobel G., Daisy B. 2003 – Bioprospecting for microbial endophytes and their natural products. *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 67, 491–502.
- 155 Strobel G., Stierle A., Stierle D., Hess WM., 1993. *Taxomyces andreanae* a proposed new taxon for a bulbilliferous hyphomycete associated with Pacific yew. *Mycotaxon* 47, 71–78.

Références bibliographiques

- 156 Strobel G., Yang X., Sears J., Kramer R., Sidhu RS., Hess WM., 1996. Taxol from *Pestalotiopsis microspora*, an endophytic fungus of *Taxus wallichiana*. *Microbiology* 142, 435–440.
- 157 Suto M., Takebayashi M., Saito K., Tanaka M., Yokota A., Tomita F., 2002. Endophytes as Producers of Xylanase, *Journal of BioScience and Bioengineering* 93, 88–90
- 158 Tabuc C., 2007. Flore fongique de différents substrats et conditions optimales de production des mycotoxines, thèse de doctorat. Université de Bucarest, Toulouse. 190p.
- 159 Tan RX., Zou WX., 2001 – Endophytes : a rich source of functional metabolites. *Natural Product Reports* 18, 448–459.
- 160 Tanwar A., Aggarwal A.. 2013. Multifaceted potential of bioinoculants on red bell pepper (F1 hybrid, Indam Mamatha) production. *J Plant Interact.* Doi : 10.1080/17429145.2013.765044
- 161 Thirion-Delalande C, Guillot J, Jensen HE, Crespeau FL, Bernex F, 2005. Disseminated acute concomitant aspergillosis and mucormycosis in a pony. *Journal of Veterinary Medicine A* 52 : 121–124
- 162 Trost B.M., Toste F.D., 2000. Ruthenium-catalyzed cycloisomerizations of 1,6 and 1,7 enynes. *Journal of the American chemical Society.* 122, 714-715.
- 163 Trost B.M., Toste F.D., Pinkerton A.B., 2001. Non-metathesis ruthenium-catalyzed C-C bond formation. *Chemical Reviews.* 101, 2067-2096.
- 164 Trost, B. M., Toste, F. D. (1999). A new Ru catalyst for alkene-alkyne coupling. *Tetrahedron Letters.* 40, 7739-7743.
- 165 Tudela JL (2009). Species identification and antifungal susceptibility patterns tea and black tea does not produce ochratoxin A and fumonisin B2. *International Studies in Mycology* 59: 75–88.
- 166 Valko M., Leibfritz D., Moncol J., Cronin MTD., Mazur M., Telser J., 2007. Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease. *International Journal of Biochemistry and Cell Biology* 39, 44–84.
- 167 Van Tieghem P, 1876. Troisième mémoire sur les Mucorinées. *Annales des Sciences Naturelles, Botanique, sér. VI.* 4: 312–399
- 168 Varga J, Frisvad JC, Samson RA (2007b). Polyphasic taxonomy of *Aspergillus*
- 169 Vega F. E., Posada F., Aime M. C., Pava-Ripoll M., Infante F. & Rehner S. A., 2008. Entomopathogenic fungal endophytes. *Biological Control*, 46: 72-82.

Références bibliographiques

- 170 Von Arx JA, 1983. On Mucoraceae. str. and other families of the Mucorales. *Sydowia* 35: 10–26
- 171 Wagenaar M., Corwin J., Strobel GA., Clardy J., 2000. Three new chytochalasins produced by an endophytic fungus in the genus *Rhinochlaidiella*. *Journal of Natural Products* 63:1692–1695.
- 172 Waller F., Achatz B., Baltruschat H., Fodor J., Becker K., Fischer M., Heier T., Huckelhoven R., Neumann C., Von Wettstein D., Franken P., Kogel KH. 2005 – The endophytic fungus *Piriformospora indica* reprograms barley to salt-stress tolerance, disease resistance, and higher yield. *PNAS Journal* 102, 13386–13391.
- 173 Waller F., Achatz B., Baltruschat H., Fodor J., Becker K., Fischer M., Heier T., Huckelhoven R., Neumann C., Von Wettstein D., Franken P., Kogel KH., 2005. The endophytic fungus *Piriformospora indica* reprograms barley to salt-stress tolerance, disease resistance, and higher yield. *PNAS Journal* 102, 13386–13391.
- 174 Weidenböchner M, Wieczorek C, Appel S, Kunz B (2000). Whole wheat and white wheat flour – the mycobiota and potential mycotoxins. *Food Microbiology* 17 : 103–107.
- 175 White J.F., Torres M.S., 2010. *Physiol. Plant*, 138-440.
- 176 Yaaqobi A., El Hafid L., Haloui B., 2009. Etude biologique de *Pistacia atlantica* Desf. de la région orientale du Maroc. Université Mohamed I. Ouida (Maroc). *Biomatec Echo*, Vol (3), n°6 : 39-49.
- 177 Yousfi M., Nadjemi B., Belal R., Ben Bertal D., 2003. Etude des acides gras d’huile de fruit de pistachier de l’Atlas algérien. Oléagineux, corps gras, lipides. Vol (10), n°5-6, 425-7, Double 5-6, Septembre-Octobre-Novembre-Décembre 2003.
- 178 Yu H., Zhang L., Li L., Zheng C., Guo L., Li W., Sun P., Qin L. 2010 – Recent developments and future prospects of antimicrobial metabolites produced by endophytes. *Microbiological Research* 165, 437–449.
- 179 Yu H., Zhang L., Li L., Zheng C., Guo L., Li W., Sun P., Qin L. 2010 – Recent developments and future prospects of antimicrobial metabolites produced by endophytes. *Microbiological Research* 165, 437–449.
- 180 Zabalgogezcoa I. 2008. Fungal endophytes and their interaction with plant pathogens. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 6: 138-146.

Références bibliographiques

- 181 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. Spécialité : Sciences Agronomiques. Option : Sciences de la vigne et préservation des ressources phytogénétiques. Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques. UMMTO. 146p.
- 182 Zhao J., Zhou L., Wang J., Shan T., Zhong L., Liu X., Gao X., 2010. Endophytic fungi for producing bioactive compound originally from their host plants. Current Research, Technology Education Topics in Applied Microbiology and Microbial biotechnology 1, 567–576.
- 183 Zheng P, Yu H, Sun Z, Ni Y, Zhang W, Fan Y, Xu Y (2006). Production of galactooligosaccharides by immobilized recombinant beta-galactosidase from *Aspergillus candidus*. *Biotechnology Journal* 1: 1464–1470.
- 184 Zhou D., Hyde KD., 2001. Host-specificity, host-exclusivity, and host-recurrence in saprobic fungi. *Mycological Research* 105, 1449–1457.
- 185 Zou WX., Tan RX., 1999. Advances in Plant Sciences. Beijing : China Higher Education Press, 183–190. *In* : Bioactive Natural Products from Endophytes: A Review1 (Guo B, Wang Y, Sun X, Tang K. 2008 – Applied Biochemistry and Microbiology 44, 136–142.
- 186 Zuoping Z., Changfei Z., Wenna Z., Wei L., Long C., Jinping Y and Haiyan L. 2014. Diversity and plant growth-promoting ability of endophytic fungi from the five flower plant species collected from Yunnan, Southwest China. *Journal of Plant Interactions*. Vol. 9, No. 1, 585–591.
- 187 Zycha H, Siepmann R, Linnemann C, 1969. Mucorales, eine Beschreibung aller Arten und Gattungen dieser Pilzgruppe. J. Cramer, Lehre.

Résumé

Le pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) est une espèce importante tant sur le plan écologique qu'économique. Cet arbre est à la fois protecteur et productif. Il montre une très grande adaptation à l'aridité. Le but du présent travail est de montrer la présence et la diversité des mycoendophytes au niveau des fruits du pistachier de l'Atlas de la station de Metliti, wilaya de Ghardaïa. Les mycoendophytes sont des microorganismes vivant dans tous les organes végétaux sans causer des dommages visibles chez la plante hôte. Ils procurent à la plante beaucoup d'avantages. Des fruits du pistachier de l'Atlas sont mis en culture sur un milieu P. D. A. pendant 2 mois d'incubation à température ambiante suivie d'un calcul de fréquences de colonisation et une identification morphologique (macroscopique et microscopique). Les champignons endophytes présents au niveau des fruits du pistachier de l'Atlas montrent une fréquence de colonisation importante, elle est de 89%. L'ANOVA a montré une différence hautement significative pour ce paramètre entre les différents fruits. Plusieurs isolats de champignons endophytes ont été identifiés. Au total 6 genres de champignons endophytes sont isolés. *Aspergillus* est le genre le plus riche en espèces. 9 espèces ont été identifiées dont *Aspergillus niger*, *A. flavus*, *A. acidus*, *A. candidus*, *A. aureoterreus*, *A. puniceus*, *A. neoniveus*, *A. neoniger* et *A. sulphureus*. Les résultats de cette étude suggèrent que les fruits de pistachier de l'Atlas de Metlili sont un hotspot de biodiversité fongique. Ces mycoendophytes sont considérés comme une source prometteuse de métabolites secondaires.

Mot - clés : mycoendophytes, fruits, pistachier de l'Atlas, aridité, Metlili, Ghardaïa, Algérie.

Abstract

The Atlas pistachio (*Pistacia atlantica* Desf.) is an important species both ecologically and economically. This tree is both protective and productive. It has a very high adaptation to aridity. The aim of this research is to exhibit the presence and the diversity of the mycoendophytes in the fruits of the Atlas pistachio of the Metliti's station, wilaya of Ghardaïa. Mycoendophytes are microorganisms living in all plant organs, without causing visible damage to the host plant. They provide to plant many benefits. Fruits of the Atlas pistachio were cultured on P.D.A. medium for two months of incubation at room temperature, followed by calculation of colonization frequencies and morphological identification (macroscopic and microscopic). The endophytic fungi present in the fruits of the Atlas pistachio show a high frequency of colonization, which is 89%. ANOVA showed a significant difference for this parameter in the fruits of Metlili, Ghardaïa. Several endophytic fungal isolates have been identified. Six genera of fungi are isolated. *Aspergillus* is the richest on species, with 9 species identified including *Aspergillus niger*, *A. flavus*, *A. acidus*, *A. candidus*, *A. aureoterreus*, *A. puniceus*, *A. neoniveus*, *A. neoniger* and *A. Sulphureus*. The results of this study suggest that the Atlas pistachio fruits are a hotspot of fungal biodiversity. These mycoendophytes are considered a promising source of secondary metabolites.

Key-words : mycoendophytes, fruit, Atlas pistachio, aridity, Metlili, Ghardaia, Algeria.