

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

A. Zareb, N. Smail-Saadoun

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

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

ABSTRACT

Endophytic fungi live inside plant tissues and increase their resistance to abiotic and biotic factors. Our work is concerned with interannual variations of mycoendophyte diversity of leaves of *Pistacia atlantica* Desf. of dayate Aiat, in the region of Laghouat (Algeria) and this for the spring of 2013 and 2016. The morphological identification revealed the presence of 26 fungal genera. The difference in diversity is very significant between the two years of sampling, according to calculated Shannon Weaver indices. Based on principal component analysis, the distribution of these leaf microorganisms is influenced by the climatic conditions of the study area. *Aspergillus* and *Epicoccum* are dominant for 2013. In 2016, *Aspergillus* and *Cladosporium* dominate. The persistence of *Aspergillus* gives it an important role in the fight against the stress suffered by the leaf of *Pistacia atlantica*.

Keywords: *Pistacia atlantica* Desf., Fungus mycoendophytes, diversity, temperature, precipitation, Laghouat (Algeria).

Author Correspondence, e-mail: zarebamina15@gmail.com

doi: <http://dx.doi.org/10.4314/jfas.v12i2.4>

1. INTRODUCTION

Les champignons endophytes sont omniprésents dans la nature [1,2]. C'est une partie intégrante du microbiome de la plante ; ils infectent et colonisent les végétaux (Algues, Bryophytes,



Ptérédiphytes, Gymnospermes et Angiospermes) [1,3], sans déclencher de symptômes visibles de la maladie [4]. La relation entre le champignon endophyte et son hôte a été généralement considérée comme une relation mutualiste [5,6]. Les champignons endophytes confèrent dans leur association symbiotique à la plante hôte une amélioration de son état de santé, en synthétisant certains métabolites fonctionnels et en retour bénéficient des nutriments de la plante [7].

Les conditions des zones arides, qui couvrent près de 47% de la surface terrestre, poussent les plantes à établir des associations symbiotiques avec des champignons endophytes. Ces vastes régions sont caractérisées par des conditions environnementales sévères, notamment de faibles précipitations, des températures élevées et une irradiation UV importante [8, 9]. Plusieurs études se sont faites sur les assemblages de champignons endophytes chez les plantes dans les zones arides [10-12]. On note le travail de Bezerra et al. (2013) [13], qui ont étudié la diversité en champignons endophytes chez le Cactus au niveau des forêts tropicales arides du Brésil. Khan (2010) a mis en évidence la diversité en champignons endophytes chez *Withania somnifera* au Pakistan [14]. Sun et al. (2012) ont exploré les champignons endophytes au niveau des feuilles et des tiges de plantes des régions désertiques de Chine [15].

En Algérie, quelques études ont été faites sur les champignons endophytes et leurs relations avec les plantes hôtes. Certains travaux ont concerné des plantes spontanées, tels Bensaci et al. (2006) [16], qui ont montré la diversité en champignons endophytes au niveau des aiguilles du cèdre de l'Atlas du massif de Bélezma (Aurès), Zerroug (2011) sur les champignons endophytes isolés de *Retama raetam* (Forsk.) collecté dans la région de Bordj Bou Arreridj [17], ainsi que Ladjal (2012) qui a fait une identification de champignons endophytes au niveau des aiguilles de *Pinus halepensis* du canton d'El-Haourane de la région de M'sila [18] et Ouzid et al. (2018) [19], dont le travail a concerné une étude comparative de l'activité antioxydante de champignons endophytes foliaires et des extraits des feuilles de *Peganum harmala* de la région de Laghouat.

Concernant le pistachier de l'Atlas, nous pouvons citer le travail de Zareb et al. (2016) [20], qui ont mis en évidence la présence de champignons endophytes au niveau des feuilles de *Pistacia atlantica* de dayate Aiat (Laghouat) et le travail de Benfodil (2015) qui a fait un inventaire des

champignons endophytes des feuilles de *Pistacia atlantica* Desf. de dayate El Gouffa (Laghouat) [21]. Mais toutes ces études ont concerné un moment précis de l'année. Il y a lieu de noter que les champignons mutualistes ont une composition qui change à travers le temps et elle est influencée par les conditions environnementales [22-25], d'où l'intérêt de l'approche faite dans cette étude. Ce travail concerne la variation de la diversité en champignons endophytes au niveau de la feuille de *Pistacia atlantica* de dayate Aiat (Laghouat, Algérie) pour la même saison, mais sur deux années d'échantillonnage : printemps 2013 et 2016.

2. MATERIEL ET METHODES

Zone d'échantillonnage

La région de Laghouat est située à 400 km au sud d'Alger sur l'axe routier Alger-Ghardaia. Notre station d'étude : dayate Aiat, région de Timzerth, est située à 50 Km au sud de la ville de Laghouat (Figure 1). Sur le plan bioclimatique, la zone d'étude se situe dans l'étage aride, avec une saison sèche de 11 mois par an [26].

L'échantillonnage des feuilles de pistachier de l'Atlas a été réalisé au mois d'avril pour les années 2013 et 2016. Une comparaison des données de températures montre une augmentation de 1°C dans les moyennes annuelles, maximales annuelles et minimales annuelles entre ces deux années pour la région de Laghouat. Le total de précipitations est différent pour les deux années considérées, il est de 88.8 mm pour l'année 2013 et de 36.2 mm pour l'année 2016 (Tableau 1).



Fig. 1. Situation géographique de la zone d'étude [27].

Tableau 1. Températures moyennes de Laghouat pendant les deux années d'échantillonnage (2013 et 2016) (ONM Alger)

Année d'échantillonnage	T (°C)	M (°C)	m (°C)	P (mm)
2013	19.6	26.6	12.6	88.8
2016	20	26.7	13.3	36.2

T : Température moyenne annuelle

M : Température maximale moyenne annuelle

m : Température minimale moyenne annuelle.

P : Précipitations

Matériel végétal

L'échantillonnage des feuilles s'est porté sur dix sujets, qui ont été choisis d'une manière subjective. Le choix a concerné des sujets d'âges et de sexes différents (jeunes, moyens et âgés) mâles et femelles et qui sont en bon état phytosanitaire. Pour chaque sujet choisi, les feuilles sont cueillies tout autour de l'arbre. Une fois récoltées, les feuilles doivent être maintenues à l'état frais, elles sont ainsi mises dans des sacs en papier et transportées ensuite dans une

glacière au laboratoire. Il est recommandé de laisser un temps très court entre la récolte des feuilles et le début des mises en culture au laboratoire (24h à 36h au maximum).

Isolement de champignons endophytes

Stérilisation superficielle

Le but de la stérilisation superficielle est d'éliminer les organismes épiphytes qui demeurent au niveau de phylloplan. Pour cela, nous avons adopté le protocole de Helander et al. (1994) [27]. Vingt feuilles par sujet sont choisies pour la mise en culture. Ces dernières ont subi un traitement à l'éthanol 95% pour une durée de 2 minutes, un rinçage à l'eau distillée stérilisée, un traitement à l'eau de javel pour une durée de 3 minutes, un 2^{ème} rinçage à l'eau distillée stérilisée, un 2^{ème} traitement à l'éthanol 95% pour une durée de 30 secondes et enfin un 3^{ème} rinçage à l'eau distillée stérilisée.

Mise en culture

Une fois stérilisées, les feuilles sont séchées en utilisant du papier buvard stérile. Elles sont ensuite coupées en fragments (0.5-1 cm), à l'aide d'un bistouri stérilisé. Les fragments de folioles obtenus sontensemencés sur un milieu de culture P.D.A. Les fragments de folioles sont déposés sur ce milieu, à raison de 5 explants/boite de Pétri. Au total, 2000 explants sont répartis sur le milieu de culture. Toutes ces manipulations se font entre deux bacs sous une hotte. Les désinfectants (eau savonneuse, hypochlorite de sodium et alcool) sont utilisés pour éviter les risques de contamination venant de l'extérieur. L'incubation s'effectue à température ambiante pendant deux mois.

Identification

Identification macroscopique

L'observation macroscopique est une technique utilisée en microbiologie pour qualifier une souche microbienne. Les caractères morpho-culturels sur un milieu de culture solide sont étudiés (couleur, contours, relief, consistance, transparence, aspect de la surface et taille).

Observation microscopique

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

observées. A l'aide de la clé de détermination de Tabuc (2007) [28], une identification a été faite jusqu'au genre.

Analyse statistique

Afin d'estimer la diversité fongique, les abondances des différents genres fongiques recensés dans les vingt sujets pour les champignons endophytes ont été calculées suivant cette formule :

$$A (\%) = \frac{N_g}{N_t}$$

A : abondance des genres ;

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

Nt : ensemble des répétitions ayant fructifié.

Une analyse en composantes principales (A.C.P) est réalisée en vue de mettre en évidence la distribution spatiale des différents genres de mycoendophytes en fonction des sujets échantillonnés et des années d'échantillonnage, grâce au logiciel Stat Box 6.40.

La diversité fongique est estimée par l'indice de Shannon Weaver, qui est calculé par la formule suivante (Magurran, 1988) [29] :

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

x_i : nombre total d'isolats spécifiques ;

x₀ : nombre total de tous les isolats.

L'indice de Shannon Weaver a été calculé pour chacun des dix sujets des champignons endophytes. Une ANOVA concernant ces indices est faite pour montrer les différences de diversité en champignons endophytes, grâce au logiciel Stat Box 6.40.

3. RESULTS ET DISCUSSION

Plusieurs isolats de champignons endophytes ont été récupérés à partir des 400 échantillons mis en culture. Les isolats identifiés au niveau des feuilles de *Pistacia atlantica* de dayate Aiat appartiennent aux genres *Aspergillus*, *Alternaria*, *Acremonium*, *Aureobasidium*, *Bipolaris*, *Chaetomium*, *Cladosporium*, *Cordyceps*, *Epicoccum*, *Exophiala*, *Fusarium*, *Geotrichum*, *Monilia*, *Muscodor*, *Neoscytalidium*, *Nigrospora*, *Phomopsis*, *Phoma*, *Penicillium*, *Rhizoctonia*, *Rodotorula*, *Scedosporium*, *Trichophyton*, *Trichoderma*, *Ulocladium* et *Xylaria*. Malgré l'aridité qui caractérise la daya étudiée, les champignons endophytes présentent une diversité remarquable au niveau des feuilles de tous les sujets échantillonnés. Ces résultats vont dans le même sens que ceux de Kumar et Hyde (2004) [30], Bezerra et al. (2013) [13] et Lakshman et Kurandawad (2013) [31], qui montrent que l'un des traits les plus caractéristiques des champignons endophytes est leur diversité exceptionnelle. Plusieurs centaines d'espèces de ces microorganismes peuvent être isolées à partir d'une seule plante, mais très peu seraient spécifiques de la plante hôte. Les plantes supérieures constituent ainsi une véritable niche écologique, réservoir potentiel d'une vaste diversité microbologique [8]. Le succès de l'établissement de ces infections peut être affecté par les caractéristiques des différents habitats [32].

La majorité des champignons recensés dans cette étude appartiennent aux Ascomycota. Seuls deux genres, à savoir : *Rhizoctonia* et *Rodotorula* appartiennent au phylum des Basidiomycota. Ces derniers ont montré un pourcentage plus important lors du printemps 2016 par rapport au printemps 2013 (Tableau 2). Ces résultats rejoignent ceux de Selvanathan et al. (2011) [33] et de Selim et al. (2012) [34], qui ont montré que la plupart des champignons endophytes appartiennent au phylum des Ascomycota. Bien que ces derniers semblent dominer les assemblages endophytes [35, 36], des Basidiomycota ont aussi été décrits [37, 36].

Tableau 2. Pourcentage des différents phyla de champignons endophytes selon les années d'échantillonnage

Année	Ascomycota (%)	Basidiomycota (%)
2013	99,47	0,52
2016	95,66	4,33

Lors du printemps 2013, nous avons noté que les genres dominants au niveau de la feuille du pistachier de l'Atlas sont *Epicoccum* (35.6%) suivi par *Aspergillus* (31.8%). D'autres genres sont faiblement représentés. C'est le cas d'*Alternaria*, *Aureobasidium*, *Acremonium*, *Bipolaris*, *Cladosporium*, *Chaetomium*, *Cordyceps*, *Geotrichum*, *Monilia*, *Neoscytalidium*, *Nigrospora*, *Phoma*, *Phomopsis*, *Rhizoctonia*, *Scedosporium* et *Xylaria*. En revanche pour le printemps 2016, les genres dominants sont *Aspergillus* (53.8%), suivi par *Cladosporium* (40.2%). Les autres, à savoir : *Alternaria*, *Aureobasidium*, *Chaetomium*, *Neoscytalidium*, *Nigrospora*, *Phomopsis*, *Epicoccum*, *Exophiala*, *Fusarium*, *Geotrichum*, *Ulocladium*, *Rodotorula*, *Trichoderma*, *Scedosporium*, *Penicillium* et *Muscador* sont présents avec de faibles proportions (Figure 2). Ces résultats concordent avec ceux de Bezzera et al. (2013), où les genres *Aspergillus* et *Cladosporium* ont été notés comme dominants [13], mais aussi avec l'étude de Sangamesh et al. (2017), qui ont montré qu'*Aspergillus* est parmi les genres dominants chez 15 espèces végétales naturellement présentes dans le désert du Thar, en Inde [37]. Concernant les espèces fongiques présentes en faible proportion, Toofane et Dalymamode (2002) ont montré que plusieurs taxons peuvent être récupérés de façon sporadique, suggérant qu'il est possible que les facteurs environnementaux ne soient pas propices à leur croissance ou que des endophytes plus compétitifs ont déjà atteint une colonisation importante du tissu de l'hôte [38].

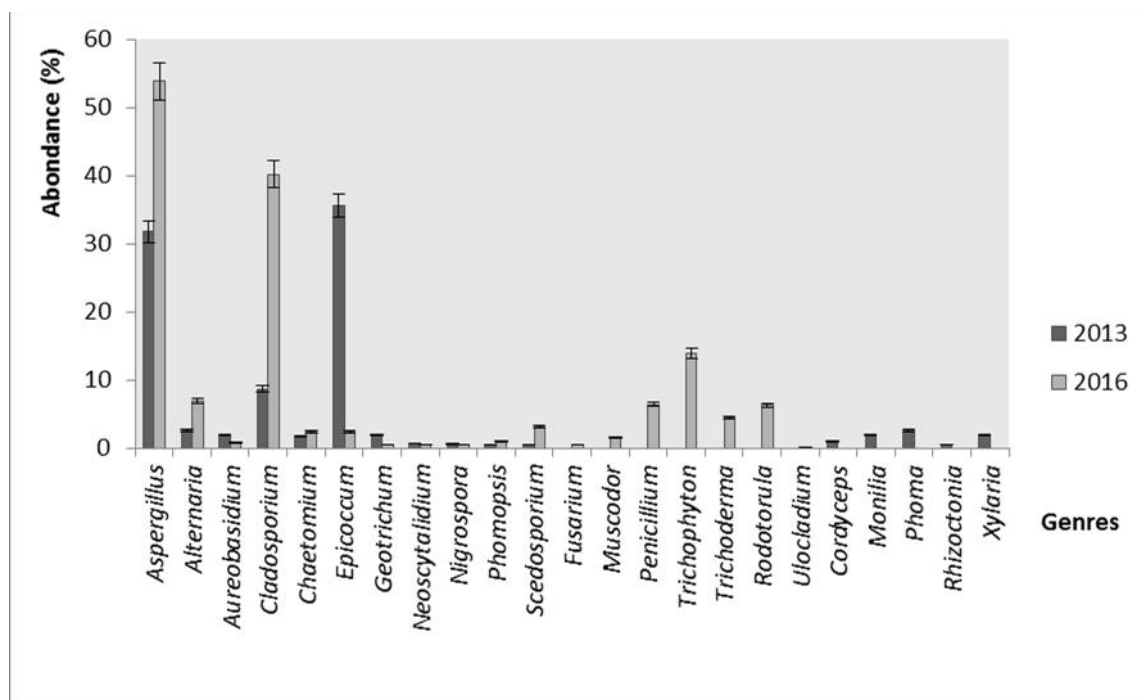


Fig.2. Abondances des champignons endophytes isolés à partir des feuilles de *Pistacia atlantica* de dayate Aiat après 2 mois d'incubation (%)

Les différences d'abondance en champignons endophytes entre le printemps 2013 et le printemps 2016 sont testées par une ANOVA. Cette différence est très hautement significative ($p=0.00$) entre les deux années d'échantillonnage. La comparaison des moyennes a montré l'existence de trois groupes. Le groupe A avec les genres *Ulocladium*, *Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Cordyceps*, *Nigrospora*, *Neoscytalidium*, *Muscodor*, *Phomopsis*, *Xylaria*, *Monilia*, *Geotrichum*, *Phoma*, *Aureobasidium*, *Scedosporium*, *Chaetomium*, *Trichoderma*, *Rodotorula*, *Penicillium*, *Alternaria* et *Trichophyton*, le groupe AB avec les genres *Cladosporium* et *Epicoccum* et le groupe B avec uniquement le genre *Aspergillus*.

Une analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée. Le plan $\frac{1}{2}$ de l'ACP explique 31% du phénomène, avec pour l'axe 1, 19% et pour l'axe 2, 12% de l'inertie totale. L'ACP montre la présence de deux groupes. Le premier concerne les sujets échantillonnés pendant le printemps 2013, avec une dominance d'*Epicoccum*. Le deuxième groupe comporte les sujets échantillonnés durant le printemps 2016, avec une dominance d'*Aspergillus* et de *Cladosporium* (Figure 3).

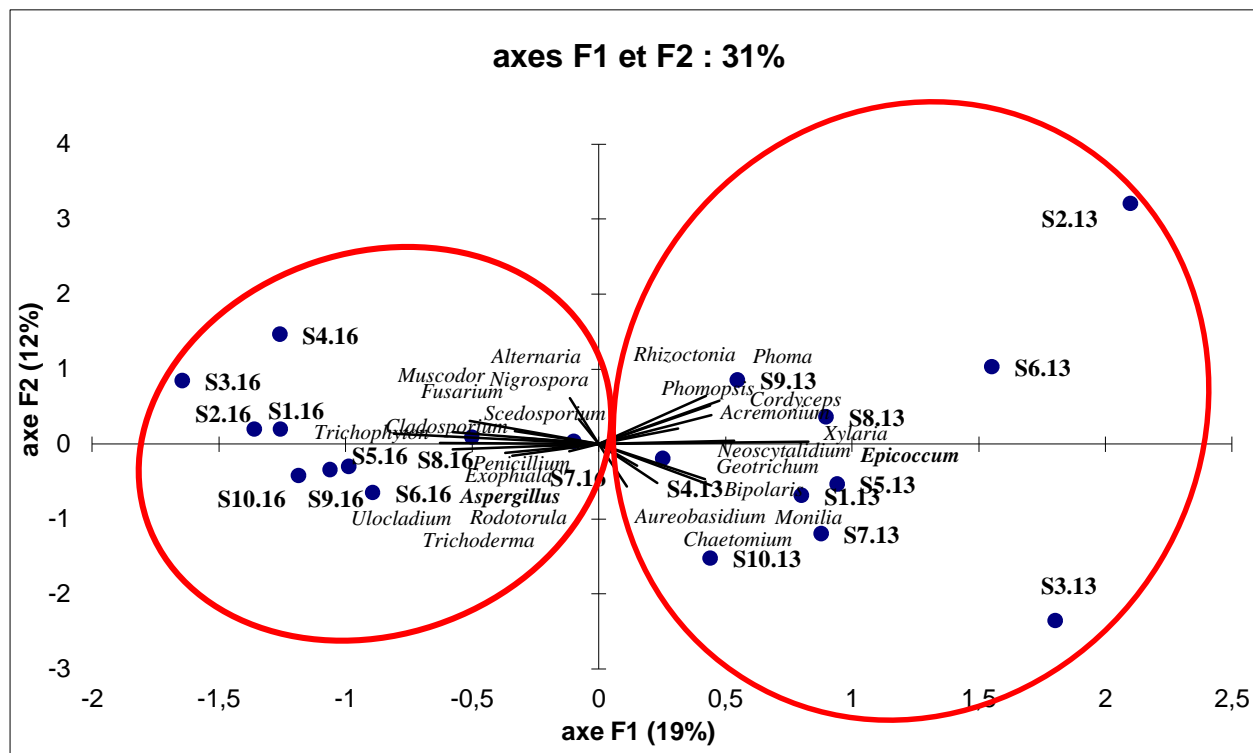


Fig.3. Représentation des genres de champignons endophytes sur A. C. P

La composition des communautés microbiennes dépend essentiellement des conditions environnementales [39,40]. Certaines telles que la température, l'humidité et la lumière affectent considérablement le schéma de distribution des champignons endophytes [41-43]. Ceci peut expliquer les résultats obtenus. La répartition des champignons endophytes semble être influencée par les conditions climatiques de la région d'étude, qui diffèrent selon les années d'étude. D'après les données climatiques de la région, le total des précipitations et les températures varient. Les précipitations diminuent et les températures augmentent entre 2013 et 2016. Cela semble influencer les abondances des champignons du microbiome foliaire. Ceci concorde avec les résultats de Vacher et *al.* (2016) [44], qui ont indiqué que les communautés fongiques de la phyllosphère réagissent fortement au réchauffement. La phyllosphère abrite des communautés microbiennes diverses. Ces communautés modifient les caractères fonctionnels foliaires, influencent la forme physique des plantes et contribuent à plusieurs fonctions de l'écosystème, y compris le cycle des nutriments et de l'eau [44]. Les champignons endophytes affectent la réponse de la plante aux différents aspects des changements climatiques [45,40]. Ils ont été considérés comme un type de déclencheur

biologique, qui active les systèmes de défense d'un hôte [46,43], par l'augmentation de la tolérance à la chaleur chez leur hôte, plus rapidement et plus fortement que les plantes non symbiotiques [47,48]. En effet, dans les milieux désertiques, les microorganismes sont les premiers colonisateurs [49,50,9]. Ils possèdent des mécanismes d'adaptation, en partie liés à leur capacité d'exprimer et de réguler uniquement les gènes nécessaires pour survivre et répondre de manière appropriée à la composition physique et chimique de ces habitats particuliers [51,9]. Ceci peut expliquer ce qui se passe au cours du printemps 2016, où nous avons remarqué l'apparition du genre *Trichoderma* au niveau de la feuille du pistachier de l'Atlas, même en faible fréquence. L'abondance en *Aspergillus* augmente avec l'augmentation de la température. En fait, les champignons du genre *Aspergillus*, *Epicoccum* et *Cladosporium* sont des champignons pigmentés. Les pigments produits par les champignons (mélanine et caroténoïdes tels que le lycopène) pourraient fournir une protection contre les ultraviolets [52]. Les travaux de Sangamesh et al. (2017) ont montré qu'*Aspergillus* s'est avéré être un genre fongique tolérant à une haute température [37]. Il est probable que les plantes poussant dans des habitats extrêmes abritent *Aspergillus* profondément pigmenté en tant que stratégie d'adaptation contre les environnements stressants. Il est bien connu que la teneur en mélanine augmente à haute température dans les microorganismes [53] et les champignons mélanisés sont tolérants aux stress abiotiques, tels que le rayonnement solaire, la température élevée et la sécheresse [54,55]. Singaravelan et al. (2008) [56] et Sangamesh et al. (2017) [37] ont suggéré qu'une augmentation de la teneur en mélanine chez *Aspergillus niger* en réponse au rayonnement UV pourrait être une stratégie adaptative pour surmonter le stress oxydatif. Les *Aspergillus* ont une large répartition géographique, mais sont plus souvent associés aux régions à climat chaud [57, 28]. Ce sont des champignons xérophiles, économiquement importants, largement distribués dans la nature et l'environnement humain. Ils sont connus pour leur capacité à croître sur des substrats à faible activité hydrique. Plus important encore, ces organismes libèrent de l'eau métabolique au cours de leur croissance sur des substrats secs et créent ainsi des conditions favorables pour des champignons moins xérophiles, qui peuvent produire des mycotoxines plus dangereuses [58]. Ceci peut en effet, expliquer la présence de plusieurs autres genres sur le même substrat sur lequel se trouve le genre *Aspergillus*. Certaines études avancent

l'hypothèse que les champignons endophytes peuvent changer le contrôle stomatique et l'ajustement osmotique [59,13]. Morsy et al. (2010) [60] et Bezerra et al. (2013) [13] suggèrent que cette relation peut être influencée par la participation des osmoprotecteurs, tels que la mélanine et les protéines thermophiles observées dans les cultures de *Curvularia protuberata*.

La diversité en champignons endophytes au niveau de la feuille des différents sujets de *Pistacia atlantica* échantillonnés sur les deux années est évaluée par l'indice de Shannon Weaver (H). L'indice le plus élevé est celui du sujet 2 (jeune) (H=1.88) pour le printemps 2013 et le sujet 4 (jeune) (H=1.94) pour le printemps 2016. L'indice le plus faible est celui du sujet 4 (H=0.89) pour le printemps 2013 et le sujet 2 (H=0.97) pour le printemps 2016 (Tableau 3). D'autre part, cet indice est de 1.37 pour le printemps 2013 et de 1.54 pour le printemps 2016. Ces résultats concordent avec ceux d'Olmo-Ruiz et Arnold (2014) [61], qui ont indiqué que la diversité et la structure de la communauté endophytes diffèrent significativement entre les années d'échantillonnage. Les sources de microorganismes colonisant la phyllosphère sont multiples. Les microorganismes qui colonisent la surface des feuilles peuvent provenir de plusieurs sources et peuvent arriver à différents stades de l'ontogénèse végétale [45].

Ces différences de diversité en champignons endophytes sont testées par une ANOVA faites entre les indices de diversité de Shannon Weaver. Cette différence est très hautement significative ($p=0.00$) entre les deux années d'échantillonnage. Plusieurs groupes ont été obtenus. Le tableau (4) montre les sept différents groupes homogènes obtenus : le groupe A avec les sujets 10, 4, 7 et 5, échantillonnés en 2013, le groupe AB qui correspond aux sujets 8, 2, 1 et 3, échantillonnés aussi en 2013, le groupe ABC avec les sujets 6 et 9 dont les feuilles sont récoltées en 2013 et les sujets 2, 5 et 6, échantillonnés cette fois en 2016, le groupe ABCD avec les sujets 4, 8 et les sujets 7 et 1 de l'année 2016, le groupe BCD avec un seul sujet, il s'agit du sujet 10, échantillonnés en 2016, le groupe CD avec le sujet 3 et le groupe D avec le sujet 9, tous les deux de l'année 2016.

Tableau 3. Indices de Shannon Weaver calculés au niveau des feuilles du pistachier de l'Atlas pour les deux années d'échantillonnage

Sujet	H (%)± ES
S1 2013	1.52±0 AB
S1 2016	1.21± 0.014 ABCD
S2 2013	1.88±0 AB
S2 2016	0.97±0.029 ABC
S3 2013	1.74±0 AB
S3 2016	1.79±0 CD
S4 2013	0.89±0 A
S4 2016	1.94±0.014 ABCD
S5 2013	1.62±0 A
S5 2016	1.84±0.029 ABC
S6 2013	1.16±0.029 ABC
S6 2016	1.52±0.029 ABC
S7 2013	1.22±0 A
S7 2016	1.21±0.014 ABCD
S8 2013	0.99±0 AB
S8 2016	1.90±0.014 ABCD
S9 2013	1.20±0.029 ABC
S9 2016	1.54±0 D
S10 2013	1.54±0 A
S10 2016	1.53±0 BCD

Tableau 4. Indices de Shannon Weaver globaux calculés au niveau des feuilles du pistachier De l'Atlas pour les deux années d'échantillonnage

Années	H global (%)± ES
2013	1.37±0.094
2016	1.54±0.10

ES : Erreur standard.

4. CONCLUSION

L'étude de la diversité en mycoendophytes de la feuille de *Pistacia atlantica* a permis de montrer une richesse importante en ces microorganismes. 26 genres ont été identifiés, il s'agit des genres *Aspergillus*, *Alternaria*, *Acremonium*, *Aureobasidium*, *Bipolaris*, *Chaetomium*, *Cladosporium*, *Cordyceps*, *Epicoccum*, *Exophiala*, *Fusarium*, *Geotrichum*, *Monilia*, *Muscodor*, *Neoscytalidium*, *Nigrospora*, *Phomopsis*, *Phoma*, *Penicillium*, *Rhizoctonia*, *Rodotorula*, *Scedosporium*, *Trichophyton*, *Trichoderma*, *Ulocladium* et *Xylaria*. La majorité des champignons recensés dans cette étude appartiennent aux Ascomycota. Seuls deux genres, à savoir : *Rhizoctonia* et *Rodotorula* appartiennent au phylum des Basidiomycota. Ces derniers ont montré un pourcentage plus important lors du printemps 2016 par rapport au printemps 2013. Les différences d'abondance en champignons endophytes entre le printemps 2013 et le printemps 2016 sont testées par une ANOVA. Cette différence est très hautement significative ($p=0.00$) entre les deux années d'échantillonnage. L'ACP montre la présence de deux groupes. Le premier concerne les sujets échantillonnés pendant le printemps 2013, avec une dominance d'*Epicoccum*. Le deuxième groupe comporte les sujets échantillonnés durant le printemps 2016, avec une dominance d'*Aspergillus* et de *Cladosporium*. Cette répartition est expliquée par les données climatiques de la région d'étude, qui ont montré une diminution dans le total des précipitations et une augmentation dans les températures. Il est probable que les plantes poussant dans des habitats extrêmes abritent des champignons pigmentés en tant que stratégie d'adaptation contre les environnements stressants. L'abondance en *Aspergillus* augmente avec

l'augmentation de la température. *Aspergillus* s'est avéré être un genre fongique tolérant aux températures élevées et au manque d'eau.

La diversité en champignons endophytes au niveau de la feuille des différents sujets de *Pistacia atlantica* échantillonnés sur les deux années est évaluée par l'indice de Shannon Weaver (H). Il est de 1.37 pour le printemps 2013 et de 1.54 pour le printemps 2016. Ces différences de diversité en champignons endophytes sont testées par une ANOVA faites entre les indices de diversité de Shannon Weaver. Cette différence est très hautement significative ($p=0.00$) entre les deux années d'échantillonnage. Nos résultats ont montré que la diversité et la structure de la communauté endophyte diffèrent significativement entre les années d'échantillonnage en fonction des conditions climatiques, et plus exactement températures et précipitations.

5. REFERENCES

- [1] Hyde K.D and Soyong k. The endophytic fungi dilemma. *Fungal diversity.*, 2008, 33 : 163-173.
- [2] Ghimire S R., Charlton N D., Bell J D., Krishnamurthy Y L., Craven K D. *Fungal Diversity.* 2011, 47:19–27, doi: 10.1007/s13225-010-0085-6.
- [3] Suryanarayanan T.S, Thirunavukkarasu N, Govindarajulu M.B and Gopalan V. *Fungal endophytes: an untapped source of biocatalysts.* *Fungal Diversity.*, 2012, 54 : 19–30.
- [4] Khan R. Isolation, identification and Cultivation of Endophytic Fungi From Medicinal Plants for the Production and characterisation of fungal Bioactive Fungal Metabolites. Thèse de doctorat en phylosophoie du Departement of Microbiology. University of Karachi Pakistan, 2007, pp. 75-270.
- [5] Clay K., Marks S., Cheplick G P. *Ecology.* 1993, 74 : 1767–1777, doi : 10.2307/1939935
- [6] Vesterlund S.R, Helander M, Faeth S.H, Hyvönen T and Saikkonen K. Environmental conditions and host plant origin override endophyte effects on invertebrate communities. *Fungal Diversity.*, 2011, 47, 109–118.
- [7] Kogel K H., Franken P., Hucklhoven R. *Current Opinion in Plant Biology.* 2006, 9 (4) : 358-363, doi : 10.1016/j.pbi.2006.05.001.

-
- [8] Whitford W.G. 2002. Ecology of desert systems. Academic Press.
- [9] Soussi A., Ferjani R., Marasco R., Guesmi A., Cherif H., Rolli E., Mapelli F., Ouzari H I, Daffonchio D, Cherif A. Plant and Soil, 2017, doi : 10. 1007/S11104-015-2650-y.
- [10] Chareprasert S, Piapukiew J, Thienhirun S, Whalley A.J.S and Sihanonth P. Endophytic fungi of teak leaves *Tectona grandis* L. and rain tree leaves *Samanea saman* Merr. World Journal of Microbiology and Biotechnology., 2006, 22 (5) : 481–486.
- [11] Khidir H.H., Eudy D.M., Porrás-Alfaro A., Herrera J., Natvig D.O., Sinsabaugh R.L. Journal of Arid Environments. 2010, 74 : 35–42, doi : 10.1016/j.jaridenv.2009.07.014.
- [12] Dániel G., Knapp, Alexandra Pintye., Gábor M., Kovács. Plos one., 2012, doi : 10.1371/journal.pone. 0032570.
- [13] Bezerra J.D.P., Santos M.G.S., Barbosa R.N., Svedese V.M., Lima D.M.M., Fernandes M J.S., Paiva B.S.G.L.M., Almeida-Cortez J.S., Souza-Motta C.M. Symbiosis. 2013, 60 : 53–63. doi : 10.1007/s13199-013-0243-1.
- [14] Khan R, Shahzad S, Choudhary M I, Khan S A and Ahmad A. Pak. J. Bot., 2010, 42 (2) : 1281-1287.
- [15] Sun Y, Wang Q, Lu X, Okane I and Kakishima M. Endophytic fungal community in stems and leaves of plants from desert areas in China. Mycol Prog, 2012, 11: 781-790.
- [16] Bensaci O. A. La Mycoflore Endophyte du Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Man.) dans le Massif de Bélezma (Aurès) : Etude Initiale. MÉMOIRE Pour l'Obtention du Diplôme de Magistère en Agronomie. Option : Foresterie et Conservation des Sols. Université El-Hadj Lakhdar. Batna. Algérie, 2006, pp. 96.
- [17] Zerroug A. Métabolites secondaires bioactifs des champignons endophytes isolés de *Retama raetam* (Forssk.). Mémoire de Magister en Microbiologie. Université de Ferhat Abas. Sétif. Algérie. 2011, pp. 89.
- [18] Ladjal S. Activité antimicrobienne des métabolites secondaires des champignons endophytes isolés du pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) de la région de M'silla. Mémoire de Magister, spécialité Biologie Végétale, option Valorisation des Ressources Végétales. Université de Ferhat Abas. Sétif. Algérie. 2012, pp. 101.

-
- [19] Ouzid Y., Smail-Saadoun N., Houali K. Journal of Fundamental and Applied Sciences. 2018, doi : 10.4314/jfas.v10i1.10.
- [20] Zareb A, Smail-Saadoun N and Rezki-Sekhi L. Endophytic fungi of leaf of Atlas pistachio of Dayate Aiat (Laghouat, Algeria). Option Méditerranéenne, XV, Grempa Meeting on Almonds and Pistachios, 2016, A, n°. 119.
- [21] Benfodil O. Inventaire des champignons endophytes des feuilles de Pistacia atlantica Desf. De Dayate El Gouffa (Laghouat, Algérie). Mémoire de Magister, spécialité Biologie. Option Ecologie Végétale Appliquée et gestion de l'environnement. Université de Tizi Ouzou. Algérie. 2015, pp. 171.
- [22] Jumpponen A, Jones K L. New Phytol. 2010, 186 (2): 496–513, doi:10.1111/j.1469-8137.2010.03197.x
- [23] Penuelas J., Rico L., Ogaya R., Jump A.S, Terradas J. Plant Biol. 2012, 14(4):565–575, doi : 10.1111/j.1438-8677.2011.00532.x.
- [24] Coince A., Cae'l.O., Bach C., Lengelle' J., Cruaud C., Gavory F., Morin E., Murat C., Marcais B, Buee M. Fungal Ecol. 2013, 6 (3) :223–235, doi : 10.1016/j.funeco.2013.01.002.
- [25] Guerreiro M.A., Brachmann A., Begerow D. Fungal Diversity. 2018, 89:237–251, doi : 10.1007/s13225-017-0390-4.
- [26] Limane A., Smail-Saadoun N., Belkebir-Boukais A., Kissoum-Hamdini K. Turkish Journal of Botany Turk J Bot. 2014, 38: 536-549, doi:10.3906/bot-1308-9.
- [27] Helander M. L., Sieber T. N., Petrini O., Neuvonen S. Revue canadienne de botanique, 1994, 72(8): 1108-1113, doi.org/10.1139/b94-135.
- [28] Tabuc C. Flore fongique de différents substrats et conditions optimales de production des mycotoxines. Thèse de doctorat de l'institut national polytechnique de Toulouse, Université de Bucarest, Spécialité : Pathologie, Mycologie, Génétique et Nutrition UPSP de Mycotoxicologie. Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse. Laboratoire Biologie Animale. France. 2007, pp. 190.
- [29] Magurran A.E. Croom Helm Ltd. London, 1988, doi: 10.1007/978-94-015-7358-0_1.
- [30] Kumar D S S, Hyde K D. Biodiversity and tissue-recurrence of endophytic fungi in
-

Tripterygium wilfordii. Fungal Diversity., 2004, 17: 69-90.

[31] Lakshman H C, Kurandawad J M. Diversity of the endophytic fungi isolated from *Spilanthes acmella* L. - a promising medicinal plant. Int J Pharm Bio Sci., 2013, 4(2) : 1259–1266.

[32] Almut Reiher. Leaf-inhabiting endophytic fungi in the canopy of the leipzig flood plain forest. Thèse de Doctorat de la Faculté de de Biwissenschaft, Pharmacie- Psychologie. Université de Leipzig. Allemagne. 2011, pp. 127.

[33] Selvanathan S, Indrakumar I, and Johnpaul M. Biodiversity Of The Endophytic Fungi Isolated From *Calotropis Gigantea* (L.) R.BR. Recent Research in Science and Technology., 2011, 3(4) : 94-100.

[34] Selim K A, El-Beih A A, El-Rahman T M and El-Diwany A I. Biology of Endophytic Fungi. Current Research in Environmental & Applied Mycology., 2012, 2(1) : 31–82.

[35] Higgins K.L., Arnold A.E., Miadlikowska J., Sarvate S.D, Lutzoni F. Mol. Phylogenet. Evol. 2007, 42 : 543-55, doi ; 10.1016/j.ympev.2006.07.012

[36] Sánchez Márquez S, Bills G.F and Zabalgoceazcoa I. The endophytic mycobiota of the grass *Dactylis glomerata*. Fungal Diversity., 2007, 27 : 171-195.

[37] Sangamesh M.B., Jambagi S., Vasanthakumari M.M., Shetty N.J., Kolte H., Ravikanth G., Karaba Nataraja N., Uma Shaanker R. Symbiosis. 2017, doi : 10.1007/s13199-017-0527-y.

[38] Toofanee S.B Dulyamamode R. Fungal endophytes associated with *Cordemoya integrifolia*. Fungal Diversity., 2002, 11 : 169-175.

[39] Bürgmann H. Biodiversité microbienne : une richesse cachée. 2010. Eawag News. 69 f.

[40] Porras-Alfaro A Bayman P. Hidden Fungi, Emergent Properties: Endophytes and Microbiomes. Annu. Rev. Phytopathol., 2012, 49:291–315.

[41] Suryanarayanan T.S., Wittlinger S.K., Faeth S.H. Mycol. Res, 2005, 109, 635–639, doi: 10.1017/S0953756205002753.

[42] Song S., Otkur M., Zhang Z., Tang Q. Microbiology. 2007, 5, 867–870, doi : 10.3969/j.issn.0253-2654.2007.05.010.

[43] Jia M., Chen L., Xin H.L., Zheng C.J., Rahman K., Ting Han T., Qin L P. Front.

Microbiol, 2016, 7:906. doi: 10.3389/fmicb.2016.00906.

[44] Vacher C., Hampe A., Porté A.J., Sauer U., Compant S., Morris C.E. *Rev Ecol Evol. Syst*, 2016, 47 : 1-24, doi : 10-1146/annu rev-ecolsys-1214156032238.

[45] Kannadan S., Rudgers J.A. *Functional Ecology.*, 2008, 22 : 706–713. doi.org/10.1111/j.1365-2435.2008.01395.x.

[46] Rodriguez R., Redman R. J. *Exp. Bot*, 2008, 59, 1109–1114, doi: 10.1093/jxb/erm342.

[47] Redman R.S., Sheehan K.B., Stout R.G., Rodriguez R.J., Henson J.M. *Science*. 2002, 22; 298 (5598). doi: 10.1126/science.1072191.

[48] Jalgaonwala R E, Mohite B V and Mahajan R T. A review: Natural products from plant associated endophytic fungi. *J. Microbiol. Biotech. Res.*, 2011, 1 (2): 21-32. ISSN : 2231–3168 CODEN (USA) : JMBRB4.

[49] Borin S., Ventura S., Tambone F., Mapelli F., Schubotz F., Brusetti L., Scaglia B., D'Acqui L.P., Solheim B., Turicchia S., Marasco R., Hinrichs K U., Baldi F., Adani F., Daffonchio D. *Environmental microbiology*. 2010, 12 (2): 293-303, doi: 10.1111/j.1462-2920.2009.02059.

[50]- Mapelli F., Marasco R., Balloi A., Rolli E., Cappitelli F., Daffonchio D., Borin S. *Journal of Biotechnology*. 2012, 157 (4):473-481, doi: 10.1016/j.jbiotec.2011.11.013.

[51] Colica G., Li H., Rossi F., Li D., Liu Y., De Philippis R. *Soil Biology and Biochemistry*. 2014, 68:62- 70, doi : 10.1016/j.soilbio.2013.09.017.

[52] Gupta V K, Sreenivasaprasad S and Mach R L. *Fungal bio-molecules: sources, applications and recent developments*. 1st edn. Wiley Blackwell, India, 2015, pp.117–136.

[53] Cockell C.S., Knowland J. *Biol Rev*. 1999, 74(3):311–345, doi.org/10.1017/S0006323199005356.

[54] Zhdanova N N, Vasil'evskaya A I. *Melanin-containing fungi in extreme conditions*. Naukova Dumka (in Russian), Kiev., 1988, pp. 286.

[55] Butler M.J., Day A.W. *Can J Microbiol*. 1998, 44(12):1115–1136, doi : 10.1139/w98-119.

[56] Singaravelan N., Grishkan I., Beharav A., Wakamatsu K., Shosuke I. *PLoS One*. 2008,

3(8): e 2993, doi : 10.1371/journal.pone.0002993.

[57] Castegnaro M., Cnass D., Vrabchevat T., Petkova-Bocharova T., Chernozemsky I.N., Pfohl-Leszkowicz A. Molecular Nutrition Food Research. 2006, 50 : 519-529, doi.org/10.1002/mnfr.200500182.

[58] Hubka V., Kolarik M., Kubatova A., Peterson S.W. Mycologia. 2013, 105(4) : 912–937, doi : 10.3852/12-151.

[59] Mandyam K., Jumpponen A. Studies in Mycology. 2005, 53 : 173–189, doi:10.3114/sim.53.1.173.

[60] Morsy M.R, Oswald J., He J., Tang Y., Roossinck M.J. Biochem Biophys Res Commun. 2010, 401 : 225-230, doi : 10.1016/j.bbrc.2010.09.034.

[61] Olmo-Ruiz M.D., Arnold A E. Mycologia. 2014, 106 (1), 8–21, doi : 10.3852/13-098.

How to cite this article:

Zareb A, Smail-Saadoun N. Variations interannuelles de la diversité en mycoendophytes foliaires de *Pistacia atlantica* de dayate Aiat (LAGHOUAT, ALGERIE). J. Fundam. Appl. Sci., 2020, 12(2), 563-582.