

COMPARAISON DES COMPOSANTS PHYLLOSPHERIQUES DES FEUILLES DE NEUF POPULATIONS SPONTANÉES DE DEUX ESPÈCES DU GENRE *PISTACIA* (*P. LENTISCUS* ET *P. ATLANTICA*)

AIT OUAMER Yasmine^{1*}, BELHADJ Safia¹ et OUMOUNA Mustapha²

1. Université Ziane Achour de Djelfa - Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie - Département Agro-vétérinaire.-Route de Moudjebara. 17000- Algérie.

2. Université Yahyia Fares de Medea-Faculté des Sciences - Département des Sciences de la Nature et de la Vie- Médéa 26000 Algérie

Reçu le 29/10/2020, Révisé le 13/12/2020, Accepté le 28/12/2020

Résumé

Description du sujet : La phyllosphère est colonisée par des communautés complexes de micro-organismes qui ont un rôle non-négligeable d'un point de vue agronomique et environnemental. Cependant les facteurs qui influencent leur composition demeurent peu connus.

Objectifs : La composition de ces colonies par rapport à l'écosystème et à la surface foliaire, a été comparée, pour cela nous avons échantillonné dans six sites à Djelfa et à Médéa et dont le bioclimat varie de l'aride au subhumide. Deux espèces de pistachiers, le lentisque (*P. lentiscus*) et l'Atlas (*P. atlantica*) sont concernées, dans le but de déterminer la relation entre la composition de la phyllosphère, l'espèce et son environnement.

Méthodes : une mise en cultures des microorganismes et leur organisation en ensembles statistiques ont été effectués. Des corrélations entre le nombre de champignons et de bactéries, la surface de la feuille, les espèces étudiées et l'aridité des stations ont été réalisées afin de cerner l'impact de ces facteurs sur leur distribution.

Résultats : la composition et le nombre de microorganismes sont corrélés positivement avec la surface foliaire, l'espèce et l'aridité.

Conclusion : La composition de la phyllosphère des deux espèces de pistachiers étudiées est étroitement liée à l'influence de la zone climatique et de l'espèce hôte qui les abrite.

Mots clés: Phyllosphère ; *Pistacialentiscus*; *Pistaciaatlantica* ; surface foliaire ; aridité ; biodiversité.

COMPARISON BETWEEN THE PHYLLOSPHERIC COMPONENTS OF THE LEAVES OF NINE SPONTANEOUS POPULATIONS OF TWO *PISTACIA* SPECIES (*P. LENTISCUS* AND *P. ATLANTICA*)

Abstract

Description of the subject: The phyllosphere is home to different communities of microorganisms, but its origin remains unknown, this micro-flora influences many processes in the ecosystems, however there are not many studies concerning the factors which influence their composition.

Objective : The composition of the phyllospheric components of two pistachio species, lentisc pistachio (*P. lentiscus*) and Atlas pistachio (*P. atlantica*) is studied, in six different sites from the semi-arid and sub-humid areas of Djelfa and Medea districts, in order to determine the relationship between the phyllospheric composition, the species and the environment.

Methods : Correlations among number of microorganisms (bacteria and fungi), species and aridity of the site were performed to describe the organization of the studied microorganisms in their communities and the impact of species and aridity on their distribution.

Results : Our results showed that the composition and the number of microorganisms, bacteria and fungi, are correlated positively with the leaf area, the species and the aridity.

Conclusion : The phyllosphere composition of the two pistachio species is closely linked to the influence of the climatic zone and the host species that support them.

Keywords : Phyllosphere; *Pistacialentiscus*; *Pistaciaatlantica*; leaf area ; aridity; biodiversity

*Auteur correspondant: Ait Ouamer yasmine, E-mail: aitouamer.yasmine@gmail.com

INTRODUCTION

Il existe deux définitions de la phyllosphère dans la littérature, l'une désigne l'habitat fourni par l'ensemble des parties aériennes des plantes [1] et l'autre désigne seulement la partie foliaire des plantes [2]. Ces feuilles et d'autres parties aériennes abritent de nombreuses espèces bactériennes et fongiques sous forme de levures, de champignons filamenteux ou encore de spores en dormance [1]. Dans la présente étude, la phyllosphère fait référence à la partie foliaire des plantes. Aussi vrai que la composition phyllosphérique a été déterminée chez certaines espèces, son origine reste mal connue, en premier lieu, les variations climatiques changerait considérablement la structure et l'assemblage de ces microorganismes [3]. Il se pourrait aussi qu'elle soit liée à la génétique de l'espèce [4], en l'occurrence à tous ce qui caractérise ses traits foliaires comme les huiles essentielles et les phénols c'est le cas, notamment, du pistachier lentisque qui présente d'importantes propriétés aromatiques [5]. Ces organismes peuvent être soit épiphytes, en vivant sur la surface des feuilles [6], soit endophytes vivant à l'intérieur des tissus, dans les espaces inter-cellulaires des feuilles [7,8]. La distinction entre le statut d'endophyte et d'épiphyte n'est pas évidente. En effet, certaines espèces microbiennes peuvent activement pénétrer les tissus de la feuille pour devenir endophytes [9, 10]. L'objectif principal de cette recherche est l'étude des effets relatifs à l'espèce hôte et du climat sur les assemblages fongiques et bactériens de la phyllosphère. Pour cette étude nous avons pris pour modèle, deux espèces de pistachiers, *Pistacia lentiscus* (lentisque) et *Pistacia atlantica* (pistachier de l'Atlas), cette dernière, et plus particulièrement la sous espèce *atlantica*, est endémique à l'Afrique du Nord [11, 12]. De par sa dioécie et ses fleurs nues, *Pistacia* est un genre particulier des Anacardiacees pouvant constituer une famille à part : les Pistaciacees [13]. Ces deux espèces sont différentes de par le type de leurs feuillage : les feuilles du lentisque sont persistantes tandis que celles de l'Atlas sont caduques, la structure de l'arbre n'est pas la même non plus, l'Atlas est un grand arbre, pouvant atteindre 15m de hauteur, dans la plupart des cas, alors que le lentisque se présente sous forme d'arbuste, le plus souvent [14]

Enfin, le pistachier de l'Atlas préfère les milieux arides, pour peu qu'il s'établisse dans les dayas ou près des lits d'oueds, alors que le lentisque s'étend jusqu'aux milieux humides, avec comme limite sud les régions semi-arides [13, 14], ces différences présentent un grand intérêt pour cette étude comparative. Les communautés bactériennes de la phyllosphère du lentisque ont déjà été étudiées, notamment par rapport à la composition des feuilles en huiles essentielles [5], à l'interaction des facteurs chimiques avec les microorganismes [15] et aussi à leur réaction face aux variations de l'écosystème [16]. Le profil foliaire structural et chimique du lentisque reflète la taille des populations épiphytes, or de par son feuillage de forte teneur en phosphore [15], très aromatique, il compte beaucoup de colonies bactériennes qui se sont adaptées à l'activité antimicrobienne des huiles essentielles et l'utiliseraient, même, comme source de Carbone [5]. La phyllosphère du pistachier de l'Atlas n'a jamais fait l'objet d'étude similaire et demeure, quand à elle, une exclusivité. Afin d'étudier les effets potentiels du changement climatique et de l'apparenté génétique sur la structure et l'assemblage de ces microorganismes, nous nous attelons à répondre à l'hypothèse suivante : la composition de la phyllosphère est due à l'espèce hôte ou bien à l'environnement ? Nous avons donc choisi trois stations d'échantillonnage pour chacune des espèces étudiées, celles-ci diffèrent de par leur bioclimat (sub-humide et aride). Nous avons, ensuite, effectué une étude comparative de la composition phyllosphérique entre les deux espèces, par la mise en culture des microorganismes, et leur organisation en ensembles statistiques nous permettant ainsi d'établir les différences liées au climat et à l'espèce.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

1. Description des sites d'échantillonnage

La première étape pour aborder la composition de la phyllosphère des deux espèces étudiées du genre *Pistacia* (*P. atlantica* et *P. lentiscus*), consiste en une étude des communautés fongiques et bactériennes. Pour ce faire, nous avons échantillonné sur six différents sites répartis sur trois wilayas : Médéa (Ouamri, Harbil, Berroughia1 et Berrouaghia 2), Djelfa (Ain Oussera) et M'sila (Elhamel) (Fig. 1).

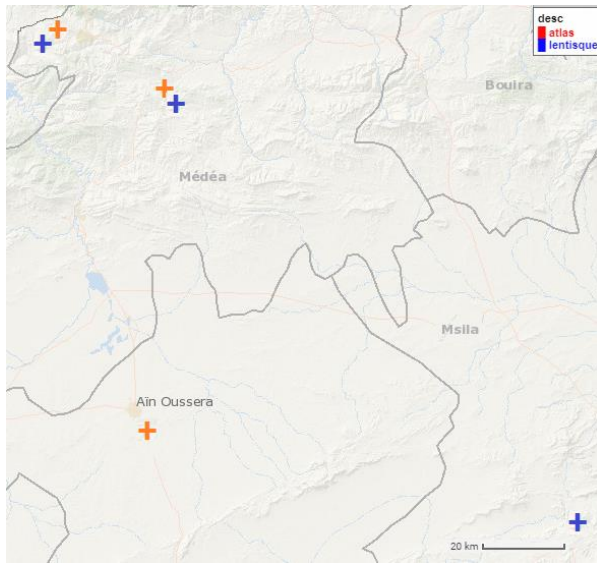


Figure 1 : Localisation des sites d'échantillonnage

(GPS visualizer :

<file:///C:/Users/AMAZON/Downloads/carte des sites avec legende.html>)

Trois sites d'échantillonnage ont été sélectionnés pour chacune des deux espèces, ces sites sont définis par des conditions climatiques différentes (2 sites dans l'aride et quatre autres dans le subhumide). Chaque site a été géo-référencé et

leurs principales caractéristiques climatiques sont renseignées sur le tableau 1. Concernant l'échantillonnage, neuf (9) arbres par station ont été échantillonnés. Sur chaque arbre 3 feuilles ont été prélevées, autour de l'arbre, à partir de trois branches situées à 3 m au-dessus du sol pour *P. atlantica* et à 1 m pour *P. lentiscus*.

Figure 2 : Sites d'échantillonnage et leurs quotients pluviométriques d'Emberger (Q₂)

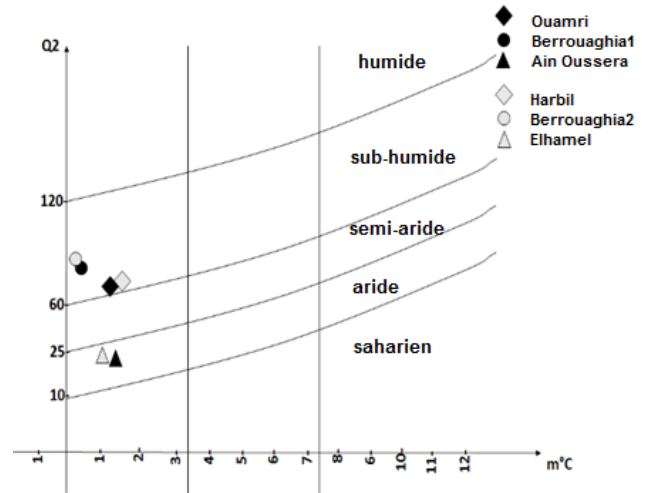


Tableau 1: Description des sites d'échantillonnage

| Espèce | Site | Coordonnées géographiques | Habitat | P (mm) | Altitude (m) | Tm (°C) | Q ₂ |
|-----------|-----------------------|---------------------------|-----------------------|--------|--------------|---------|----------------|
| Atlas | Ouamri (Médéa) | 36.239839 2.675606 | <i>Ziziphus lotus</i> | 393 | 800 | 32 | 35 |
| | Berrouaghia 1 (Médéa) | 36.150544 2.938524 | <i>Ziziphus lotus</i> | 390 | 970 | 33 | 35.5 |
| | Ain oussera (Djelfa) | 35.360076 2.950004 | <i>Ziziphus lotus</i> | 110 | 700 | 37 | 8,5 |
| Lentisque | Harbil (Médéa) | 36.225656 2.651917 | <i>Olea europaea</i> | 393 | 790 | 31 | 35 |
| | Berrouaghia 2 (Médéa) | 36.300604 2.784959 | <i>Olea europaea</i> | 350 | 550 | 33 | 35.5 |
| | Elhamel (Msila) | 35.166639 4.114610 | <i>Olea europaea</i> | 320 | 762 | 38.7 | 8 |

Pour caractériser le type climatique des différents sites, le quotient pluviométrique (Q₂) introduit par Emberger (1955) a été calculé selon la formule $Q_2 = 3,43P / Mm$, avec (M) représentant la moyenne des maxima des températures du mois le plus chaud, (m) la moyenne des minima des températures du mois

le plus froid et (P) la quantité annuelle moyenne de précipitations (Fig. 2). Nous avons calculé ce quotient avec les variables climatiques, la température et les précipitations, d'une période de 15 ans (2000-2014), ces données ont été fournies par le bureau algérien de météorologie.

2. Calcul de la surface foliaire

La surface foliaire des feuilles récoltées est mesurée grâce au logiciel mesurim. Les feuilles sont photographiées, dans un premier temps, sur une surface blanche, ensuite les photographies sont transférées sur le logiciel mesurim qui calcule la surface de tout objet sans forme géométrique précise en cm². Ceci nous a permis de faire une comparaison entre les feuilles des différentes stations, déterminant ainsi avec exactitude la surface de l'habitat des microorganismes phyllosphériques.

3. Préparations des feuilles et mise en culture des microorganismes

Les feuilles récoltées sont transportées dans des sachets de silicagel, pour une meilleure conservation de la composition phyllosphérique. Les échantillons sont traités et mis en culture le même jour de l'échantillonnage. Des boîtes de Pétri contenant deux milieux de culture, un avec de la gélose nutritive pour les bactéries et l'autre avec le milieu Sabouraud pour les champignons, ont été préalablement préparées en coulant entre 15 et 20ml de milieu de culture fondu au bain-marie et conservées au réfrigérateur pour une période n'excédant pas une semaine, dans le but d'éviter les contaminations. Deux répliquations ont été effectuées pour chaque échantillon. Les feuilles sont rincées individuellement dans un flacon de 100ml d'eau distillée stérile, les flacons sont soigneusement agités pendant 10 mn au vortex, dans la zone stérile créée par le bec benzène, et à partir de chaque flacon correspondant à chaque échantillon, un (01) ml de la solution est prélevé à l'aide d'une pipette graduée stérile.

Deux boîtes de Pétri, pour chaque échantillon sont ainsi préparées, avec deux répliquas (2 avec de la gélose nutritive pour la culture des bactéries ; et 2 autres avec du milieu Sabouraud pour la culture de champignons). L'ensemble est mis en culture pendant 48h à 24°C, pour les bactéries et 3 jours à 37°C, pour les champignons. Des boîtes de Pétri témoin (sans solutions) sont préparées pour chaque station pour détecter les contaminations [17, 18]. Un dénombrement des colonies sur chaque boîte, s'ensuit après l'écoulement de la période d'incubation, est effectué.

4. Analyses statistiques

Les données ont été d'abord organisées afin de permettre une première comparaison entre le nombre de bactéries et celui des champignons de la phyllosphère. Le logiciel STATISTICA est ensuite utilisé pour effectuer les corrélations entre le nombre de microorganismes, les espèces, la surface foliaire et les données climatiques, afin de déterminer leur organisation au sein de leur communauté, pour cela une analyse de la variance ANOVA multifactorielle a été performée. Par la suite, une classification ascendante hiérarchique (CAH) a été réalisée pour cerner le seuil des différences entre les sites, suivie d'une analyse en composantes principales (ACP) afin de déterminer les facteurs responsables de ces démarcations.

RÉSULTATS

Une étude statistique a été performée sur l'ensemble des échantillons traités dont les variables mesurées suivent une courbe gaussienne à distribution normale. Des statistiques descriptives, dont la moyenne, les valeurs minimales (min) et maximales (max) ainsi que l'écart type (E.T.) ont été calculées (Tableau 2).

Tableau 2: Statistiques descriptives pour les différentes variables mesurées pour les deux espèces étudiées, *P. atlantica* et *P. lentiscus*

| Espèces | Sites | Variables | Moyenne | Min | Max | E.T. |
|-----------------------|--------------|-----------|---------|------|-------|------|
| Pistachier de l'Atlas | Ouamri | SF | 4.22 | 3.32 | 5.67 | 0.68 |
| | | NBACT | 8.07 | 4.00 | 19.00 | 3.19 |
| | | NFUN | 5.04 | 2.00 | 9.00 | 1.97 |
| | Berroughia 1 | SF | 4.18 | 3.45 | 5.59 | 0.61 |
| | | NBACT | 8.70 | 4.00 | 13.00 | 2.54 |
| | | NFUN | 4.59 | 2.00 | 8.00 | 1.74 |
| | Ain Oussera | SF | 4.34 | 3.19 | 5.49 | 0.75 |
| | | NBACT | 12.37 | 5.00 | 19.00 | 3.89 |
| | | NFUN | 8.18 | 3.00 | 13.00 | 2.45 |

| Espèces | Sites | Variables | Moyenne | Min | Max | E.T. |
|-----------------------------|--------------|-----------|---------|------|-------|------|
| Pistachier lentisque | Harbil | SF | 1.21 | 0.39 | 3.02 | 0.81 |
| | | NBACT | 6.11 | 1.00 | 10.00 | 2.15 |
| | | NFUN | 3.30 | 0.00 | 6.00 | 1.45 |
| | Berrouaghia2 | SF | 1.28 | 0.30 | 3.67 | 1.00 |
| | | NBACT | 5.81 | 3.00 | 10.00 | 1.98 |
| | | NFUN | 3.22 | 1.00 | 6.00 | 1.50 |
| | Elhamel | SF | 1.37 | 0.31 | 4.60 | 1.20 |
| | | NBACT | 9.52 | 5.00 | 15.00 | 2.90 |
| | | NFUN | 4.30 | 1.00 | 7.00 | 1.66 |

1. Surface foliaire

La *surface foliaire* (S.F.) varie entre les deux espèces, les échantillons de *P. atlantica* ont une plus grande surface foliaire d'une moyenne de 4,25 cm², tandis que ceux de *P. lentiscus* affichent une moyenne de 1,21 cm². La S.F. varie peu entre les sites d'une même espèce, néanmoins, elle augmente pour les sites les plus arides (1,37cm² pour le site d'El hamel et 4,34 cm² pour celui de Ain Oussera). L'analyse de la variance nous montre une différence très hautement significative ($p=0,001$) entre les sites et les deux espèces pour la S.F. (Fig. 3 et Tableau 3a et 3b).

2. Nombre d'espèces de bactéries

Le nombre de bactéries (NBACT) est très variable entre les deux espèces de pistachiers, la moyenne des colonies observées dans les échantillons du pistachier de l'atlas avoisine les 10 colonies par échantillon tandis que pour le pistachier lentisque on note une moyenne de 7 colonies par échantillons.

Les sites arides se détachent aussi par un nombre moyen d'espèce de champignons par échantillon plus élevé que la moyenne, environ 12 colonies pour Ain Oussera et 9 colonies pour le site d'El hamel. L'analyse de la variance nous montre une différence très hautement significative ($p=0,001$) entre les sites et les deux espèces (Fig. 3 et Tableau 3a et 3b).

3. Nombre d'espèces de champignons

Le nombre de champignons (NFUN) varie entre les deux espèces étudiées, il est plus élevé pour le pistachier de l'atlas d'une moyenne de 6 espèces par échantillon contre une moyenne de 3,5 espèces pour les échantillons du lentisque, pour les champignons aussi les stations arides affichent un nombre plus élevé, 8 colonies en moyenne pour le pistachier de l'atlas et 4 pour le lentisque. L'analyse de la variance nous montre une différence très hautement significative ($p=0,001$) entre les sites et les deux espèces (Fig. 3 et Tableau 3a et 3b).

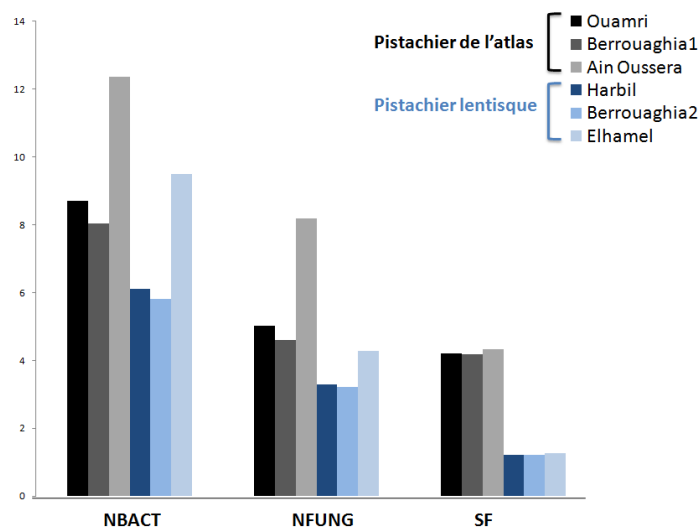


Figure 3 : Comparaison intra spécifique et interspécifique de la surface foliaire (SF), du nombre de bactéries (NBACT) et du nombre de champignons (NFUNG) entre les deux espèces de pistachiers étudiées

Tableau 3a : Analyse de la variance multifactorielle (ANOVA) des variables étudiées pour *P. atlantica* et *P. lentiscus*

| Variabes mesurées | Effet du site | Effet de l'espèce | Effet de l'espèce ×site |
|-------------------|---------------|-------------------|-------------------------|
| NBACT | 0,0000*** | 0,0000*** | 0,0000*** |
| NFUN | 0,0000*** | 0,00** | 0,0000*** |
| SF | 0,00** | 0,00** | 0,91 ^{NS} |

Tableau 3b : Analyse de la variance(ANOVA) montrant l'effet du site sur les variables mesurées pour les deux espèces étudiées.

| Espèce | Variabes mesurées | Effet du site |
|-----------------------|-------------------|---------------|
| Pistachier de l'Atlas | NBACT | 0,0000...*** |
| | NFUN | 0,0000...*** |
| | SF | 0.59NS |
| Pistachier lentisque | NBACT | 0,0000...*** |
| | NFUN | 0,0000...*** |
| | SF | 0.85NS |

4. Analyse de la variance(ANOVA)

L'ANOVA nous a permis d'évaluer l'effet du site, de l'espèce et de l'interaction de ces deux facteurs sur les trois variables mesurées (NBACT, NFUN et SF). La différence a été calculée au seuil de signification $p < 0,001$. Les résultats obtenus montrent que la densité des microorganismes phyllosphériques (NBACT et NFUN) est significativement différente selon le site, l'espèce et l'interaction de ces deux facteurs par contre, aucune différence significative n'a été enregistrée pour SF pour l'interaction entre le site et l'espèce (Tableau 3a). Concernant la variation intra spécifique, de la même manière,

une différence significative a été enregistrée pour la densité des microorganismes. La S.F. reste non influencée par le site (Tableau 3b).

5. Étude des corrélations entre les différentes variables

La CAH révèle deux groupes de sites, le premier composé par deux stations : Ain Oussera et El hamel, qui représentent les sites arides, le deuxième groupe, composé de quatre stations du sub-humides, est subdivisé en deux sous-groupes : les deux sites de Berrouaghia et les deux sites restants, Harbil et Ouamri (Fig. 4).

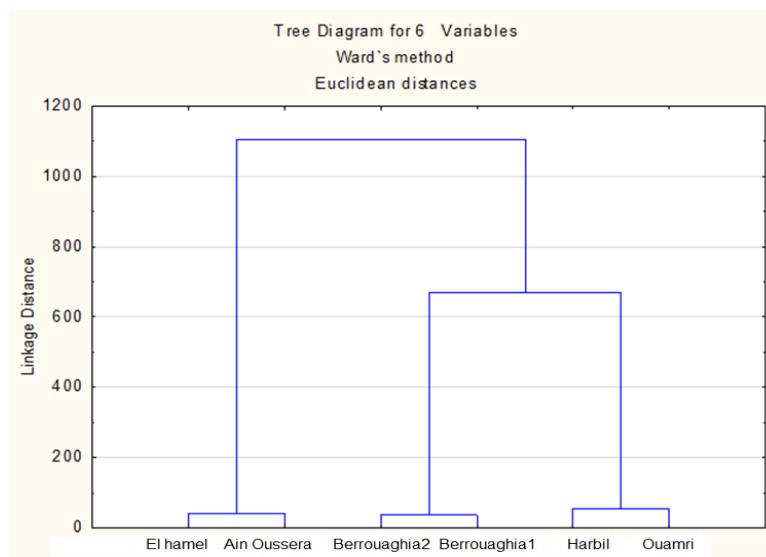


Figure 4: Classification hiérarchique ascendante (C.A.H.) représentant les différents groupes de stations

6. Analyse en composantes principales (ACP)

Une analyse en composantes principales (ACP), a complété nos analyses, afin de départager les

groupes de stations et de mettre en lumière les variables discriminantes. Le cercle de

corrélation met la lumière sur les facteurs qui ont contribué à ces différences, en l'occurrence les sites (PROV) avec les variantes climatiques (température, pluviométrie) et stationnelles (altitude). La distribution nous montre un nuage de points regroupant deux groupes principaux de stations, à savoir le groupe 1 regroupant les sites de Berroughia 2 (sub-humide) et d'El hamel (aride) stations du lentisque, avec le site d'Ain Oussara (Aride) station du pistachier de l'Atlas. Le deuxième groupe quant à lui, rassemble les sites sub-humides d'Ouamri et de Berrouaghia 1,

stations du pistachier de l'Atlas avec le site Harbil du lentisque. Les sites se regroupent, selon l'affinité génétique, puisqu'on observe une différenciation selon les espèces et l'affinité climatique des sites. En effet, dans un premier lieu on distingue clairement le regroupement des individus autour du nuage qui définit les deux espèces. Dans un second temps, les individus appartenant aux stations arides (Ain Oussara et El hamel) ont tendance à se regrouper et à se rapprocher.

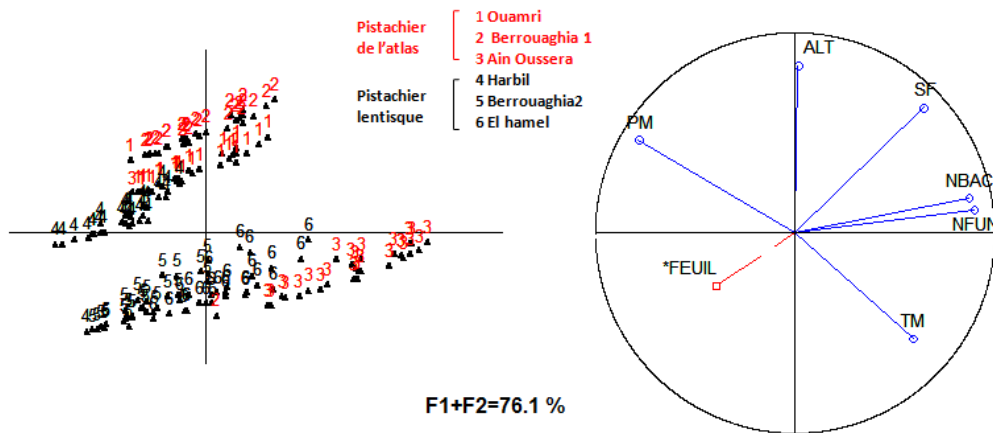


Figure 5: Analyse en composantes principales (ACP)

DISCUSSION

La surface foliaire couvre une proportion significative de la surface terrestre, estimée à $6,410^8$ km² [18], fournissant ainsi un habitat d'une grande diversité de microorganismes ce qui apporte une contribution importante à la diversité microbienne [19]. La composition de la plante en microorganismes, qu'elle soit endophyte ou épiphyte, est très liée à son environnement ainsi qu'aux espèces qui les abritent [20], ces derniers sont très bénéfiques pour la plante et jouent un rôle très important, par exemple les champignons endophytes contribuent aux mécanismes de production d'hormone de croissance végétale et l'acquisition de nutriments [21]. Les plantes s'adaptent aux conditions environnementales grâce à ces communautés. En effet, certains microorganismes peuvent aider à atténuer les stress abiotiques tels que la sécheresse qui les rend particulièrement attractifs par rapport à l'adaptation au changement climatique [22].

Dans la présente étude, nous avons cerné la liaison entre bactéries et champignons de la phyllosphère de deux espèces de pistachier, le pistachier de l'Atlas et le pistachier lentisque, et les facteurs climatiques du site tel que la pluviométrie, la température et l'altitude. Dans la première partie de cette étude, la comparaison des surfaces foliaires entre les deux espèces montre une tendance à l'homogénéité de ce facteur au sein de la même espèce, mais concernant la comparaison interspécifique, les feuilles du pistachier de l'Atlas sont plus grandes que celles du lentisque. C'est une caractéristique génétique propre aux espèces du genre *Pistacia*. En effet, la littérature rapporte des feuilles plus grandes chez *P. atlantica* par rapport au *P. lentiscus* [11]. La surface foliaire est plus large également dans les deux sites arides par rapport aux sites du subhumide des stations échantillonnées pour les deux espèces étudiées. Ceci peut traduire une adaptation de la plante à son milieu.

Plusieurs études [13, 23] ont montré des dimensions des folioles des deux espèces qui peuvent augmenter avec l'aridité. Paradoxalement, les végétaux, en général, ont tendance à réduire la taille ou la surface foliaire de leurs feuilles dans les milieux arides. On pourrait être tentés d'expliquer cette augmentation de la surface de la feuille chez les deux espèces étudiées par une adaptation de ces plantes à leur milieu ; par exemple, les feuilles du pistachier de l'Atlas sont caduques, elles sont influencées par les facteurs climatiques annuels, tels que la pluviométrie ou la température. D'autres études ont plutôt mis en avant l'effet de l'altitude qui est souvent un facteur déterminant pour la taille des feuilles [24, 25]. Le nombre de microorganismes (bactéries et champignons) enregistré chez les deux espèces étudiées d'une moyenne de 8 espèces par feuille pour les bactéries et 5 espèces pour les champignons, reste considérable. Par comparaison, une étude menée sur 56 plantes non cultivées a enregistré un nombre maximal de 4 colonies bactériennes par feuille [18]. D'un autre côté, les feuilles de *P. atlantica* enregistrent un nombre de microorganismes plus important comparativement à *P. lentiscus*. Cela pourrait être expliqué par la différence des surfaces foliaires des deux espèces. Celles occupées par *P. atlantica* étant plus larges pourraient effectivement mettre à la disposition des microorganismes plus de place et plus de substances nutritives. Selon certaines études, le poids de la feuille, traduit par une plus grande surface foliaire, augmenterait la richesse des microorganismes phyllosphériques [26, 27]. D'autres facteurs tels que l'âge de la feuille, ses caractéristiques phytochimiques, la couche de cire et la teneur en huiles essentielles ainsi que la teneur en chlorophylle constituent une source de variation déterminante pour la densité des microorganismes sur la surface foliaire [15, 28]. L'aridité semble aussi avantager la densité des microorganismes sur la phyllosphère des deux espèces. Les deux espèces semblent faire appel à plusieurs stratégies afin de pouvoir survivre dans les milieux les plus rigoureux. Dans une étude menée sur la rizosphère des deux espèces [29], une meilleure mycorhization et un taux de mycorhization plus élevé a été observé au niveau des racines des individus échantillonnés dans les stations les plus arides.

Les microorganismes de la phyllosphère et de la rhizosphère sont effectivement très actifs en milieu aride donnant une meilleure résistance aux plantes contre la sécheresse. Les champignons endophytes, par exemple, peuvent augmenter la teneur en eau par unité de masse foliaire [30]. Selon Tao Ding *et al.* [19], la phyllosphère est fortement déterminée par le site comme par l'espèce hôte. Pour l'espèce hôte, indépendamment des facteurs environnementaux, les espèces de microorganismes peuvent être transmises d'une plante à l'autre verticalement, ainsi que par les graines d'une plante à sa progéniture via les graines ou le pollen, cas des endophytes [21]. Les facteurs environnementaux tel que la pluviométrie, la température et l'altitude constituent les caractéristiques de l'habitat de ces microorganismes, cependant, l'altitude est un facteur déjà établi comme déterminant dans la distribution phyllosphérique [4]. Une étude menée sur des feuilles de kinoa, a montré que les communautés bactériennes et fongiques augmentent avec l'élévation sur la phyllosphère, contrairement à celles de la rhizosphère ; la feuille aurait un effet de sélection beaucoup plus fort que la racine [31]. La pluviométrie ainsi que la température influenceraient positivement le nombre de ces colonies. Il a été établi que les microorganismes des feuilles sont numériquement plus importants dans les régions tempérées du monde [20]. Dans une autre étude, les saisons sont mises en avant, de manière que les variations saisonnières de la pluie et de la température affecteraient la distribution des endophytes foliaires [2, 19]. Le nombre des différentes espèces d'endophytes (fungi ou bactéries) est très variable selon les sites, en effet, le nombre de bactéries serait plutôt lié à la température tandis que celui de champignons serait plutôt sensible à la pluviométrie. Les auteurs avaient conclu que les variables climatiques influencent le nombre de microorganismes phyllosphériques [32] et que la sécheresse aurait un grand impact sur leur richesse au sein de leurs habitats [33]. Il est bien établi que les facteurs climatiques jouent un rôle déterminant, mais l'influence génétique en relation avec le type d'espèce joue un rôle important dans la distribution des endophytes foliaires.

Par exemple, les propriétés aromatiques de l'arbre tel que la composition en huiles essentielles serait un facteur non négligeable [20].

CONCLUSION

La composition et la densité de la phyllosphère est étroitement liée à l'influence de la zone climatique et de l'espèce hôte qui les abrite. Aussi vrai que l'aridité du site est en grande partie responsable de cette distribution, la distance géographique entre les stations reste un facteur à étudier, en perspectives. Concernant l'influence de l'espèce, la composition des feuilles pourrait créer des affinités avec les microorganismes, des groupes se formeront ainsi, probablement. Ces facteurs restent fort déterminants dans la distribution de ces ensembles phyllosphériques et qu'il s'agisse d'espèces hôtes ou de climat, la composition de la phyllosphère reste très variable. Une meilleure définition des espèces endophytes et leur physiologie est nécessaire afin de mettre en évidence les différentes corrélations entre l'espèce hôte, son environnement et les endophytes. Des études complémentaires de ces ensembles avec le séquençage d'ADN permettront de mettre la lumière sur les causes de cette distribution. Ces mystérieux assemblages de microorganismes ne cesseront de livrer leurs secrets, car leur capacité à se moduler en fonction des zones climatiques nous renseigne beaucoup sur leur rôle écologique.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] Lindow SE., Brandl MT. (2003). Microbiology of the phyllosphere. Applied and Environmental Microbiology 69: 1875–1883.

[2] Jumpponen A., Jones KL. (2009). Massively parallel 454 sequencing indicates hyperdiverse fungal communities in temperate Quercus macrocarpa phyllosphere. New Phytologist 184: 438–448.

[3] Compant., Marcel G.A. van der Heijden & Angela Sessitsch. (2010). Climate change effects on beneficial plant microorganism interactions. FEMS Microbiol Ecol 73 (2010) 197–214

[4] Cordier T. (2012). Structure des assemblages fongiques de la phyllosphère des arbres forestiers et effet potentiel du changement climatique. Thèse de Doctorat, Université de Bordeaux 1, 103

[5] Yadav R.K.P., Papatheodorou E. M., Karamanoli K., Constantinidou H.I. and Vokou D., (2008). Abundance and diversity of the phyllosphere bacterial communities of Mediterranean perennial plants that differ in leaf chemistry. Chemoecology, 18, 217–226.

[6] Inácio J., Ludwig W., Spencer-Martins Land Fonseca Á., (2010). Assessment of phylloplane yeasts on selected Mediterranean plants by FISH with group- and species-specific oligonucleotide probes. FEMS Microbiology Ecology, 71, 61–72

[7] Arnold AE, Mejia LC., Kylo D., Rojas EI., Maynard Z., Robbins N., Herre EA. (2003). Fungal endophytes limit pathogen damage in a tropical tree. Proceedings of the National Academy of Sciences, USA 100: 15649–15654.

[8] Rodriguez RJ., White JF Jr., Arnold AE., Redman RS. (2009). Fungal endophytes: diversity and functional roles. New Phytologist 182: 314–330.

[9] George Carroll. (1995). Forest endophytes: pattern and process. Canadian Journal of Botany, Vol. 73, N° S1 : pages 1316-1324

[10] Wilson D., Carroll GC., (1994). Infection Studies of *Discula-Quercina*, an Endophyte of *Quercus-Garryana*. Mycologia 86: 635-647

[11] Zohary M., (1952). A monographical study of the genus *Pistacia*. Palestine Journ. Bot. J. series, vol. 5 (4): 187-228.

[12] A. doghbage., H. boukerker., S. belhadj. (2018). Analyse éco-botanique comparative de deux populations du pistacia atlantica en algérie par le biais de marqueurs morphologiques foliaires. courrier du savoir – n°25, février 2018, pp119-126

[13] Belhadj S., (2007). Etude Ecobotanique de *Pistacia atlantica* Desf. (Anacardiaceae) en Algérie, préalable à sa conservation. Thèse de Doctorat d'Etat. Univ. Tizi-Ouzou.

[14] Monjauze A., (1982). Le pays des dayas et *Pistacia atlantica* Desf. dans le Sahara algérien ». Rev. Forest., France, XXXIV, 4, 277-291.

[15] Yadav R.K.P., Karamanoli K. and Vokou D., (2005). Bacterial colonization of the phyllosphere of Mediterranean perennial species as influenced by leaf structural and chemical features. Microbial Ecology, 50, 185–196.

[16] Vokou, D., Vareli, K., Zarali, E., Karamanoli, K., Constantinidou, H. I. a, Monokrousos, N., Sainis, I. (2012). Exploring Biodiversity in the Bacterial Community of the Mediterranean Phyllosphere and its Relationship with Airborne Bacteria. Microbial Ecology, 64, 714–724. doi:10.1007/s00248-012-0053-7

[17] Mukhtar K, et al. (2010) Étude comparative sur deux souches commerciales de *Saccharomyces cerevisiae* pour une production optimale d'éthanol à l'échelle industrielle. J Biomed Biotechnol 2010: 419586

[18] Rupert Anand Yumlembam., Suresh Govind Borkar. (2016) Epiphytes bactériens à densité de population et endophytes de différentes plantes médicinales dans le même environnement écologique ejpmr, 3 (9), 342 - 346

[19] Tao Ding., Ulrich Melcher. (2016). Influences of Plant Species, Season and Location on Leaf Endophytic Bacterial Communities of Non-Cultivated Plants PLOS ONE DOI:10.1371/journal.pone.0150895 March 14, 2016

- [20] **Morris, C.E., and Kinkel, L.L. (2002).** Fifty years of phyllosphere microbiology: significant contribution to research in related fields. In *Phyllosphere microbiology*. Edited by S.E. Lindow, E.I. Hecht-Poinar, and V. Elliott. APS Press, St. Paul, Minnesota. pp. 365–3757
- [21] **Frank AC, Guzmán JPS and Shay JE .(2017).** Transmission of bacterial endophytes. *Microorganisms* 5: 70
- [22] **Jørgensen, Hans J Lyngs; Collinge, David B; Rojas, Edward C; Latz, Meike A C; Manzotti, Andrea; Ntana, Fani; and Jensen, Birgit .(2020).** Plant Endophytes. In: eLS. John Wiley & Sons, Ltd: Chichester. DOI: 10.1002/9780470015902.a0028893
- [23] **Doghbage Abdelghafour., Belhadj Safia ., Derridj Arrezki ., MEVY Jean Philippe ., Gauquelin Thierry ., Merdas Saifi., Tonetto Alain and Foulla Hassen Ferial.(2020).** Comparative eco-botanical analysis of pistacia lentiscus l. In algeria through morphological and ultra-structural markers related to leaves and stomata. *Revue Agrobiologia* 10(1): 1826-36
- [24] **Belhadj, S., Derridj, A., Auda, Y., Gers, C., & Gauquelin, T. (2008).** Analyse de la variabilité morphologique chez huit populations spontanées de *Pistacia atlantica* en Algérie. *Botany*, 86, 520–532. doi:10.1139/B08-008.
- [25] **F.Z. Benabdallah, R.O., Kouamé, M., El Bentschikou, A. Zellagui et N., Gherraf .(2015).** Études ethnobotanique, phytochimique et valorisation de l'oléorésine du pistachier de l'atlas (*Pistacia atlantica* Desf.). *Phytothérapie* (2017) 15:222-229
- [26] **Arnold, AE et LC Lewis. (2005).** Evolution des endophytes fongiques et leurs rôles contre les insectes. *Avancées écologiques et évolutives dans les associations insectes-champignons* (F. Vega et M. Blackwell, éd.). Oxford University Press, Oxford. pp. 74-96
- [27] **Arnold AE, Mejia LC., Kylo D., Rojas EL., Maynard Z., Robbins N., Herre EA. (2003).** Fungal endophytes limit pathogen damage in a tropical tree. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* 100: 15649–15654.
- [28] **Arturo Sanchez-Azofeifa., Yumi Oki., G. Wilson Fernandes., Ronald Aaron Ball & John Gamon.(2012).** Relationships between endophyte diversity and leaf optical properties. *Trees* (2012) 26:291-299 DOI 10.1007/s00468-011-0591-5
- [29] **Bouabdelli Z. , Belhadj S. et Smail-Sadoun .(2015).** Contribution à l'étude des champignons mycorhiziens chez le pistachier de l'Atlas en milieu aride, Wilaya de Djelfa ElWahat pour les Recherches et les Etudes Vol.8 n°2 : 90 - 98
- [30] **Arnold AE., Lutzoni F .(2007).** Diversity and host range of foliar fungal endophytes: are tropical leaves biodiversity hotspots? *Ecology* 88:541–549
- [31] **Zhiqian Cai ., Xiaobo Wang ., Sreetama Bhadra ., Qi Gao.(2019).** Distinct factors drive the assembly of quinoa-associated microbiomes along elevation. *Plant* 104-019-04387-1
- [32] **I.P. Thomson ., M.J. Bailey ., J.S. Fenlon ., T.R. Farmor ., A.K. Lilly ., J.M. Lynch ., P.J. McCormack ., M.P. Mcquilen ., K.J. Purdy ., P.B. Rainey and J.M. Whipps. (1993).** Quantitative and qualitative seasonal changes in the microbial community from the phyllosphere of sugar beet (*Beta vulgaris*) *Plant and Soil* 150: 177-191
- [33] **J. Peñuelas., L. Rico, R. Ogaya., A. S. Jump., J. Terradas.(2012).** Summer season and long-term drought increase the richness of bacteria and fungi in the foliar phyllosphere of *Quercus ilex* in a mixed Mediterranean forest. *plant biology* 14: 565-575