



الجمهورية الجزائرية الشعبية الديمقراطية  
PEOPLE'S DEMOCRATIC REPUBLIC OF  
ALGERIA  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
MINISTRY OF HIGHER EDUCATION AND  
SCIENTIFIC RESEARCH



جامعة زيان عاشور-الجلفة-  
ZIANE ACHOUR UNIVERSITY OF DJELFA  
كلية علوم الطبيعة والحياة  
FACULTY OF SCIENCE OF NATURE AND LIFE  
قسم العلوم الفلاحية والبيطرية  
DEPARTMENT OF AGRONOMIC AND VETERINARY SCIENCES

## THESIS

FOR THE OBTAINING OF THE DEGREE  
THIRD CYCLE DOCTORATE (D-LMD) IN AGRONOMIC SCIENCES  
OPTION: FOREST ECOLOGY

BY  
BOUABDELLI Zahra

Theme

**STUDY OF MYCORRHIZES OF SPECIES OF THE GENUS  
*PISTACIA*, BASED ON EDAPHO-CLIMATIC CONDITIONS  
IN ALGERIA**

Devant le jury composé de :

M. DAHIA Mostefa	MCA (Univ. Djelfa)	President
M <sup>me</sup> BELHADJ Safia	Professor (Univ. Djelfa)	Promoter
M <sup>me</sup> SMAIL SAADOUN Noria	Professor (Univ. UMMTO)	Co-promoter
M. OUINTEN Mohamed	Professor (Univ. Laghouat)	Examiner
M <sup>me</sup> NAIT KACI BOUDIAF Malika	MCA (Univ. UMMTO)	Examiner
M. GUIT Ibrahim	MCA (Univ. Djelfa)	Examiner

Supported : 21/03/2019



الجمهورية الجزائرية الشعبية الديمقراطية  
RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET  
POPULAIRE  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



جامعة زيان عاشور-الجلفة-  
UNIVERSITE ZIANE ACHOUR -DJELFA-  
كلية علوم الطبيعة والحياة  
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE  
قسم العلوم الفلاحية والبيطرية  
DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES ET VÉTÉRINAIRES

## THESE

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE  
DOCTORAT DE TROISIÈME CYCLE (D-LMD) EN SCIENCES AGRONOMIQUES  
OPTION : ECOLOGIE FORESTIÈRE

Par  
BOUABDELLI Zahra

### Thème

ETUDE DES MYCORHIZES DES ESPÈCES DU GENRE *PISTACIA*, EN  
FONCTION DES CONDITIONS EDAPHO-CLIMATIQUES, EN ALGÈRE

Devant le jury composé de :

M. DAHIA Mostefa	MCA (Univ. Djelfa)	Président
M <sup>me</sup> BELHADJ Safia	Professeur (Univ. Djelfa)	Promotrice
M <sup>me</sup> SMAIL SAADOUN Noria	Professeur (Univ. UMMTO)	Co-promotrice
M. OUINTEN Mohamed	Professeur (Univ. Laghouat)	Examineur
M <sup>me</sup> NAIT KACI BOUDIAF Malika	MCA (Univ. UMMTO)	Examinatrice
M. GUIT Ibrahim	MCA (Univ. Djelfa)	Examineur

Soutenu le 21/03/2019

## Résumé

L'étude de l'association symbiotique a été effectuée sur quatre espèces du genre *Pistacia*, *P. atlantica*, *P. terebinthus*, *P. lentiscus* et *P. vera* échantillonnées de différents étages bioclimatiques en Algérie. Dans ce présent travail, nous nous sommes proposés d'évaluer le taux de l'infection mycorhizienne exprimée par quatre paramètres (fréquence de l'infection, intensité de colonisation, teneur arbusculaire et teneur vésiculaire) en fonction des saisons et des sites d'échantillonnage, afin de mieux cerner les conditions de l'établissement de la symbiose chez ces espèces. Les propriétés physico-chimiques (pH, conductivité électrique, matière organique et calcaire total) des sols ont été déterminées pour les différents sites d'échantillonnage. Des spores de champignons récoltées dans la rhizosphère de l'espèce étudiée ont fait l'objet d'une identification morphologique afin de mesurer la diversité des espèces de champignons mycorhiziens. Les examens microscopiques des racines ont révélé la présence de structures fongiques appartenant aux champignons mycorhiziens de type endomycorhize (CMA). L'estimation de taux de colonisation montre une fréquence de l'infection F (%) pouvant aller jusqu'à 100%, celle-ci est très élevée au printemps et en bioclimat aride, caractérisé par des sols alcalins, pauvres en matière organique avec des taux relativement faibles en carbonates de calcium. Un total de 19 espèces de champignons mycorhiziens a été isolé. Cet ensemble est dominé par deux familles (Gigasporaceae et Glomeraceae) et le genre *Gigaspora*. L'analyse de la variance (facteur bioclimat et l'interaction bioclimat x saison) montre une différence très significative pour la fréquence de mycorhization et hautement significative pour les variables du sol.

**Mots clés :** Algérie, *Pistacia*, CMA, étage bioclimatique, saisons, sol, spore.

## **Abstract**

The study of the symbiotic association was carried out on four species of the genus *Pistacia*, *P. atlantica*, *P. terebinthus*, *P. lentiscus* and *P. vera* located on different bioclimatic areas in Algeria. In this work, we proposed to evaluate the rate of mycorrhizal infection expressed by four parameters (frequency of infection, intensity of colonization, arbuscular content and vesicular content) in four seasons and several sampling sites, in order to better identify the conditions for the symbiosis establishment in these species. The physico-chemical properties (pH, electrical conductivity, organic matter and total calcareous) of the soils were determined for the different sampling sites. Spores of fungi harvested in the rhizospheric area of the studied species were morphologically identified to measure the diversity of mycorrhizal fungi species. Microscopic examination of the roots revealed the presence of fungal structures belonging to endomycorrhizal fungi (AMF). The colonization rate estimate shows a frequency of infection, F (%) up to 100%, which was higher in spring time and in arid bioclimate which is characterized by alkaline soils, low in organic matter with relatively low rates in calcium carbonates. A total of 19 species of mycorrhizal fungi have been isolated. This set is dominated by two families (Gigasporaceae and Glomeraceae) and the genus Gigaspora. Analysis of Variance (bioclimate factor and bioclimate x season interaction) shows a very significant difference for mycorrhization frequency and highly significant for soil variables.

**Key words:** Algeria, *Pistacia*, CMA, bioclimatic areas, seasons, soil, spore.

## الملخص

-تم إجراء دراسة علاقة تكافلية على أربعة أنواع من : البطم، البطيش ، الطرو و الفستق، تقع في مختلف مناطق مناخية في الجزائر. في هذا العمل الحالي، اقترحنا تقييم معدل الإصابة بالمايكرايزا التي عبرت عنها أربع معايير (تواتر الإصابة، كثافة الاستعمار، محتوى الشجرات ومحتوى الحويصلات) في أربعة فصول و عدة مناطق، لتحديد شروط إقامة التكافل في هذه الأنواع. تم تحديد الخصائص الفيزيائية والكيميائية (درجة الحموضة والتوصيل الكهربائي والمواد العضوية والحجر الكلسي الكلي) للتربة في مواقع أخذ العينات المختلفة. تم تحديد أبواغ الفطر التي توجد في محيط الجذور من الأنواع المدروسة لقياس تنوع الفطريات. كشف الفحص المجهرى للجذور وجود اشكال فطرية التي تنتمي إلى فطريات إنديماكرايزا. تقدير معدل الاستعمار يظهر معدل الإصابة تواتر الإصابة إلى 100٪. وأنها عالية جدا في الربيع و في مناطق مناخية القاحلة التي تتميز بتربة قاعدية، وبمواد عضوية قليلة مع معدلات منخفضة نسبيا في كربونات الكالسيوم. تم عزل ما مجموعه 19 نوعا من الفطريات وتهيمن على هذه المجموعة اثنين من الأسر (جيجاسبوراسي و غلوميراسي) والجنس جيجاسبورورا. تحليل التباين (عامل مناخية والتفاعل مناخيةXالموسم) يظهر اختلاف كبير جدا في وتيرة المعايشة الفطرية الجذرية وهامة للغاية بالنسبة للمتغيرات التربة، ولم يلاحظ تأثير الموسم.

**الكلمات الدالة:** الجزائر، بيستاسيا، إندوماكرايزا، مناطق مناخية ، المواسم، التربة، بوغ..

## Remerciements

Mes remerciements sont d'abord destinés à "Dieu" de m'avoir donné le courage, la force et la patience de faire ce travail et de continuer pour voir le fruit de ma longue période de recherche.

Je tiens à exprimer ma grande reconnaissance à ma directrice de thèse Madame **BELHADJ SAFIA**, professeur à l'université de ZIANE Achour à Djelfa qui a bien voulu diriger ce travail. Je la remercie infiniment d'avoir été toujours disponible, compréhensive, tout au long de ce travail.

Je remercie infiniment ma Co-promotrice de thèse Madame **SMAIL-SAADOUN Noria**, professeur à l'université de Mouloud Maamri à Tizi-Ouzou, de m'avoir accueillie dans son laboratoire, je tiens à la remercier vivement de m'avoir initiée aux méthodes de base utilisées dans ma thèse.

Je voudrais également adresser ma profonde reconnaissance aux membres de jury pour avoir accepté de consacrer leurs temps pour examiner ce modeste travail :

- ✓ A Monsieur **DAHIA Mostefa**, Maitre de Conférences à l'université ZIANE-Achour de Djelfa, d'avoir accepté de présider ce jury ;
- ✓ A Monsieur **QUINTEN Mohamed**, professeur à l'université de Laghouat, Madame **Nait Kaci Boudiaf Malika**, Maitre de Conférences à l'université Mouloud-Maamri de Tizi-Ouzou et Monsieur **GUIT Brahim**, Maitre de Conférences à l'université ZIANE-Achour de Djelfa, d'avoir accepté d'évaluer ce travail de thèse.

Mes vifs remerciements vont également au Professeur **ORTAS Ibrahim**, enseignant à la Faculté d'Agriculture de l'Université de Cukurova à Adana en Turquie et son équipe **ABDELMALEK Ibrahim** et **RAFIK Mazhar** de m'avoir accueillie dans son laboratoire et initiée aux techniques d'identification des espèces de CMA.

Je remercie également toute l'équipe de la conservation des forêts de Djelfa et l'équipe du laboratoire de l'université qui n'ont ménagé aucun effort pour me permettre la réalisation de mon travail sur le terrain et au laboratoire.

## **Dédicaces**

Je dédie ce modeste travail à :

Mes parents qui ont suivi avec attention et un grand intérêt,

Mon frère, Mes sœurs, que la solidarité que nous cultivons ne s'estompe jamais,

Toute la famille Bouabdelli,

Touts les étudiants de ma promotion et à tous mes amis(es).

---

# Liste des figures

---

## LISTE DES FIGURES

### Chapitre I : Description de la symbiose mycorhizienne

<b>Figure 01 :</b> Anatomie de la racine .....	5
<b>Figure 02 :</b> Structure primaire des racines.....	6
<b>Figure 03 :</b> Apparement des différentes lignées de champignons, découlant de l'analyse de la structure génétique d'un échantillon d'espèce par séquençage de l'ADN de certains gènes.....	8
<b>Figure 04 :</b> Echanges de nutriments dans les symbioses mycorhiziennes.....	9
<b>Figure 05 :</b> Allure des différentes ectomycorhize .....	11
<b>Figure 06:</b> Arbuscule de <i>Glomus</i> sp.....	12
<b>Figure 07:</b> Morphologies des arbuscules.....	14
<b>Figure 08:</b> Phylogénie des Gloméromycètes (d'après Parniske, 2008). Arbre phylo génétique des 4 ordres de Gloméromycète.....	15
<b>Figure 09:</b> Classification des CMA selon Schüßler et <i>al.</i> (2001) avec corrections de Oehl et Sieverding (2004), Walker et Schüßler (2004), Sieverding et Oehl (2006), Spain et <i>al.</i> (2006), Walker et <i>al.</i> (2007a, b) et Palenzuela et <i>al.</i> (2008) .....	17
<b>Figure 10 :</b> Les différentes étapes de l'établissement de CMA.....	20
<b>Figure 11:</b> Dark septate endophytes, (dh) hyphes d'endophytes foncés septés, (S) hyphes septées.....	25

### Chapitre II : Présentation des espèces étudiées

<b>Figure 12:</b> Répartition géographique du genre <i>Pistacia</i> .....	29
<b>Figure 13:</b> Aire de répartition de <i>Pistacia atlantica</i> Desf. dans le monde.....	33
<b>Figure 14:</b> Aire de répartition de <i>Pistacia terebinthus</i> dans le monde.....	34
<b>Figure 15:</b> Aire de répartition de <i>Pistacia lentiscus</i> dans le monde. Noir ; <i>P. lentiscus</i> subsp. <i>emarginata</i> . Vert ; <i>P. lentiscus</i> subsp. <i>lentiscus</i> .....	35

### Chapitre III : Etude du milieu

<b>Figure 16:</b> Situation de la zone d'étude. ....	43
<b>Figure 17:</b> Situation géographique de la wilaya de Médéa avec les stations d'étude.....	45
<b>Figure 18:</b> Situation géographique de la wilaya de Djelfa avec la station d'étude.....	47
<b>Figure 19:</b> Situation géographique de la wilaya de M'sila avec la station d'étude.....	51
<b>Figure 20:</b> Situation géographique de la wilaya de Biskra avec les stations d'étude.....	52
<b>Figure 21:</b> Moyennes mensuelles des températures de la région de Médéa (A), Djelfa (B), M'sila (C) et Biskra (D).....	58
<b>Figure 22:</b> Les diagrammes Ombro-thermiques des stations étudiées : Médéa (A), Djelfa (B), M'sila (C) et Biskra (D).....	70
<b>Figure 23:</b> Les diagrammes Ombro-thermiques des sites étudiés : Sidi-Naamane (A), Djebel-Misaad (B), Senalba(C), Guetia(D), ITMA(E) El-Merguïb(F) Messaad(G) Ain-Ouessara(H) et Sidi-Khaled(I) .....	71

### Chapitre IV : Méthodologie

<b>Figure 24 :</b> Echantillonnage des racines avec le sol rhizosphérique sous les pieds de <i>P. atlantica</i> : A (station de Sidi-Khaled), B (station d' Ain-Ouessara).....	75
<b>Figure 25 :</b> Barème de classe de la colonisation endomycorhizienne .....	79
<b>Figure 26:</b> Triangle des textures minérales .....	81

### Chapitre V : Résultats et discussion

<b>Figure 27:</b> Photographies numériques de fragments racinaires observés à la loupe binoculaire et au microscope électronique à balayage (MEB). <b>A</b> -Ramifications (Rm) d'une racine (R) fine observée sous loupe binoculaire (Station de Sidi-Khaled, été). <b>B-I :</b>	
---	--

Micrographies numériques des fragments racinaires observés au microscope électronique à balayage (MEB). **B**- Hyphes extra-racinaires (HE) enchevêtrées apparaissant d'une rupture d'un fragment racinaire (Station de Guetia, été), **C**- Hyphe (H) dont les deux extrémités émanent de la racine (Station de Ain-Ouessara, été), **D**-Hyphes (H1, H2) de différents diamètres (Station de Messaàd, été), **E**-Hyphe extra-racinaire tapissant la surface racinaire (Station de Sidi-Khaled, automne), **F**- Hyphes colonisant toute la surface d'une racine (Station de Sidi-Naamane, automne), **G**-Ramification simple d'une racine (Station de Messaàd, automne), **H**- Poils absorbants d'une racine (Station de Ain-Ouessara, printemps), **I**- Hyphe extra-racinaire émanant d'une racine (Station de Goutia, printemps).....84

**Figure 28** : Morphologie des racines de *Pistacia terebinthus* (Station Goutia, printemps) ; **A** et **B** mycorhize simple (MS) avec des poils absorbants (PA), **C** et **D**-mycorhize coralloïdes ou dichotomique (MD), **E** et **F**-manteau fongique. L.B.GrX50.....85

**Figure 29** : Etapes de la colonisation d'un champignon symbiotique de la racine de pistachier de l'Atlas (Station de Ain-Ouessara, été) ; **A**-Germination d'une spore (S). LB.GrX40,5 . **B** et **C**-Développement d'un hyphe (H) qui s'attache aux cellules de parenchyme cortical (PC). LB.GrX40,5. **D**-Formation d'un appressorium (A). M.P.GrX40.....85

**Figure 30** : Structures fongiques des champignons symbiotiques dans les racines de *Pistacia atlantica* ; **A** et **F**- cellules du parenchyme cortical mycorhizé (CPC) et non mycorhizé (CPCV), **B** et **E**- les hyphes des champignons endomycorhiziens (H), **C**, **D** et **G**- Cylindre central des racines mycorhizées (CC) avec des ramifications latérales (RL), **H**- Structures inconnues (SI), **I**- Arbuscules (Ar). M.P.GrX40. Barre 40µm. A et B, station de Ain-Ouessara été et printemps ; C, station de Sidi-Khaled, automne ; D, station de Gutia, été ; E et F, Station de Sidi-Naamane, printemps et été ; G, station de Messaàd, été ; H, station de Senelba, printemps ; I, station de Guetia, été. ....87

**Figure 31** : Hypes des champignons symbiotiques dans les racines du *Pistacia atlantica* (A-H) et *P. terebinthus* (I); **A** et **H** : hyphe intracellulaire (HI) formant des pelotons (P),

**B, C, E et I-** hyphes intercellulaire (HE) de diamètre grand (HEG) et fin (HEF), **D et G-** hyphes de ramifiés de plusieurs formes, de forme V (HIRV) et de forme O (HIO). M.P.GrX40. Barre 40µm. A et B (station de Guetia, automne et été), C et D (station de Sidi-Naamane, été et printemps), E et F (Station de Messaàd, été), G (station de Sidi-Khaled, printemps), H (station de Senelba, automne), I (station de Goutia, été).....90

**Figure 32 :** Vésicules intracellulaires des champignons symbiotiques dans les racines du *Pistacia atlantica* ; **A et I-** des vésicules intracellulaires (V) distribuées dans les cellules de parenchyme corticale (PC). M.P.GrX40. A et B (station Sidi-Naamane, été), C et D (station de Messaàd, automne et été), E et F (Station de Ain-Ouessara, été et printemps), G et H (station de Guetia, été) , I (station de Senalba, automne).....91

**Figure 33 :** Vésicules extracellulaires des champignons symbiotiques dans les racines du *Pistacia atlantica*; **A et L-**des vésicules extracellulaires (VE) de plusieurs formes ovale (VEO), rond (VER) et irrégulières (VEI), séparés ou attachés avec un hyphes (H), de couleur foncé (VEF) ou claire (VEC). M.P.GrX40. A-E (station Ain-Ouessara, été), F (station de Goutia, été), G (Station de Sidi-Naamane, automne), H (station de Messaàd, automne), I (station de Sidi-Khaled), J-L (station de Senalba, été et printemps).....92

**Figure 34 :** Arbuscules des champignons symbiotiques dans les racines de *P. atlantica* (A-G) et de *P. terebinthus* (**H et I**) ;**A, F, G, H et I-**type Arum A (AA), **C et D-**type Arum B (AB), **B-** type Paris (P),**B et E-**deux types dans un même fragment racinaire. M.P.GrX40. A (station de Aïn-Ouessara , été), **B et C** (Station de Goutaia, été), **D et E** (station de Sidi-Naamane , automne), **F** (station de Messaàd, été), **G** (Station de Sidi-Khaled, printemps), **H et I** (station de Senalba, automne).....93

**Figure 35 :** Structures fongiques observées chez les quatre espèces du genre *Pistacia* ; **A-E :** vésicules (V) intra et extracellulaires de *P. atlantica* (A), *P. terebinthus* (B et C), *P. lentiscus* (D) et *P. vera* (E), **F-H :** arbuscules (A) de *P. atlantica* (F et H) et *P. vera* (G) avec des sclérotés (S) des endophytes , **I :** hyphes des endophytes autour du

cylindre central (CC) de la racine chez *P. terebinthus*.(CC) de la racine chez le *P. terebinthus*.....94

**Figure 36 :** Structures des endophytes dans les racines de *P. atlantica* (A-G) et de *P.terebinthus* (H et I) ; A,C et F-hyphes mélanisées et cloisonnées (HMS),G-Microsclérotés (SC) mélanisées, B, D et E- Spores des endophytes (SE) dans le parenchyme cortical de la racine (PCR),H-I- Hyphes (H) très fines des endophytes chez *P. terebinthus*.H- station de Senalba,I- station de Goutaia.M.P.GrX40.Barre 40µm. Figure A-E (station de Messaàd, printemps), F (station de Sidi-Khaled, printemps), G (Station de Aïn-Ouessara , été), H (station de Goutaia, printemps ), I (station de Senalba, printemps).....95

**Figure 37 :** Histogrammes de la variation des paramètres de mycorhization la chez le *P. atlantica*, dans les deux stations (A) et les trois saisons (B). N: Sidi-Naaman, G: Guetia, A: Ain-Ouassara, M: Messaàd, K: Sidi-Khaled. E: été, A: automne, P: printemps.<sup>a, b et c</sup>: séparation des groupes des populations par le test de Fisher ( $\alpha < 0,05$ ), les valeurs ayant les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes.....99

**Figure 38:** Histogrammes de la variation des paramètres de mycorhization chez *P. terebinthus*, pour les deux stations (A) et les trois saisons (B). S (Senalba) et T (Goutaia).E: été, A: automne, P: printemps.<sup>a, b et c</sup>: séparation des groupes des populations par le test de Fisher ( $\alpha < 0,05$ ), les valeurs ayant les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes.....102

**Figure 39:** Histogrammes de la variation des paramètres de mycorhization chez les quatre espèces du genre *Pistacia*, pour les quatre espèces (A) et les deux saisons (B).H: hiver, P: printemps.<sup>a, b et c</sup>: séparation des groupes des populations par le test de Fisher ( $\alpha < 0,05$ ), les valeurs ayant les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes.....104

**Figure 40:** Spores de différentes espèces de CMA isolées de la rhizosphère sous *P. atlantica* ; a-e: *Glomus* sp., f: *Funneliformus mosseae*, g-i: *Acaulospora* sp. (*Acaulosporasp1*, *Acaulospora* sp2., *Acaulospora laevis*), j-k : *Scutellospora* sp. (*Scutellospora* sp1, *Scutellospora* sp2.) , l-*Gigaspora* sp. M.P. X400. Barre 30 µm.....108

- Figure 41:** Spores de différentes espèces de CMA isolées de la rhizosphère sous *P. terebinthus* ; **a-d:** spores isolées de la station de Goutaia, **e-f:** spores isolées de la station de Senalba. M.P. X400. Barre 30  $\mu$ m.....111
- Figure 42:** Histogrammes de la variation des paramètres de sol chez *P. atlantica*, pour les deux stations (A) et les trois saisons (B). N: Sidi-Naamane , G: Goutaia, A: Aïn-Ouessara , M: Messaàd, K: Sidi-Khaled. E: été, A: automne, P: printemps. <sup>a, b et c</sup>: séparation des groupes des populations par le test de Fisher ( $\alpha < 0,05$ ), les valeurs ayant les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes.....114
- Figure 43:** Histogrammes de la variation des paramètres de sol chez le *P. terebinthus*, dans les deux stations (A) et les trois saisons (B). S (Senelba) et T (Guetia). E: été, A: automne, P: printemps. <sup>a, b et c</sup>: séparation des groupes des populations par le test de Fisher ( $\alpha < 0,05$ ), les valeurs ayant les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes.....118
- Figure 44:** Histogrammes de la variation des paramètres de sol chez les quatre espèces du genre *Pistacia* (A) et les deux saisons (B). H: hiver, P: printemps. <sup>a, b et c</sup>: séparation des groupes des populations par le test de Fisher ( $\alpha < 0,05$ ), les valeurs ayant les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes.....120
- Figure 45:** Analyse en composante principale (ACP). **A- Cercle de corrélation des variables mesurées pour *P. atlantica***; F : fréquence de mycorhization, M : intensité de colonisation du cortex racinaire, A: teneur arbusculaire, V: teneur vésiculaire, pH : pH-eau, CE : conductivité électrique, MO : matière organique, CT: calcaire total, Alt : altitude, Q3 : quotient pluviothermique, TM: moyenne des températures maxima du mois le plus chaud en degrés Celsius, Tm : moyenne des températures minima du mois le plus froid en degrés Celsius. **B-Diagramme de dispersion des échantillons** ; N: Sidi-Naâmane , G : Goutaia, A: Aïn-Ouessara , M: Messaàd, K: Sidi-Khaled. G1 : groupe 1, G2 : groupe 2, G3 : groupe 3, G4 : groupe 4.....126
- Figure 46:** Analyse en composante principale. **A- Cercle de corrélation des variables pour *P. terebinthus*** ; F : fréquence de mycorhization, M : intensité de colonisation du cortex racinaire, A: teneur arbusculaire, V: teneur vésiculaire, pH : pH-eau, CE :

conductivité électrique, MO : matière organique, CT: calcaire total, Alt : altitude, Q3 : quotient pluviothermique, TM: moyenne des températures maxima du mois le plus chaud en degrés Celsius, Tm : moyenne des températures minima du mois le plus froid en degrés Celsius. **B-Diagramme de dispersion des échantillons** ; S : Senalba, T : Goutaia. G1 : groupe 1, G2 : groupe 2 .....128

**Figure 47:** Analyse en composante principale (ACP) des quatre espèces du genre *Pistacia*. **A-Cercle de corrélation de toutes les variables** ; F : fréquence de mycorhization, M : intensité de colonisation du cortex racinaire, A: teneur arbusculaire, V: teneur vésiculaire, pH : pH-eau, CE : conductivité électrique, MO : matière organique, CT: calcaire total, Alt : altitude, Q3 : quotient pluviothermique, TM: moyenne des températures maxima du mois le plus chaud en degrés Celsius, Tm : moyenne des températures minima du mois le plus froid en degrés Celsius. **B-Diagramme de dispersion des échantillons** ; PA: *P. atlantica*, PT : *P. terebinthus*, PL: *P. lentiscus*, PV: *P. vera*, G1 : groupe 1, G2 : groupe 2, G3, groupe 3.....131

---

# Liste des tableaux

---

## LISTE DES TABLEAUX

### Chapitre I : Description de la symbiose mycorhizienne

- Tableau 01** : Caractéristiques principales des différents types des mycorhizes.....10  
**Tableau 02** : Principaux familles et/ou genres d'arbres formant les mycorhizes à arbuscules...18

### Chapitre II : Présentation des espèces étudiées

- Tableau 03** : Synthèse, non exhaustive, des travaux réalisés sur les espèces du genre *Pistacia* dans le monde.....41  
**Tableau 04** : Synthèse, non exhaustive, des travaux réalisés sur les espèces de *Pistacia* en Algérie.....42

### Chapitre III : Etude du milieu

- Tableau 05**: Caractéristiques climatiques de la station de Médéa (1992-2015) .....53  
**Tableau 06** : Caractéristiques climatiques de la station de Djelfa (1990-2015).....53  
**Tableau 07** : Caractéristiques climatiques de la station de M'sila (2004-2013).....54  
**Tableau 08** : Caractéristiques climatiques de la station de Biskra (1991-2014) .....54  
**Tableau 09** : Régime saisonnier pour Médéa (1992-2015) .....55  
**Tableau 10** : Régime saisonnier pour Djelfa (1990-2015) .....55  
**Tableau 11**: Régime saisonnier pour M'sila (2004-2013) .....56  
**Tableau 12** : Régime saisonnier pour Biskra (1991-2014).....56  
**Tableau 13**: Moyennes mensuelles des températures (1992-2015) pour Médéa .....57  
**Tableau 14**: Moyennes mensuelles des températures (1990-2015) pour Djelfa .....57  
**Tableau 15**: Moyennes mensuelles des températures (2004-2013) pour M'sila .....57  
**Tableau 16** : Moyennes mensuelles des températures (1991-2014) pour Biskra .....57  
**Tableau 17** : Calcul du coefficient d'altitude pour le site de Sidi-Naamane à Médéa.....59  
**Tableau 18** : Données pluviométriques corrigées pour le site de Sidi-Naamane à Médéa.....59  
**Tableau 19**: Correction des températures pour le site de Sidi-Naamane à Médéa.....59  
**Tableau 20**: Calcul des coefficients correcteurs des quatre sites d'études situées à Djelfa.....60  
**Tableau 21**:Données pluviométriques corrigées pour les quatre sites d'étude situés à Djelfa....60  
**Tableau 22**: Corrections des températures pour les quatre altitudes pour Djelfa.....61

<b>Tableau 23:</b> Calcul de coefficient des deux sites d'études situées à M'sila.....	61
<b>Tableau 24:</b> Données pluviométriques corrigées pour les deux sites situés à M'sila.....	62
<b>Tableau 25:</b> Correction des températures pour les deux sites, El-Merguïb et Djebel-Misaàd situés à M'sila.....	62
<b>Tableau 26:</b> Calcul du coefficient d'altitude pour le site de Sidi-Khaled situé à Biskra.....	63
<b>Tableau 27:</b> Données pluviométriques corrigées pour le site de Sidi-Khaled situé à Biskra...	63
<b>Tableau 28:</b> Correction des températures pour le site de Sidi-Khaled situé à Biskra.....	64
<b>Tableau 29 :</b> Types de climat selon De Martone (1929).....	65
<b>Tableau 30 :</b> Types de climat selon De Martone (1929) des stations d'étude.....	65
<b>Tableau 31 :</b> Types de climat selon De Martone (1929) des sites d'étude.....	66
<b>Tableau 32:</b> Valeurs du rapport P/T pour les stations d'étude.....	66
<b>Tableau 33:</b> Régime des mois des stations d'étude selon Euverte.....	67
<b>Tableau 34:</b> Valeurs du rapport P/T pour les sites d'étude.....	67
<b>Tableau 35:</b> Régime des mois des sites d'étude selon Euverte.....	68
<b>Tableau 36:</b> Etage climatique des stations étudiées.....	74
<b>Tableau 37:</b> Détermination de l'étage bioclimatique de Sidi-Naamane.....	73
<b>Tableau 38 :</b> Détermination des étages bioclimatiques de Djelfa, Ain-Ouassara, Messaàd, Guetia et Senelba.....	73
<b>Tableau 39:</b> Détermination des étages bioclimatiques d'El-Merguïb et de Djebel-Misaàd (M'sila).....	73
<b>Tableau 40:</b> Détermination d'étages bioclimatique de Sidi-Khaled.....	73

## Chapitre V : Résultats et discussion

<b>Tableau 41:</b> les différentes structures des CMA chez les quatre espèces du genre <i>Pistacia</i> : <i>P. atlantica</i> , <i>P. terebinthus</i> , <i>P. lentiscus</i> et <i>P.vera</i> .....	89
<b>Tableau 42 :</b> Paramètres de mycorhization chez les cinq populations de <i>P. atlantica</i> .....	98
<b>Tableau 43 :</b> Résultats de l'analyse de la variance à deux facteurs pour les différents paramètres étudiés.....	100
<b>Tableau 44:</b> Paramètres de mycorhization pour <i>P. terebinthus</i> (Senelba et Guetia).....	101
<b>Tableau 45:</b> Paramètres de mycorhization pour les quatre espèces étudiées.....	105

<b>Tableau 46:</b> Espèces de CMA isolées de la rhizosphère de <i>P. atlantica</i> .....	109
<b>Tableau 47:</b> Indice de diversité de Shannon des espèces de CMA des cinq stations étudiées de <i>P. atlantica</i> sur la base du nombre des espèces (identifiées et non identifiées). .....	110
<b>Tableau 48:</b> Espèces de CMA isolées de la rhizosphère de <i>P. terebinthus</i> .....	111
<b>Tableau 49:</b> Indice de diversité de Shannon des espèces de CMA des deux stations étudiées de <i>P. terebinthus</i> sur la base du nombre des espèces (identifiées et non identifiées) de CMA.....	112
<b>Tableau 50:</b> Paramètres de l'analyse physico-chimique des sols rhizosphériques de <i>P. atlantica</i> .....	115
<b>Tableau 51:</b> Indice Analyse granulométrique des sols chez les populations étudiées de <i>P. atlantica</i> .....	115
<b>Tableau 52:</b> Résultats de l'analyse de la variance à deux facteurs pour les différents paramètres des sols étudiés pour <i>P. atlantica</i> .....	116
<b>Tableau 53:</b> Analyse granulométrique des sols chez les populations étudiées de <i>P. terebinthus</i> .....	117
<b>Tableau 54:</b> Analyse physico-chimique des sols rhizosphériques de <i>P. terebinthus</i> (Senelba et Guetia).....	117
<b>Tableau 55:</b> Paramètres de mycorhization pour les quatre espèces étudiées du genre <i>Pistacia</i> .....	121
<b>Tableau 56:</b> Matrice de corrélation de Pearson ( $p < 0,05$ ) pour l'ensemble des variables de mycorhization et des sols.....	125
<b>Tableau 57:</b> Matrice de corrélation de Pearson ( $p < 0,05$ ) pour l'ensemble des variables de mycorhization et des sols pour <i>P. terebinthus</i> .....	127
<b>Tableau 58:</b> Matrice de corrélation de Pearson ( $p < 0,05$ ) pour l'ensemble des variables de mycorhization et des sols chez les quatre espèces de <i>Pistacia</i> . .....	129

## Annexes

<b>Tableau 59:</b> Normes d'interprétation de pH. ....	157
<b>Tableau 60:</b> Normes d'interprétation de la conductivité électrique.....	157

<b>Tableau 61:</b> Normes d'interprétation du calcaire total.....	157
<b>Tableau 62:</b> ANOVA de facteur station ( <i>P. atlantica</i> ).....	158
<b>Tableau 63:</b> ANOVA de facteur saison ( <i>P. atlantica</i> ).....	158
<b>Tableau 64:</b> ANOVA de facteur station X saison ( <i>P. atlantica</i> ).....	158
<b>Tableau 65:</b> ANOVA de facteur station ( <i>P. terebinthus</i> ).....	159
<b>Tableau 66:</b> ANOVA de facteur saison ( <i>P. terebinthus</i> ).....	159
<b>Tableau 67:</b> ANOVA de facteur station X saison ( <i>P. terebinthus</i> ).....	159
<b>Tableau 68:</b> ANOVA de facteur station ( <i>P. atlantica</i> , <i>P. terebinthus</i> , <i>P. lentiscus</i> et <i>P. vera</i> ).....	160
<b>Tableau 69:</b> ANOVA de facteur saison ( <i>P. atlantica</i> , <i>P. terebinthus</i> , <i>P. lentiscus</i> et <i>P. vera</i> ).....	160
<b>Tableau 70:</b> ANOVA de facteur station X saison ( <i>P. atlantica</i> , <i>P. terebinthus</i> , <i>P. lentiscus</i> et <i>P. vera</i> ).....	160
<b>Tableau 71:</b> ACP des paramètres de mycorhization et sols chez le <i>Pistacia atlantica</i> .....	161
<b>Tableau 72:</b> ACP des paramètres de mycorhization et sols chez le <i>Pistacia terebinthus</i> .....	161
<b>Tableau 73:</b> ACP des paramètres de mycorhization et sols ( <i>P. atlantica</i> , <i>P. terebinthus</i> , <i>P. lentiscus</i> et <i>P. vera</i> ).....	162

---

# Liste des abréviations

---

## LISTE DES ABREVIATIONS

**ACP** : Analyse en Composante Principale

**ANOVA** : Analyse de Variance

**°C** : Degré Celsius

**CaCO<sub>3</sub>** : Calcaire total

**CaCO<sub>3</sub> (%)** : Taux de carbonate de calcium

**CMA**: Champignons mycorhiziens à arbuscules

**H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>** : Eau oxygénée

**INVAM**: International culture collection of arbuscular and Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal fungi

**°K** : Degré Kelvin

**M** : Moyenne des températures maximales

**m** : Moyenne des températures minimales

**M+m/2** : Moyenne des températures

**M.O (%)** : Taux de matière organique

**mm**: Millimètre

**ONM** : Office National de Météorologie

**P** : Précipitation

**pH**: Potentiel Hydrogène

**rpm**: Rotation par minute

**%** : pourcentage

**α**: seuil de signification

**µm**: Micromètre

**PVLG**: Polyvinylique-Lacto-Glycérol

# Sommaire

<b>Introduction général</b>	<b>01</b>
-----------------------------	-----------

## Chapitre I : Description de la symbiose mycorhizienne

I.1 Introduction	04
I.2 La rhizosphère et sa communauté microbienne	04
I.3 Les racines	04
I.3.1 Composition de la racine	06
I.3.2 Structure des racines	06
I.4 Quelques exemples de partenaires symbiotiques du sol (La symbiose mycorhizienne)	07
I.4.1 Définitions et concepts	07
I.4.2 Types de mycorhizes	09
I.4.2.1 Ectomycorhize	10
I.4.2.2 Endomycorhize	12
I.4.2.3 Ecto-endomycorhize	12
I.5 La symbiose mycorhizienne à arbuscules (MA)	13
I.5.1 Taxonomie actuelle des CMA	15
I.5.2 Distribution géographique	17
I.5.3 Les différents stades de développement de l'interaction	18
I.5.4 L'importance de la symbiose mycorhizienne	21
I.5.4.1 Importance des mycorhizes pour le champignon	21
I.5.4.2 Importance des mycorhizes pour la plante hôte	21
I.6 Champignons endophytes	25

## Chapitre II : Présentation des espèces étudiées

II.1 Description et taxonomie du genre <i>Pistacia</i> ...	27
II.1.1 Position systématique	27
II. 1.2 Description botanique du genre	28
II. 1.3 Aire de répartition du genre <i>Pistacia</i>	29
II. 2.Caractéristiques botaniques et écologiques des espèces étudiées	30
II. 2.1 <i>Pistacia atlantica</i>	30
II. 2.2 <i>Pistacia terebinthus</i>	34
II. 3.3 <i>Pistacia lentiscus</i> L.	36
II. 2.4 <i>Pistacia vera</i> L.	38
II.3 Principaux rôles et utilisations de ces espèces	40
II.4 Synthèse des travaux réalisés pour les espèces étudiées	43

## Chapitre III : Etude du milieu

III.1 Description de la zone d'étude	43
III.2 Présentation de la zone d'étude	44
III.2.1 Station de Médéa	44
III.2.2.1 Sidi-Naamane	45
III.2.2 Stations de Djelfa	46
III.2.2.1 Ain-Ouessara	47
III.2.2.2 Messaàd	47
III.2.2.3 Forêt de Goutia	48
III.2.2.4 Forêt de Senalba	48
III.2.2.5 ITMA	49
III.2.3 Stations de M'sila	49
III.2.3.1 El-Mergueb	49
III.2.3.2 Djebel-Misaàd	50
III.2.4 Stations de Biskra	51
III.2.4.1 Sidi-Khaled	52
III.3 Etude climatique des zones d'échantillonnage	52
III.3.1 Paramètres climatiques	53
III.3.1.1 La pluviométrie et le régime saisonnier des stations	54
III.3.1.2 Les températures	56
III.3.2 Application des corrections pour les températures et la pluviométrie	58
III.3.3 Les indices climatiques des stations d'étude	64
III.3.3.1 Indice de De MARTONE	64
III.3.3.1.1 Bioclimats des stations d'étude	65
III.3.3.1.2 Bioclimats des sites d'étude	65
III.3.3.2 Détermination de l'humidité du sol par la méthode d'Euverte	66
III.3.3.2.1 Stations d'étude	66
III.3.3.2.2 Sites d'étude	67
III.3.4 Diagramme Ombro-thermique	69
III.3.5 Quotient pluviothermique et Climagramme d'Emberger	72
III.4 Conclusion	74

## Chapitre IV : Méthodologie

IV.1 Echantillonnage	75
IV.2 Etude des CMA	76
IV.2.1 Observations des fragments racinaires au MEB	76
IV.2.2 Coloration des racines mycorhizées	76
IV.2.3 Estimation de la colonisation racinaire	78
IV.2.4 Séparation et identification des spores	79

IV.3 Analyses physico-chimiques des sols	80
IV.4 Traitements Statistiques	82

## Chapitre V : Résultats et Discussion

V.1 Description des structures fongiques des champignons endomycorhiziens à arbuscules	83
V.1.1 Observations microscopiques des fragments racinaires au MEB	83
V.1.2 Observations microscopiques des étapes de colonisation racinaire chez <i>P. atlantica</i>	83
V.1.3 Observations microscopiques des écrasements racinaires chez <i>P. atlantica</i> , <i>P. terebinthus</i> , <i>P. lentiscus</i> et <i>P. vera</i>	88
V.1.3.1 Champignons endomycorhiziens à arbuscules (CMA)	88
V.1.3.2 Les endophytes	95
V.1.4 Discussion	96
V.1.5 Conclusion	97
V.2. Estimation du taux de colonisation racinaire par les CMA des espèces étudiées	97
V.2.1. Taux de mycorhization	97
V.2.1.1 <i>Pistacia atlantica</i>	97
V.2.1.2 <i>Pistacia terebinthus</i>	100
V.2.1.3 Etude comparative entre les quatre espèces étudiées	103
V.2.2 Discussion	105
V.2.3 Conclusion	107
V.3 Diversité des champignons endomycorhiziens de <i>P. atlantica</i> et de <i>P. terebinthus</i>	107
V.3.1 Identification morphologique des spores des CMA	107
V.3.1.1 Identification des CMA de <i>P. atlantica</i>	107
V.3.1.2 Identification des CMA de <i>P. terebinthus</i>	110
V.3.2 Discussion	112
V.3.3 Conclusion	113
V.4 Analyse physico-chimiques des sols	113
V.4.1 <i>P. atlantica</i>	113
V.4.2 <i>P. terebinthus</i>	116
V.4.3 Etude comparative entre les quatre espèces	119
V.4.4 Discussion	121
V.4.5 Conclusion	124
V.5 Analyses multivariées	124
<b>Conclusion générale et perspective</b>	<b>132</b>
<b>Références bibliographiques</b>	<b>134</b>
<b>Annexe</b>	<b>157</b>

---

# **Introduction générale**

---

## Introduction générale

L'installation et le développement des espèces du cortège floristique au sein de l'écosystème dépendent des interactions qui se produisent entre celles-ci et de leur concurrence spatio-temporelle vis-à-vis des ressources limitées du sol. Les interactions avec les différents groupes d'organismes qui constituent la biocénose peuvent favoriser l'établissement de certaines espèces de plantes et/ou leur développement postérieur selon divers processus (Bever et *al.*, 1997). Dans les écosystèmes arides, ces espèces sont propices à une contrainte hydrique et nutritive, ce qui les amène à développer des mécanismes uniques telles que les associations symbiotiques, qui réduisent ces stress, améliorent la nutrition et la survie (Barrow et Aaltonen, 2001) et favorisent les stratégies de la conservation de l'eau chez la plante (Malinowski et Belesky, 2000 ; Kannadan et Rudgers, 2008).

Les associations symbiotiques entre les champignons et les racines du genre *Pistacia* est un sujet de recherche mal développé, vu la spécificité de la symbiose et du monde souterrain où elle s'établit car les connaissances sur la biodiversité de ces champignons et leur identification restent limitées et laborieuses. Les champignons mycorhiziens sont présents dans la majorité des écosystèmes terrestres et associés à plus de 90% des espèces végétales terrestres (Van der Heijden et *al.*, 1998). Ces microorganismes symbiotiques sont considérés comme un groupe « microbien » "clés" dans le fonctionnement des écosystèmes terrestres en particulier pour leur capacité à promouvoir le développement des plantes dans des milieux dégradés. Au sein de ce groupe de champignons existe un type de taille microscopique et à habitat commun de la majorité des sols, ce sont les champignons mycorhiziens arbusculaires (CMA). Ces entités fongiques établissent une symbiose mutualistique avec la majorité des plantes terrestres allant des Bryophytes jusqu'aux Angiospermes en leur permettant d'acquérir une surface d'absorption racinaire plus grande grâce à la prolifération de leurs hyphes. Les champignons mycorhiziens à leur tour reçoivent les carbohydrates issus de la photosynthèse de la plante, indispensables pour leurs processus métaboliques. C'est ainsi que ces champignons sont appelés "symbiotes obligatoires"(Boullard, 1990 ; Demars et Broener, 1995).

Dans cette étude, quatre espèces sont mises en avant, *P. atlantica*, *P. terebinthus*, *P. lentiscus* et *P. vera* ; celles-ci occupent différents types de paysages, tels que des dayas, des forêts et des vergers. Ces espèces appartiennent au genre *Pistacia* (famille des Anacardiacees)

qui regroupe une quinzaine d'espèces sous forme d'arbres ou d'arbustes à feuilles composées pennées, persistantes ou caduques et à folioles entières et glabres (Quézel et Santa, 1963).

En Algérie, depuis près de quatre décennies, de nombreux travaux effectués ont mis en relief une dégradation progressive de la couverture végétale de la steppe et du sol. Comme conséquence directe de cette situation, une désertification du milieu s'installe et se développe. D'énormes potentialités en termes de ressources naturelles risquent d'être irréversiblement compromises par l'évolution du climat et les mutations sociales et des activités socioéconomiques dans le milieu steppique qui s'étend sur une superficie de 20 millions d'hectares (Djebaili, 1984). La progression de ce phénomène nécessite des interventions à grande échelle, des stratégies bien approfondies et des études sérieuses, parmi les solutions adoptées par plusieurs pays, c'est l'intégration des micro-organismes du sol pour corriger les problèmes liés aux sols comme les champignons mycorhiziens. Cette symbiose ne se limite pas aux deux partenaires, mais concerne aussi l'intégrité de l'écosystème puisqu'elle améliore la qualité du sol (Caravaca et al., 2002), la diversité et la productivité du couvert végétal (Van der Heijden et al., 1998), ainsi que l'établissement d'autres microorganismes bénéfiques, comme les Rhizobactéries promotrices de la Croissance des Plantes (PGPR) (Herrera et al., 1993 ; Barea et al., 2002 ; Marschner et Timonen, 2006 ; Saxena et al., 2006).

Dans notre pays, l'étude de la biodiversité des champignons mycorhiziens reste le parent pauvre de l'écologie microbienne, plusieurs travaux ont été effectués sur des espèces appartenant aux genres telles que les études de Fraga-Beddiar et Le Tacon (1990) et Beddiar et al. (2010) sur *Alnus glutinosa* L. Gaertn, Adjoud-Sadadou et Halli-Hargas (2000) sur *Eucalyptus* sp. L'Hér, Fraga-Beddiar et Abda (2002) sur *Quercus suber* L., Meddad-Hamza et al. (2010) sur *Olea europaea* L. et enfin Bencherif et al. (2015) sur *Tamarix articulata*, mais aucune étude ne s'est focalisée sur le système racinaire et les symbiotes associés de nos espèces, malgré le fait reconnu aux champignons mycorhiziens arbusculaires (CMA) dans l'augmentation de la résistance des arbres aux stress abiotiques. C'est dans ce cadre que nous avons entrepris l'étude de ces Champignons, pour cela une série de questions est proposée afin de lever le voile sur le comportement éco-physiologique de cette association:

- i) De quel type d'association s'agit-il? Existe t-il une différence concernant le type d'association entre les quatre espèces étudiées?

- ii) Existe t-il une bonne affinité, entre ces champignons et les racines de nos espèces, exprimée par l'estimation du taux de l'infection mycorhizienne?
- iii) Existe t-il de différence significative du taux de colonisation entre les saisons (Facteur saison), les stations pour la même espèce (facteur bioclimat) et les quatre espèces étudiées (Facteur espèce) ?
- iv) Existe t-il de corrélation significative entre les paramètres de colonisation et les différents paramètres édaphiques et climatiques ?

Les objectifs de ce travail de recherche sont donc les réponses à ces questions, et l'évaluation de la dynamique des CMA par l'étude de leur variation spatio-temporelle au sein de plusieurs populations naturelles évoluant dans différentes conditions environnementales : saisonnalité, bioclimat avec différentes variantes climatiques et édaphiques. Ce travail permet, aussi, d'apporter les premiers éléments de réponse sur le comportement adaptatif de l'environnement racinaire de ces espèces, face aux variations climatiques des milieux où elles s'établissent. Ces résultats peuvent contribuer à mieux connaître les populations des pistachiers à envisager dans le cadre du reboisement du barrage vert ainsi que l'installation de nouveaux vergers notamment dans les zones du semi-aride et l'aride. Les souches performantes de CMA identifiées et isolées pourront servir à la mycorhization contrôlée, en pépinière, des jeunes pistachiers destinés aux reboisements et aux plantations.

Cette thèse est scindée en cinq grands chapitres, après une introduction générale incluant les objectifs, sous-tendant la présente étude, il y a :

- Un premier chapitre dans lequel une « Description de la symbiose mycorhizienne : sa structure, son écologie, sa diversité et son rôle », est exposée ;
- Un Chapitre II, où la « Présentation des espèces étudiées », est mise en avant ;
- Un Chapitre III, qui décrit l' « Etude du milieu » ;
- Un Chapitre IV, qui reporte la « Méthodologie » adoptée ;
- et un dernier Chapitre V, dans lequel nous exposons les « Résultats et discussion » obtenus dans le cadre de ce travail de recherche.

La conclusion de cette thèse mettra en relief les relations existantes entre les différents paramètres étudiés. Ceci permettra de faire des suggestions et des recommandations sur la valorisation de ce genre en Algérie.

---

# **Chapitre I :**

## **Description de la symbiose mycorhizienne**

---

### I.1 Introduction

Les racines, organes souterrains des plantes, sont souvent oubliées lors de l'étude des végétaux. Elles jouent pourtant des rôles centraux dans le développement et la vie de ces organismes. Tout d'abord elles encrent les plantes dans leur substrat, les fixant de façon définitive à un endroit donné. Cette immobilité oblige les plantes à faire preuve d'une étonnante capacité de plasticité et d'adaptation face aux perturbations environnementales (Balzergue, 2012). Les racines jouent un rôle majeur dans l'absorption de l'eau et des minéraux nutritifs essentiels à la croissance et constituent parfois un organe de réserve pour l'organisme. Elles sont des sites de synthèses où certaines phytohormones (comme la cytokinine), sont synthétisées et exportées vers les autres organes de la plante. Les racines (ainsi que les microorganismes associés) produisent, également des composés sécrétés dans l'environnement agissant sur la dégradation ou la formation de matière, participant, ainsi, au (re)modelage du sol (Luttge et *al.*, 1992).

### I.2 La rhizosphère et sa communauté microbienne

Le terme de *rhizosphère* fut utilisé pour la première fois par Lorenz Hiltner, en 1904. Provenant du grec « rhiza » signifiant racine et de « sphere/sphaera » signifiant cercle d'influence. La rhizosphère représente donc le champ d'influence du système racinaire, elle comprend l'ensemble des racines ainsi que la zone de sol proche influencée par ces racines, soit via des exsudats racinaires, soit via des micro-organismes interagissant avec les dernières (Badri et *al.*, 2009).

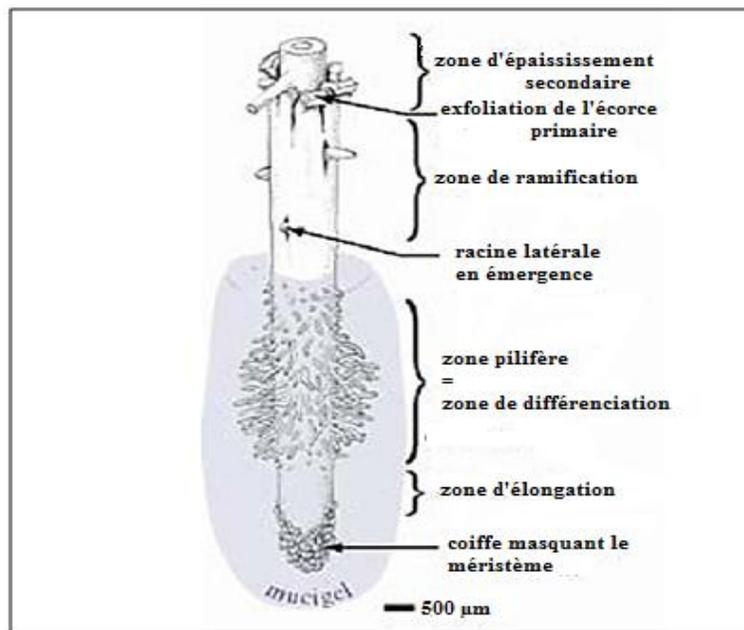
Dans la rhizosphère, les racines vivent entourées de nombreux micro-organismes formant un grand réservoir de diversité biologique. L'ensemble des micro-organismes dans un environnement donné est appelée microbiome. La rhizosphère comprend à la fois des organismes bénéfiques et néfastes pour les plantes. Ces organismes peuvent être des bactéries, des virus, des champignons, des oomycètes, des insectes, des nématodes, mais aussi des plantes parasites ou encore les racines d'autres plantes avoisinantes (Berendsen et *al.*, 2012).

### I.3 Les racines

Les végétaux supérieurs présentent des systèmes racinaires très diversifiés (Callot et *al.*, 1983). Le végétal s'alimente en eau et en éléments minéraux pour son développement, il les

prélève par le biais de ces racines dans le sol (Maamache, 1997). Clarkson (1985) montre que la nutrition minérale des plantes a été longtemps étudiée dans le cadre de la physiologie végétale, en conditions hydroponiques. De ce fait, les recherches ont été localisées sur le seul processus de transfert des éléments de la solution du sol à la racine (processus d'absorption). Une telle simplification a largement contribué à négliger les interactions entre le sol et la plante.

**I.3.1 Composition de la racine :** La jeune racine présente une structure primaire avant qu'elle ne s'épaississe par formation de nouveaux tissus (croissance secondaire en épaisseur) (Camefort, 1996). On peut définir quatre parties dans une racine (König, 2012) (Fig. 01) :



**Figure 01:** Anatomie de la racine (Raven et *al.*, 2000).

A la partie terminale de la jeune racine, on note la coiffe, c'est un tissu protecteur du point végétatif. Elle facilite la croissance des racines et cela par la libération des mucilages qui s'exfolient et protègent la partie délicate des cellules méristématiques (les tissus de croissance situés juste en dessus) des dommages mécaniques. Elle est une sorte d'organe sensoriel pour l'orientation. La zone d'allongement ou d'accroissement, constituée du méristème est située derrière la coiffe, à la pointe de la racine. C'est également le site de différenciation de tissu racinaire responsable de la multiplication cellulaire et de l'allongement. La zone pilifère succède à la zone d'allongement, elle émet les poils absorbants qui permettent l'absorption de l'eau et des sels minéraux (Luttge et *al.*, 1992). En arrière de la zone pilifère se trouve la zone subériorifiée.

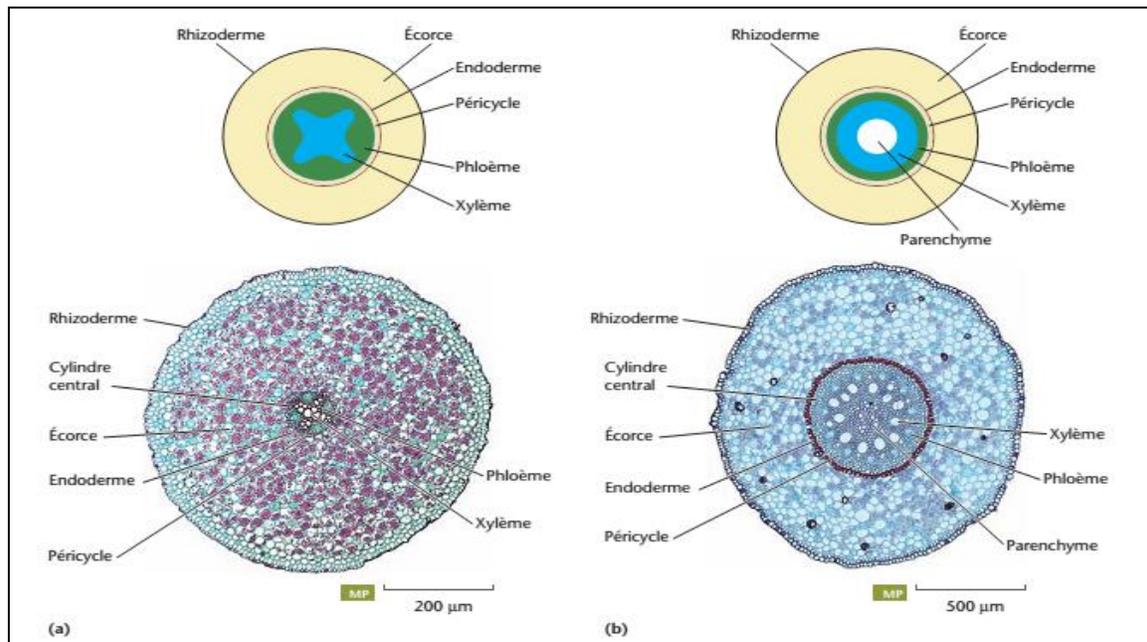
C'est la partie la plus âgée de la racine, elle est dépourvue de poils absorbants où apparaissent des branches de jeunes racines secondaires (radicelles) (Camefort, 1996 ; König, 2012).

**I.3.2 Structure des racines :** Sur le plan anatomique, on distingue au niveau de la zone pilifère de l'extérieur vers l'intérieur (Fig.02) :

-L'assise pilifère qui est une assise continue de cellules aux parois minces celluloseuses unies les unes aux autres, elle forme vers l'extérieur des poils absorbants (Camefort, 1996) ;

-L'écorce qui est constituée d'un parenchyme homogène, les cellules de l'écorce peuvent emmagasiner des substances de réserves, la dernière assise qui est au contact du cylindre central est appelée endoderme (Camefort, 1996) ; celui-ci peut fonctionner en tant que barrière physiologique et contrôler le passage de l'eau et des sels ;

-Le cylindre central est constitué de canaux de xylème et de phloème qui alternent régulièrement (Ozenda, 2004), auquel succède le péricycle qui comporte une ou plusieurs assises cellulaires.



**Figure 02:**Structure primaire des racines. (a) La plupart des racines possèdent une protostèle composée d'un cylindre central de tissus conducteurs entourés d'une assise, le péricycle, puis, à l'extérieur, de l'endoderme. Par comparaison (b) Les racines des Monocotylédones possèdent une stèle constituée d'anneaux de xylème et de phloème, entourant un parenchyme médullaire (Simon, 2014).

La formation des tissus secondaires dans la racine ne s'observe que pour certaines plantes vasculaires (les Gymnospermes et la plupart des Eudicotylédones) par deux zones génératrices. Pour la zone génératrice libéro-ligneuse et sur la face externe, il se différencie du phloème secondaire ou liber, et la face interne du xylème secondaire ou bois (Camefort, 1996).

### I.4 Quelques exemples de partenaires symbiotiques du sol (la symbiose mycorhizienne)

Le mot *symbiose* fut utilisé pour la première fois par l'allemand Frank (1877) pour qualifier la coexistence d'organismes différents. Les symbioses mutualistes, où les partenaires coexistent activement d'un point de vue physiologique, écologique et reproductif (Harley, 1989) furent pendant longtemps jugées peu importantes dans les processus écologiques (Lambers et al., 2009).

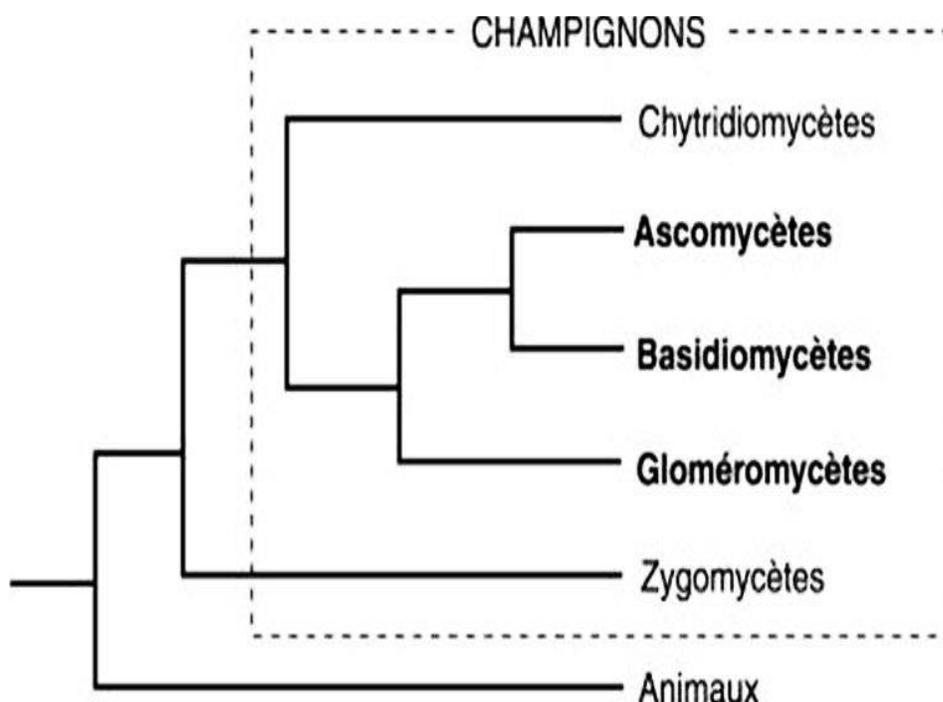
Il est actuellement admis que la symbiose mycorhizienne est une association obligatoire et à bénéfice réciproque entre une racine de plante et un champignon. Dès le 19<sup>ème</sup> siècle, les mycorhizes ont fait l'objet de descriptions et d'études de distribution de par le globe. La presque totalité des plantes vertes terrestres vivent en symbiose mycorhizienne. Seuls des membres de quelques familles en sont quelques fois dépourvus, par exemple, les crucifères et les chénopodiacées (Fortin et al., 2008).

#### I.4.1 Définitions et concepts

Les mycorhizes sont une association symbiotique entre un champignon (mycète) et les racines d'une plante vasculaire. Le mot mycorhize a une origine gréco-latine, dérivé de *myco* (=champignon) et de *rhiza* (=racine) (Sarasin, 2011). En d'autres termes, c'est une racine colonisée par un champignon mycorhizien qui en a modifié la morphologie (Egli et Brunner, 2002).

C'est grâce à leur association avec certains champignons que les plantes ont réussi à survivre dans des milieux offrant peu d'humidité et de nutriments. Cette association, ou symbiose, se nomme mycorhize (Dechamplain, 2002). Le monde des champignons est extrêmement diversifié : on estime à 1,5 million le nombre d'espèces fongiques existant actuellement sur la planète mais guère plus de 100 000 (soit à peine 7 %) ont jusqu'alors été décrites et nommées. Cependant, seuls trois groupes de champignons sont concernés par

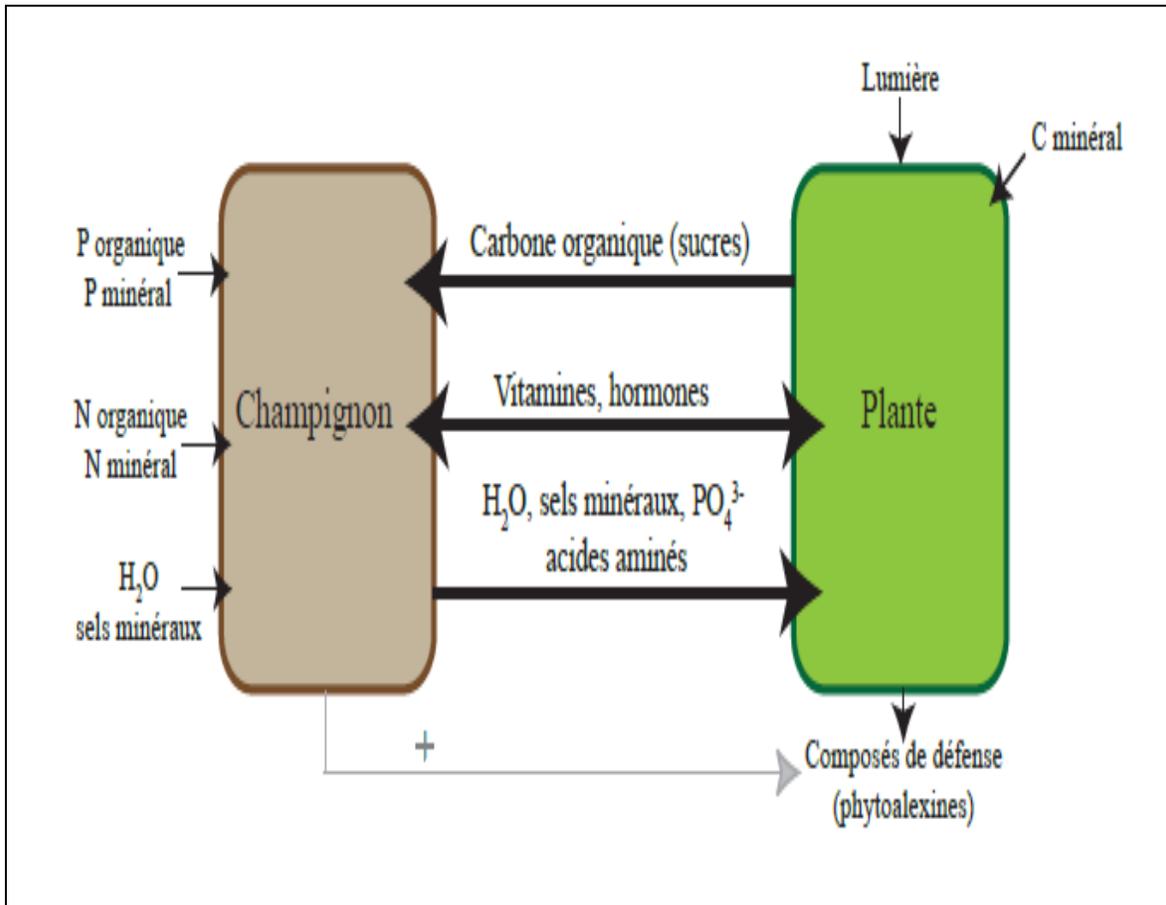
l'association symbiotique avec les plantes et figurent en caractères gras dans la figure 03 : les Basidiomycètes, les Ascomycètes et les Glomérormycètes (Garbaye, 2013).



**Figure 03 :** Apparemment des différentes lignées de champignons, découlant de l'analyse de la structure génétique d'un échantillon d'espèce par séquençage de l'ADN de certains gènes (Garbaye, 2013).

Les champignons mycorhiziens, éléments de la population de microorganismes de la rhizosphère, sont incapables de photosynthèse et sont complètement dépendants, pour les substances carbonées, de la plante qu'ils colonisent (Béreau et *al.*, 2003). Indépendamment du type de mycorhize, diverses fonctions sont modifiées généralement par la présence des mycorhizes : l'absorption de l'eau et des éléments minéraux, les activités hormonales et la protection contre les organismes pathogènes (Fig. 04).

La capacité à développer des mycorhizes n'est pas la même pour chaque plante (0% pour les crucifères à 100% pour les alliacées) (Dal, 2012). Le développement d'une mycorhize dure de quelques jours à quelques semaines. Il a pour effet de stopper la croissance longitudinale des radicelles et d'inhiber la formation des poils absorbants (Egli et Brunner, 2002).



**Figure 04:** Echanges de nutriments dans les symbioses mycorhiziennes (Florent, 2010).

#### I.4.2 Types de mycorhizes

Cette symbiose prend différentes formes, selon les caractères anatomiques de l'association (Peyronnel et *al.*, 1969), qui dépendent en fait directement des partenaires impliqués. La classification des mycorhizes est basée donc sur le type de champignon associé, selon que celui-ci est asepté, c'est-à-dire zygomycète de l'ordre des Glomales, ou septé, comme les ascomycètes ou basidiomycètes (Smith et Read, 1997).

Il existerait sept types principaux de mycorhizes : les ectomycorhizes, les mycorhizes arbusculaires, les mycorhizes éricoïdes, les mycorhizes arbutoides, les mycorhizes des orchidaceae, les ectendomycorhizes et les mycorhizes sébacinoïdes (Fortin et *al.*, 2008 ; Sarasin, 2011) (Tableau 01).

## Chapitre I : Description de la symbiose mycorhizienne

**Tableau 01** : Caractéristiques principales des différents types des mycorhizes (Fortin et *al.*, 2008).

LES DIFFERENTS TYPES DE MYCORHIZES					
Types de Mycorhizes	Champignons impliqués	Plantes hôtes	Structures fongiques	Structures de l'hôte	Impacts physiologiques
<b>Arbusculaires</b>	Champignons microscopiques gloméromycètes : 200 espèces	Bryophytes et plantes vasculaires : 70% des espèces actuelles	Arbuscules et vésicules intracellulaires, mycélium et spores extraracinaires	Peu de changement, coloration jaune	Accès à l'eau et aux minéraux peu mobiles accru, résistance aux maladies, phytophagie et phénologie modifiées
<b>Ectomycorhizes</b>	Champignons supérieurs : Basidiomycètes, Ascomycètes : milliers d'espèces	Arbres gymnospermes : 5% des espèces actuelles	Manchon, mycélium intercellulaire, rhizomorphes, sclérotés, ascomata, basidiomata. Absence de pénétration intracellulaire	Hypertrophie corticale, ramifications dichotomiques ou racémeuses	Accès accru aux minéraux, utilisation de l'azote organique, résistance aux maladies et nématodes, tolérance aux pH acides et aux métaux lourds
<b>Ect-endomycorhizes</b>	Deutéromycètes : quelques espèces	Pins, rares	Manchon mince, mycélium intercellulaire, pénétration intracellulaire, ascomata	Hypertrophie corticale, ramifications	Idem
<b>Arbutoides</b>	Basidiomycètes : quelques espèces	Ericacées, rares	Manchon mince, mycélium intracellulaire, basidiomata	Hypertrophie corticale	Idem
<b>Ericoides</b>	Ascomycètes : quelques dizaines d'espèces	Ericacées : 5% des espèces actuelles	Mycélium intracellulaire, ascomata	Peu de modifications	Idem
<b>Orchidoïdes</b>	Basidiomycètes et mycélium stériles peu connus	Orchidées : 10% des espèces actuelles	Mycélium intracellulaire pelotonné : basidiomycètes	Peu de modifications	Souvent essentiel à la morphogénèse, nutrition saprophytique de la plante, protection contre pathogènes
<b>Sebacinoïdes</b>	Piriformospora : Basidiomycètes : quelques espèces	Variées	Mycélium intracellulaire	Peu de modifications	Peu connus

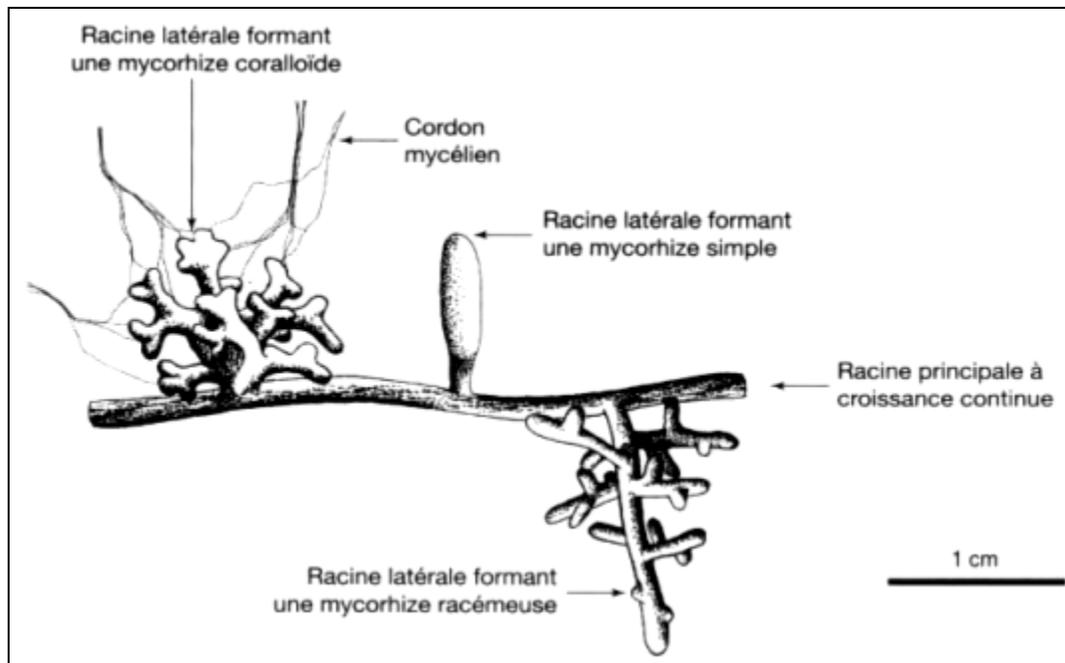
On distingue trois groupes principaux d'associations (Béreau, 2003) :

### I.4.2.1 Ectomycorhize

Les ectomycorhizes sont présentes quasi exclusivement sur des espèces ligneuses (Abietaceae, Fagaceae, Betulaceae, Salicaceae, etc.) qui ne représentent pas plus de 3% des taxa,

mais forment l'essentiel de la couverture ligneuse dans les zones tempérées et boréales du globe (Mousain et *al.*, 1997). La symbiose ectomycorhizienne est une relation intime qui s'établit entre certains groupes de champignons et les racines de la plupart des arbres en climat tempéré (Fiore-Donno, 2001). Le mycélium du champignon forme un manchon autour de la racine. Ses hyphes pénètrent également dans les tissus racinaires périphériques, en se développant entre les cellules, pour former une interface symbiotique appelée « réseau de Hartig » (Nehls, 2008).

La morphologie des racines est modifiée par l'infection ectomycorhizienne : les ectomycorhizes ont des formes simples, dichotomes, coralloïdes, pyramidales ou nodulaires (Fig. 05). Un réseau mycélien extra-matriciel, qui comprend des hyphes individuels, des cordons mycéliens (agrégats ramifiés d'hyphes) et des rhizomorphes (hyphes organisés en canaux) pouvant pénétrer dans le sol sur des distances plus longues que les hyphes individuels, se développe à partir du manteau fongique (Mousain et *al.*, 1997).



**Figure 05 :** Allure des différentes ectomycorhizes (Selosse, 2000).

Les champignons ectomycorhiziens appartiennent principalement aux Homobasidiomycètes mais ils comprennent aussi des Ascomycètes et des espèces du genre *Endogone* (Endogonaceae, Zygomycètes) (Mousain et *al.*, 1997).

### I.4.2.2 Endomycorhize

Les champignons rentrent à l'intérieur des cellules racinaires pour réaliser les échanges avec la plante. Il existe 3 types d'endomycorhizes : les endomycorhizes à pelotons du type ericoïde ou associées aux orchidées et les endomycorhizes à arbuscules. Dans ce dernier cas les champignons concernés appartiennent au groupe monophylétique des Gloméromycètes (Balzergue, 2012).

Les champignons mycorhiziens arbusculaires (CMA) tiennent leur nom de leur structure caractéristique, appelée arbuscule, située à l'intérieur des cellules des racines (Fig. 06). Les arbuscules sont la structure d'échange de nutriments entre la plante et le champignon, et offrent une surface de contact importante entre les deux partenaires. Malgré sa situation intracellulaire, l'arbuscule n'est pas véritablement intra-cytoplasmique. Il se situe entre la paroi et la membrane plasmique de la cellule qui l'héberge. Certaines espèces de CMA, notamment celles du genre *Glomus*, forment aussi des organes de réserve appelés vésicules.



**Figure 06:** Arbuscule de *Glomus* sp (Brundrett, 2009).

### I.4.2.3 Ecto-endomycorhize

Elles possèdent à la fois des caractères d'ectomycorhizes (présence d'un réseau mycélien intercellulaire et d'un manteau souvent peu épais) et d'endomycorhizes (franchissement des

parois des cellules hôtes par les hyphes mycéliennes). Ce type de mycorhizes, notamment présent chez les Pinaceae en pépinière, est souvent produit par des Ascomycètes (Mousain et *al.*, 1996). Les ectendomycorhizes ont d'abord été considérées comme des infections d'importance mineure chez les conifères, apparaissant en l'absence de champignons ectomycorhiziens. En fait, ce type d'interaction est mutualiste et correspond souvent à une colonisation mycorhizienne précoce des plantules (Smith et Read, 1997).

Plusieurs associations ectendomycorhiziennes sont, à présent, bien décrites (ectendomycorhizes de *Pinus banksiana*, formées par *Wilcoxina mikolae* var. *mikolae*) (Scales et Peterson, 1991) ou des ectendomycorhizes de type arbutoïde (chez *Arbutus* et *Arctostaphylos*) qui possèdent des hyphes intercellulaires formant des pelotons. Les ectendomycorhizes monotropoïdes de *Monotropa* et *Sarcodes*, ont des hyphes intracellulaires très courts (Ditengou, 2000).

### I.5 La symbiose mycorhizienne à arbuscules (MA)

Gerdmann et Trappe (1974) ont pu résumer la diversité des champignons endomycorhiziens en évoquant une première classification basée essentiellement sur la similarité des phénotypes de leurs spores. Cinq genres ont été définis : *Endogone*, *Glomus*, *Sclerosystis*, *Acaulospora* et *Gigaspora*. Ensuite, les mêmes auteurs ont révisé la famille des Endogonacées, et 44 espèces au sein de 7 genres ont été caractérisées. Parmi elles, beaucoup de taxons ont été redéfinis, 2 genres (*Acaulospora* et *Gigaspora*) et 12 nouvelles espèces ont été décrits. Un grand nombre d'espèces (80%) de plantes terrestres sont capables d'interagir avec les champignons MA (les Bryophytes, les Lycopodes, les Monilophytes, les Gymnospermes et les Angiospermes) (Wang et Qiu, 2006).

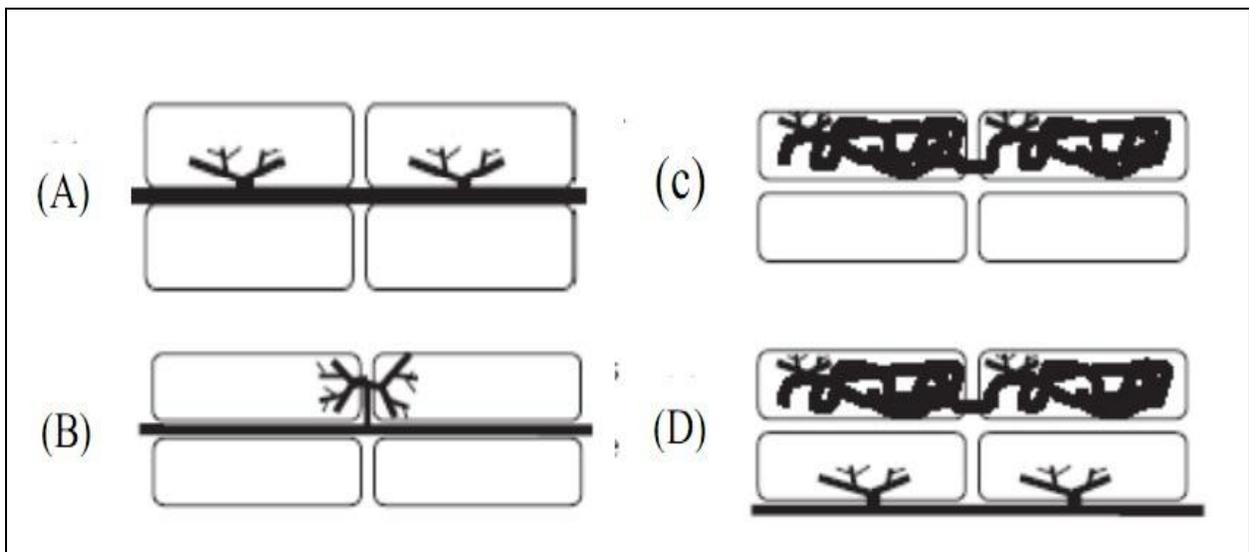
La symbiose MA reste un trait extrêmement répandue dans la lignée verte. Elle a très certainement joué un rôle crucial dans l'adaptation et l'évolution des plantes terrestres (Delaux, 2011).

Les mycorhizes à arbuscules développent deux types morphologiques de colonisation décrits pour la première fois par Gallaud en 1905 qu'il nomma type Arum et type Paris. Cependant elles sont abandonnées et considérées beaucoup plus tard par Brundrett et Kendrick,

(1990) et Smith et Smith (1997) et généralisées plus récemment par d'autres auteurs Dickson (2004) et Mayumi *et al.*, (2004).

Le type de la colonisation Arum est défini par un développement d'hyphes, dans l'espace intercellulaire du cortex racinaire à partir duquel il y a formation dans les cellules corticales d'arbuscule comme structure terminale (Fig. 07A), que nous nommons Arum A comme on peut avoir aussi formation d'une paire d'arbuscules dans deux cellules adjacentes (Fig. 07B).

Alors que le type morphologique Paris est défini par l'absence d'hyphes dans les espaces intercellulaires et une extension dans les cellules corticales avec formation d'enroulement d'hyphes et d'arbuscules en même temps (Fig. 07C). Il est également possible d'avoir dans une même racine les deux types Arum et Paris. Dans ce cas il y a formation d'enroulement d'hyphes et d'arbuscules en même temps dans certaines cellules et des arbuscules des cellules adjacentes (Fig. 07D), il s'agit alors de type mixte (Dickson, 2004).

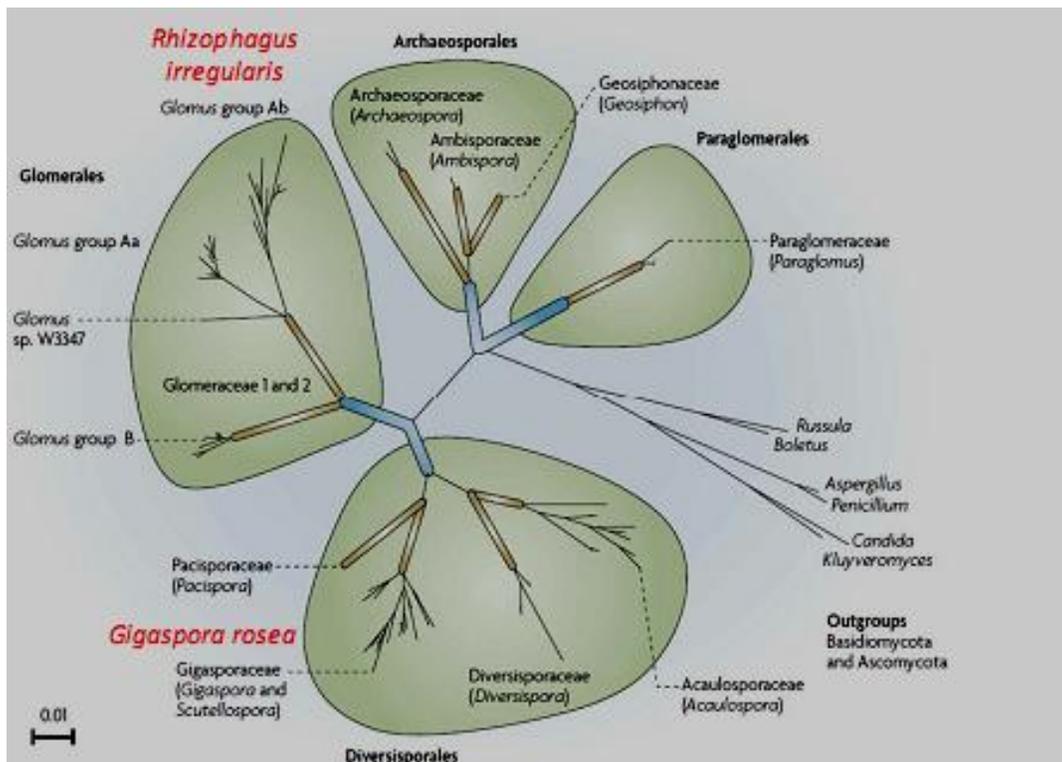


**Figure 07 :** Morphologies des arbuscules, (A)- type A : hyphes intercellulaires et arbuscules ; (B)- type Arum B : formation d'une paire d'arbuscules dans deux cellules adjacentes. (C)-type Paris : formation d'enroulement d'hyphes et d'arbuscules intracellulaires ; (D)-type mixte Arum et Paris (Dickson, 2004).

### I.5.1 Taxonomie actuelle des CMA

Les CMA, longtemps considérés comme des Zygomycètes, sont aujourd'hui regroupés dans une classe à part, les Gloméromycètes, et auraient divergé durant l'Ordovicien il y a 450 millions d'années. Cette nouvelle classification est basée sur des données de phylogénie moléculaire mais aussi sur des analyses de fossiles. En effet, des spores fossilisées datées de l'Ordovicien, et morphologiquement très proches des spores de Gloméromycètes actuels, ont été découvertes (Schüssler et *al.*, 2001).

Les Gloméromycètes sont composés de quatre ordres : les *Glomérales* (*Glomus* groupes A et B), les *Paraglomérales* (*Paraglomus*), les *Archéosporales* (*Archeospora*, *Ambispora* et *Geosiphon*) et les *Diversisporales* (*Acaulospora*, *Gigaspora*, *Scutellospora*, *Pacispora* et *Diversispora*) (Fig. 08) (Schüssler et *al.*, 2001). On observe parmi les Gloméromycètes une grande diversité morphologique, notamment au niveau des spores qui sont de taille, couleur et forme très variables selon les espèces (Balzergue, 2012).



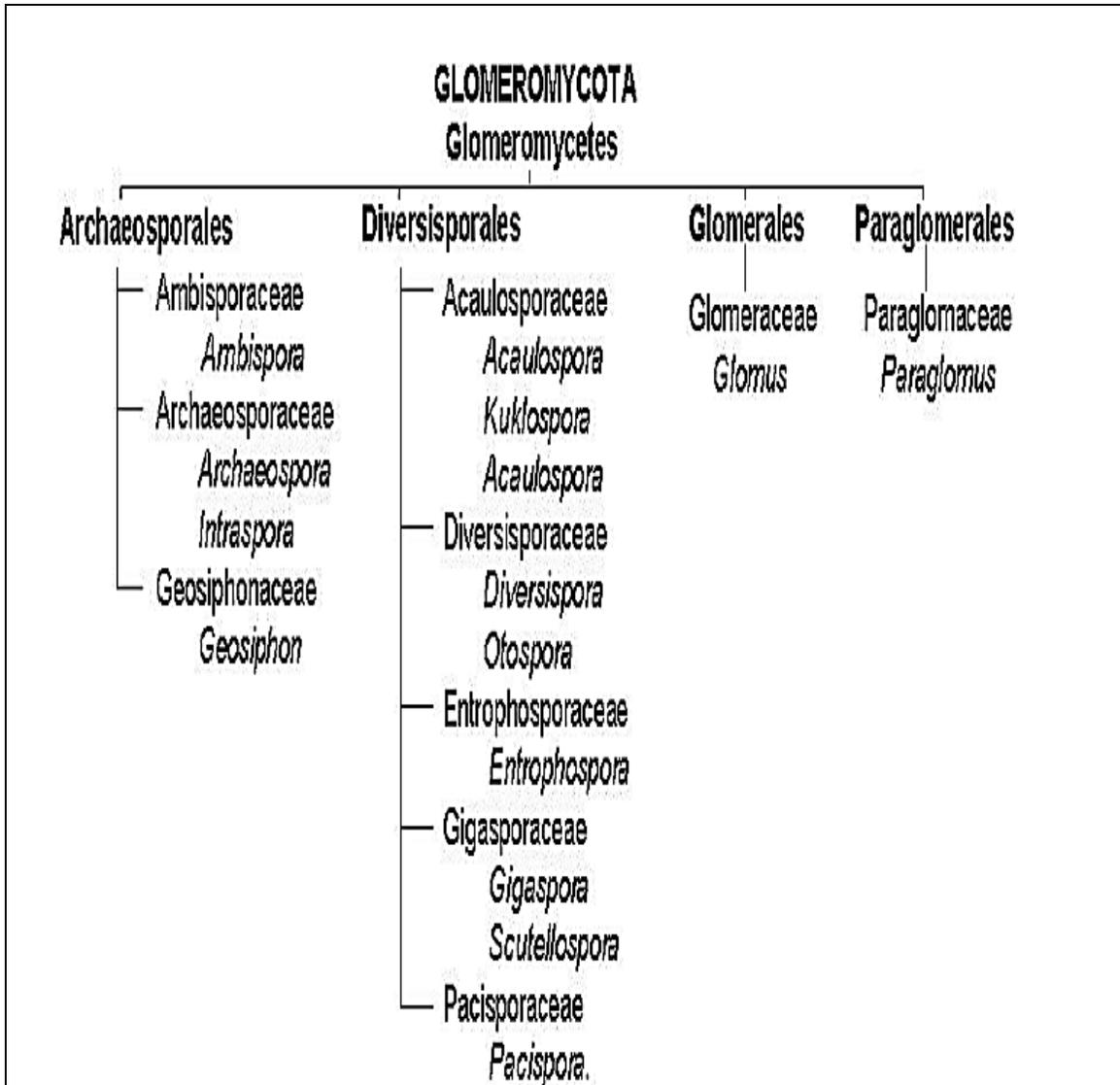
**Figure 08** : Phylogénie des Gloméromycètes (adapté d'après Parniske, 2008). Arbre phylogénétique des 4 ordres de Gloméromycètes.

Ames et Schneider (1979) mettaient en évidence le nouveau genre *Entrophospora* dans la famille des *Endogonaceae*, avec *Entrophospora infrequens*, espèce qui existait avant dans le genre *Glomus* sous le nom de *Glomus infrequens* (Hall, 1977). Walker et Sanders (1986) ont séparé entre deux genres, *Gigaspora* et *Scutellospora*. En 1987, Schenck et Perez comptaient plus de 150 espèces décrites. Morton et Benny (1990) ont ensuite subdivisé l'ordre des Glomales en deux sous-ordres : les *Glomineae* et les *Gigasporineae*. Ces derniers comportent trois familles et six genres séparés selon des critères morphologiques comme par exemples :

- la présence des vésicules attribuée au sous-ordre des *Glomineae* ;
- la formation des sporocarpes séparant les *Glomaceae* des *Gigasporaceae* et des *Acaulosporaceae* ;
- la forme d'hyphe d'attachement, allongé chez les *Glomaceae*, conique et non persistant après maturation chez les *Acaulosporaceae* et conique mais plus arrondi chez les *Gigasporaceae*.

Redecker et al. (2000) ont utilisé à la fois les données morphologiques et moléculaires et ont transféré *Sclerocystis coremioides* dans le genre *Glomus*, éliminant ainsi le genre *Sclerocystis*. Se basant sur les données morphologiques, moléculaires et biochimiques, Morton et Redecker (2001) ont décrit deux autres familles : *Archaeosporaceae* et *Paraglomaceae*. La première renferme le genre *Archaeospora*, avec trois espèces et la seconde le genre *Paraglomus* avec aussi deux espèces.

Les concepts utilisés dans la systématique des champignons endomycorhiziens à arbuscules sont basés essentiellement sur la morphologie de la spore (Morton et Benny, 1990 ; Rosendahl et al., 1994), mais cette identification reste très difficile puisqu'elle permet d'obtenir peu de données sur la diversité de ces champignons (Giovanetti et Gianinazzi Pearson, 1994). Le problème est encore exacerbé par la difficulté de leur obtention dans les cultures axéniques (Dodd et al., 1996). Grâce à l'outil de biologie moléculaire, toute la classification des CMA a été revue. Ces champignons sont maintenant classés dans le phylum des Glomeromycota (Schüssler et al., 2001) avec quatre ordres, dix familles et approximativement 200 espèces décrites (Raab et Redecker, 2006) (Fig. 09).



**Figure 09.** Classification des CMA selon Schüßler et al. (2001) avec corrections de Oehl et Sieverding (2004), Walker et Schüßler (2004), Sieverding et Oehl (2006), Spain et al. (2006), Walker et al. (2007a, b) et Palenzuela et al. (2008).

### I.5.2 Distribution géographique

Les endomycorhizes arbusculaires sont présentes dans tous les écosystèmes et on les rencontre aussi bien chez des arbres des forêts tempérées (merisier, frêne, érable, if, thuya, etc) que chez les arbres des forêts tropicales et équatoriales (Readhead, 1980 ; Janos, 1980). Les principales familles et/ou genres d'espèces forestières formant ce type d'association sont données dans le tableau 02.

**Tableau 02** : Principaux familles et/ou genres d'arbres formant les mycorhizes à arbuscules (Strullu, 1991).

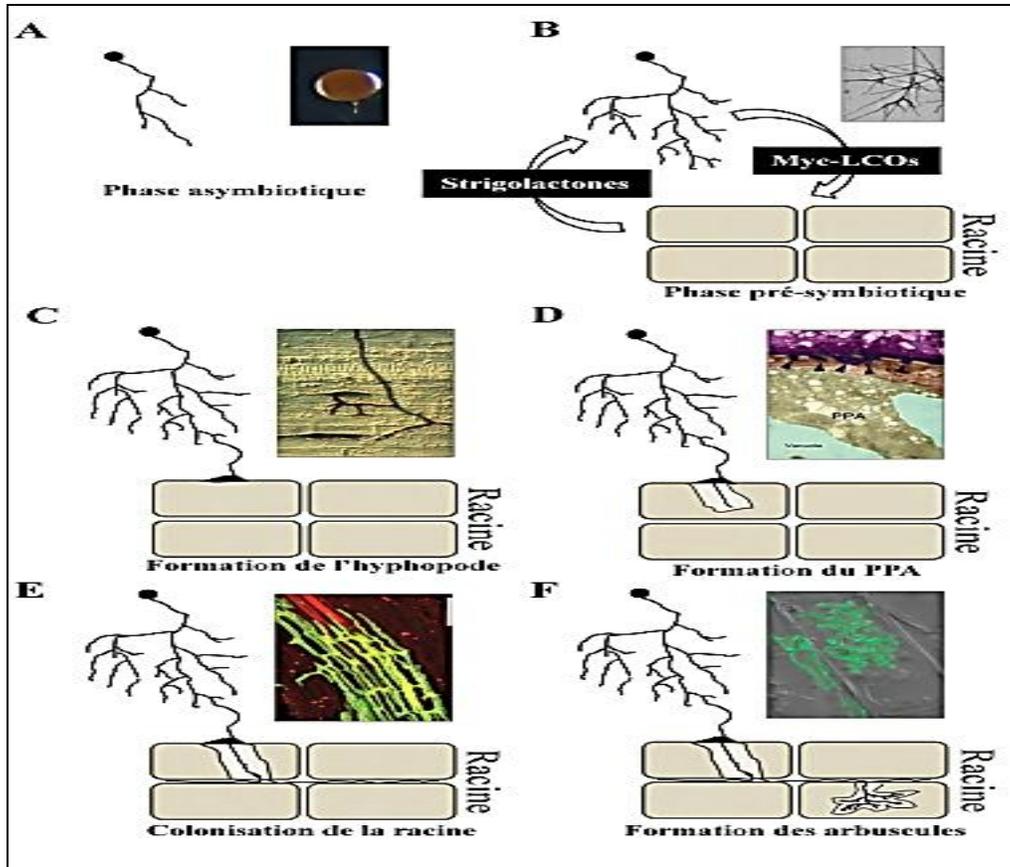
Classe	Famille	Genre
Angiospermes	Casuarinacées	<i>Casuarina</i>
	Mimosacées	<i>Acacia</i>
	Juglandacées	<i>Juglans</i>
	Myrtacées	<i>Eucalyptus</i>
	Salicacées	<i>Populus</i>
	Anacardiées	<i>Pistacia</i>
	Fagacées	<i>Castanea</i>
	Papilionacées	<i>Ceratonia</i>
	Sapotacées	<i>Argania</i>
Gymnospermes	Cupressacées	<i>Tetraclinis</i> <i>Cupressus</i>
	Taxacées	<i>Taxus</i>
	Taxodiées	<i>Sequoia</i>
	Araucariacées	<i>Araucaria</i>
	Pinacées	<i>Larix</i>

### I.5.3 Les différents stades de développement de l'interaction

**-Germination de la spore** : Les conditions physiques, chimiques et microbiologiques adéquates pour stimuler une spore en dormance et provoquer sa germination sont variables. Dans la nature, des interactions complexes entre plusieurs facteurs tels que le pH du sol, la température, l'humidité, les éléments nutritifs organiques et minéraux des racines, leurs exsudats et leur composition microbienne peuvent déclencher la germination de la spore (Fig. 10A). Les exsudats racinaires et les composés volatiles tel que le CO<sub>2</sub> provenant de la respiration racinaire, peuvent déclencher la germination des spores et le début de croissance du tube germinatif (Fig. 10B). Dans certains cas les exsudats racinaires déclenchent également une croissance et un développement rapide des hyphes mycéliens qui ne peuvent se réaliser que lorsque la plante hôte n'est pas loin (Krishna, 2005 in Zeramdini, 2009). Si, après sa croissance le tube germinatif ne rencontre pas une racine compatible, sa croissance s'arrête et le filament dégénère (Duhoux et Nicole, 2004).

**-Formation de l'appressorium:** Le développement de la symbiose commence au moment où l'hyphe contacte la racine de la plante hôte (Fig. 10C). S'en suit une adhésion puis la formation d'un appressorium à partir duquel se développera la phase intra-racinaire du champignon (Smith et Read, 2008). Cette pénétration se fait par pression mécanique mais aussi par production d'enzymes hydrolytiques qui dégradent la paroi cellulaire de l'hôte. Entre le premier rattachement de l'hyphe sur la racine et la pénétration intercellulaire, il s'écoule généralement trois jours (Bécard et Fortin, 1988).

**-Développement intra-racinaire:** Une fois que le champignon pénètre dans la racine, soit par les cellules rhizodermiques directement ou par les poils absorbants ou les cellules suberifiées, l'hyphe colonise immédiatement les espaces intra-et inter-cellulaires du cortex externe (Fig. 10D, E et F). Le développement intra-cellulaire du champignon est caractérisé par une production d'arbuscules (Krishna, 2005). Les arbuscules sont produits progressivement dans les assises cellulaires corticales les plus internes, ils constituent ainsi une très grande surface de contact où les deux partenaires sont très proches (Duhoux et Nicole, 2004). L'hyphe ne pénètre pas directement dans le protoplasme, puisqu'il est entouré comme toutes les structures fongiques intra-cellulaires par la membrane périarbusculaire. Au bout de deux jours l'arbuscule est bien développé dans le compartiment apoplastique de la cellule corticale (Smith et Read, 2008). La durée de vie des arbuscules est de quelques jours; puis ils dégèrent, sans léser la cellule hôte. L'initiation, le développement et la disparition de l'arbuscule dure de quatre à quinze jours. Certaines espèces de CMA, forment des vésicules après la résorption des arbuscules, elles sont produites à l'intérieur du cortex racinaire. Ce sont des structures de stockage lipidiques. A ce stade, la mycorhize est formée. Beaucoup d'espèces de CMA produisent aussi avant la formation des arbuscules, des enroulements d'hyphe intra-cellulaires, dans les assises périphériques du parenchyme cortical, et c'est dans les assises les plus internes de ce tissu que se forment les arbuscules (Smith et Read, 2008).



**Figure 10 :** (A) Les différentes étapes de l'établissement de la symbiose endomycorhizienne à arbuscules. (B) Durant la phase asymbiotique la spore germe et développe quelques hyphes primaires (Buée et *al.*, 2000). (C) La phase pré-symbiotique voit les deux partenaires échanger des signaux, strigolactones et lipochitoooligosaccharides (MycLCOs). En croissance activée le champignon entre en contact avec la racine de la plante et forme un hyphopode. (D) puis s'immisce dans l'appareil de pré-pénétration (PPA) développé par la plante (Bonfante et *al.*, 2010). (E) Le champignon colonise la racine de façon intercellulaire (Pumplin et *al.*, 2009) (F) et forme des structures intracellulaires hyper ramifiées, les arbuscules (Zhang et *al.*, 2010).

**-Développement de la phase extramatrice:** A partir des mycorhizes les hyphes se développent très rapidement et intensivement dans le sol, constituant la phase extra-matrice (Bécard et Fortin, 1988). Cette phase qui constitue la mycorrhizosphère joue un rôle primordial dans la symbiose. En se propageant et en colonisant un grand volume de sol, le mycélium extraracinaire acquiert des nutriments inaccessibles aux racines et les transfère vers les cellules hôtes (Fortin et *al.*, 2008). Cette phase permet aussi une colonisation de nouvelles racines de la même plante hôte ou d'autres plantes voisines. Dans certaines conditions, chez la plupart des espèces de CMA de nouvelles spores sont formées ce qui boucle le cycle de leur développement. Cependant

chez quelques espèces les spores formées sont intra-radiculaires. La phase extra-matricielle contribue aussi à la stabilité du sol en agglomérant les particules du sol, par l'intermédiaire de la glomaline (Purin et Rillig, 2007).

### I.5.4 L'importance de la symbiose mycorhizienne

Ce processus, à bénéfices réciproques pour les deux partenaires, est un des mécanismes majeurs de l'évolution et de l'écologie des organismes. La symbiose accélère l'innovation évolutive et favorise l'expansion et la diversification des espèces. Elle joue également un rôle moteur dans la richesse, la stabilité et la complexité des écosystèmes par ses effets régulateurs sur les populations et les communautés d'organismes qui lui sont directement ou indirectement associées (Gardes, 2003).

#### I.5.4.1 Importance des mycorhizes pour le champignon

D'une manière générale, le champignon reçoit de la plante hôte un flux de photoassimilats. Les sucres transférés (saccharose et glucose), sont transformés en sucres spécifiques du champignon (tréhalose ou mannitol), et consommés pour la croissance et la respiration (Hampp et Wingler, 1997). Ce flux de carbone s'effectue également sous forme d'acides aminés et de vitamines (biotine et thiamine) (Read, 1991 ; Iassac, 1992).

#### I.5.4.2 Importance des mycorhizes pour la plante hôte

**-L'absorption de l'eau :** Le champignon ectomycorhizien contribue à l'ensemble des mécanismes dont l'arbre dispose pour réguler son état hydrique. Le champignon agit par l'intermédiaire de la nutrition minérale et par la production de substances de croissance (Garbay et Ghehl, 1997).

**-Amélioration de l'absorption azotée et phosphatée :** L'azote est un élément important de la croissance des plantes. Son assimilation par les racines dans les sols pauvres en nutriments peut être augmentée par la colonisation des CMA (Marschner et Dell, 1994 ; Johansen et *al.*, 1996 ; Smith et Read, 2008). Les hyphes extra-racinaires sont capables de prélever et d'assimiler l'ammonium (Johansen et *al.*, 1993 ; 1996), le nitrate (Bago et *al.*, 1996 ; Johansen et *al.*, 1996) et les acides aminés (Hawkins et *al.*, 2000 ; Hodge et *al.*, 2001) des sols qui les entourent. Ils sont capables de transférer cet azote vers la plante (Hawkins et *al.*, 2000) et de le transférer d'une

plante à une autre (He et *al.*, 2003). Les CMA peuvent également augmenter la disponibilité des différentes formes d'azote pour la plante (Hodge et *al.*, 2001). L'assimilation de l'ammonium semble cependant être la principale source d'azote absorbé. Cet ion ammonium étant bien moins mobile que le nitrate dans le sol, ce type de mycorhize favorise les plantes hôtes dans des milieux où l'azote assimilable est principalement présent sous forme d'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) (Toussaint et *al.*, 2004).

Les mycéliums permettent de récupérer les formes libres du P (scavenging), mais ne libèrent pas celles qui sont liées aux particules du sol (mining) (Lambers et *al.*, 2008). Le prélèvement de phosphore par les racines peut être plus rapide que sa diffusion dans le sol, il s'installe alors une zone d'épuisement autour de la rhizosphère. Toute augmentation de la surface racinaire, en particulier par l'intermédiaire des hyphes mycorhiziens associés, permettra d'augmenter le volume du sol exploré et donc de surmonter la lenteur de la diffusion du P dans le sol. Le phosphate présent dans la solution du sol est absorbé dans le mycélium extra-racinaire par des transporteurs (Harrison, 1995).

Les systèmes d'acquisition du phosphore situés à la surface des hyphes sont semblables à ceux des racines, il s'agit d'un système à forte affinité (Schachtman et *al.*, 1998). Le phosphate absorbé est condensé en poly-phosphate (poly-P) et acheminé par translocation jusqu'au mycélium intra-racinaire. Les poly-P seront hydrolysés pour libérer les phosphates qui traverseront la membrane du champignon, au niveau des arbuscules présents dans les cellules du cortex racinaire. Le champignon stockerait le P et le transférerait progressivement vers la plante car on observe une accumulation de poly-P dans le champignon sans augmentation de la teneur en phosphate des vacuoles de la plante hôte. Le champignon serait donc capable de contrôler l'efflux de P vers la plante hôte (Solaiman et Saito, 2001). La double colonisation permettrait d'accroître l'amplitude écologique de l'hôte végétal en améliorant son alimentation minérale : les symbiotes endomycorhiziens faciliteraient la nutrition phosphatée de la plante, les ectomycorhiziens la nutrition azotée (Gardes, 2003).

**-Amélioration de l'absorption des oligoéléments :** Les associations mycorhiziennes peuvent jouer un rôle significatif dans la décomposition et la minéralisation des matières organiques végétales et mobiliser les nutriments au bénéfice de la plante hôte (Bâ et *al.*, 2010). En échange,

le champignon absorbe les éléments minéraux et les transfère à la plante-hôte. Ces échanges ont lieu à l'interface formée par la juxtaposition des parois des hyphes et des cellules du cortex des racines, au niveau du réseau de Hartig des ectomycorhizes et à celui des arbuscules des endomycorhizes (Moussain, 1997).

**-Protection des racines contre les agents pathogènes et résistance aux stress biotiques et abiotiques :** En conditions naturelles, la très grande majorité des végétaux, y compris les arbres forestiers, vivent en association symbiotique avec des champignons mycorhiziens qui assurent une protection des racines contre les champignons pathogènes (Smith et Read, 1997). La colonisation mycorhizienne entraîne une augmentation significative de la ramification des racines fines qui s'accompagne d'une augmentation des exsudats racinaires, responsables à leur tour, de modifications de la microflore et d'interactions avec les parasites (Dalpé, 2006). Aussi bien en conditions contrôlées qu'en conditions naturelles, il a été souvent observé que les champignons mycorhiziens introduits pouvaient avoir un effet antagoniste sur les pathogènes du sol (Elna, 1997). Une résistance accrue des plantes endomycorhizées aux attaques de certains pathogènes telluriques tels que *Fusarium*, *Phytophthora* et *Thielaviopsis* (Bagyaraj, 1984 ; Azcón-Aguilar et Barea, 1992 ; Oihabi, 1991) et des nématodes (Morandi, 1987). Les CMA causent, indirectement, des changements dans les tissus de l'hôte notamment en développant la lignification des cellules, créant ainsi une barrière contre la pénétration des pathogènes (Schenck et Kellan, 1978) et qui s'accompagne d'une accumulation de composés phénoliques suivie d'une activité chitinolytique qui altèrent les parois de certains parasites fongiques (Dalpé, 2005). Une autre explication pourrait être trouvée au niveau de la compétitivité pour les sites d'infection, l'occupation en premier par les CMA des cellules hôtes empêcherait la pénétration du pathogène (Gianinazzi-Pearson et Diem, 1982). L'accumulation de certains composés du métabolisme secondaire, en particulier l'augmentation des teneurs en composés phénoliques (Krishna et Bagyaraj, 1984 ; Blal, 1989) et la production de phytoalexines (Morandi, 1989) observée chez les plantes endomycorhizées pourraient être également responsables de l'inhibition des agents pathogènes.

L'endomycorhization permet de simplifier l'effet du stress (biotique et abiotique) et de conférer à la plante une tolérance à l'acidité des sols (Gupta et Krishnamerthy, 1996) et au stress hydrique et salin (Pfeiffer et Bloss, 1988 ; Osunubi et al., 1991; Rosendahl et Rosendahl, 1991 ; Ruiz-Lozano et Azcon, 1995 ; Ruiz-Lozano et al., 1996 ; Meddich, 1997 ; Abbas, 1998).

Le fonctionnement des mycorhizes comme agents de lutte biologique touche globalement cinq mécanismes d'interaction. Certains concernent directement la plante, soit: 1) une stimulation de croissance par le biais d'un apport nutritif accru et une meilleure santé végétale ; 2) une transformation morphologique au niveau racinaire ; 3) l'induction ou la suppression de mécanismes de défense, notamment ceux impliquant plusieurs enzymes ; 4) via une compétition directe avec les champignons mycorhiziens liée à la disponibilité de nutriments et de sites d'infection, et sur la structure et la qualité du sol, par le biais d'une ; 5) modification de la microflore et de l'augmentation du taux de matière organique (Dalpé, 2006).

**-Autres fonctions :** La durée de vie du mycélium des mycorhizes est d'environ une semaine, il est constamment renouvelé, engendrant une quantité énorme de microtubules dans le sol. Le réseau mycélien contribue à la stabilisation des agrégats du sol, ainsi qu'au maintien du stock de la matière organique. Les CMA excrètent la glomatine, une glycoprotéine très stable dans le sol, qui agit comme une colle qui assemble les particules les plus fines du sol pour en faire du macro- et micro-agrégats qui joueraient un rôle fondamental dans la fertilité du sol, en retenant l'eau et les éléments minéraux et en favorisant les échanges gazeux. Même les mycéliums morts des mycorhizes contribuent au pool de matière organique du sol et constituent un lien physique qui participe à l'assemblage des agrégats (Fortin et *al.*, 2008).

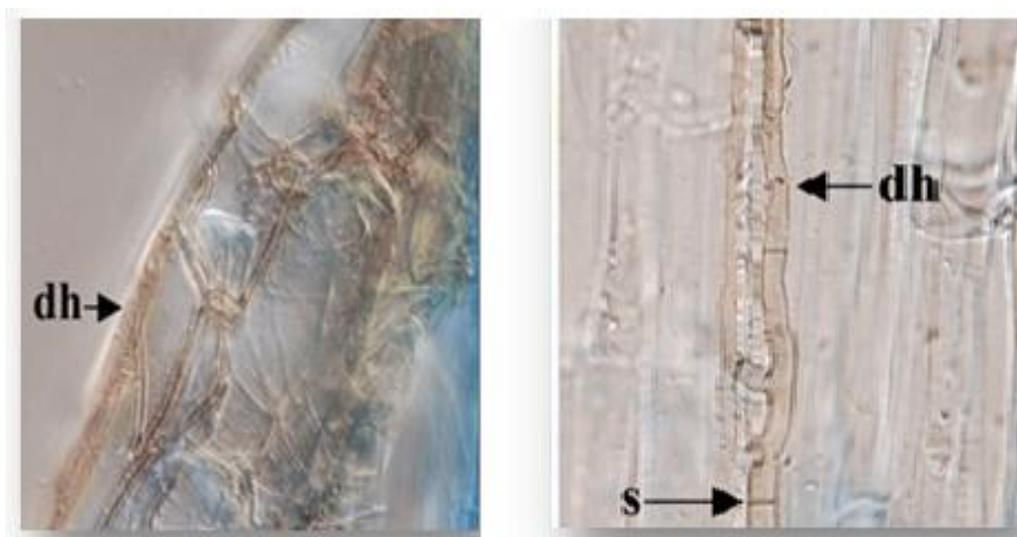
Le sol contient de nombreuses substances toxiques pour les racines, soit naturelles (aluminium dans les sols acides, polyphénols humiques, toxines allélopathiques) ou anthropiques (polluants organiques de synthèse, métaux lourds). Beaucoup de champignons symbiotiques, particulièrement ceux qui forment les ectomycorhizes, détoxifient efficacement l'environnement immédiat des racines fines en décomposant les molécules organiques en séquestrant les métaux lourds, diminuant ainsi leur concentration dans la solution du sol et empêchant leur transfert dans les arbres (Drénou, 2006). L'intervention d'hormones fongiques au sein du partenaire végétal est avérée (Karabaghli et *al.*, 1997). Morte *et al.* (2001) et Jany (2002) précisent que la symbiose mycorhizienne modifie la sensibilité stomatique à l'ABA et/ou les quantités d'ABA transférés vers les feuilles.

Les travaux de recherches sur les mycorhizes montrent que les espèces appartenant aux *Glomaceae* prédominent chez les *Anacardiaceae* : *Anacardium occidentale* (Ananthakrishnan et *al.*, 2004), *Astronium graveolens* (Hernández et Salas, 2009), *Lannea aciada* (Paugy et *al.*,

2004), *Pistacia* spp., (Estaún et al., 1990 ; Fallahyan et al., 2006 ; Kafkas et Ortas, 2009 ; Mohammadi et Banihashemi, 2010 ; Salehi et al., 2009), *Rhus rhesoides* et *Spondias axillaris* (Nandakwang et al., 2008). Des espèces d'*Acaulosporaceae* sont observées chez *Pistacia atlantica* (Salehi et al., 2009) et des *Scutelospora* chez *Lanena aciada* (Paugy et al., 2004).

### I.6 Champignons endophytes

Parmi la pléthore des micro-organismes existant dans l'environnement édaphique quelque soit leur effet sur la croissance de la plante (néfaste, neutre ou bénéfique), il existe des micro-organismes fongiques nommés endophytes incluant une grande partie des espèces formant dans les racines des végétaux, un mycélium stérile septé et pigmenté (endophytes foncés septés) EFS (DES, Dark Septate Endophytes) (Fig. 11), pouvant produire des sclérotés (Jumpponen 2001 ; Peterson et al., 2004 ; 2008), et quelques-uns très peu nombreux forment un mycélium hyalin (Yu et al., 2008) pouvant produire dans certaines conditions des conidies intraradiculaires (Peterson et al., 2004). Ce type d'association est très répandu (Peterson et al., 2004). Ils sont présents aussi bien chez les Angiospermes, les Gymnospermes, les Algues, Mousses, Hépatiques et les Fougères (Suryanarayanan et al., 2003 ; Lucero et al., 2006).



**Figure 11** : Dark septate endophytes, (dh) hyphes d'endophytes foncés septés, (S) hyphe septées. (Parniske, 2008).

Les EFS ont été rapportés pour presque 600 espèces qui représentent approximativement 320 genres et 100 familles. Par exemple sur 17 espèces de la famille des Anacardiaceae seule une espèce est non rapportée par les EFS (Jumpponen et Trappe, 1998). Les espèces endophytiques les plus représentées chez la famille des Anacardiaceae sont *Alternaria alternata*, *Pestalotiopsis guepinii*, *Colletotrichum gloeosporioides*, *Rhizopus stolonifer*, *Trichoderma viride*, *Xylaria cubensis* (Rodrigue et Menezes, 2002), *Cytosphaera mangiferae*, *Dothiorella aromatica*, *Dothiorella dominicana*, *Phomopsis mangiferae* (Johnson et al., 1992), *Guignardia cotricarpa*, *Guignardia mangiferae* (Wikert et al., 2009), *Lasiodiplodia theobromae* (Rubini et al., 2005), *Phomopsis anacardii*, *Pseudocercospora punicae*, *Septoria anacardii* (Freire et bezerra, 2001).

La présence des EFS colonisant simultanément les écosystèmes avec les CMA a été constatée surtout dans les habitats alpins et arctiques (Haselwandter et Read, 1980 ; Read et Haselwandter, 1981 ; Jumponene, 2001). Elle a aussi été détectée dans les systèmes racinaires de nombreuses plantes mycorhizées tels que *Leucanthemum waldsteinii* (Asteracées), *Campanula polymorpha* (Campanulacées) et *Festuca versicolor* (Poacées) et dans ceux des plantes non mycorhizogènes appartenant aux Brassicacées, Caryophyllacées et Scrofulariacées (Zubek et al., 2008). Ces endophytes sont importants pour la croissance de ces plantes ; ils sont considérés comme mycorhiziens (Jumpponen, 2001).

Une grande proportion de champignons endophytes est fréquemment signalée chez les arbres et les arbustes. Ils appartiennent essentiellement à la classe des Ascomycètes (phylum des *Ascomycota*). On ne connaît pas encore vraiment le rôle des endophytes. Sont-ils des pathogènes latents, ou bien des saprophytes ? Ils pourraient protéger les plantes contre les champignons et les insectes pathogènes, contre les herbivores, contre la sécheresse. Une chose est sûre, c'est qu'ils produisent de nombreuses molécules actives qui doivent les aider dans leurs interactions avec les autres organismes vivants (Dupont, 2010).

Certains endophytes sont très bénéfiques, voire nécessaires à leur plantes-hôtes. Elles améliorent l'accès de la plante aux nutriments et parfois empêchent certains organismes pathogènes de les coloniser, et inversement (dans le cas de relations symbiotiques vraies) grâce à des molécules utiles ou défensives produites par le métabolite de l'endophyte (Tan et al., 2001).

---

# **Chapitre II :**

## **Présentation des espèces étudiées**

---

Les quatre espèces étudiées, le pistachier de l'Atlas, le lentisque, le térébinthe et le Pistachier cultivé (vrai), appartiennent au genre *Pistacia* (Anacardiaceae). La famille des Anacardiaceae ou « *Anacardiaceae* » sont des arbres, des arbustes (exceptionnellement plantes grimpantes), à canaux résinifères schizogènes, à feuilles composées pennées ou trifoliolées, généralement alternes, dépourvues de glandes punctiformes. Inflorescence en panicules. Fleurs actinomorphes, hétérochlamydées, parfois apétales, 5-mères, (hétérosexées) et/ou unisexuées, généralement hypogynes, diplostémones ou haplostémones (à filets souvent concrescents, à la base), apocarpes ou syncarpes. Disque intrastaminal. Gynécéeisomère ou réduit à 3-1 carpelle, mais généralement 1-loculaire par avortement, à placentation axile, chaque carpelle étant 1-ovules apotropes 2 (-1)-tegminés (Gaussen et *al.*, 1982).

Le fruit est généralement une drupe souvent à mésocarpe résineux. Graine exalbuminée ou presque, à embryon courbe. Pollen divers, souvent 2-3-colporé, ou avec 3-8 ouvertures circulaires ou non. Cloisons des vaisseaux à perforation unique (sauf quelques cas) (Gaussen et *al.*, 1982).

### II.1 Description et taxonomie du genre *Pistacia*

#### II.1.1 Position systématique

Belhadj (2007) rapporte que la classification botanique du genre *Pistacia* a subi plusieurs remaniements, la plus récente est celle établie par Spichiger et *al.* (2000) dans laquelle, le genre est classé dans la **Classe** des Dicotylédones, l'**Ordre** des Térébinthales et la **Famille** des *Anacardiaceae*. Plus récemment, d'autres auteurs (Judd *al.*, 2002 ; Lieutaghi, 2004 ; Yaakobi et *al.*, 2009 ; Dobignard et Chatelain, 2013) ont rapporté une classification remaniée au niveau de la **classe** (*Magnoliopsida*) et de l'**ordre** (*Sapindales*).

Zohary (1952) a utilisé la morphologie de la feuille, spécialement la forme ainsi que le nombre, la taille et l'orientation des folioles comme premier caractère morphologique; il a également utilisé la taille et la forme de la semence ainsi que la forme des pétioles, subdivisant ainsi le genre en 4 sections:

- La section *Lentiscella* Zoh. : avec deux espèces incluses dans cette section, (1) *P. mexicana* HBK et (2) *P. texana* Swingle ;

- La section *Eu-Lentiscus* Zoh. : trois espèces sont regroupées dans cette section : (3) *P. lentiscus* L., (4) *P. weinmannifolia* Poisson et (5) *P. saportae* Burnat ;
- La section *Butmela* Zoh. : Une seule espèce représente cette section : (6) *P. atlantica* Desf.
- La section *Eu- terebinthus* Zoh. : Cette section renferme le plus grand nombre d'espèces, cinq au total : (7) *P. vera* L., (8) *P. khinjuk* Stocks, (9) *P. terebinthus* L., (10) *P. palaestina* Boiss. et (11) *P. chinensis* Bge.

Al-Saghir et Porter (2012) ont décrit treize espèces dans le genre *Pistacia* qui sont divisées en deux sections monophylétiques:

-**Section *Pistacia*** : *P. atlantica*, *P. chinensis*, *P. eurycarpa*, *P. falcata*, *P. integerrima*, *P. khinjuk*, *P. mutica*, *P. palaestina*, *P. terebinthus* et *P. vera*.

-**Section *Lentiscus*** : *P. aethiopica*, *P. lentiscus*, *P. mexicana*, *P. texana* et *P. weinmannifolia*, *P. vera*.

### II. 1.2 Description botanique du genre

Selon Ozenda (1983) et Zohary (1987), le genre *Pistacia* regroupe une dizaine d'espèces d'arbres et d'arbustes, avec de la résine turpentine, non épineux. Le genre est caractérisé par des feuilles alternes, persistantes ou caduques, pari ou imparipennées, rarement trifoliées ou simples, membraneuses ou épaisses. Le nombre de folioles varie de 2 à 6 paires. Le rachis des feuilles et le pétiole sont parfois élargis et aplatis pour former une expansion verte comme une aile ; ce caractère est très important pour l'identification des espèces (Belhadj, 2007). Ces ailes foliaires se prolongent le long du pétiole chez *P. lentiscus* et *P. atlantica* mais l'aile chez *P. atlantica* est moins développée que chez *P. lentiscus*. La texture des folioles est également un caractère très important dans l'identification des espèces ; *P. lentiscus* a des folioles cirées et épaisses en comparaison avec les autres espèces (El- Oqlah, 1996).

Les espèces de genre *Pistacia* sont des arbres xérophytiques, dioïques, jusqu'à 8-10 m de hauteur. À la fois pour les arbres mâles et les arbres femelles, les fleurs sont apétales, avec 1-3 petites bractées et 2-7 bractéoles et portées dans des grappes ou des panicules. Les fleurs mâles ont 4-5 anthères insérées sur un disque. Les fleurs femelles ont un style court et très fin. Les espèces sont pollinisées par le vent (anémophile). Le fruit est une drupe (Al-Saghir, 2006).

### II. 1.3 Aire de répartition du genre *Pistacia*

Le genre *Pistacia* L. présente une distribution disjointe en Eurasie méditerranéenne et à proximité de l'Afrique du Nord, de l'Est d'Asie, d'Amérique du Nord et d'Amérique centrale. Le Pistachier a été estimé avoir son origine à 37,60 millions d'années (Xie *et al.*, 2014), (Fig. 12). En plus de ces régions, on peut le rencontrer aussi au niveau de quelques stations mineures ; au Sud du désert d'Arabie, la haute Egypte, les montagnes du Hoggar (Belhadj, 2007), les îles Canaries, Formosa, Philippines et plusieurs autres îles (Zohary, 1952). La plus large concentration des espèces du genre *Pistacia* se trouve dans l'Ouest de l'Asie (6 espèces) et dans le bassin Méditerranéen (4 espèces) (Zohary, 1996).

Selon Belhadj (2007), en Algérie, on retrouve 4 espèces du genre *Pistacia*, réparties dans le Tell (pour *P. lentiscus*, où il participe à la strate arbustive des formations forestières du bassin de la Soummam et des zones semi-arides), sur le littoral (pour *P. terebinthus*, que l'on retrouve sous forme arbustive dans le bassin de la Soummam, le versant Nord du Djurdjura et dans le bassin d'El Ksour, le versant sud-ouest d'Ain Sefra), dans les régions semi-arides et arides (pour *P. atlantica*, que l'on retrouve en association avec *Ziziphus lotus* et *Pinus halepensis*).

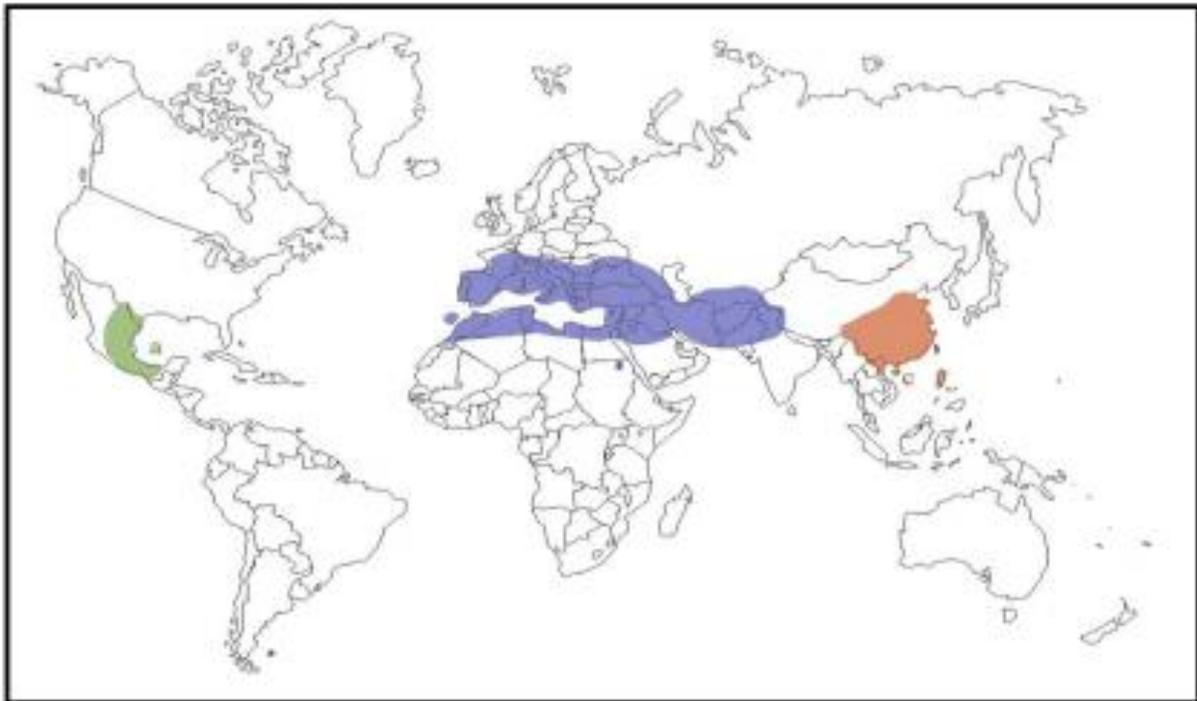


Figure 12: Répartition géographique du genre *Pistacia* (Xie *et al.*, 2014).

Enfin, *P. vera* est cultivée et parfois sub-spontanée (Quezel et Santa, 1963). En plus de ces espèces, on peut rencontrer en Algérie, des hybrides (*P. lentiscus* x *P. terebinthus* ou de *P. lentiscus* x *P. saportae* Burnat (Zohary, 1952 ; Quezel et Santa, 1963), qui est une espèce très affine à *P. lentiscus*, dans la région de Mouzaia (Nord centre) (Belhadj, 2007).

## II. 2 Caractéristiques botaniques et écologiques des espèces étudiées

### II. 2.1 *Pistacia atlantica*

*Pistacia atlantica*, pistachier de l'Atlas ou bétoum, est répandu en Afrique du Nord, il se rencontre dans les dayas, ses aires extrêmes, sous forme d'un peuplement clairsemé (Leutrech-Belerouci, 1981).

#### -Caractéristiques botaniques

Les feuilles sont composées, astipulés (Quezel et Santa, 1963). D'après Monjauze (1980), les feuilles sont imparipennées, composées, alternes, ovales, sessiles, avec une foliole terminale, à rachis non ou à peine ailé, un peu coriaces, à 7-11 folioles de (2,5-6) x (0,5-1,5) cm, mesurent rarement plus de 12 cm de longueur totale. Zohary (1996), les décrit comme peu coriaces, composées de 3 à 5 paires de folioles, quand à Ozenda, (2004), il décrit des feuilles de 7-9 folioles, à pétiole un peu ailé. Les feuilles présentent une grande variabilité inter et intra individuelle qui peut constituer un critère de classification infra-spécifique (Belhadj, 1999).

Concernant son système de reproduction, le pistachier de l'Atlas est une espèce dioïque, mais quelques pieds, exceptionnellement monoïques, ont été rencontrés dans les montagnes de Yunt de la Province de Mania en Turquie (Kafkas et *al.*, 2001). Les fleurs sont apétales, rougeâtres, en grappes terminales pour les mâles et axillaires pour les femelles. Selon Grundwag (1976) et Lagha (1993), la floraison des individus mâles se fait deux à quatre semaines avant le débourrement végétatif, tandis que chez les individus femelles elle serait plus tardive. Les inflorescences mâles se dessèchent et tombent en mi-avril tandis que celles des femelles continuent à se développer jusqu'à la maturité des fruits.

Les fruits sont appelés « Elkhodiri » ou « Godeim » par les populations locales en Algérie, à cause de la couleur vert foncé à maturité (Belhadj, 2001). Le fruit est une drupe

monosperme, rougeâtre, de 06 à 08 mm de long sur 05 à 06 mm de large (Ozenda, 1977). Pour Hadj Brahim et *al.* (1998), les dimensions du fruit sont entre 03-04 mm X 04-06 mm. Selon Belhadj (2007), les dimensions des fruits varient entre 4-9mm de long, 3-7mm de large et 2,8-7,0mm d'épaisseur.

Les travaux de Limane (2009), sur l'architecture racinaire de *Pistacia atlantica* dans la réserve nationale d'El-Mergueb (willaya de M'sila), ont démontré que selon l'âge des individus, le système racinaire varie comme suit:

-Le jeune pistachier de l'Atlas a plus tendance à ramifier ses racines lui permettant une efficace exploitation des ressources hydrominérales du milieu;

-A l'âge adulte, un investissement équilibré dans les différentes dimensions racinaires étudiées ce qui lui permet en plus de la prospection du sol environnant, un meilleur ancrage pour garantir la stabilité de sa partie aérienne grandissante;

-Chez le vieil individu, sa stabilité est renforcée, en plus de l'enracinement profond, par l'augmentation surtout de la circonférence racinaire.

### **-Aperçu écologique, climatique et pédologique**

En bioclimat semi-aride, les structures caducifoliées du pistachier de l'Atlas. sont souvent associées au jujubier nain (*Ziziphus lotus*). *Pistacia atlantica* se retrouve dans les zones rocailleuses et pâturages arides et dayas (Quézel et Santa, 1963).

C'est une espèce qui résiste bien aux températures élevées (49°C à Ghardaia) et aux températures basses (- 12°C à Djelfa). Néanmoins dans les zones semi-arides, les jeunes plants craignent les gelées fréquentes.

Les fleurs de *Pistacia* sont très sensibles, mais peuvent échapper à l'action néfaste des températures en raison de leur éclosion tardive (Ait Radi, 1979).

L'arbre bénéficie d'une pluviométrie maximum voisine de 1000 mm par an au niveau de sa limite septentrionale à l'ouest d'Alger (Morsli, 1992 in Ait Slimane, 2004). Il reçoit 600 mm sur le bord méridional de l'Atlas Tellien entre Benchicao et Berrouaghia. Sa tranche

pluviométrique va en décroissant (250 mm) dans les plains de Boughari et Boughazoul. Il se contente de 70 mm dans la région de Ghardaïa au pied de l'Atlas Saharien (Morsli, 1992 in Ait slimane, 2004). A Tamanrasset, sa tranche pluviométrique décroît jusqu'à 47,6 mm /an (Kadi-Bennane, 2004).

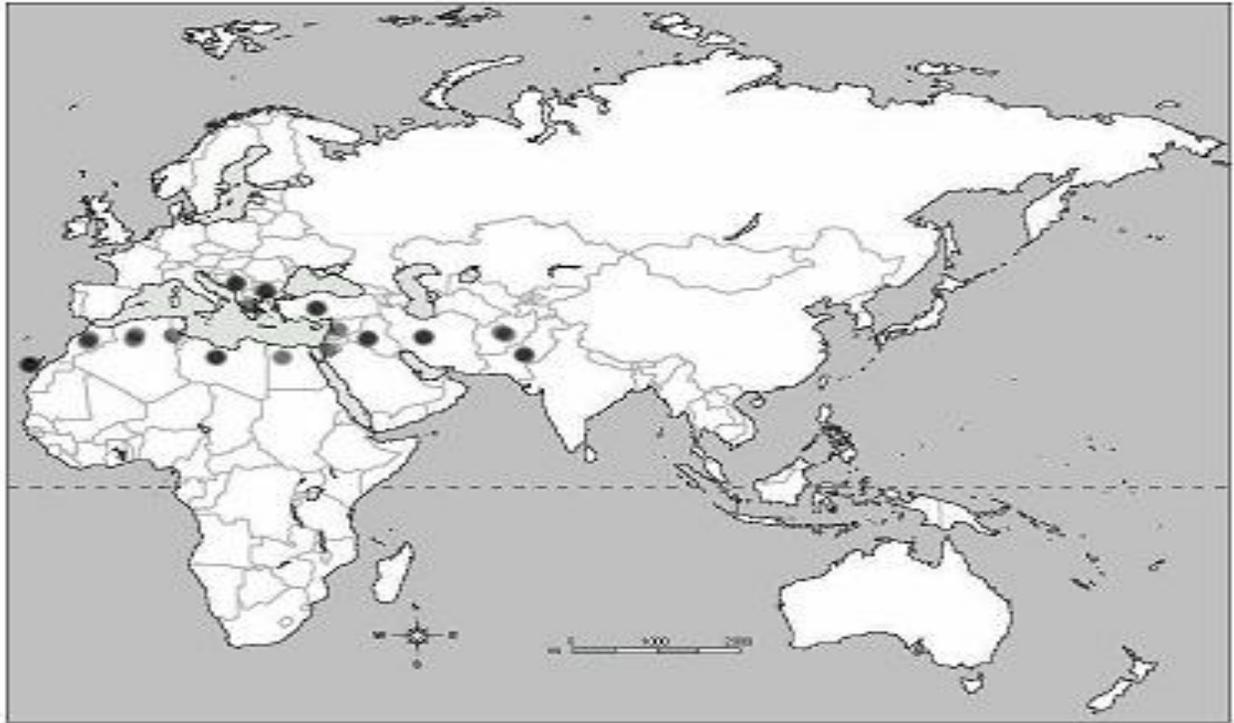
L'espèce est une essence héliophile à l'état adulte (Ait Radi, 1979). En général, les jeunes semis de pistachier se trouvent dans des touffes de *Ziziphus lotus*, mais bénéficient sans difficulté de la lumière nécessaire pour leur croissance (Monjauze, 1968).

Concernant les caractéristiques physiques et chimiques des sols sous le pistachier de l'Atlas, une large gamme de travaux a été effectuée dans le cadre des activités de recherche du laboratoire Ressources Naturelles à l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, sur des populations naturelles distribuées selon l'ordre d'un gradient nord-sud. La texture limoneuse est majoritaire dans les sols étudiés avec un pH basique, ils sont peu à modérément calcaires avec quelques échantillons fortement calcaires, pour le taux de matière organique, il diffère d'une station à l'autre, de très faible jusqu'à riche en matière organique (Deguiche, 2008 ; Limane, 2009 ; Bounceur, 2009; Tisgouine, 2010; Bentaleb, 2011; Amroune, 2013; Boubrima, 2014 ; Limane et *al.*, 2014, Hamitouche, 2016).

### **-Distribution géographique**

Dans le monde : le pistachier de l'Atlas est une essence ubiquiste, il se rencontre de la latitude 45°N jusqu'au tropique du Cancer, des îles Canaries jusqu'au Pakistan (longitudes 20 à 40° E). Il se retrouve en Algérie, au Maroc, en Tunisie, en Libye, en Egypte, en Palestine, en Jordanie, en Syrie, en Turquie, en Grèce (Monjauze, 1965 ; Alyafi, 1979 ; Monjauze, 1989 ; Hadj Brahim et *al.*, 1998) (Fig. 13).

En Algérie, le bétoum se présente à l'état de groupements isolés. Il se retrouve surtout sur l'Atlas saharien, dans le secteur du Sahara septentrional et dans l'Ahaggar (les lits d'oueds, les ravines et les zones d'épandages) (Monjauze, 1965 ; Abdelkrim, 1985).



**Figure 13:** Aire de répartition de *Pistacia atlantica* Desf. dans le monde (Zohary, 1952).

## II. 2.2 *Pistacia terebinthus*

Il est appelé Poustak en arabe: nom ancien du pistachier ; du grec Terebinthos : autre nom du Pistachier (Rameau et *al.*, 2008).

### -Caractéristiques botaniques

Arbuste ou petit arbre ramifié dès la base. Plante à odeur très fétide sur rocailles et broussailles, surtout en montagne (Quézel et Santa, 1963).

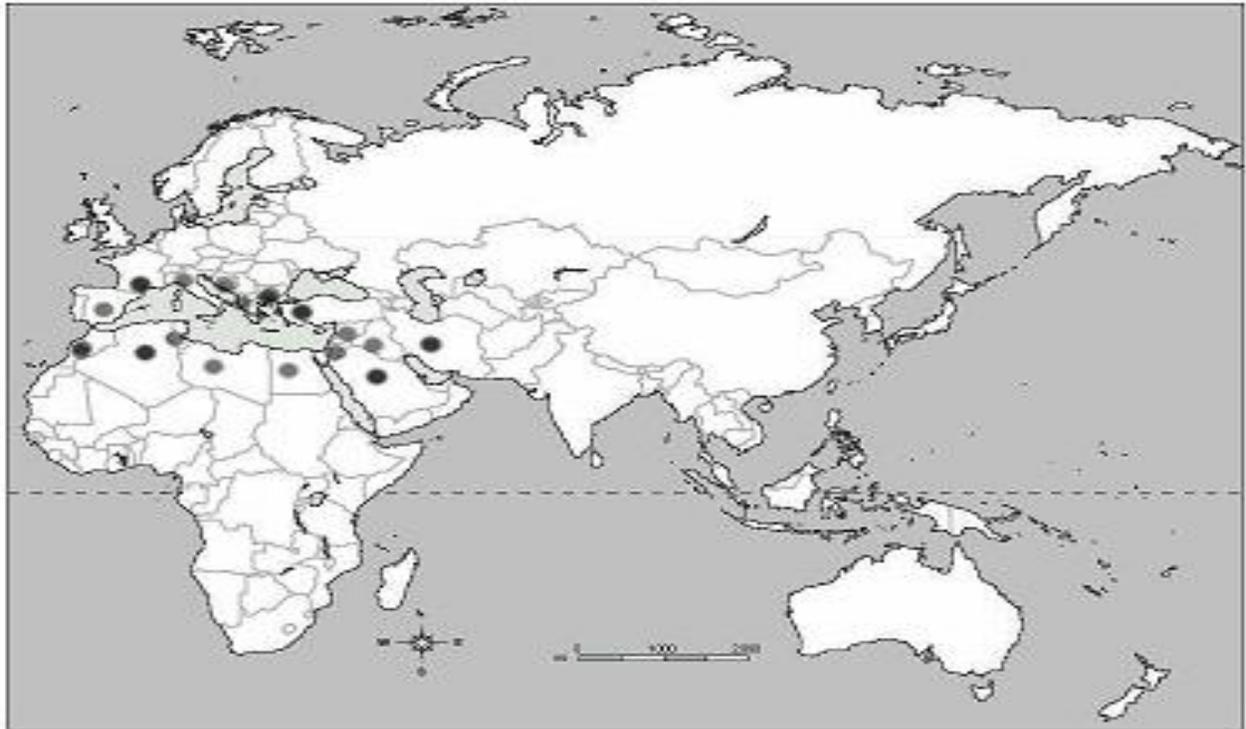
Fleurs brunâtres, réunies en grappes composées, axillaires, naissant sur les jeunes rameaux de l'année précédente, pédicelles courts, dioïques, floraison avril-mai, pollinisées par le vent. Les fruits sont des drupes ovoïdes petites, d'abord rouges puis brunes à maturité, fructification, septembre à octobre (Rameau et *al.*, 2008).

### -Aperçu écologique, climatique et pédologique

Le térébinthe est héliophile, mais l'espèce tolère un certain ombrage avec une grande variabilité des taux de saturation en cations des sols et du pH. Généralement répartie sur des altérites issues de roches diverses, généralement calcaires et plus rarement siliceuses ou marneuses. Il se trouve dans les maquis et les forêts plus ou moins claires (Rameau *et al.*, 2008). *Pistacia terebinthus* ne se rencontre pas dans les régions très arides ; on le trouve parfois dans les altitudes allant jusqu'à 2000 mètres (Everinoff, 1955).

### -Distribution géographique

Le pistachier térébinthe est commun en région méditerranéenne. Il monte jusqu'à 600m d'altitude, il se trouve dans l'étage supra-méditerranéen et l'étage continental) (Fig. 14). Il est employé comme porte-greffe, notamment la sous espèce *palaestina* en Syrie, Palestine, certaines régions de l'Afrique du Nord (Tunisie) et l'Italie (Evreïnoff, 1955).



**Figure 14:** Aire de répartition de *Pistacia terebinthus* dans le monde (AL-Saghir, 2006).

### II. 2.3 *Pistacia lentiscus* L.

Selon les pays, le pistachier lentisque est appelé Chios mastic tree en anglais, Mastixbaum en allemand, arbre au mastic ou Lentisque en français, Lentisco en espagnol, Derw ou Darw (arabe) en Afrique du nord (Feidemann, 2005).

#### **-Caractéristiques botaniques**

Selon Rameau *et al.* (2008), *Pistacia lentiscus* est un nanophanérophite (arbrisseau) de 1-3(6) m, plante à odeur résineuse, forte et désagréable, écorce d'un brun rougeâtre lisse puis écailleuse.

Ses feuilles sont composées alternes à pétiole étroitement ailé, 6 à 12 folioles petites (nombre paire) disposées en 2 rangs, coriaces, sans poils, luisantes en dessus, pâles et mates en dessous, persistantes et restent fonctionnelles pendant plusieurs années.

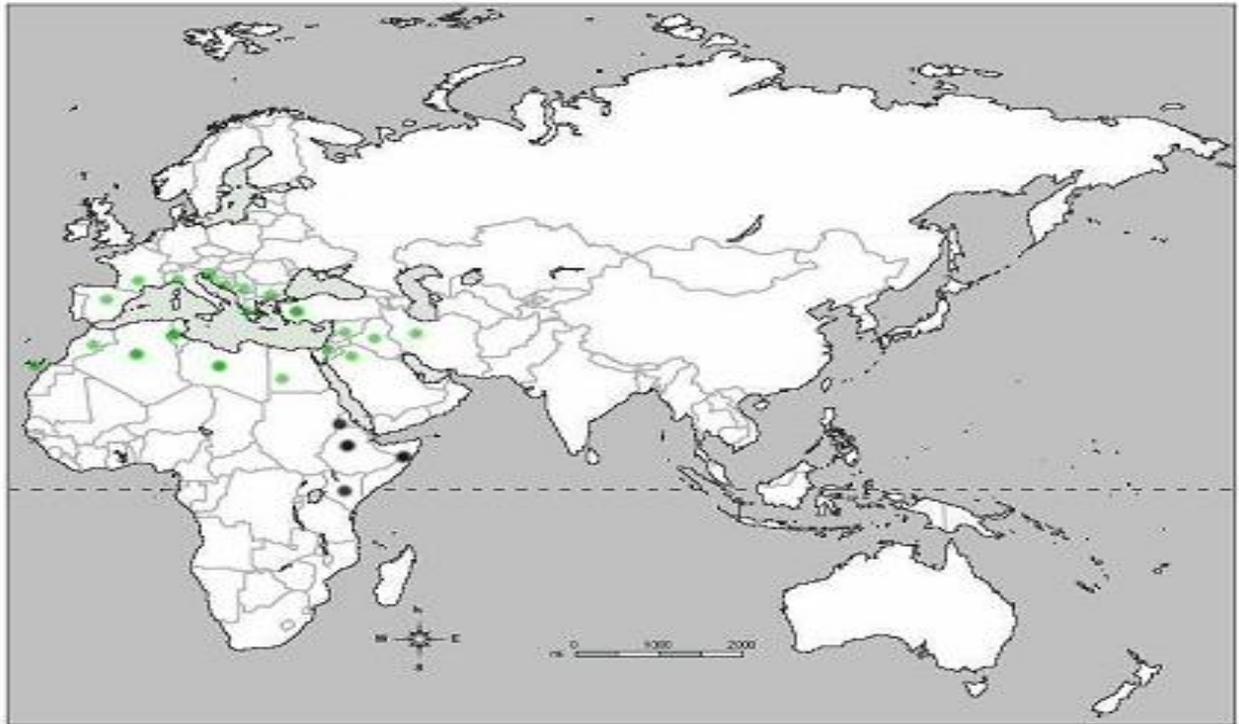
Les fleurs petites, verdâtres en grappes spiciformes, latérales, denses, pédicelles et bractéoles très courts, calice petit, brun, dioïques (organes unisexués des mâles et des femelles situés sur des pieds différents). La floraison s'étale d'avril à juin, et la pollinisation se fait par le vent. Les drupes petites (de taille d'un pois) de forme ovoïde, presque sèches, d'abord rouges puis noires à maturité, fructification en novembre. Le tronc est court (1 à 3 mètres) et dégage une odeur résineuse très prononcée. Il peut cependant atteindre la taille d'un arbre lorsqu'il est dans des sites humides et protégés.

Il existe un hybride *P. lentiscus* x *terebinthus* (*P. sportae*) Burnat à pétioles plus ou moins ailés, aux feuilles longtemps persistantes, plus ordinairement imparipennées, avec des grappes composées et paniculées (Rameau *et al.*, 2008).

#### **-Répartition géographique et phytosociologie**

C'est l'une des principales composantes des maquis méditerranéens de basse altitude (Fig. 15). Elle montre une distribution circumméditerranéenne et s'étend jusqu'au Nord-Est de l'Afrique et de l'île de Madère (Zohary, 1952,1996 in Doghbage, 2011). A l'intérieur de la péninsule ibérique, elle croît à basse altitude (Garrigues) dans des zones ombragées, évitant des endroits à hiver froid (Castro-Diéz *et al.*, 1998 in Doghbage, 2011).

D'après Molinier (1954), le lentisque constitue avec le caroubier et l'olivier des formations de type pré-forestières, donnant un paysage arboré plus ou moins dense le plus souvent de type «brousse» qui revêt une importance en régions méditerranéennes, essentiellement dans les variantes chaudes et tempérées des bioclimats semi-arides, subhumides et même humides, essentiellement sur substrat calcaire. Présent sur tout le pourtour méditerranéen (Fig. 19), *Pistacia lentiscus* se cantonne préférentiellement aux étages thermo et méso méditerranées ; il ne dépasse guère 400 m d'altitude, toutefois il atteint par endroits les rivages français, notamment dans les Alpes maritimes et en province orientale. Le lentisque est présent dans la quasi totalité des groupements méditerranéens; son rôle est important en Italie littorale et sur la côte d'Azur (ass. à *Olea europea* et *Pistacia lentiscus* en compagnie du caroubier qui apparaît d'ailleurs en limite Nord de son aire de répartition (Molinier, 1954; Loisel, 1976 in Boukeloua, 2009).



**Figure 15:** Aire de répartition de *Pistacia lentiscus* dans le monde. En Noir ; *P. lentiscus* subsp. *emarginata*. En Vert ; *P. lentiscus* subsp. *lentiscus* (Al-Saghir, 2006).

### II. 2.4 *Pistacia vera* L.

Le pistachier vrai est la seule espèce du genre *Pistacia* qui ait réellement une importance agronomique certaine, car son fruit est la pistache comestible (Aoudjit, 2006). La détermination de l'aire géographique d'origine est assez difficile en raison de l'ancienneté de la culture. Si l'espèce se rencontre actuellement dans les pays méditerranéens en Crimée et en Transcaucasie, elle n'a été observée qu'à l'état sauvage dans la partie orientale de son aire actuelle : Syrie, Iran, Afghanistan et surtout Turkestan (Lemaistre, 2000).

#### **-Caractéristiques botaniques**

Arbre xérophytique, à feuilles caduques, peut atteindre entre 8 et 10 m de hauteur, à feuilles larges renfermant entre 3 à 5 folioles (Zohary, 1996). L'inflorescence mâle est une grappe composée, de 6 cm de long en moyenne. Elle comprend de 190 à 260 fleurs. La fleur femelle petite et apétale, comprend un calice de 3 à 5 sépales et un gynécée formé d'un ovaire sessile à 3 carpelles soudés, sans cloison intercalaire (Mlika, 1987).

Il reste pratiquement le seul porte-greffe employé (aussi bien ses formes sauvages que ses formes cultivées, obtenues par semis) en Asie centrale, Perse, Afghanistan et le Caucase (Evreïnoff, 1995). Son système racinaire est très puissant. En germant, la graine émet un très long pivot, il atteint parfois 7 m de profondeur et un système racinaire latéral pouvant atteindre la longueur de 5-10 m du collet de l'arbre. Cet ensemble de racines permet au pistachier de supporter les périodes sèches de l'année en cherchant l'humidité dans le sol et se développer dans sols médiocres et dans les zones arides (Lemaistre, 2000).

#### **-Répartition géographique**

Dans une synthèse, Belhadj (2007) a rapporté que *P. vera* natif de Syrie, Iran, Afghanistan, Balûchistân et de certaines régions du Nord de l'Inde et d'Anatolie, a été cultivé dans l'Ouest de l'Asie et dans les pays méditerranéens depuis l'ère chrétienne. Plusieurs variétés ont été décrites dans ces régions, mais les relations entre elles n'ont pas encore été bien étudiées (Zohary, 1952 ; Hormaza et al., 1994).

### II.3 Principaux rôles et utilisations de ces espèces

Les études phytochimiques indiquent que les espèces de *Pistacia* sont riches en monoterpènes (Monaco *et al.*, 1982), triterpénoïdes tétracycliques (Caputo *et al.*, 1975 ; Ansari *et al.*, 1993 ), en flavonoïdes (Kawashty *et al.*, 2000) en d'autres composés phénoliques y compris l'acide gallique (Shi et Zuo, 1992; Zhao *et al.*, 2005) et en huiles essentielles (Küsmenoglu *et al.*, 1995).

Sur le plan médicinal, différentes parties de *P. vera*, *P. atlantica*, *P. terebinthus* et *P. lentiscus* ont été utilisées en médecine traditionnelle à des fins diverses comme tonique, aphrodisiaque, antiseptique, antihypertenseur, gastro-intestinal, hépatique et urinaire. Les espèces ont été utilisées pour l'hygiène dentaire et pour les voies respiratoires (Bozorgi *et al.*, 2013). *P. lentiscus* est rarement indiqué dans les listes des plantes à huile alimentaire et l'on peut penser que cette négligence est, en fait, directement liée à la quasi-disparition de son exploitation (Lanfranchi *et al.*, 1999).

Selon Alhabbal *et al.*, (1984), le mastic de *P. lentiscus*, est efficace pour le traitement de certaines maladies telles que l'ulcère duodéal, l'ulcère gastrique et les aphtes. Les feuilles du térébinthe sont utilisées dans le traitement des brûlures. Sa résine utilisée comme antiseptique en cas de bronchites et autres troubles respiratoires et dans le traitement des maladies du système urinaire (Topçu, 2007).

Le térébinthe est riche en tanins et de substances résineuses qui ont été utilisés pour leur parfum aromatique et médicinal. La résine aide à soigner l'asthme, elle a également des propriétés anti-inflammatoires et antipyrétiques (Baytop, 1984). L'activité anti-inflammatoire est probablement liée à la présence de certains composés triterpéniques de l'espèce (Giner-Larza, 2001; Giner-Larza, 2002). L'extrait méthanolique des galles des feuilles du térébinthe a été révélé actif contre les affections inflammatoires (Giner-Larza, 2002).

Sur le plan nutritif, les feuilles et les fruits de *P. atlantica* fourniraient un appoint de fourrage appréciable (Khaldi et Khodja, 1996 ; Ghorbel *et al.*, 2001). L'amande du fruit est comestible et s'emploie en poudre ou en décoction avec les feuilles contre les maladies de l'estomac (Bellakhdar, 1997).

Les pistaches ont une valeur très importante autant que les noisettes et les amandes, elles entrent dans la composition de certains mets et on les mange comme dessert. Les pistaches comme les autres fruits oléagineux contiennent une quantité importante en phospholipides et une quantité moyenne de protéines en plus de leurs teneurs en sucres et éléments minéraux. Les pistaches sont aussi de bonnes sources de magnésium, phosphore, potassium, vitamines du groupe B, vitamine E et fibres (Sid-Ahmed, 2015). Les fruits du térébinthe sont consommés comme le café, la matière grasse extraite de ses fruits est utilisée comme huile alimentaire ainsi que dans la production de savon (Baytop, 1984 ; Tanker et Tanker, 1998).

Le pistachier de l'Atlas contient un taux important (73%) d'acides gras insaturés (Yousfi et al., 2005). Le suintement du tronc d'arbre donnant l'encre rouge est utilisé dans la tannerie des peaux (Daneshrad et Aynehchi, 1980). La résine qui suinte de l'arbre est largement utilisée en industrie agroalimentaire pour préparer les masticatoires et en médecine dentaire (Chief, 1982). Les galles développées sur les feuilles, appelées aff's en Algérie, et selon Bellakhdar (1997) qwawas au Maroc, sont source de tannins (Zohary, 1987). La galle s'utilise au Maroc en poudre mélangée au henné, dans les soins de la chevelure. Les galles de *P. terebinthus* sont utilisées pour le tannage du cuir (Belhadj, 2007).

Les feuilles de *P. atlantica*, sont utilisées dans la région de Boussaâda pour raffermir et pour traiter la peau de chèvre servant à garder l'eau au frais (Elguerba) (Belhadj, 2007). Les graines sont utilisées pour tanner le cuir et fabriquer des savons (Yaltirik, 1967 ; Jafri et El-Gadi, 1978). L'amande du fruit est comestible et s'emploie en poudre ou en décoction avec les feuilles contre les maladies de l'estomac (Bellakhdar, 1997).

En Algérie, l'huile extraite des fruits est souvent mélangée aux dattes ou figues écrasées et consommées à toute heure de la journée avec du petit lait. Ce petit met est emporté par les bergers, dans les parcours, durant les saisons froides pour lutter contre le froid. Ce mélange est aussi consommé par les plus jeunes et les plus vieux contre le rhume, la toux et le stress (Belhadj, 2001 ; 2002 ; 2007). L'huile de cette espèce est dense et très énergétique, elle a un goût proche de celui du beurre, elle est très appréciée dans la région des hauts plateaux (Belhadj, 2001). Au Maroc, l'huile s'emploie en frictions externes contre les toux et les refroidissements (Bellakhdar, 1997).

Le fruit vert séché préparé en tisane aurait également une action contre le diabète. Les graines sont séchées, moulues et mélangées avec de l'eau sucrée pour en fabriquer de petites galettes. Les graines sont aussi consommées séchées comme des « amendons » puisqu'elles sont aromatisées (Belhadj, 2001). L'arbre fournit un bois d'artisanat, de construction (charpentes), de chauffage, de mobilier et de sièges (Belhadj, 2002). Les graines sont utilisées pour tanner le cuir et fabriquer des savons (Yaltirik, 1967 ; Jafri et El-Gadi, 1978).

Par son utilisation pour le reboisement, *P. atlantica* peut entrer dans le cadre de la lutte contre la désertification dans les zones arides et semi arides en produisant notamment une grande quantité d'humus susceptible d'améliorer les qualités physico-chimiques des sols (Boudy, 1952; Mirzaie-Nodoushan et Arefi, 2001 ; Belhadj, 2007). De même, le lentisque peut être considéré comme conservateur des sols, grâce à son système racinaire et la quantité d'humus produit.

Toutes ces espèces sont résistantes au stress causé par les insectes, les maladies et l'environnement ; elles sont utilisées comme porte-greffes pour *P. vera* (Kaska, 1994 ; Belhadj, 2007).

*Pistacia vera* a connu un accroissement certain de son importance favorisé par le développement de l'industrie de la confiserie et de la pâtisserie à base de pistache dont la production mondiale oscille entre 60000 et 95000 tonnes par an (Aoudjit, 2006).

### II.4 Synthèse des travaux réalisés sur les espèces étudiées

La majorité des études réalisées sur ces espèces sont pour la plupart d'ordre écologique, ethnobotanique qui touchent les feuilles, les fruits et le système racinaire, mais la partie microbiologique et plus précisément les relations symbiotiques entre les champignons de la rhizosphère de ses racines sont très pauvres.

En Algérie, beaucoup d'études ont été réalisées sur ce genre mais la plupart d'entre elles ont concerné *P. atlantica*. Les études les plus intéressantes et pertinentes, effectuées dans le monde et en Algérie sont citées dans les tableaux 03 et 04.

**Tableau 03 :** Synthèse, non exhaustive, des travaux réalisés sur les espèces du genre *Pistacia* dans le monde.

<b>Espèces</b>	<b>Auteurs</b>	<b>Sujet</b>	<b>Pays</b>
<b>-Pistachier de l'Atlas</b>	Yaaqobi et <i>al.</i> (2009)	Étude biologique.	Maroc
<b>-Pistachier vrai</b>	Fasihi Harandi et Ghaffari (2001).	Étude des chromosomes.	Iran
<b>-Pistachier lentisque</b>	Trabelsi et <i>al.</i> (2012)	Étude des lipides totaux des fruits.	Tunisie
<b>-Pistachier de l'Atlas</b>	Tingshuang et <i>al.</i> (2008)	Phylogénétique.	Chine
<b>-Pistachier térébinthe</b>	Mohannad et <i>al.</i> (2005)	Distribution des stomates	USA
<b>-Pistachier lentisque</b>			
<b>-Pistachier vrai</b>			
<b>-Pistachier de l'Atlas</b>	Kafkas et Ortas (2009)	Amélioration du poids sec et l'absorption de P et Zn par les champignons mycorhiziens.	Turquie
<b>-Pistachier térébinthe</b>			
<b>-Pistachier vrai</b>			
<b>-Pistachier de l'Atlas</b>	Ghaffari et <i>al.</i> (2003)	Variation des chromosomes	Iran
<b>-Pistachier vrai</b>	Behboodi (2012)	Étude de la distribution écologique pour la sélection des porte-greffes.	Iran

**Tableau 04 :** Synthèse, non exhaustive, des travaux réalisés sur les espèces de *Pistacia* en Algérie.

<b>Espèces</b>	<b>Auteurs</b>	<b>Sujet</b>
<b>-Pistachier de l'Atlas</b>	Monjauze (1980)	Étude écologique.
	Benhassaini et Belkhouja (2004)	Entre survie et disparition de cette espèce en Algérie.
	Berrichi et al. (2007)	Quelques aspects histo-morphologiques.
	Belhadj (2007) Belhadj et al. (2007a, 2007b, 2008, 2011)	Étude éco-botanique (macromorphologie, micromorphologie).
	Maamri (2008)	Dosage lipidique, phénolique, essais antileishmaniens.
	Ghalem et mohamed (2009)	Activité bactéricide contre certains agents pathogènes.
	Smaili (2011)	La variabilité des caractères des feuilles et des fruits.
	Djenidi (2012)	Éssais de germination, extraction des polyphénols et activité antimicrobienne.
	Limane (2009)	Architecture racinaire en relation avec les propriétés physico-chimiques du sol.
	Benaradj et al. (2015)	Phyto-diversité de <i>P. atlantica</i> dans le Sahara (Bachar).
	Bouabdelli et al. (2017)	Influence de l'aridité sur la variation de la colonisation mycorhizienne.
<b>-Pistachier vrai</b>	Chebouti-Meziou et al. (2011)	Entomofaune chez <i>Pistacia atlantica</i> .
<b>-Pistachier de l'Atlas -Pistachier lentisque</b>	Ait said (2011)	Stratégie adaptative aux conditions d'altitude salinité et aridité.
	Smail-Saadoun (2002)	Types stomatiques.
<b>-Pistachier de l'Atlas -Pistachier térébinthe</b>	Louzabi et al. (2016)	Étude des galles.
<b>-Pistachier de l'Atlas -Pistachier lentisque -Pistachier térébinthe -Pistachier vrai</b>	Doghbage (2011)	Étude de la variabilité des caractères foliaires et stomatiques.

---

# **Chapitre III :**

## **Etude du milieu**

---

### III.1 Description de la zone d'étude

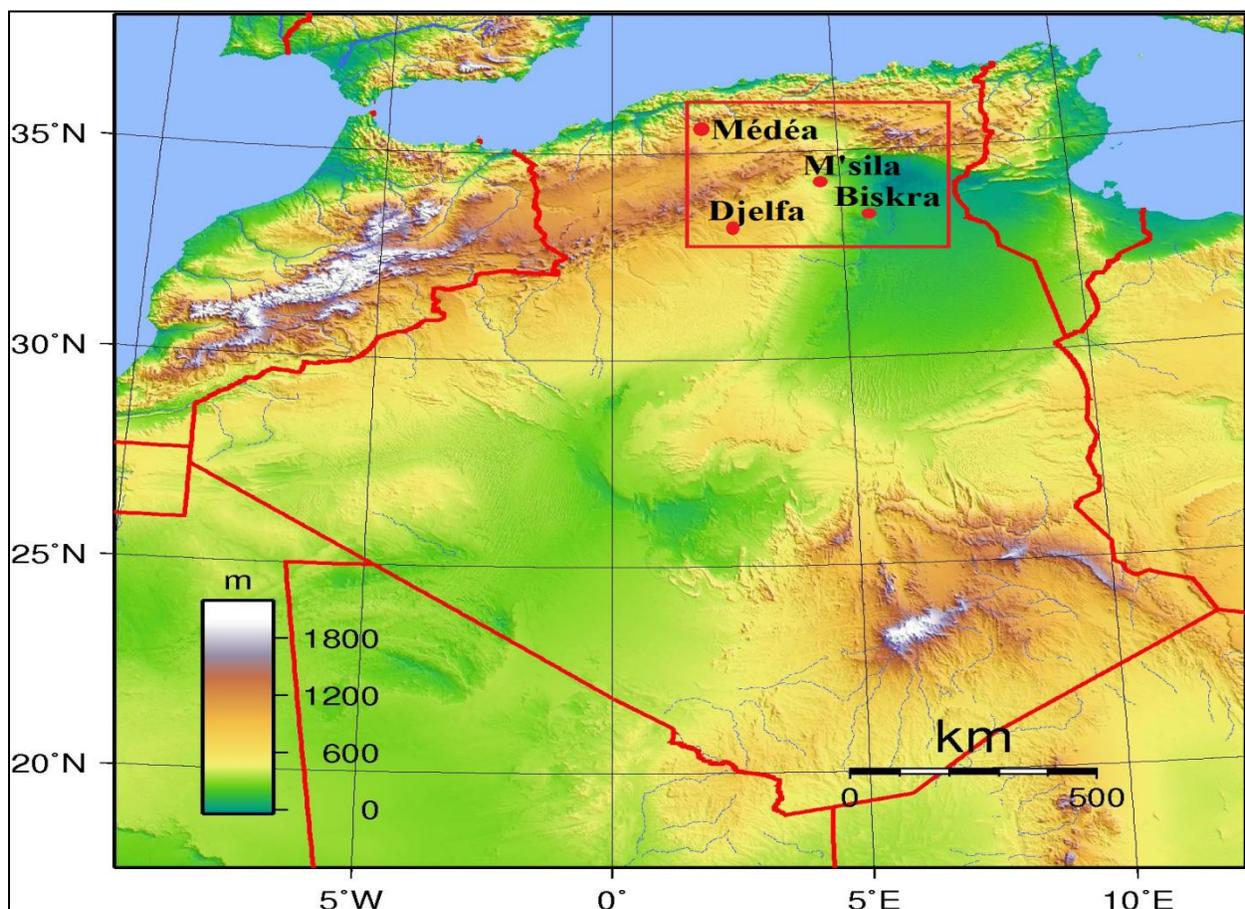
La zone d'étude est située dans la partie centrale d'Algérie, dans laquelle trois wilayas ont été retenues pour effectuer notre échantillonnage (Fig. 16). Au total, neuf sites sont retenus pour ce travail, un à Médéa (Sidi-Naâmane), cinq d'entre eux sont situés à Djelfa (Aïn-Ouessara, Messaâd, Goutaia, Senalba et ITMA), deux à M'sila (El-Mergueb et Djebel-Missaâd) et un dernier à Biskra (Sidi-Khaled). Quatre espèces sont choisies pour notre étude :

**-*Pistacia atlantica***: Sidi-Naâmane (N), Aïn-Ouessara (A), Goutaia (G) Messaâd (M), El-Mergueb (E) Sidi-Khaled (K) ;

**-*Pistacia terebinthus***: Senalba (S), Goutaia (T) et Djebel-Missaâd (B);

**-*Pistacia lentiscus***: Djebel-Missaâd (L);

**-*Pistacia vera***: ITMA (I).



**Figure 16** : Situation de la zone d'étude.

## III.2 Présentation de la zone d'étude

### III.2.1 Station de Médéa

Le chef lieu de la wilaya de Médéa se situe à 88 Km au Sud d'Alger, sur la route nationale N°01. Elle occupe une superficie de 8700Km<sup>2</sup>. Médéa est une zone de transit principale et un trait d'union entre le Tell et le Sahara, d'une part, et entre les Hauts Plateaux de l'Est et ceux de l'Ouest, d'autre part. Ceci grâce à l'important réseau de routes nationales principales.

Le climat de Médéa se distingue par des caractéristiques dues à de nombreux facteurs qui sont entre autres :

- Son altitude qui atteint 1240 m au dessus du niveau de la mer (sommet de Benchicao) ;
- Sa position sur les monts de l'Atals tellien ;
- Son exposition aux vents et aux vagues de courants venant de l'Ouest.

Médéa dispose d'une superficie forestière estimée à 161320 hectares, comprenant principalement le pin d'Alep, le chêne liège et le chêne vert. En plus de cette richesse en arbres forestiers, on retrouve également différentes variétés de plantes et d'arbustes aux vertus médicinales. Parmi ces plantes, nous citerons le romarin, le frêne, la bruyère et l'eucalyptus (DGF, 2015).

L'espace vital de la wilaya de Médéa se compose de trois principales zones qui sont :

- La zone montagneuse : elle se compose d'une chaîne de montagnes continue qui limite la partie Ouest et Nord de la wilaya. Cette zone s'étend des monts de l'Ouarsenis jusqu'à Tablât. Elle se distingue par un faible taux de densité démographique et par une large couverture forestière, ce qui en fait une zone d'élevage par excellence ;
- La zone des plaines : Elle comprend les plaines de Beni- Slimane et de M'Rachda qui se situent au milieu de la zone tellienne. Ces plaines se singularisent par la culture des arbres fruitiers et l'élevage ;
- La zone Sud : Cette zone se caractérise par l'irrégularité de la pluviométrie. C'est la culture des céréales qui y est répandue en plus de l'élevage ovin, bovin et caprin.

### III.2.2.1 Sidi-Naâmane

Notre site d'étude est situé au niveau de la commune de Sidi-Naâmane (Fig. 17). Notre région s'étend sur une superficie de 11675 ha entre les parallèles 36°11' et 36°22' nord et la longitude 3°00' et 3°10' à l'est du méridien international.

Elle se situe sur une altitude de 600-800 m, les reliefs se caractérisent par des pentes faibles qui varient de 0% à 15% dans la partie nord et d'une pente faible de 0% à 6% dans la partie sud.

Elle est limitée administrativement par la commune de Baâta à l'est au nord, la commune de Bouchrahil à l'est, les communes de Khams-Djouamaa et Ouled Deïde au sud et au sud-ouest et enfin par les communes de Ouled Brahim et El Omaria à l'ouest.

La population du pistachier de l'Atlas concernée se localise dans la région d'Oued Besbes sur la route nationale N°18 à 5 km vers l'ouest de la commune de Sidi-Naâmane.



**Figure 17** : Situation géographique de la wilaya de Médéa avec la station d'étude.

### III.2.2 Stations de Djelfa

La wilaya de Djelfa est située dans les hauts plateaux, dans la partie centrale de l'Algérie du Nord à égale distance de ses frontières Est et Ouest. Elle est située à 300 km au sud du pays, à 110 km au Nord de Laghouat et 80 km au Sud-ouest de Boussaâda. Elle est comprise entre 2° et 5° de longitude Est et entre 33° et 35° de latitude Nord.

La région de Djelfa occupe, à 1200 mètres d'altitude, une large dépression dans les monts des Ouled Naïl. Elle se caractérise par des reliefs relativement élevés. Les principales chaînes montagneuses qu'on y trouve sont :

- Djebel Shari qui se prolonge à l'Est et culmine à 1484 mètres d'altitude ;
- Djebel Senalba au Nord-ouest avec une altitude d'environ 1489 mètres et s'étend sur 40 km de longueur ;
- Djebel Gharbi et Chergui au Nord-Nord- Est avec des altitudes de 1400 et 1450 mètres ;
- Djebel Zerga et Tafara au Sud- Ouest culminant à 1000 mètres. Ce dernier s'allonge vers le Nord- Est pour atteindre 1363 mètres d'altitude.

Le réseau hydrographique est de type endoréique drainé vers les dépressions fermées (chotts et sebkha) (Chibane et *al.*, 2010). Le synclinal de Djelfa qui représente une vaste structure régulière est constitué par les successions géologiques suivantes (Chibane et *al.*, 2010):

- le Crétacé inférieur : épaisse séries, en grande partie continentale, formées par des dépôts calcaires, marno-calcaire, calcaire-marne, marnes et marno-calcaire-argileux ;
- le Trias est composé d'argile et de gypse : le sel joue un rôle fondamental de par son extension et sa forte teneur ;
- le Mio-Pliocène est composé de Calcaire marneux de marne, d'argile bleutée gréseuse et rouge à poudingue (Kherfane, 2014).

L'échantillonnage a été réalisé aux lieux dits :

- Dayet Boucedraia (DB), à 10km au Sud du chef lieu de la daïra d'Aïn-Ouessara ;
- Forêt de Goutaia (FG), à 20 km ouest de la commune de Charef ;
- Forêt de Senalba Chergui (FS), à 13 km du chef lieu de Djelfa ;
- Dayet Echaàla (DE), à 24 Km du chef lieu de la daïra de Messaâd
- Verger de l'ITMA (VT), 4 Km du centre ville de la wilaya de Djelfa (Fig. 18).



**Figure 18** : Situation géographique de la wilaya de Djelfa avec les stations d'étude : Aïn-Ouessara (Dayet Boucedraia) , Forêt de Goutaia , Forêt de Senalba, Messaâd (Dayet Echaàla), ITMA (Djelfa) .

### III.2.2.1 Aïn-Ouessara

La zone d'étude est localisée dans la plaine de Boucedraia située à 10 km au sud de Aïn-Ouessara. La surface topographique est relativement plate vers le nord (altitude moyenne 650 à 700 m) et accidentée vers le sud (Messen et *al.*, 2002). La population de pistachier de l'Atlas est limitée à l'est par la route nationale N°1, l'oued Boucedraia la contourne à l'ouest, au sud par Hassi El Oussif, et au nord par Aïn-Ouessara.

### III.2.2.2 Messaâd

La station de dayet Chaaàla est située dans la région de Messaâd, cette dernière s'étend sur une superficie de 13962 ha. C'est une zone de transition entre deux types de formations végétales : les formations des hauts plateaux à *Stipa tenacissima* et *Artemisia herba alba* et les formations des régions présahariennes à *Arthrophytum scoparium*. La majorité des sols de cette

zone sont calcaires, peu profonds et présentent un taux de matière organique faible et une texture sableuse qui les rend sensibles à l'érosion, les terres agricoles se situent le long de l'oued de Messaâd. La pluviométrie est très faible (170 mm/an), et elle est inférieure à 100 mm/an en cas de sécheresse. La température est élevée en été. A cela s'ajoute des vents fréquents qui accentuent l'érosion éolienne (D.P.A.T, 2002).

### III.2.2.3 Forêt de Goutaia

Elle est située à la daïra de Charef qui s'étend sur 590,6 km<sup>2</sup> et entourée par Beni Yagoub, Zaafrane et El Guedid ; elle est située à 1 173 m d'altitude. Cette forêt est riche du point de vue végétation tels que plusieurs herbacées (Alfa, Armoise) et arbres (des Pistachiers : *P. atlantica* et *P. terebinthus* ; Chêne vert ; Génévriers : oxycedre et de phoenicie et Peupliers (D.P.A.T, 2002).

### III.2.2.4 Forêt de Senalba

La forêt « Senalba Chergui » représente une petite partie de tout un ensemble forestier et pastoral des Monts de OuledNaïl (Atlas saharien) où elle occupe les collines montagneuses sur une superficie de 19 000 hectares. Située au nord-ouest de la ville de Djelfa, cette forêt constitue le dernier rempart contre le désert (Kadik, 1984). Le Senalba présente un climat de type méditerranéen semi continental avec une diversité bioclimatique, allant du semi-aride supérieur froid à l'aride supérieur frais à une altitude moyenne de 1200 mètres.

La végétation est dominée par trois essences : le pin d'Alep, le chêne vert et les genévriers. Cependant, ce sont les formations forestières basses de type matorral qui occupent la moitié de la surface et témoignent de la dégradation que connaît cette région. Les séries stratigraphiques et lithologiques sont essentiellement des formations crétacées où alternent des séries calcaires (plus ou moins dolomitiques), marno-calcaires et gréseuses avec intercalation d'argiles versicolores souvent gypseuses. Les sols peu profonds et saturés en calcium, appartiennent pour une grande part à la classe des sols calcimagnésiques. On y distingue plusieurs types de sols (Kadik, 1984) : des sols minéraux bruts, des sols peu évolués, des sols calcimagnésiques et des sols fersialitiques.

### III.2.2.5 ITMA

C'est un petit verger, localisé à l'ITMA situé à Ross-loyoun, un petit village localisé sur la route national N°1, à 4 km du centre-ville de Djelfa.

### III.2.3 Stations de M'sila

La wilaya de M'sila constitue une zone charnière de transition entre les deux grandes chaînes de montagne que sont l'Atlas tellien et l'Atlas saharien. Dans ses limites actuelles, M'Sila occupe une position privilégiée dans la partie centrale de l'Algérie du Nord. Elle est comprise entre 4° 56' et 5° 33' de longitude Est et 34° 13' et 36° 02' de latitude Nord. Par sa position géographique et ses caractéristiques climatiques, la wilaya de M'Sila fait partie de la région des "Hauts Plateaux Centre", avec Djelfa et Laghouat. La wilaya de M'Sila est caractérisée par une hétérogénéité sur le plan naturel. Sa configuration géographique constituée de plusieurs zones, présente une chaîne montagneuse de part et d'autre du chott El Hodna, essentiellement forestière, formée de plaines et piémonts; la cuvette du Hodna à fortes potentialités hydriques, renferme des terres fertiles, une zone steppique liée au pastoralisme et une zone désertique formée de dunes de sables éoliens (P.A.W, 2009).

Au Nord, la wilaya de M'sila est encadrée par les Monts du Hodna qui forment une véritable barrière (1900m) que seul l'Oued K'Sob arrive à franchir, au Nord-Ouest, les Monts du Titteri forment un ensemble complexe, que dissèquent l'Oued l'Ham et ses nombreux affluents (1810m). Ce qui constitue un véritable écran montagneux qui ferme l'extrémité occidentale de la wilaya (P.A.W, 2009). Au Sud, le cadre montagneux est nettement plus morcelé et ouvert, le bassin versant du Hodna est encadré par l'Atlas saharien dont le Djebel Fernane est le plus élevé (1667m) et encadre au Sud la vaste cuvette hydrologique de l'Oued M'cif. D'autre part, vers le Sud-Est, les Monts du Zab ferment la cuvette hodnéenne. Ces montagnes d'orientation grossière Sud-Ouest, Nord-Est ne forment pas en réalité un verrou efficace ; elles sont généralement d'altitude peu élevée (700 à 800m) et laissent de larges ouvertures. De plus, à l'Ouest, les Monts des Ouled Nail, se terminent au Nord de l'Oued Maïter, en plateaux ondulés, dont les fronts de côtes, dominent le Hodna (1027m et 1258m). Enfin, vers le Nord, une zone confuse succède à ces plateaux de petites collines (700m) qui ennoient au niveau de la plaine de l'Oued l'Ham (P.A.W, 2009). On peut relever l'existence de sols alluviaux, de sols calcaires, et de sols salés chotteux. Ils sont caractérisés par une zonalité de répartition selon la direction Ouest-Est et du Nord vers le Sud (de la montagne vers le centre de la plaine). En montagne, ils sont peu profonds

avec un horizon brun foncé limoneux- argileuse. En steppe, les dépôts quaternaires se caractérisent par des sols à encroûtement calcaire ou gypseux, par contre les sols alcalins et gypseux des dépôts alluviaux récents sont peu évolués (P.A.W, 2009).

Le domaine forestier de la wilaya occupe une superficie de 139 734 ha, représentant quelque 8% du territoire de la wilaya, à laquelle s'ajoute une importante nappe alfatière évaluée à plus de 200000 ha. Localisé essentiellement sur les massifs montagneux du Sud/Est (Monts des Ouled Naïl) et aussi sur les Monts du Hodna, le couvert forestier est constitué principalement de pin d'Alep, espèce la plus dominante. Les espèces secondaires sont le genévrier de phoenicie, le genévrier oxycèdre et le chêne vert (P.A.W, 2009).

Notre échantillonnage a été réalisé à la daya d'El-Mergueb et la forêt de Djebel-Missaâd (Fig. 19).

### **III.2.3.1 El-Mergueb**

C'est une réserve naturelle d'El-Mergueb, située dans la commune de Sidi-Aissa et caractérisée par:

-Sa géologie est du Crétacé, les substrats géologiques varient entre : calcaire, marne et limon. Il s'agit d'une zone d'épandage temporaire drainée par des écoulements d'oueds temporaires à accumulation limono-sableuses et quelques croutes gypso-salines;

-Les espèces végétales dominantes à formation herbacée, dominée par l'Alfa; il existe des formations arborescentes localisées dans les zones de reboisement forestier à travers la réserve, dominé par le pin d'Alep, on y trouve aussi des pieds de pistachier de l'Atlas, il s'agit de quelques reliques, occupant les berges des oueds, ils sont plus ou moins en bon état sanitaires.

C'est un groupement de 70 arbres dispersés, les sujets sont âgés et la régénération un peu difficile (P.A. W, 2009).

### **III.2.3.2 Djebel-Misaâd**

La forêt de Djebel-Missaâd située dans la commune de Sidi M'hamed, est caractérisée par:

-La géologie est du crétacé avec un substrat géologique : calcaire, marne, grès, dolomie, marno-calcaire. Il s'agit d'une zone d'épandage temporaire drainée par des écoulements d'oueds temporaires;

-La végétation est caractérisée par des prairies temporaires formées de graminées caractérisant une végétation steppique plus ou moins dégradée. Les formations arborescentes sont localisées dans les zones forestières sur les hauteurs des Djebel-Missaâd tel que le pin d'Alep, le Genévrier de Phoenicie et Oxycedre, et le Chêne vert.



**Figure 19** : Situation géographique de la wilaya de M'sila avec les stations d'étude : El-Mergueb et Djebel-Missaâd.

### III.2.4 Stations de Biskra

La wilaya de Biskra est localisée au sud-est algérien entre la région des Aurès et les Zibans et s'étend sur une superficie de près de 2 167,20 km<sup>2</sup>. Les montagnes représentent un faible pourcentage de la superficie totale de la wilaya (13%), ils sont principalement concentrés dans le nord. Les plateaux sont moins larges que la région montagneuse, ils se localisent dans les zones de piémont et se prolongent jusqu'au sud-ouest, créant le Plateau de Oulad- Jalal (Rouahna, 2007).

### III.2.4.1 Sidi-Khaled

Notre échantillonnage a été réalisé dans la commune de Sidi-Khaled qui est située à 100km au Sud-ouest de la ville de Biskra. La commune s'étend sur 212,60 km<sup>2</sup> (Fig. 20).



**Figure 20** : Situation géographique de la wilaya de Biskra avec la station d'étude : Sidi Khaled.

### III.3 Étude climatique des zones d'échantillonnage

Les données climatiques (températures et pluviométrie) nous ont été fournies par les différentes stations régionales de l'Office National de Météorologie (O.N.M., Djelfa, Médéa, Biskra et M'sila).

La pluie et la température constituent les mots clé du climat, elles influencent directement sur la végétation. C'est pour cela, et afin de caractériser le climat de notre zone d'étude, nous avons exploité les données météorologiques des stations suivantes.

### III.3.1 Paramètres climatiques

On étudie les principaux paramètres climatiques, la pluviométrie et les températures (maximale et minimale). Les tableaux suivants (05-08) montrent les caractéristiques climatiques des quatre stations étude :

**Tableau 05:** Caractéristiques climatiques de la station de Médéa (1992-2015).

Mois	M (C°)	m (C°)	M+m/2 (C°)	P (mm)
Janvier	9,3	4	6,7	102,9
Février	9,8	4,1	6,9	91,3
Mars	13,5	4,1	10	69,5
Avril	16,3	8,6	12,5	70,7
Mai	21,4	12,9	17,2	56,7
Juin	27,3	17,6	22,4	9,7
Juillet	31,7	21,4	26,6	3,7
Août	31,5	21,4	26,5	8,2
Septembre	25,8	16,7	21,3	37,1
Octobre	20,9	13,3	17,1	53,4
Novembre	13,6	8	10,8	96,4
Décembre	10,2	5,2	7,7	93,4
Total	_---	---	---	<b>693</b>

(ONM Médéa, 2016).

**Tableau 06:** Caractéristiques climatiques de la station de Djelfa (1990-2015).

Mois	M (C°)	m (C°)	M+m/2 (C°)	P (mm)
Janvier	10	0,2	5,1	28,8
Février	10,2	1,8	6	33,5
Mars	14,7	3,4	9,05	25,7
Avril	17,3	6,1	11,7	30,1
Mai	23,6	10,8	17,2	28,6
Juin	29,6	15,7	22,65	16
Juillet	34,2	18,8	26,5	9,6
Août	33,6	18,5	26,05	22,7
Septembre	26,8	14,1	20,45	34,2
Octobre	21,3	9,8	15,55	27,6
Novembre	14,4	4,7	9,55	24,7
Décembre	10,8	1,7	6,25	26,2
Total	_---	---	---	<b>307,7</b>

(ONM Djelfa, 2016)

**Tableau 07:** Caractéristiques climatiques de la station de M'sila (2004-2013).

Mois	M (C°)	m (C°)	M+m/2 (C°)	P (mm)
Janvier	14,93	3,96	9,44	9,2
Février	16,16	4,7	10,43	15,04
Mars	20,69	7,4	14,04	15,44
Avril	24,54	11,71	18,12	28,52
Mai	30,18	16,43	23,30	23,24
Juin	35,32	20,46	27,89	8,12
Juillet	40,47	24,74	32,60	6,43
Août	39,36	20,55	29,95	6,25
Septembre	32,55	15,76	24,15	30,68
Octobre	27,25	15	21,12	22,96
Novembre	19,32	8,64	13,98	15,4
Décembre	15,13	5,01	10,07	10,17
Total	_---	---	---	<b>191,45</b>

(ONM M'sila, 2014).

**Tableau 08:** Caractéristiques climatiques de la station de Biskra (1991-2014).

Mois	M (C°)	m (C°)	M+m/2 (C°)	P (mm)
Janvier	17,03	6,82	11,93	25,31
Février	19,04	8,07	13,56	7,49
Mars	23,06	11,29	17,18	15,11
Avril	26,61	14,8	20,71	15,30
Mai	31,71	20,02	25,86	10,12
Juin	37,19	24,66	30,93	4,65
Juillet	40,88	27,76	34,32	7,79
Août	40,01	27,76	33,88	2,65
Septembre	34,13	23,17	28,65	16,40
Octobre	28,83	17,92	23,37	14,66
Novembre	21,96	11,94	16,95	19,53
Décembre	17,60	7,965	12,78	10,93
Total	_---	---	---	<b>149,94</b>

(ONM Biskra, 2015).

### III.3.1.1 La pluviométrie et le régime saisonnier des stations

Médéa reçoit environ 693mm de pluie annuellement, les maximums de pluies sont enregistrés dans le mois de Janvier (102,9 mm) ; alors que le mois de Juillet ne reçoit que de faibles quantités (3,7 mm). La station de Médéa présente un régime saisonnier de type **HPAE** (Tableau 09). Djelfa reçoit environ 307,7mm de pluie annuellement, la distribution de cette tranche est irrégulière, les maximums des pluies sont enregistrés au mois de Septembre (34,2

mm), alors que le mois de Juillet ne reçoit que de faibles quantités (9,6 mm). On remarque que la station de Djelfa présente un régime saisonnier de type **HAPE** (Tableau 10).

M'sila reçoit environ 191,45mm de pluie annuellement, le maximum de pluie est enregistré pour le mois de Septembre (30,68 mm) ; alors que le mois de Aout ne reçoit que de faibles quantités (6,25 mm). On remarque que la station de M'sila présente un régime saisonnier de type **APHE** (Tableau 11). Biskra reçoit environ 146,08 mm de pluie annuellement, le maximum est enregistrés pour le mois de Janvier (25,31 mm) ; alors que le mois de Juillet ne reçoit que de faibles quantités (2,65 mm). On remarque que la station de Biskra présente un régime saisonnier de type **AHPE** (Tableau 12).

**Tableau 09** : Régime saisonnier pour Médéa (1992-2015)

Mois	P (mm)	Saison	Précipitations Saisonnières (mm)	Précipitations Saisonnières (%)	Régime Saisonnier
Septembre	37,1	Automne	186,9	26,96	A
Octobre	53,4				
Novembre	96,4				
Décembre	93,4	Hiver	287,6	41,50	H
Janvier	102,9				
Février	91,3				
Mars	69,5	Printemps	196,9	28,41	P
Avril	70,7				
Mai	56,7				
Juin	9,7	Eté	21,6	15,69	E
Juillet	3,7				
Août	8,2				
<b>Total</b>	<b>693</b>	<b>---</b>	<b>693</b>	<b>100</b>	<b>HPAE</b>

**Tableau 10** : Régime saisonnier pour Djelfa (1990-2015)

Mois	P (mm)	Saison	Précipitations Saisonnières (mm)	Précipitations Saisonnières (%)	Régime Saisonnier
Septembre	34,2	Automne	86,5	28,11	A
Octobre	27,6				
Novembre	24,7				
Décembre	26,2	Hiver	88,5	28,76	H
Janvier	28,8				
Février	33,5				
Mars	25,7	Printemps	84,4	27,42	P
Avril	30,1				
Mai	28,6				
Juin	16	Eté	48,3	15,69	E
Juillet	9,6				
Août	22,7				
<b>Total</b>	<b>307.7</b>	<b>---</b>	<b>307.7</b>	<b>100</b>	<b>HAPE</b>

**Tableau 11:** Régime saisonnier pour M'sila (2004-2013).

Mois	P (mm)	Saison	Précipitations Saisonnières (mm)	Précipitations Saisonnières (%)	Régime Saisonnier
Septembre	30,68	Automne	69,04	36,06	A
Octobre	22,96				
Novembre	15,4				
Décembre	10,17	Hiver	34,41	17,97	H
Janvier	9,2				
Février	15,04				
Mars	15,44	Printemps	67,2	35,10	P
Avril	28,52				
Mai	23,24				
Juin	8,12	Eté	20,8	10,86	E
Juillet	6,43				
Août	6,25				
<b>Total</b>	<b>191,45</b>	---	<b>191,45</b>	<b>100</b>	<b>APHE</b>

**Tableau 12:** Régime saisonnier pour Biskra (1991-2014).

Mois	P (mm)	Saison	Précipitations Saisonnières (mm)	Précipitations Saisonnières (%)	Régime Saisonnier
Septembre	16,40	Automne	50,58	34,62	A
Octobre	14,66				
Novembre	19,53				
Décembre	10,93	Hiver	43,73	28,40	H
Janvier	25,31				
Février	7,49				
Mars	15,11	Printemps	40,52	19,45	P
Avril	15,30				
Mai	10,12				
Juin	4,65	Eté	15,08	10,74	E
Juillet	7,79				
Août	2,65				
<b>Total</b>	<b>149,94</b>	---	<b>149,94</b>	<b>100</b>	<b>AHPE</b>

### III.3.1.2 Les températures

Les données concernant les températures pour les quatre stations sont présentées dans les tableaux 13-16.

Pour la station de Médéa, la température moyenne annuelle est de 15,48°C, avec un minimum de 4°C enregistré pour le mois de janvier, le mois le plus chaud est juillet avec 31,7°C (Fig. 21A).

Pour la station de Djelfa, la température moyenne annuelle est de 14,67°C, avec un minimum de 0,2°C (janvier), le mois le plus chaud est juillet avec 34,2°C (Fig. 21B).

Pour M'sila, la température moyenne annuelle est de 19,6°C, avec un minimum de 4°C enregistré pour le mois de janvier, le mois le plus chaud est juillet (40,5°C) (Fig. 21C).

Pour Biskra, la température moyenne annuelle est de 22,5°C, avec un minimum de 6,8°C (janvier) et un maximum pour juillet avec 40,9°C (Fig. 21D).

**Tableau 13:** Moyennes mensuelles des températures (1992-2015) pour Médéa.

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	Moy
M	9,3	9,8	13,5	16,3	21,4	27,3	31,7	31,5	25,8	20,9	13,6	10,2	19,28
M+m/2	6,7	6,9	10	12,5	17,2	22,4	26,6	26,5	21,3	17,1	10,8	7,7	15,48
Nm	4	4,1	4,1	8,6	12,9	17,6	21,4	21,4	16,7	13,3	8	5,2	11,44

**Tableau 14:** Moyennes mensuelles des températures (1990-2015) pour Djelfa.

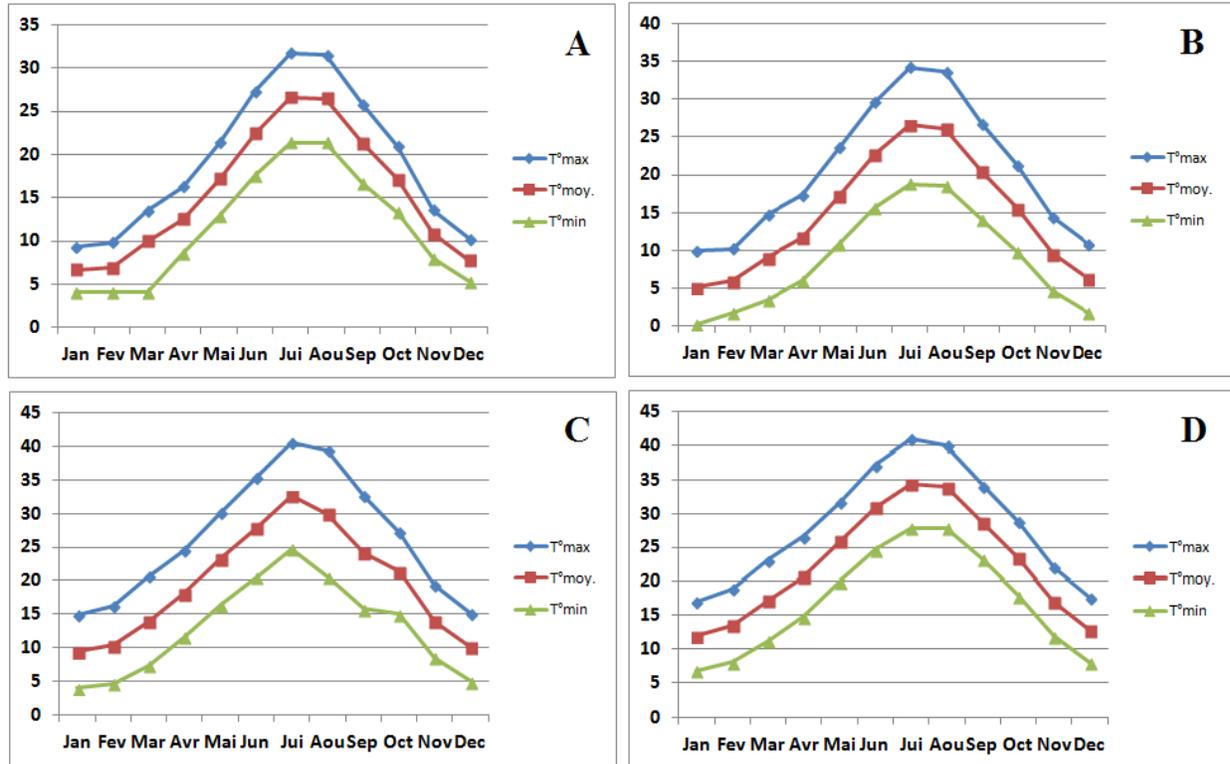
Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	Moy
M	10	10,2	14,7	17,3	23,6	29,6	34,2	33,6	26,8	21,3	14,4	10,8	20,54
M+m/2	5,1	6	9,05	11,7	17,2	22,7	26,6	26,1	20,5	15,6	9,55	6,25	14,67
Nm	0,2	1,8	3,4	6,1	10,8	15,7	18,8	18,5	14,1	9,8	4,7	1,7	8,80

**Tableau 15 :** Moyennes mensuelles des températures (2004-2013) pour M'sila.

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	Moy
M	14,9	16,2	20,7	24,5	30,2	35,3	40,5	39,4	32,6	27,3	19,3	15,1	26,3
M+m/2	9,4	10,4	14,0	18,1	23,3	27,9	32,6	30,0	24,2	21,4	14,0	10,1	19,6
Nm	4,0	4,7	7,4	11,7	16,4	20,5	24,7	20,6	15,8	15,0	8,6	5,0	12,7

**Tableau 16:** Moyennes mensuelles des températures (1991-2014) pour Biskra.

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	Moy
M	17,0	19,0	23,1	26,6	31,7	37,2	40,9	40,0	34,1	28,8	22,0	17,6	28,2
M+m/2	11,9	13,6	17,2	20,7	25,9	30,9	34,3	33,9	28,6	23,4	17,0	12,8	22,5
Nm	6,8	8,1	11,3	14,8	20,0	24,7	27,8	27,8	23,2	17,9	11,9	8,0	16,8



**Figure 21:** Moyennes mensuelles des températures de la région de Médea (A), Djelfa (B), M'sila (C) et Biskra (D).

### III.3.2 Application des corrections pour les températures et la pluviométrie

Pour mieux cerner les quantités de pluie que reçoivent les différentes altitudes, on a utilisé un gradient altitudinal de **40mm** tous les **100m** d'augmentation pour le continental, et qui concorde avec celui de Le Houérou (1975). Pour les corrections des précipitations mensuelles, le calcul du coefficient correcteur (**K**) s'impose et il sera multiplié par les données mensuelles de la station de référence. Concernant le gradient thermique, il est généralement admis que la température baisse avec l'altitude. Seltzer (1946) donne les valeurs suivantes pour la moyenne des maxima du mois le plus chaud (M) et la moyenne des minima du mois le plus froid (m):

**M= -0,7°C** pour **100m** de dénivelée et pour **m= -0,45°C** pour **100m** de dénivelée.

#### -Station de Médea

La station de Médea est située à une altitude de **1030m**, donc nos corrections vont se faire pour le site d'altitude de **671m**. Les résultats de coefficient de correction(K) et les précipitations

mensuelles sont portés dans les tableaux 17 et 18, les températures corrigées sont portés sur le tableau 19.

**Tableau 17 :** Calcul du coefficient d'altitude pour le site de Sidi-Naâmane à Médéa.

Station	Précipitations moyennes annuelles corrigées en (mm)	Coefficient correcteur (K)
Sidi-Naâmane	549,4	1,26

**Tableau 18 :** Données pluviométriques corrigées pour le site de Sidi-Naâmane à Médéa.

Mois	Médéa	Sidi-Naâmane
Janvier	102,9	81,67
Février	91,3	72,46
Mars	69,5	55,16
Avril	70,7	56,11
Mai	56,7	45,00
Juin	9,7	7,70
Juillet	3,7	2,94
Août	8,2	6,51
Septembre	37,1	29,44
Octobre	53,4	42,38
Novembre	96,4	76,51
Décembre	93,4	74,13
<b>Total</b>	<b>693</b>	<b>550</b>

**Tableau 19:** Correction des températures pour le site de Sidi-Naâmane à Médéa.

Mois	Médéa			Sidi-Naâmane		
	M	Mm	M+m/2	M	Mm	M+m/2
Janvier	9,3	4	6,7	11,81	5,62	8,71
Février	9,8	4,1	6,9	12,31	5,72	9,01
Mars	13,5	4,1	10	16,01	5,72	10,86
Avril	16,3	8,6	12,5	18,81	10,22	14,51
Mai	21,4	12,9	17,2	23,91	14,52	19,21
Juin	27,3	17,6	22,4	29,81	19,22	24,51
Juillet	31,7	21,4	26,6	34,21	23,02	28,61
Août	31,5	21,4	26,5	34,01	23,02	28,51
Septembre	25,8	16,7	21,3	28,31	18,32	23,31
Octobre	20,9	13,3	17,1	23,41	14,92	19,16
Novembre	13,6	8	10,8	16,11	9,62	12,86
Décembre	10,2	5,2	7,7	12,71	6,82	9,76
<b>Moyenne</b>	<b>19,28</b>	<b>11,44</b>	<b>15,48</b>	<b>21,79</b>	<b>13,06</b>	<b>17,42</b>

**-Stations de Djelfa**

On constate que la station de Djelfa est située à une altitude de **1178m**, donc nos corrections vont se faire pour les quatre sites d'études situées aux altitudes **735m** et **826m**, **1320m** et **1363m**.

Les résultats des coefficients correcteurs (K) pour les précipitations sont portés dans le tableau 20 et ceux des corrections dans le tableau 21. De même, les corrections pour les températures (maximale, minimale et moyenne) sont représentées dans le tableau 22.

**Tableau 20:** Calcul des coefficients correcteurs des quatre sites d'études situées à Djelfa.

Stations	Précipitations moyennes annuelles corrigées en (mm)	Coefficient correcteur (K)
Aïn-Ouessara	219,1	1,40
Messaâd	237,3	1,29
Goutaia	336,1	1,09
Senal ba	344,7	1,12

**Tableau 21:** Données pluviométriques corrigées pour les quatre sites d'étude situés à Djelfa.

Mois	Djelfa ( ITMA)	Aïn-Ouessara	Messaâd	Goutaia	Senal ba
Janvier	28,8	20,57	22,33	31,39	32,26
Février	33,5	23,93	25,97	36,52	37,52
Mars	25,7	18,36	19,92	28,01	28,78
Avril	30,1	21,50	23,33	32,81	33,71
Mai	28,6	20,43	22,17	31,17	32,03
Juin	16	11,43	12,40	17,44	17,92
Juillet	9,6	6,86	7,44	10,46	10,75
Août	22,7	16,21	17,60	24,74	25,42
Septembre	34,2	24,43	26,51	37,28	38,30
Octobre	27,6	19,71	21,40	30,08	30,91
Novembre	24,7	17,64	19,15	26,92	27,66
Décembre	26,2	18,71	20,31	28,56	29,34
<b>Total</b>	<b>307,7</b>	<b>219,79</b>	<b>238,53</b>	<b>335,39</b>	<b>344,62</b>

**Tableau 22:** Corrections des températures pour les quatre altitudes pour Djelfa.

Mois	Djelfa			Aïn-Ouessara			Messaâd			Goutaia			Senalba		
	M	m	M+m/2	M	Mm	M+m/2	M	Mm	M+m/2	M	Mm	M+m/2	M	Mm	M+m/2
Jan.	10,0	0,2	5,1	13,1	2,19	7,65	12,46	1,78	7,12	9,01	-0,44	4,28	8,71	-0,63	4,04
Fév.	10,2	1,8	6,0	13,3	3,79	8,55	12,66	3,38	8,02	9,21	1,16	5,18	8,91	0,97	4,94
Mar.	14,7	3,4	9,05	17,8	5,39	11,60	17,16	4,98	11,07	13,71	2,76	8,23	13,41	2,57	7,99
Avr.	17,3	6,1	11,7	20,4	8,09	14,25	19,76	7,68	13,72	16,31	5,46	10,88	16,01	5,27	10,64
Mai	23,6	10,8	17,2	26,7	12,79	19,75	26,06	12,38	19,22	22,61	10,16	16,38	22,31	9,97	16,14
Jui.	29,6	15,7	22,65	32,7	17,69	25,20	32,06	17,28	24,67	28,61	15,06	21,83	28,31	14,87	21,59
Juil.	34,2	18,8	26,5	37,3	20,79	29,05	36,66	20,38	28,52	33,21	18,16	25,68	32,91	17,97	25,44
Ao.	33,6	18,5	26,05	36,7	20,49	28,60	36,06	20,08	28,07	32,61	17,86	25,23	32,31	17,67	24,99
Sep.	26,8	14,1	20,45	29,9	16,09	23,00	29,26	15,68	22,47	25,81	13,46	19,63	25,51	13,27	19,39
Oct.	21,3	9,8	15,55	24,4	11,79	18,10	23,76	11,38	17,57	20,31	9,16	14,73	20,01	8,97	14,49
Nov.	14,4	4,7	9,55	17,5	6,69	12,10	16,86	6,28	11,57	13,41	4,06	8,73	13,11	3,87	8,49
Déc.	10,8	1,7	6,25	13,9	3,69	8,80	13,26	3,28	8,27	9,81	1,06	5,43	9,51	0,87	5,19
Moy.	<b>20,5</b>	<b>8,8</b>	<b>14,7</b>	<b>23,6</b>	<b>10,8</b>	<b>17,2</b>	<b>23,0</b>	<b>10,4</b>	<b>16,7</b>	<b>19,5</b>	<b>8,2</b>	<b>13,9</b>	<b>19,2</b>	<b>8,0</b>	<b>13,6</b>

**-Station de M'sila**

La station d' Aïn Diss est située à une altitude de **459m**, nos corrections vont se faire pour deux sites d'altitudes de **720 m et 1220 m**. Les résultats pour le coefficient de correction(K) et les précipitations mensuelles sont portés dans les tableaux 23 et 24, les températures corrigées sont portées par le tableau 25.

**Tableau 23:** Calcul de coefficient des deux sites d'études situées à M'sila.

Stations	Précipitations moyennes annuelles corrigées en (mm)	Coefficient correcteur (K)
El-Mergueb	295,85	1,55
Djebel-Misaâd	495,85	2,59

**Tableau 24:** Données pluviométriques corrigées pour les deux sites situés à M'sila.

Mois	Bousaàda	El-Mergueb	Djebel-Misaàd
Janvier	9,2	14.26	23.83
Février	15,04	23.31	38.95
Mars	15,44	23.93	39.99
Avril	28,52	44.21	73.87
Mai	23,24	36.02	60.19
Juin	8,12	12.59	21.03
Juillet	6,43	9.97	16.65
Août	6,25	9.69	16.19
Septembre	30,68	47.55	79.46
Octobre	22,96	35.59	59.47
Novembre	15,4	23.87	39.89
Décembre	10,17	15.76	26.34
<b>Total</b>	<b>191.45</b>	<b>296.75</b>	<b>495.86</b>

**Tableau 25:** Correction des températures pour les deux sites, El-Mergueb et Djebel-Missaàd situés à M'sila.

	Bousaàda			El-Mergueb			Djebel-Misaàd		
	M	Mm	M+m/2	M	Mm	M+m/2	M	Mm	M+m/2
Janvier	14,9	4,0	9,4	13,1	2,8	8,0	9,6	0,5	5,1
Février	16,2	4,7	10,4	14,3	3,5	8,9	10,8	1,3	6,1
Mars	20,7	7,4	14,0	18,9	6,2	12,6	15,4	4,0	9,7
Avril	24,5	11,7	18,1	22,7	10,5	16,6	19,2	8,3	13,8
Mai	30,2	16,4	23,3	28,4	15,3	21,8	24,9	13,0	18,9
Juin	35,3	20,5	27,9	33,5	19,3	26,4	30,0	17,0	23,5
Juillet	40,5	24,7	32,6	38,7	23,6	31,1	35,1	21,3	28,2
Août	39,4	20,6	30,0	37,5	19,4	28,5	34,0	17,1	25,6
Septembre	32,6	15,8	24,2	30,7	14,6	22,7	27,2	12,3	19,8
Octobre	27,3	15,0	21,1	25,4	13,8	19,6	21,9	11,6	16,8
Novembre	19,3	8,6	14,0	17,5	7,5	12,5	14,0	5,2	9,6
Décembre	15,1	5,0	10,1	13,3	3,8	8,6	9,8	1,6	5,7
<b>Moyenne</b>	<b>26,3</b>	<b>12,9</b>	<b>19,6</b>	<b>24,5</b>	<b>11,7</b>	<b>18,1</b>	<b>21,0</b>	<b>9,4</b>	<b>15,2</b>

**-Station de Biskra**

La station de Biskra est située à une altitude de **87m**, les corrections se feront pour le site situé à une altitude de **286m**. Les résultats sont portés dans les tableaux 26, 27 et 28.

**Tableau 26:** Calcul du coefficient d'altitude pour le site de Sidi-Khaled situé à Biskra.

Stations	Précipitations moyennes annuelles corrigées en (mm)	Coefficient correcteur (K)
<b>Sidi-Khaled</b>	<b>189,74</b>	<b>1,26</b>

**Tableau 27:** Données pluviométriques corrigées pour le site de Sidi-Khaled situé à Biskra.

Mois	Biskra	Sidi-Khaled
<b>Janvier</b>	25,31	31,89
<b>Février</b>	7,49	9,43
<b>Mars</b>	15,11	19,03
<b>Avril</b>	15,3	19,27
<b>Mai</b>	10,12	12,75
<b>Juin</b>	4,65	5,85
<b>Juillet</b>	7,79	9,81
<b>Août</b>	2,65	3,33
<b>Septembre</b>	16,4	20,66
<b>Octobre</b>	14,66	18,47
<b>Novembre</b>	19,53	24,60
<b>Décembre</b>	10,93	13,77
<b>Total</b>	<b>149,94</b>	<b>189,74</b>

**Tableau 28:** Correction des températures pour le site de Sidi-Khaled situé à Biskra.

Mois	Biskra			Sidi-Khaled		
	M	m	M+m/2	M	m	M+m/2
Janvier	17,0	6,8	11,92	15,7	<b>5,9</b>	10,80
Février	19,0	8,1	13,55	17,7	7,2	12,43
Mars	23,1	11,3	17,17	21,7	10,4	16,05
Avril	26,6	14,8	20,70	25,3	13,9	19,58
Mai	31,7	20,0	25,862	30,4	19,1	24,74
Juin	37,2	24,7	30,92	35,8	23,8	29,80
Juillet	40,9	27,8	34,32	<b>39,5</b>	26,9	33,2
Août	40,0	27,8	33,88	38,7	26,9	32,76
Septembre	34,1	23,2	28,64	32,8	22,3	27,52
Octobre	28,8	17,9	23,37	27,5	17,0	22,25
Novembre	22,0	11,9	16,95	20,6	11,1	15,83
Décembre	17,6	8,0	12,782	16,2	7,1	11,66
Moyenne	28,2	16,8	19,3	26,8	16,0	21,38

### III.3.3 Les indices climatiques des stations d'étude

De nombreux indices et formules ont été élaborés pour caractériser le climat d'une région, ils font intervenir essentiellement, la conjonction température-pluviométrie.

#### III.3.3.1 Indice d'aridité De MARTONE

Le géographe De Martone (1929) définit l'indice d'aridité (**I**) en se basant sur la combinaison de régime thermique et hygrométrique selon la formule suivante (Tableau 29) :

$$I = P / T + 10$$

**P** : Précipitation moyenne annuelle en (mm) ;

**T** : Température moyenne annuelle en (°C).

**Tableau 29** : Types de climat selon De Martone (1929).

Valeur de l'indice	Type de climat
$0 < I < 5$	Hyper aride
$5 < I < 10$	Aride
$10 < I < 20$	Semi aride
$20 < I < 30$	Semi humide
$30 < I < 55$	Humide

### III.3.3.1.1 Bioclimats des stations d'étude

Les stations d'étude sont classées dans différents type de climat ; semi humide, semi aride, aride et hyper aride (Médéa, Djelfa, M'sila et Biskra respectivement) (Tableau 30).

**Tableau 30** : Types de climat selon De Martone (1929) des stations d'étude.

Station	Pluviométrie (P) (mm)	Température moyenne annuelle (°C)	Indice de De Martone	Climat
Médéa	693	15,48	$I = 27,20$	Semi humide
Djelfa	307,7	14,67	$I = 12,47$	Semi aride
M'sila	191,45	19,6	$I = 6,48$	Aride
Biskra	149,94	22,5	$I = 4,61$	Hyper aride

### III.3.3.1.2 Bioclimats des sites d'étude

Les sites d'étude sont classés dans différents types de climat : Sub-humide, semi-aride et aride (Tableau 31).

**Tableau 31** : Types de climat selon De Martone (1929) des sites d'étude.

Station	Pluviométrie (P) (mm)	Température moyenne annuelle (°C)	Indice de De Martone	Climat
Sidi-Naâmane	550	17,42	I=20.06	Sub-humide
Djebel-Misaâd	495,86	15,2	I=19.68	Semi-aride
Senalba	344,7	13,6	I=14.61	Semi-aride
Goutaia	336,1	13,9	I=14.06	Semi-aride
ITMA	307,7	14,67	I= 12,47	Semi aride
El-Mergueb	296,75	18,1	I=10.56	Semi-aride
Messaâd	237,3	16,7	I=8.89	Aride
Aïn-Ouessara	219,1	17,2	I=8.06	Aride
Sidi-Khaled	189,74	21,38	I=6.05	Aride

### III.3.3.2 Détermination de l'humidité du sol par la méthode d'Euverte

A partir des moyennes mensuelles des précipitations et des températures moyennes, Euverte a déterminé l'humidité du sol selon quatre types de régimes :

- \*Un régime très sec :  $P / T < 1$ ;
- \*Un régime sec :  $1 < P / T < 2$ ;
- \*Un régime subhumide:  $2 < P / T < 3$ ;
- \*Un régime humide :  $P / T > 3$ .

#### III.3.3.2.1 Sols des stations d'étude

Le tableau 32 présente les valeurs du rapport des moyennes mensuelles des précipitations sur des températures moyennes des stations d'étude.

**Tableau 32:** Valeurs du rapport P/T pour les stations d'étude.

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
Médéa	15,36	13,23	6,95	5,66	3,30	0,43	0,14	0,31	1,74	3,12	8,93	12,13
Djelfa	5,65	5,58	2,84	2,57	1,66	0,71	0,36	0,87	1,67	1,77	2,59	4,19
M'sila	0,98	1,45	1,10	1,58	1,00	0,29	0,20	0,21	1,27	1,07	1,10	1,01
Biskra	2,13	0,55	0,88	0,74	0,39	0,15	0,23	0,08	0,57	0,63	1,15	0,85

Le régime des mois est présenté dans le tableau 33, selon la méthode d'Euverte on remarque que la station de Djelfa présente quatre régimes, les deux stations Médéa et Biskra

présentent trois régimes et la station de M'sila présente seulement deux régimes. L'humidité du sol est très importante à Médéa, par contre les sols de M'sila ne sont pas humides.

**Tableau 33:** Régime des mois des stations d'étude selon Euverte.

Médéa		Djelfa		M'sila		Biskra	
Juin	Très sec	Juin	Très sec	Janvier	Très sec	Février	Très sec
Juillet		Juillet		Juin		Mars	
Aout		Aout		Juillet		Avril	
Septembre	Sec	Mai	Sec	Aout	Mai		
Janvier	Humide	Septembre	Sub-humide	Février	Sec	Juin	
Février		Octobre		Mars		Juillet	
Mars		Mars		Avril		Aout	
Avril		Avril		Mai		Septembre	
Mai		Novembre	Septembre	Octobre			
Octobre		Janvier	Octobre	Décembre			
Novembre		Février	Novembre	Novembre		Sec	
Décembre		Décembre	Décembre	Décembre		Janvier	Sub-humide

### III.3.3.2 Sites d'étude

Le tableau 34 présente les valeurs du rapport des moyennes mensuelles des précipitations sur des températures moyennes des sites d'étude.

**Tableau 34:** Valeurs du rapport P/T pour les sites d'étude.

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
Sidi-Naâmane	9,38	8,04	5,08	3,87	2,34	0,31	0,10	0,23	1,26	2,21	5,95	7,60
Djebel-Misaâd	4,67	6,39	4,12	5,35	3,18	0,89	0,59	0,63	4,01	3,54	4,16	4,62
Senalba	7,99	7,60	3,60	3,17	1,98	0,83	0,42	1,02	1,98	2,13	3,26	5,65
Goutaia	7,33	7,05	3,40	3,02	1,90	0,80	0,41	0,98	1,90	2,04	3,08	5,26
ITMA	5,65	5,58	2,84	2,57	1,66	0,71	0,36	0,87	1,67	1,77	2,59	4,19
El-Mergueb	1,78	2,62	1,90	2,66	1,65	0,48	0,32	0,34	2,09	1,82	1,91	1,83
Messaâd	3,14	3,24	1,80	1,70	1,15	0,50	0,26	0,63	1,18	1,22	1,66	2,46
Aïn-Ouessara	2,69	2,80	1,58	1,51	1,03	0,45	0,24	0,57	1,06	1,09	1,46	2,13
Sidi-Khaled	2,95	0,76	1,19	0,98	0,52	0,20	0,30	0,10	0,75	0,83	1,55	1,18

Le régime des mois est présenté dans le tableau 35.

Selon la méthode d'Euverte, on remarque que la station de Sidi-Naâmane, Senalba, Goutaia, ITMA, Messaâd et Aïn-Ouessara présentent quatre régimes, les deux stations El-

Mergueb et Sidi-Khaled présentent trois régimes et la station de Djebel-Missaâd présente seulement deux régimes. L'humidité du sol est très importante à Djebel-Missaâd (9 mois), par contre le sol à Sidi-Khaled n'est pas humide (tableau 35).

**Tableau 35:** Régime des mois des sites d'étude selon Euverte.

Sidi-Naâmane		Djebel-Misaâd		Senal ba		
Juin	Très sec	Juin	Très sec	Juin	Très sec	
Juillet		Juillet		Juillet		
Aout		Aout		Mai		
Septembre	Sec	Janvier	Humide	Aout	Sec	
Octobre	Sub-humide	Février		Septembre		
Janvier	Humide	Mars		Octobre		Sub-humide
Février		Avril		Janvier	Humide	
Mars		Mai		Février		
Avril		Septembre		Mars		
Mai		Octobre		Avril		
Novembre		Novembre		Novembre		
Décembre		Décembre		Décembre		
Goutaia		ITMA		El-Mergueb		
Juin	Très sec	Juin	Très sec	Juin	Très sec	
Juillet		Juillet		Juillet		
Aout		Aout		Aout		
Mai	Sec	Mai	Sec	Janvier	Sec	
Septembre		Septembre		Mars		
Octobre	Sub-humide	Octobre		Sub-humide		Mai
Janvier	Humide	Mars	Sub-humide	Octobre		Sec
Février		Avril		Novembre		
Mars		Novembre		Décembre		
Avril		Humide	Janvier	Humide	Février	Sub-humide
Novembre			Février		Avril	
Décembre			Décembre		Septembre	
Messaâd			Aïn-Ouessara		Sidi-Khaled	
Juin		Très sec	Juin	Très sec	Février	Très sec
Juillet	Juillet		Avril			
Aout	Aout		Mai			
Mars	Sec	Mars	Sec	Juin		
Avril		Avril		Juillet		
Mai		Mai		Aout		
Septembre		Septembre		Septembre		
Octobre		Octobre		Octobre		
Novembre	Sub-humide	Novembre	Sub-humide	Mars	Sec	
Décembre		Décembre		Novembre		
Janvier		Humide		Janvier	Humide	Décembre
Février	Février		Janvier	Sub-humide		

### III.3.4 Diagramme Ombro-thermique

Pour Bagnouls et Gaussen (1957), un mois sec est biologiquement défini comme un mois où le total mensuel des précipitations (P) exprimé en mm est égal ou inférieur au double de la température moyenne mensuelle (T°C). Pour déterminer la suite successive des mois secs, ces auteurs ont proposé l'établissement du diagramme Ombro-thermique qui est une représentation graphique.

Ce diagramme fait apparaître deux périodes bien délimitées: une période sèche et une période humide.

La figure 21 représente les diagrammes Ombro-thermiques des quatre stations :

#### **-Station Médéa :**

Une période sèche de 4 mois de juin à septembre et une période humide de 8 mois d'octobre à mai (Fig. 21 A).

#### **-Station de Djelfa :**

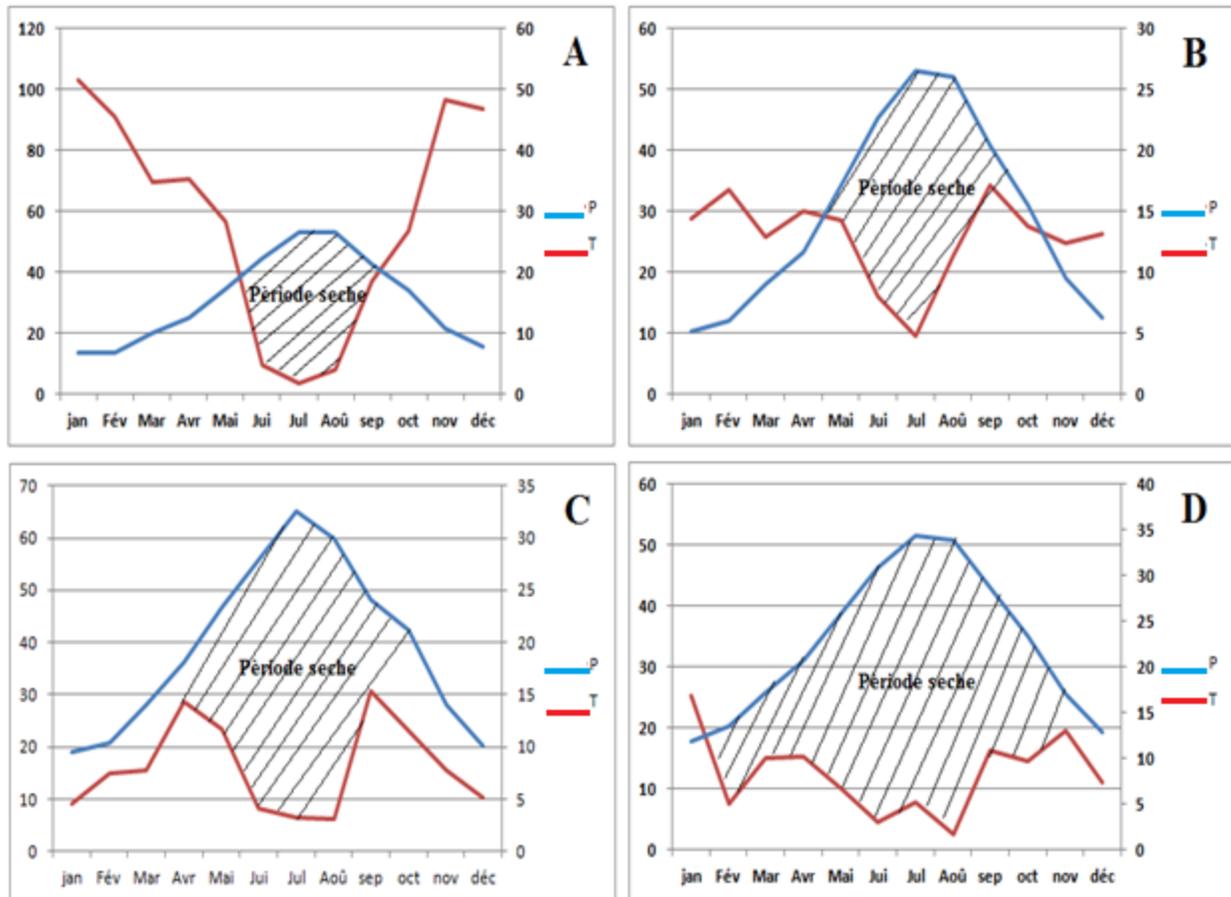
Une période sèche de 6 mois de mai à octobre et une période humide de 6 mois de novembre à avril (Fig. 21 B).

#### **-Station de M'sila :**

Une seule période de sécheresse s'étalant sur toute l'année (Fig. 21C).

#### **-Station de Biskra :**

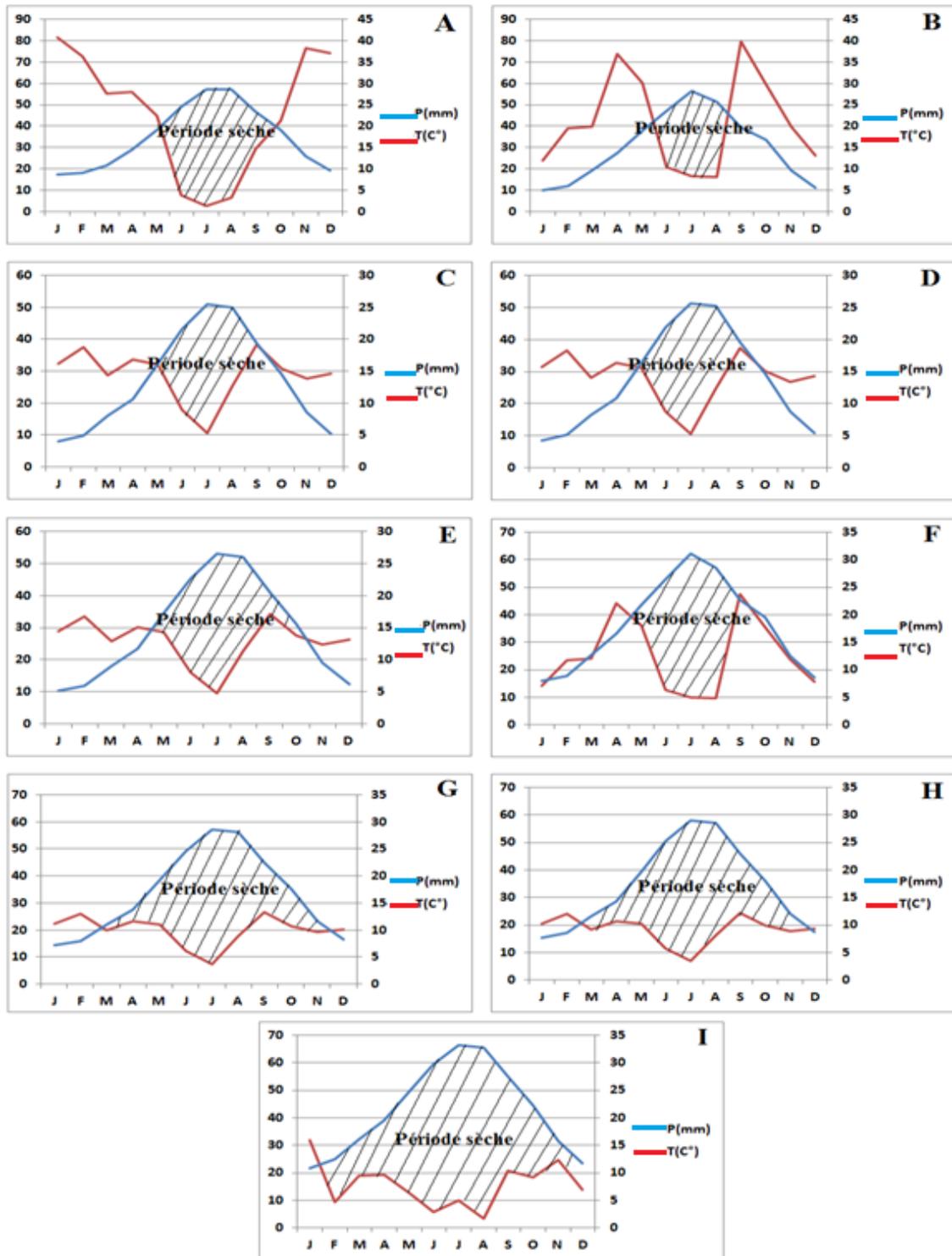
Une période sèche de 10 mois de février à novembre et une période humide de 2 mois (janvier et décembre) (Fig. 21D).



**Figure 22:** Les diagrammes Ombro-thermiques des stations étudiées : Médéa (A), Djelfa (B), M'sila (C) et Biskra (D).

La figure 23 représente les diagrammes Ombro-thermiques des neuf sites :

- Sites de Sidi-Naâmane et Senalba** : Une période sèche (4 mois) de juin à septembre. Une période humide (8 mois) de octobre à mai (Figs. 23A et 23C).
- Sites de Djebel-Missaâd et Goutaia** : Une période sèche (3 mois) de juin à août. Une période humide (9 mois) de septembre à mai (Figs. 23B et 23D).
- Sites de l'ITMA et El-Mergueb** : Une période sèche (6 mois) de mai à octobre. Une période humide (6 mois) de novembre à avril (Figs. 23E et 23F).
- Sites de Messaâd et Aïn-Ouessara** : Une période sèche (10 mois) de février à novembre. Une période humide (2 mois) : janvier et décembre (Figs. 23G et 23H).
- Site Sidi-Khaled** : Une période sèche (11 mois) de février à décembre et une période humide de 1 mois: janvier, (Fig. 23I).



**Figure 23:** Les diagrammes Ombro-thermiques des sites étudiés : Sidi-Naâmane (A), Djebel-Missaâd (B), Senalba(C), Goutaia(D), ITMA(E) El-Mergueb(F) Messaâd(G) Aïn-Ouessara(H) et Sidi-Khaled(I).

### III.3.5 Quotient pluviothermique et Climagramme d'Emberger

Le quotient pluviothermique d'Emberger spécifique au climat méditerranéen est le plus fréquemment utilisé en Afrique du Nord, il rend compte à la fois des précipitations annuelles moyennes et des températures par le biais des deux extrêmes  $m$  (moyenne des températures minimales du mois le plus froid) et  $M$ , moyenne des températures maximales du mois le plus chaud, la différence  $M-m$  exprimant d'une certaine manière la continentalité. Il est exprimé par la formule suivante :  $Q_2 = 2000 P / M^2 - m^2$

La valeur  $(M + m)/2$  du fait de son expression en degrés Kelvin varie peu, Stewart (1968) in Le Houérou (1995), l'assimile à une constante  $K = 3,43$ , d'où le quotient :  $Q_3 = 3,43 P / (M-m)$  où :

**Q<sub>3</sub>**: Quotient pluviométrique en mm/°C ;

**3,43**: Constante relative à la région : Algérie-Maroc ;

**P** : pluviométrie moyenne annuelle en mm ;

**M** : Moyenne des températures maximales du mois le plus chaud en °C ;

**m** : Moyenne des températures minimales du mois le plus froid en °C.

Le calcul de  $Q_3$  de chaque station est consigné dans le tableau 36, les quatre stations sont situées aux quatre étages bioclimatiques, sub-humide à hiver tempéré, semi- aride à hiver frais, Saharien à hiver tempéré, Saharien à hiver doux (Médéa, Djelfa, M'sila et Biskra respectivement).

**Tableau 36:** Étage climatique des stations étudiées.

Station	P (mm)	M (C°)	m (C°)	Q3	Étage climatique
<b>Médéa</b>	693	31,7	4	85,81	<b>sub-humide à hiver tempéré</b>
<b>Djelfa</b>	307,7	34,2	0,2	31,04	<b>semi- aride à hiver frais</b>
<b>M'sila</b>	191,45	40,5	4	17,99	<b>Saharien à hiver tempéré</b>
<b>Biskra</b>	149,94	40,9	6,8	15,08	<b>Saharien à hiver doux</b>

Après corrections des deux paramètres pluviométrie et températures et le calcul du quotient pluviothermique, le site de Sidi-Naâmane est situé à l'étage bioclimatique Sub-humide à hiver tempéré (Tableau 37). Aride à hiver frais pour Aïn-Ouessara et Messaâd. Et Semi aride à

hiver froid pour Goutaia et Senalba (Tableau 38). Les deux sites El-Mergueb et Djebel-Missaâd sont situés dans l'aride à hiver frais et semi-aride à hiver frais, respectivement (Tableau 39). Sidi-Khaled est dans le Saharien à hiver tempéré (Tableau 40).

**Tableau 37:** Détermination de l'étage bioclimatique de Sidi-Naâmane.

	Latitude	Longitude	Altitude (m)	M (°C)	m (°C)	P (mm/an)	Q3	Étage bioclimatique
Médéa	36°17'N	02°44'E	1030	31,7	4	693	85,81	Sub-humide à hiver tempéré
Sidi-Naâmane	36°12'N	3°05'E	671	34,21	5,62	550	65,98	Sub-humide à hiver tempéré

**Tableau 38 :** Détermination des étages bioclimatiques de Djelfa, Aïn-Ouessara, Messaâd, Goutaia et Senalba.

	Latitude	Longitude	Altitude(m)	M (°C)	m (°C)	P (mm/an)	Q <sub>3</sub>	Étage bioclimatique
Djelfa	34°27'N	3°58'E	1178	34,20	0,20	307,7	31,04	Semi aride à hiver frais
Aïn-Ouessara	35°21'N	2°57'E	735	37,30	2,19	219,1	21,40	Aride à hiver frais
Messaâd	34°16'N	3°34'E	826	36,66	1,78	237,3	23,33	Aride à hiver frais
Goutaia	34°33'N	2°48'E	1320	33,21	-0,44	336,1	33,05	Semi aride à hiver froid
Senalba	34°53'N	3°03'E	1363	32,91	-0,63	344,7	35,25	Semi aride à hiver froid

**Tableau 39:** Détermination des étages bioclimatiques d'El-Mergueb et de Djebel-Missaâd (M'sila).

	Latitude	Longitude	Altitude (m)	M (°C)	m (°C)	P (mm/an)	Q <sub>3</sub>	Étage bioclimatique
M'sila	35°20'N	04°12'E	459	40,5	4	191.45	17,99	Saharien à hiver tempéré
El-Mergueb	35°40'N	03°55'E	720	38,7	2,8	296.75	28,35	Aride à hiver frais
Djebel-Misaâd	35°N	04°13'E	1220	35,1	0,5	495.86	48,52	Semi-aride à hiver frais

**Tableau 40:** Détermination d'étages bioclimatique de Sidi-Khaled.

	Latitude	Longitude	Altitude (m)	M (°C)	m (°C)	P (mm/an)	Q <sub>3</sub>	Étage bioclimatique
Biskra	34°48'N	005°44'E	87	40,9	6,8	149,94	15,08	Saharien à hiver doux
Sidi-Khaled	34°14'N	005°2'E	282	39,5	5,9	189,74	19,37	Saharien à hiver tempéré

### III.4 Conclusion

L'étude climatique nous a permis de mettre en évidence la présence du pistachier de l'Atlas dans différents étages bioclimatiques (sub-humide tempéré, semi-aride froid, aride frais et saharien tempéré). Alors que le térébinthe s'installe dans les bioclimats semi-arides froids et frais, le lentisque se retrouve au semi-aride frais et enfin le pistachier vrai se trouve dans le semi-aride frais. Ces espèces du genre *Pistacia* sont adaptées aux différents bioclimats du bassin Méditerranéen avec des précipitations qui se situent, généralement entre **149,94mm** en bordure saharienne et **550mm** en bordure tellienne. Des écarts thermiques très importants avec un minimum hivernal atteignant facilement **-0,63°C** (Goutaia) et un maximum estival dépassant **40°C** (Sidi-Khaled).

---

# **Chapitre IV :**

## **Méthodologie**

---

#### IV.1 Echantillonnage

Nous avons effectué plusieurs échantillonnages pour les racines et leurs sols rhizosphériques dans neuf (9) sites : Sidi-Naâmane (Médéa), Aïn-Ouessara, Goutaia, Messaâd, Forêt de Senalba et l'ITMA (Djelfa), Sidi-Khaled (Biskra) et finalement El-Mergueb et Djebel-Misaâd (M'sila).

L'échantillonnage s'est réalisé au cours de trois saisons (été, automne et printemps) pour les sites de Sidi-Naâmane, Aïn-Ouessara, Goutaia, Messaâd, Senalba et Sidi-Khaled. Pour le reste des stations (ITMA, El-Mergueb et Djebel-Misaâd), les échantillons ont été récoltés uniquement en hiver et au printemps. Les échantillons ont été récoltés pour les quatre espèces du genre *Pistacia* étudiées (cf. Chap. II).

Cinq arbres ont été choisis aléatoirement pour chaque station et pour chacune des quatre espèces étudiées, et un triangle est tracé autour de chaque arbre. Neuf échantillons de sols avec les racines sont prélevés (3 échantillons par saison) aux trois sommets du triangle, à une profondeur de 20 cm autour de la rhizosphère, afin de constituer un échantillon composite représentatif du sol environnant du système racinaire de l'arbre (Fig. 24). Ces échantillons, de 1kg chacun, renfermant les racines fines de nos espèces avec leurs sols rhizosphériques ont été placés dans des sacs en plastique étiquetés, puis transportés au laboratoire.



**Figure 24** : Échantillonnage des racines avec le sol rhizosphérique sous les pieds de *P. atlantica* : A (station de Sidi-Khaled), B (station d' Aïn-Ouessara).

### IV.2 Étude des CMA

Afin de suivre la variation spatio-temporelle des paramètres de mycorhization, des prélèvements racinaires ont été effectués chez les pieds de pistachiers étudiés (Atlas, térébinthe, lentisque et vrai), ces prélèvements sont effectués en été et automne 2013 et au printemps 2014, pour les stations de Sidi-Naamane, Aïn-Ouessara, Goutaia, Messaàd, Senalba et Sidi-Khaled. Et en hiver 2014 et printemps 2015 pour le reste des stations (ITMA, El-Mergueb et Djebel-Misaàd).

Trente fragments racinaires sont utilisés pour chaque arbre. Ces racines échantillonnées sont lavées abondamment à l'eau du robinet jusqu'à disparition totale de traces de terre par la suite elles sont conservées dans un alcool (éthanol) à 70%.

#### IV.2.1 Observations des fragments racinaires au MEB

Une partie des fragments ainsi conservés, sont observés au microscope électronique à balayage (MEB) (FEI/Philips XL-30 Field Emission ESEM). Trois fragments, de 2 à 4 mm de long, par saison et par station sont utilisés pour l'étude. Les fragments sont séchés et fixés sur des plots puis métallisés (couvert d'une fine couche d'or) puis observés à différents grossissements et des photographies numériques ont été prises à différentes échelles.

#### IV.2.2 Coloration des racines mycorhizées

C'est la technique de Phillips et Hayman (1970), qui permet de mettre en évidence au microscope photonique l'infection mycorhizogène. Cette technique est modifiée au niveau de l'éclaircissement pour les racines très pigmentées et fibreuses ou coriaces.

- Les racines prélevées sont délicatement lavées dans un béccher sur un agitateur avec un barreau magnétique pour enlever les particules de sol adhérentes (l'eau de lavage est ensuite observée sous une loupe binoculaire pour vérifier s'il n'y a pas de spores du champignon mycorhizogène pour les mycorhizes à arbuscules CMA). Les racines peuvent être colorées le jour même ou gardées dans le fixateur FAA pendant une période assez longue.
- Les racines à colorer pour les CMA sont choisies parmi les plus fines et les moins fibreuses. Elles sont longuement et soigneusement rincées à l'eau du robinet pour enlever

les traces du fixateur, elles sont ensuite découpées en petits fragments d'environ 1 cm de longueur.

- Les racines sont mises dans une solution de KOH (hydroxyde de potassium) à 10% et placées à l'étuve à 90°C pendant environ 1h pour des racines moins fines ou très pigmentées. Les laisser longtemps si elles sont pigmentées et fibreuses. Remplacer la solution de KOH aussitôt qu'elle devient foncée. Le KOH a pour but de vider les cellules de leur cytoplasme.
- Rincer plusieurs fois les racines, si elles sont encore pigmentées, on élimine le reste des pigments qui nuisent à l'observation, en les transférant dans une solution d' $H_2O_2$  (peroxyde d'hydrogène) à 10%. Elles sont placées dans cette solution dans l'étuve à 90°C pendant 10 à 20 mn jusqu'à blanchissement total des racines.
- Les racines sont ensuite rincées plusieurs fois à l'eau et neutralisées dans un bain d'acide lactique à 10% pendant 3 à 4 mn.
- Les racines sont transférées dans la solution colorante et dans l'étuve à 90°C. Le temps de coloration varie avec le type de racines. Généralement il est de quelques minutes à 1 heure, mais si les racines sont coriaces le temps sera plus long, 1h30 à 2h au maximum. Cependant dans ce cas il faut surveiller la température de la solution et de l'étuve pour qu'elle ne dépasse pas 90°C au cours du temps de coloration.
- Après avoir retiré les racines de la solution colorante, elles sont rincées à l'eau courante. Pour enlever l'excès de colorant, on les place dans une boîte de Pétri contenant du glycérol (glycérine). Elles peuvent être immédiatement observées à la loupe binoculaire, mais pour les monter entre lames et lamelles, il serait préférable d'attendre quelques heures.
- Les racines colorées sont montées parallèlement les unes aux autres dans du glycérol à raison de 10 à 20 segments par lame, la lamelle est soigneusement mise, et avec la fin d'un crayon on presse uniformément et graduellement avec une légère pression pour écraser soigneusement les racines.

### IV.2.3 Estimation de la colonisation racinaire

Une fois colorées, les racines sont découpées en 10 fragments, placés parallèlement sur une lame et observée au microscope photonique aux grossissements x 100 et x 400. L'estimation de la mycorhization du système racinaire a été réalisée selon la méthode de Trouvelot et *al.* (1986).

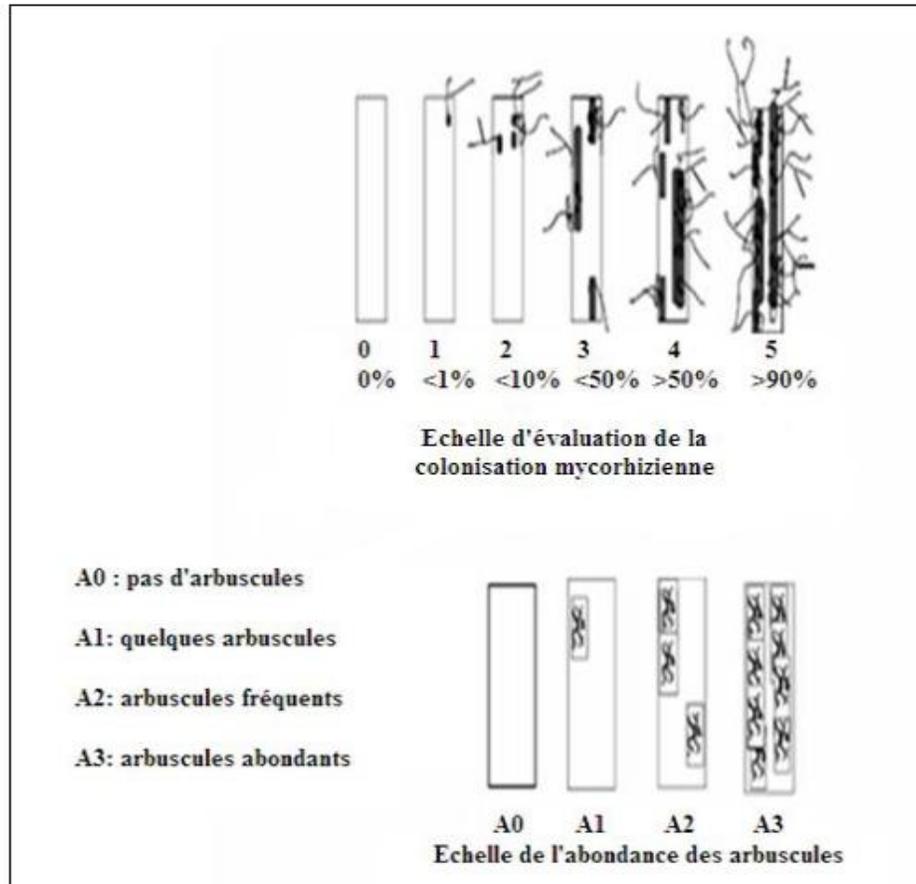
Le taux de colonisation endomycorhizienne est estimé selon une grille d'évaluation remplie selon 2 échelles :

- Une 1<sup>ère</sup> échelle permettant d'évaluer l'intensité de colonisation du cortex racinaire et comportant 5 classes notées de 0 à 5. Chaque classe traduit le degré d'intensité de colonisation du cortex radulaire de chaque fragment observé ;
- La 2<sup>ème</sup> échelle permet l'évaluation de la présence des arbuscules et des vésicules. Elle est composée de 4 classes allant de A0 à A3 indiquant leur fréquence (Fig.25).

Les paramètres de l'infection estimés sont :

- La fréquence de l'infection mycorhizienne F (%) : Elle exprime le pourcentage du nombre de fragments racinaires endomycorhizés, ce qui reflète l'importance de l'infection du système racinaire.
- L'intensité de colonisation du cortex racinaire M (%) : Elle traduit la proportion du cortex colonisé estimé par rapport au système radulaire entier.
- La teneur arbusculaire de l'infection A(%) par rapport au système radulaire entier. C'est la proportion du système racinaire renfermant des arbuscules.
- La teneur vésiculaire de l'infection V(%) par rapport au système radulaire entier. C'est la proportion du système racinaire renfermant des vésicules.

Ces paramètres sont calculés en introduisant les résultats de chaque grille dans un programme informatique mycocale mis au point par Trouvelot et *al.* (1986), disponible sur le site [www.dijon.inra.fr](http://www.dijon.inra.fr) (INVAM).



**Figure 25** : Barème de classe de la colonisation endomycorhizienne (Trouvelot et *al.*, 1986).

#### IV.2.4 Séparation et identification des spores

Les sporocarpes et spores des CMA et les débris de tissus de racines ont été séparés et isolés des échantillons de sol de la rhizosphère par tamisage humide selon la technique de Gerdemann & Nicolson (1963). Les sols humides (10 g +100 ml d'eau) ont été placés dans une série de quatre tamis de différents diamètres (53  $\mu$ m, 125  $\mu$ m, 250  $\mu$ m et 1 mm), à raison de trois répliquas par station. L'échantillon est soumis à un jet d'eau de robinet jusqu'à ce que l'eau qui en ressorte devienne claire et limpide. Les échantillons extraits de chaque tamis ont été centrifugés dans une solution aqueuse, pendant 5 minutes à 4000 tr/mn. Le surnageant est écarté et une solution de saccharose (50 %) est additionnée au caillot. Le mélange ainsi obtenu est centrifugé une seconde fois pendant 3 mn. Le contenu de chaque tube, contenant les spores, est récupéré dans une boîte de Pétri et conservé à une température de 4°C.

Les spores sont récoltées et séparées à l'aide d'une micropipette, elles sont ensuite été montées sur des lames. Les spores intactes et écrasées ont été placées dans une goutte d'un mélange PVLG (alcool polyvinylique/acide lactique/glycérol) (Koske & Tessier, 1983) et une goutte du réactif de Melzer (Omar *et al.*, 1979). Les spores des CMA ont été identifiées par microscopie photonique, selon le manuel de Schenck & Perez (1990) et comparées aux descriptions des espèces du référentiel de l'INVAM (Collection internationale de cultures de champignons mycorhiziens à vésicules et arbuscules). Des caractéristiques morphologiques (forme, couleur et taille) des spores ont été étudiées. La couleur des spores, examinées sous loupe binoculaire, a été déterminée selon le nuancier de l'INVAM (Morton *et al.*, 1993) et leurs dimensions, par micrométrie.

### IV.3 Analyses physico-chimiques des sols

Les méthodes utilisées sont les méthodes standards de pédologie exposées par Aubert (1978) dans son manuel d'analyse des sols. Les échantillons de sol sont séchés à l'air libre, tamisés à 2 mm et conservés dans des sachets. Les analyses sont réalisées sur la terre fine.

Les paramètres suivants sont mesurés et ont fait l'objet de 3 répétitions :

- Le pH et la conductivité électrique (CE, exprimée en millisièmes par centimètre (mS/cm)) sur une suspension sol-eau (1/5) ;
- La granulométrie est déterminée par tamisage humide (AFNOR, 1990). Elle a pour but de quantifier pondéralement les particules minérales élémentaires, groupées par classes, et de définir la texture ou composition granulométrique des sols.

En fait les blocs (> 20 cm), les cailloux (20 à 2 cm), les graviers (2 cm à 2 mm) sont exclus de l'analyse granulométrique qui ne prend en compte que la fraction inférieure à 2 mm appelée terre fine.

Les particules sont assemblées en agrégats, les traitements préalables adaptés à la nature des produits agrégeant (calcaire, ciments amorphes, matière organique) désolidarisent les particules.

Selon la classification d'ATTERBERG adoptée par l'association internationale de la science du sol (Aubert, 1978), les classes granulométriques de la terre fine sont:

- Les sables grossiers 2 mm 200 $\mu$ .
- Les sables fins 200  $\mu$  50 $\mu$ .
- Les limons grossiers 50  $\mu$  20 $\mu$ .
- Les limons fins 20  $\mu$  2 $\mu$ .
- Les argiles < 2 $\mu$ .

Sur un échantillon de terre séché à l'air, broyé et tamisé à 2mm, on assure une destruction des ciments (organique par H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> et calcaire par HCl). Les constituants du même échantillon subissent une dispersion dans une solution alcaline, puis le prélèvement s'effectue en déduisant la hauteur de prélèvement par la pipette de ROBINSON; en appliquant la loi de STOKES (sans oublier de vérifier la température du liquide car elle influe largement).

Les pédologues regroupent les textures (% d'argile, de limon et de sable) en classes de textures pour faciliter la description des sols (Fig. 26) (Delaunois et *al.*, 2006).

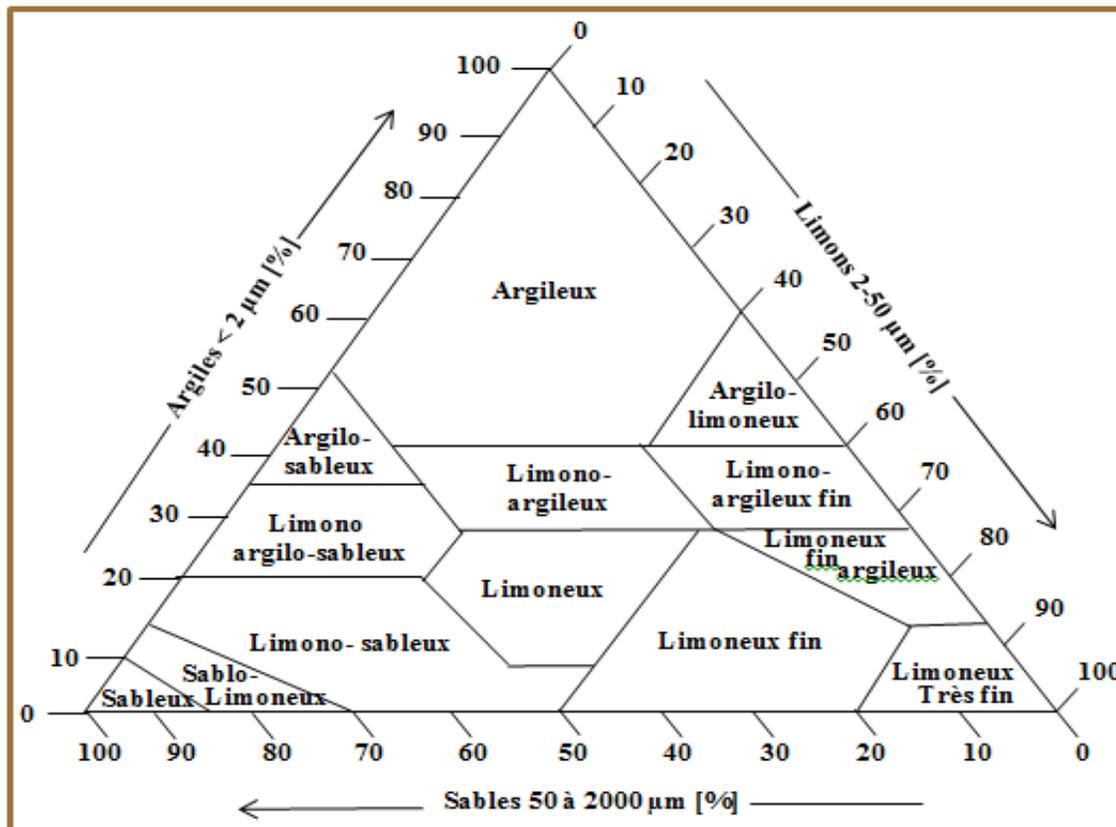


Figure 26 : Triangle des textures minérales (Gobat et *al.*, 2003).

-Les teneurs en calcaire total sont fondées sur la réaction caractérisée du carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) avec l'acide Chlorhydrique (HCl), le dosage du calcaire total est réalisé à l'aide du Calcimètre de Bernard. Le calcul et l'expression des résultats se font par l'intermédiaire de la réaction suivante:  $\text{CaCO}_3 = (V' \times 0,3 / V \times P) \times 100$ . V étant le volume de  $\text{CO}_2$  produit par 0,3 g de  $\text{CaCO}_3$  pur et sec ; V', le volume de  $\text{CO}_2$  produit par 0,3g de  $\text{CaCO}_3$  contenu dans un poids P de sol et en fin P, le poids de la prise d'essai de terre en grammes ;

-On a dosé la matière organique selon la méthode de d'Anne Jackson (1965) qui consiste à oxyder à froid le carbone de la matière organique contenu dans un échantillon de sol en présence d'un oxydant puissant : le bichromate de potassium ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ), en milieu sulfurique. L'excès de bichromate de potassium est titré par le sulfate de fer et d'ammonium  $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$ .

Les calculs sont exprimés selon ce qui suit :  $C\% = (n' - n) / P \times 1 \times 0,3 / 0,77$  avec n', étant le volume de titration pour le témoin ; n, le volume de titration de l'échantillon sol et enfin p, le poids du sol. Déduire, ensuite, la valeur ou le pourcentage de MO de l'échantillon en appliquant la formule :  $\text{MO} \% = C \% \times 1,72$

### IV.4 Traitements Statistiques

Une analyse de la variance (ANOVA) ainsi que le test de Fisher (LSD) ( $p < 0,05$ ) ont été utilisés afin d'étudier l'influence des facteurs « site » et « saison », ainsi que leur interaction, sur les taux de mycorhization et le sol. La diversité des taxons des CMA identifiés via les spores, est appréhendée à l'aide de l'indice de diversité de Shannon et Weaver (1949). Une matrice de corrélation (test de Pearson) a été réalisée pour évaluer les relations entre les différentes variables étudiées. Une analyse en composantes principales (ACP) a été effectuée pour mettre en évidence l'affinité entre les cinq populations étudiées. L'ensemble des tests statistiques a été réalisé avec le logiciel « STATISTICA 10 ».

---

# **Chapitre V :**

## **Résultats et discussion**

---

## V.1 Description des structures fongiques des champignons endomycorhiziens à arbuscules

### V.1.1 Observations microscopiques des fragments racinaires au MEB

Les observations microscopiques des fragments de racines montrent l'existence d'un seul type de colonisation mycorhizienne chez les quatre espèces étudiées (cf. Chap.II), l'endomycorhize à arbuscules et vésicules (CMA). Cette colonisation est caractérisée par l'absence de manteau fongique, des racines peu transformées, légèrement renflées à l'extrémité et des poils absorbants sont présents sur la surface racinaire (Fig. 27).

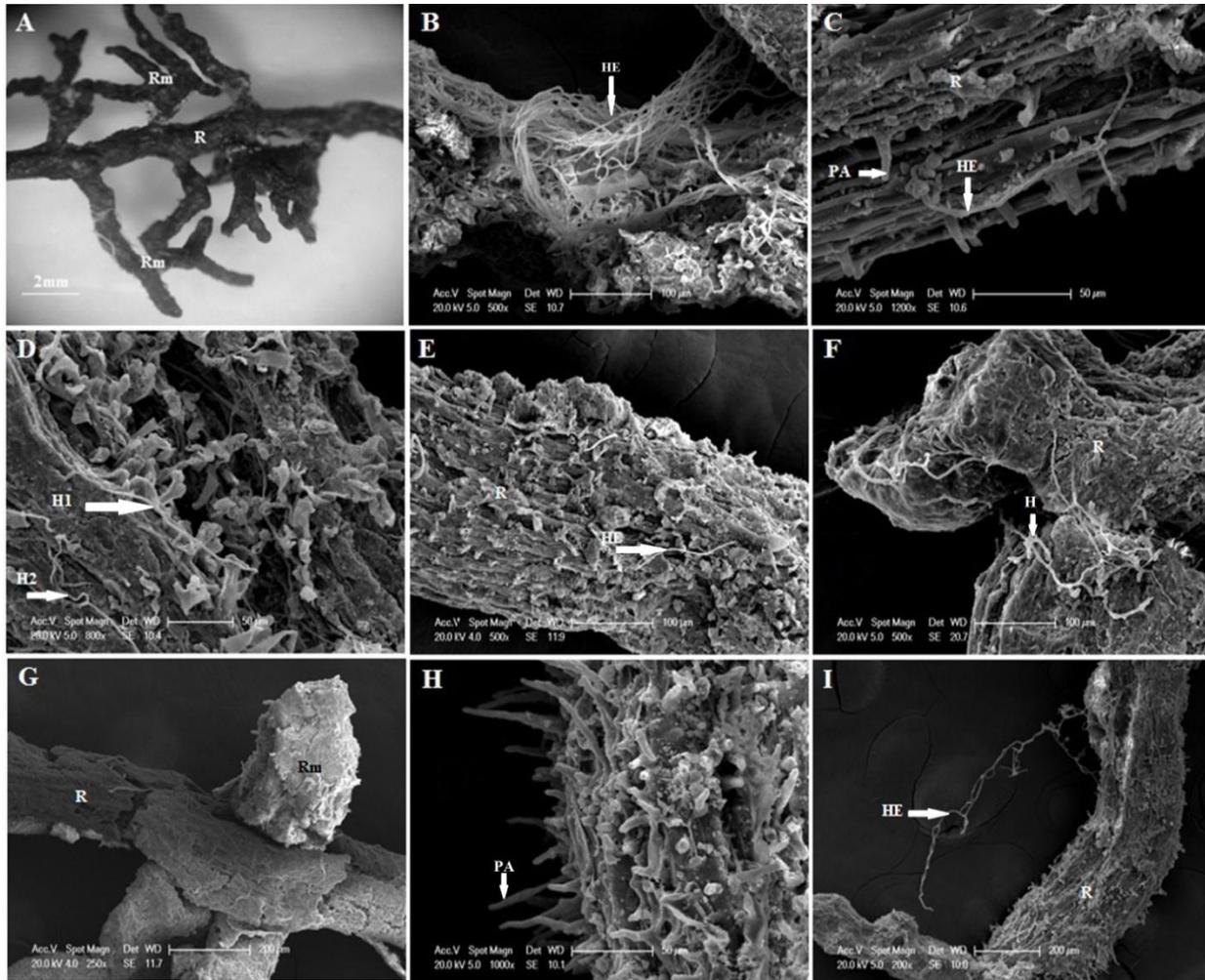
Néanmoins, chez *P. terebinthus* (station Goutaia, saison printemps), on a remarqué la présence de quelques structures à l'origine de la déformation des radicelles chez quelque arbres (3 pieds), ceci peut être dû à une colonisation d'autres champignons formant des ecto-endomycorhize (double colonisation) ou à des rhizo-endophytes (mycoendophytes) qui peuvent générer des structures ecto-mycorhizoïdes (Fig. 28).

Deux formes ont été enregistrées lors de nos observations : la forme simple caractérisée par un renflement des radicelles latérales à l'extrémité (Fig. 28, A et B) et la forme coralloïde ou dichotomique caractérisée par la ramification des radicelles latérales (Fig. 28, C et D), qui sont entourées par un réseau extra-matriciel de cordons mycéliens (agrégats ramifiés d'hyphe) (Fig. 28, E et F).

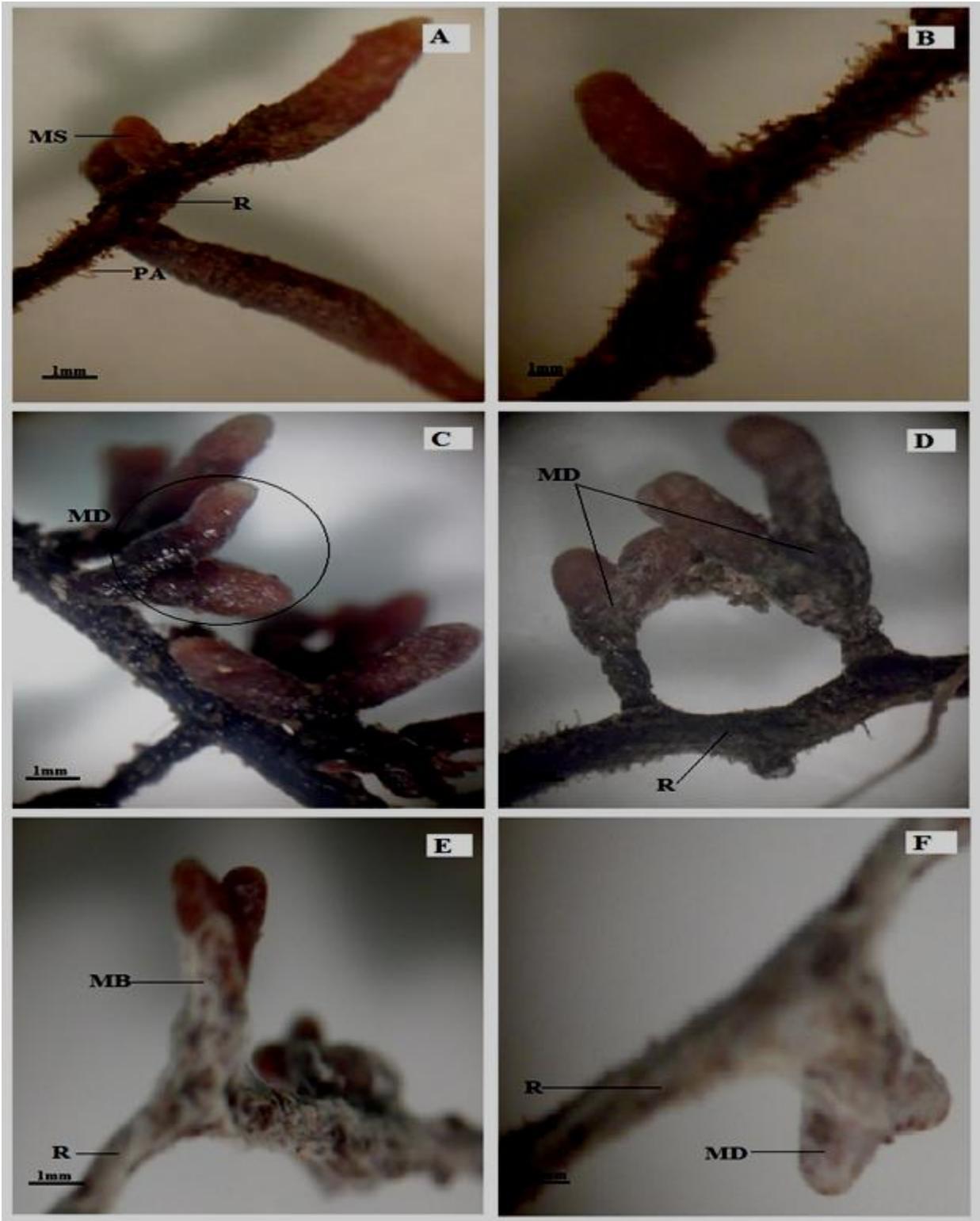
### V.1.2 Observations microscopiques des étapes de colonisation racinaire chez *P. atlantica*

Les observations microscopiques nous ont permis de suivre les étapes de colonisation mycorhizienne, caractérisée par la germination de la spore du champignon donnant des hyphe mycéliens (Fig. 29, A et B).

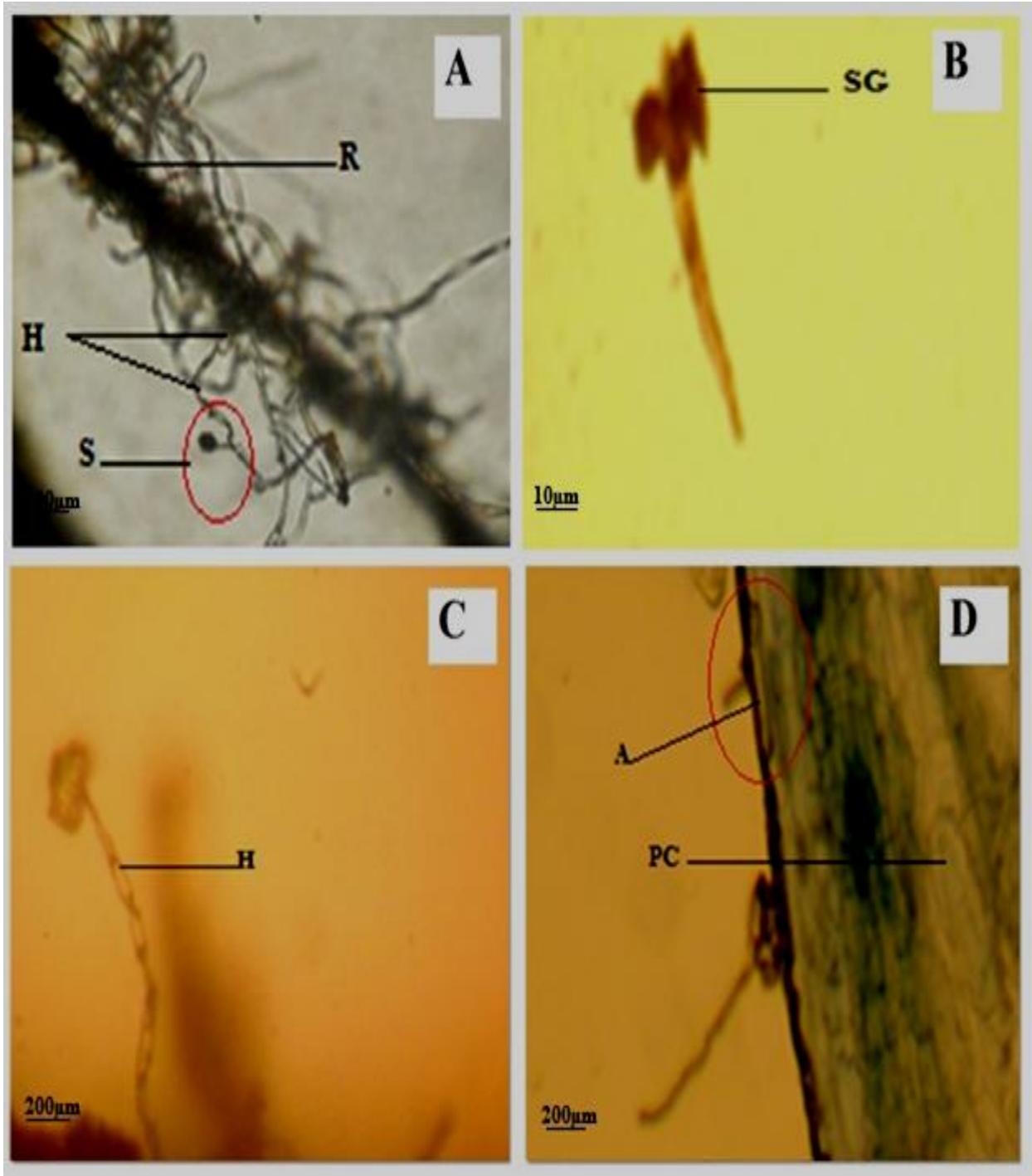
Ces hyphe entrent en contact avec les racines de *P. atlantica*, ce contact est suivi d'une adhésion puis de la formation d'un appressorium à partir duquel se développera la phase intracellulaire des champignons symbiotiques (Fig. 29, C et D).



**Figure 27 :** Photographies numériques de fragments racinaires de *P. atlantica* observés à la loupe binoculaire et au microscope électronique à balayage (MEB). **A-**Ramifications (Rm) d'une racine (R) fine observée sous loupe binoculaire (Station de Sidi-Khaled, été). **B-I :** Micrographies numériques des fragments racinaires observés au microscope électronique à balayage (MEB). **B-**Hyphes extra-racinaires (HE) enchevêtrées apparaissant d'une rupture d'un fragment racinaire (Station de Goutaia, été), **C-** Hyphe (H) dont les deux extrémités émanent de la racine (Station de Aïn-Ouessara , été), **D-**Hyphes (H1, H2) de différents diamètres (Station de Messaàd, été), **E-**Hyphes extra-racinaire tapissant la surface racinaire (Station de Sidi-Khaled, automne), **F-**Hyphes colonisant toute la surface d'une racine (Station de Sidi-Naâmane , automne), **G-**Ramification simple d'une racine (Station de Messaàd, automne), **H-** Poils absorbants d'une racine (Station de Aïn-Ouessara , printemps), **I-** Hyphes extra-racinaire émanant d'une racine (Station de Goutaia, printemps).

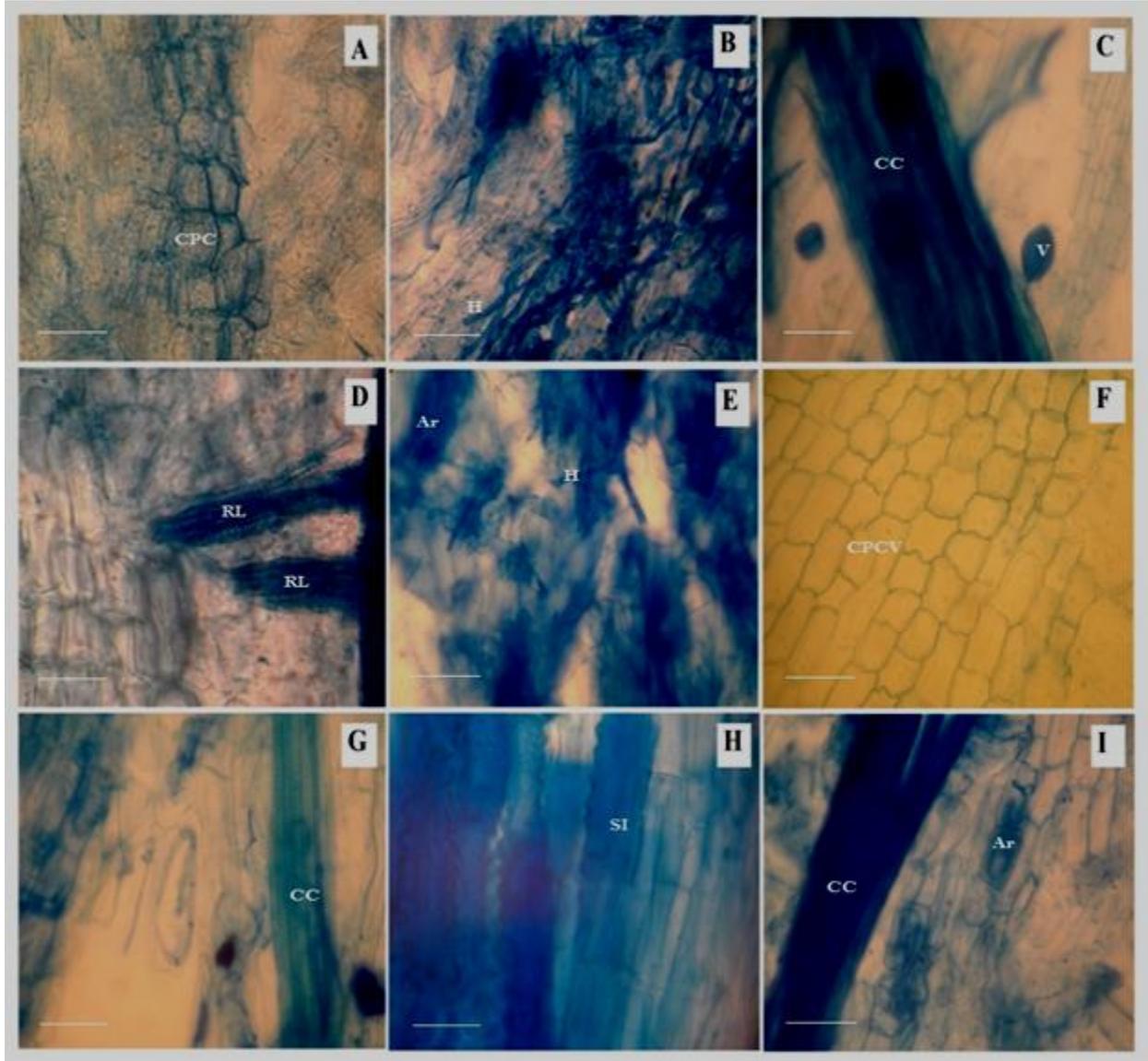


**Figure 38:** Morphologie des racines de *Pistacia terebinthus* (Station Goutaia, printemps) ; A et B-mycorhize simple (MS) avec des poils absorbants (PA), C et D-mycorhize coralloïdes ou dichotomique (MD), E et F-manteau fongique. L.B.GrX50.



**Figure 29:** Etapes de la colonisation d'un champignon symbiotique de la racine de *P. atlantica* (Station de Aïn-Ouessara , été) ; **A**-Germination d'une spore (S). LB.GrX40,5 .**B** et **C**- Développement d'une hyphe (H) qui s'attache aux cellules du parenchyme cortical (PC). LB.GrX40,5. **D**-Formation d'un appressorium (A). M.P.GrX40.

Ces champignons colonisent les racines et produisent différentes structures qu'on peut observer dans les différents fragments racinaires (Fig. 30).



**Figure 30:** Structures fongiques des champignons symbiotiques dans les racines de *Pistacia atlantica* ; **A** et **F**- cellules du parenchyme cortical mycorhizé (CPC) et non mycorhizé (CPCV),**B** et **E**- les hyphes des champignons endomycorhiziens (H),**C**, **D** et **G**- Cylindre central des racines mycorhizées (CC) avec des ramifications latérales ( RL),**H**- Structures inconnues (SI),**I**- Arbuscules (Ar).M.P.GrX40. Barre 40µm. A et B, station de Aïn-Ouessara été et printemps ;C, station de Sidi-Khaled, automne ; D, station de Gutia, été ; E et F, Station de Sidi-Naâmane , printemps et été ; G, station de Messaàd, été ; H, station de Senalba, printemps ; I, station de Goutaia, été.

### V.1.3 Observations microscopiques des écrasements racinaires chez *P. atlantica*, *P. terebinthus*, *P. lentiscus* et *P. vera*

#### V.1.3.1 Champignons endomycorhiziens à arbuscules (CMA)

L'observation des fragments, prélevés durant les trois saisons (été, automne et printemps), écrasés et colorés au bleu de trypan par la technique de Philipe et Hayman (1970), nous a permis de mettre en évidence la présence de champignons à arbuscules et vésicules (CMA) chez les quatre espèces étudiées. Ce type de mycorhize est caractérisé par la présence de trois structures fongiques différentes (Tableau 41), décrites ci-dessus (Fig. 31-36):

-Les **hyphes** : Ils pénètrent dans le cortex racinaire. Une fois à l'intérieur, ces hyphes se ramifient et s'étendent au niveau du parenchyme cortical des racelles (Fig. 31). Ils présentent deux voies de cheminement, la voie intracellulaire caractérisée par des hyphes de diamètre assez gros, enroulées pour former des pelotons (Fig. 31, A et H) et la voie extracellulaire caractérisée par des hyphes fines et ramifiées pour former des arbuscules (Fig. 31, B-G et H) ;

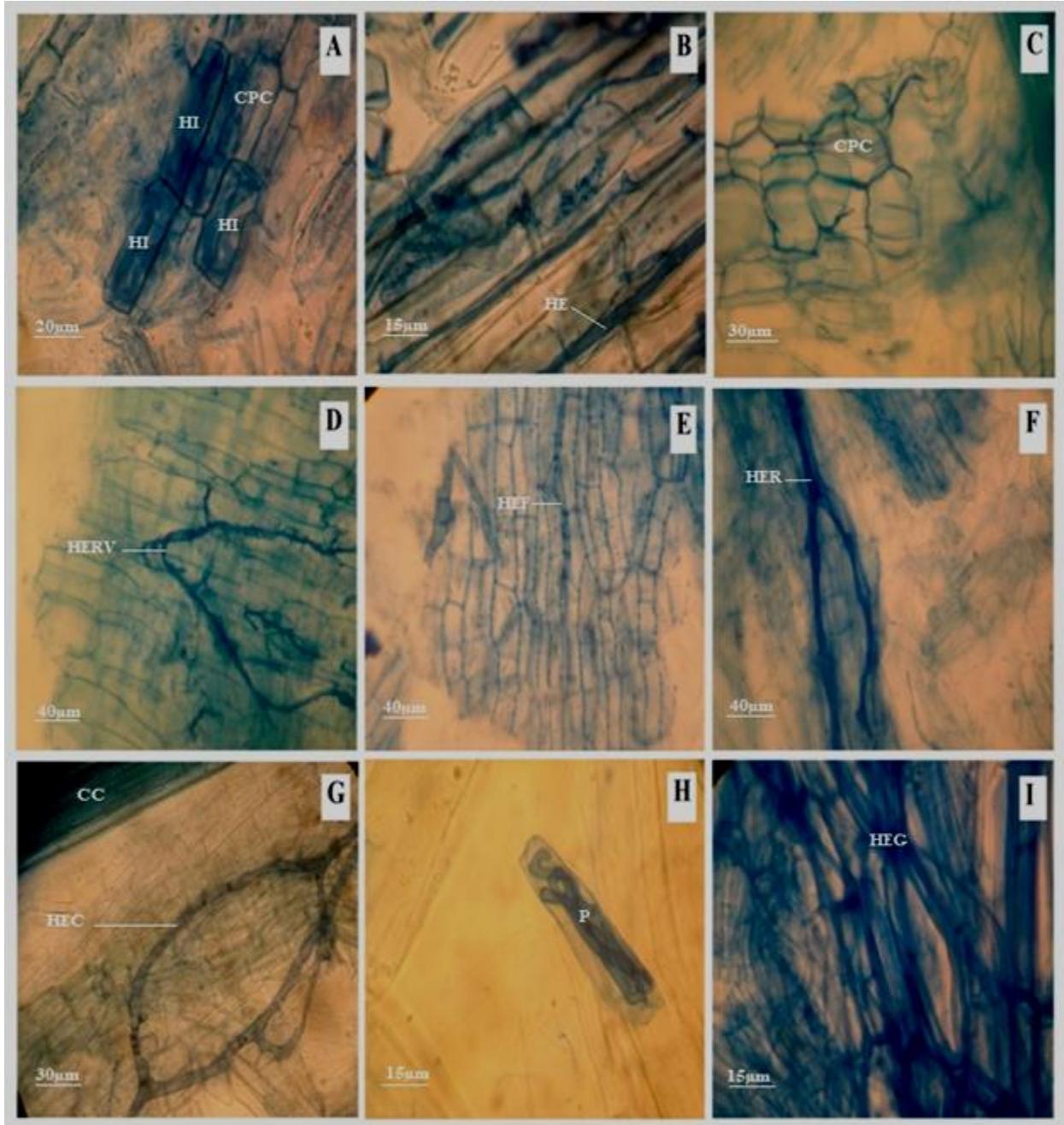
-Les **vésicules** : De taille et de forme variées, elles se forment dans les espaces intracellulaires (Fig. 32) et intercellulaires du parenchyme cortical (Fig. 33). Pour la taille, elles sont plus petites à l'intérieur des cellules que dans l'espace extracellulaire où elles sont plus ou moins grandes. Leur forme est variée néanmoins, les formes les plus communes sont la forme ovale et la forme arrondie. D'autres formes irrégulières ont été observées dans l'espace extracellulaire (Fig. 33, C et H).

-Les arbuscules : Les hyphes pénètrent à l'intérieur des cellules et se ramifient pour donner des structures en forme d'arbuscules (Fig. 34). Pour le mode de colonisation, nous avons observé le type morphologique *Arum* dans toutes les stations. Nous avons constaté la présence d'un premier type *Arum* ou *Arum A* (Fig. 34, A, F, G, H et I), le type *Arum B* est également observé (Fig. 34, D et C). D'un autre côté, nous avons observé la formation d'arbuscules dans les cellules du cortex, de type *Paris* qui est caractérisé par un enroulement des hyphes dans les espaces intracellulaires (Fig. 34, B et E). La présence des deux types *Arum* et *Paris* « type mixte » a été mise en évidence dans un même fragment racinaire (Fig. 34, B et E).

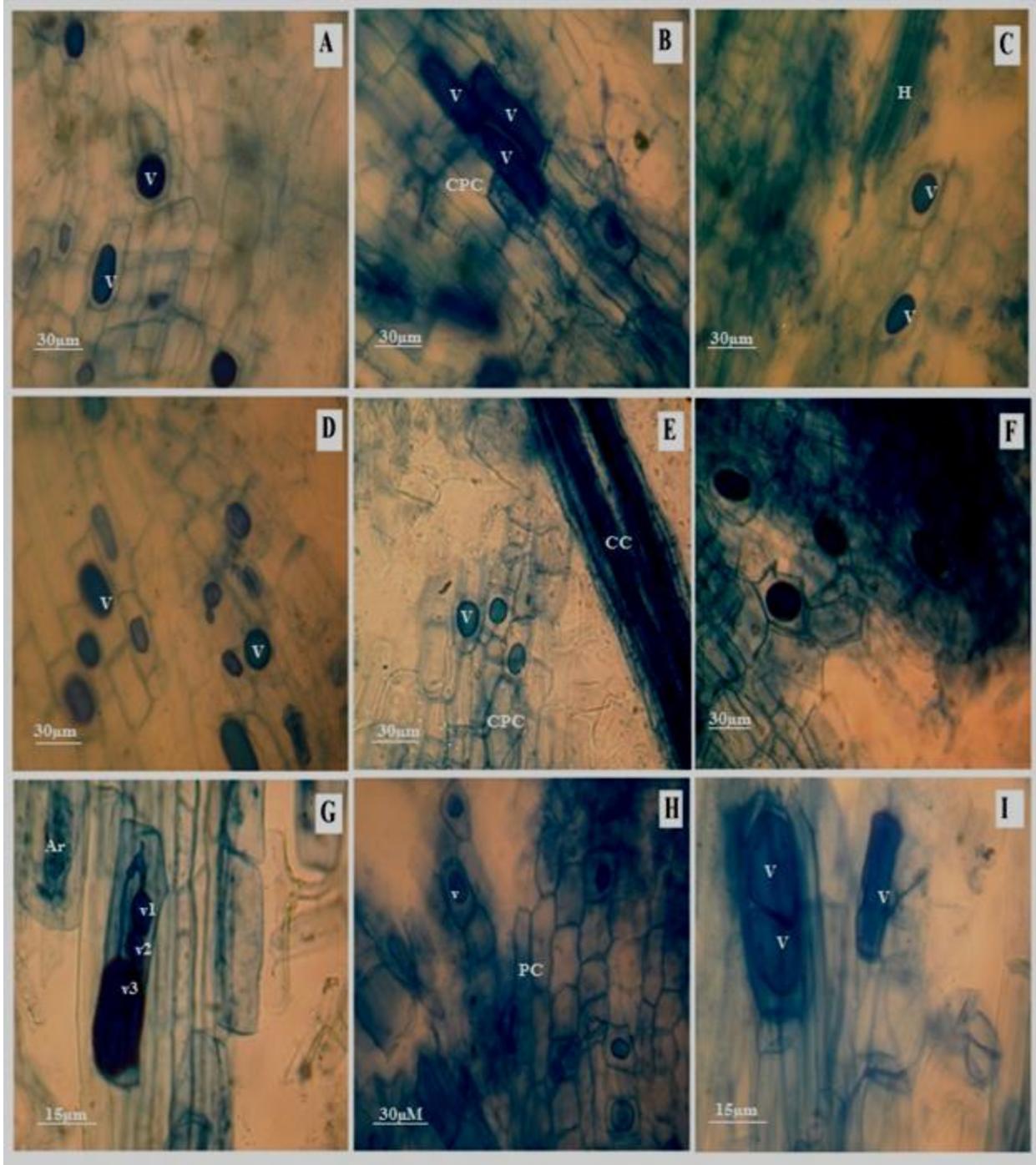
Ces trois structures sont observées chez les quatre espèces et pour les trois saisons (Fig. 35, A-H).

Tableau 41 : Différentes structures de CMA observées chez les quatre espèces étudiées.

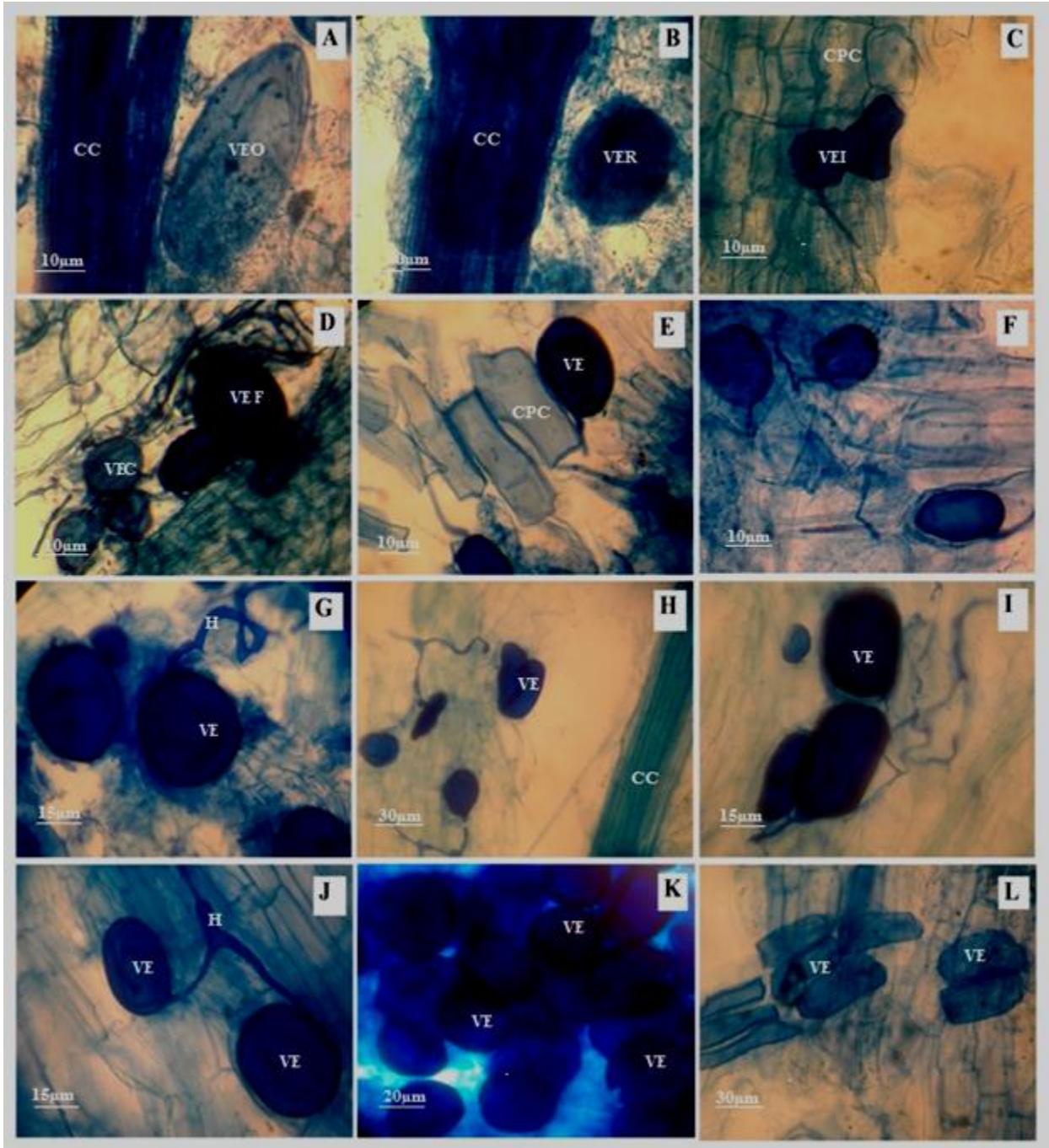
Es pèce	Vésicules	Arbuscules	Hyphes
<i>P. atlantica</i>	<b>*Plusieurs formes</b> -Ovales (+++) -Rondes (++) -Irrégulières (+)	-Arum A et B (+++) -Paris (++)	-Hyphes intercellulaires fines et siphonnées (+++)
	<b>*Deux localisations</b> -Extracellulaire (+++) -Intracellulaires (++)	-Type mixte : Arum (+) Paris (++)	-Hyphes intracellulaire épaisses enroulées (Pelotons) (++)  -Hyphes portant à leurs extrémités des arbuscules ou bien des vésicules
	<b>*Taille variée</b> -Grands (+++) -petits (+)		
<i>P. terebinthus</i>	<b>*Deux formes</b> -Ovales (+++) -Rondes (++) -Irrégulières (+/-)	-Arum (+++) -Paris (+/-)	-Hyphes intercellulaires épaisses et siphonnées formant un squelette et très ramifiées (+++)  -Hyphes intracellulaires épaisses enroulées (Pelotons) (+)  -Hyphes portant à leurs extrémités des arbuscules ou des vésicules (+)
	<b>*Deux localisations</b> -Intracellulaires (++) -Extracellulaire (+)		
	<b>*Taille variée</b> -Grands (+) -petits (++)		
<i>P. lentiscus</i>	<b>*Deux formes</b> -Ovales (+++) -Rondes (++) -Irrégulières (+/-)	-Arum (++)	-Hyphes intercellulaires fines et siphonnées (+++)
	<b>*Deux localisations</b> -Intracellulaires (++) -Extracellulaire (+)		-Hyphes intracellulaires épaisses enroulées (Pelotons) (+)  -Hyphes portant à leurs extrémités des arbuscules ou des vésicules (+)
	<b>*Taille variée</b> -Grands (+) -petits (++)		
<i>P. vera</i>	<b>*Deux formes</b> -Ovales (+++) -Rondes (++)	-Paris (+++)	-Hyphes intercellulaires épaisses et siphonnées (+++)
	<b>*Deux localisations</b> -Intracellulaires (+++) -Extracellulaire (+)	-Arum A (+) -Arum B (+)	-Hyphes portant à leurs extrémités des arbuscules ou des vésicules (+)
	<b>*Taille variée</b> -Grands (+) -petits (+++)		



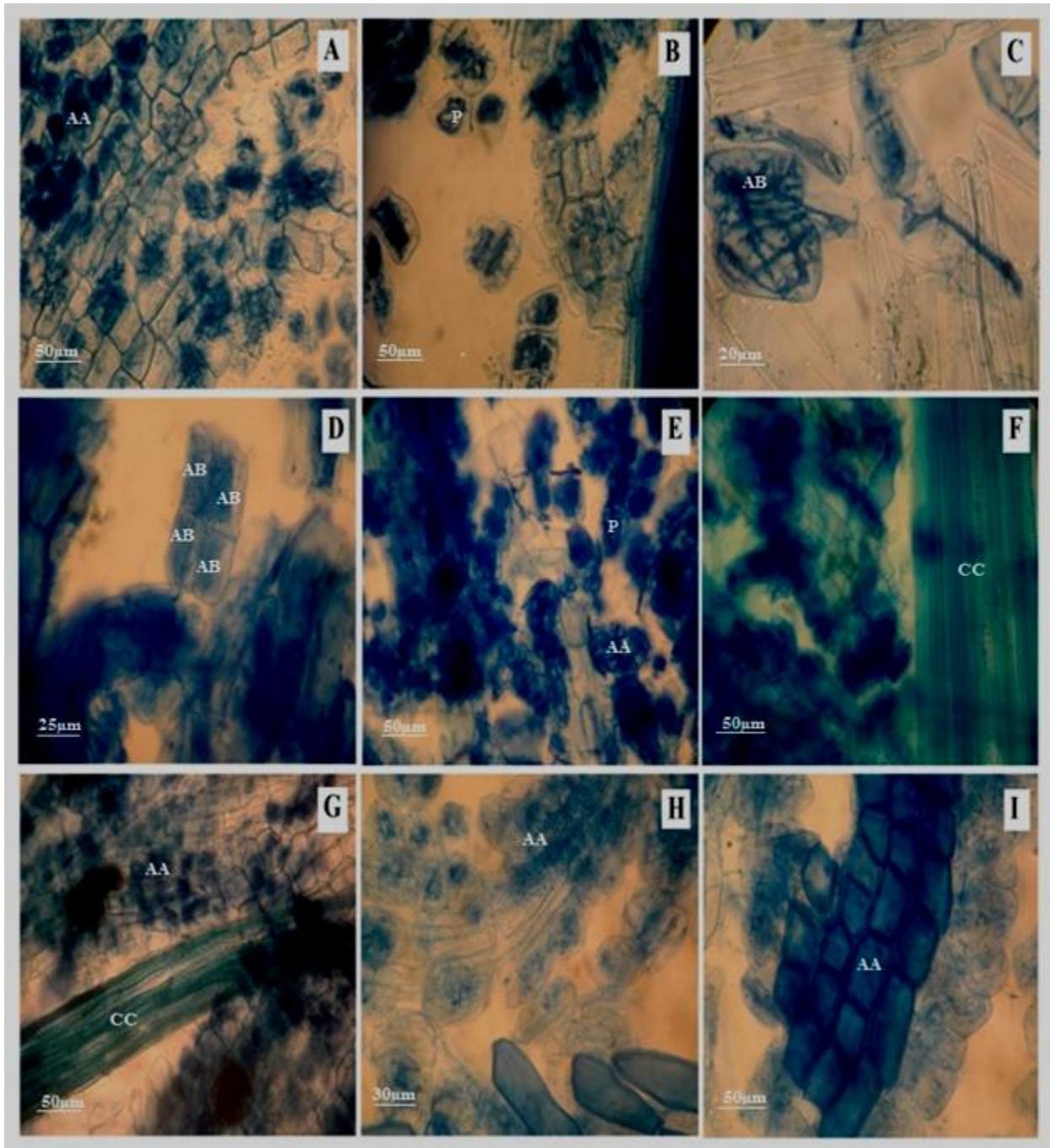
**Figure 31** : Hypes de champignons symbiotiques dans les racines de *P. atlantica*(A-G) et de *P. terebinthus* (H et I);**A et H** : hyphes intracellulaires (HI) formant des pelotons (P),**B, C, E et I**-hyphes intercellulaires (HE) de grand diamètre (HEG) et fines (HEF),**D et G**-hyphes ramifiées de différentes formes (forme V, HIRV ; forme O, HIO.M.P.GrX40). Barre 40µm. A et B (station de Goutaia, automne et été), C et D (station de Sidi-Naamane , été et printemps), E et F (Station de Messaàd, été), G (station de Sidi-Khaled, printemps), H (station de Senalba, automne), I (station de Goutaia, été).



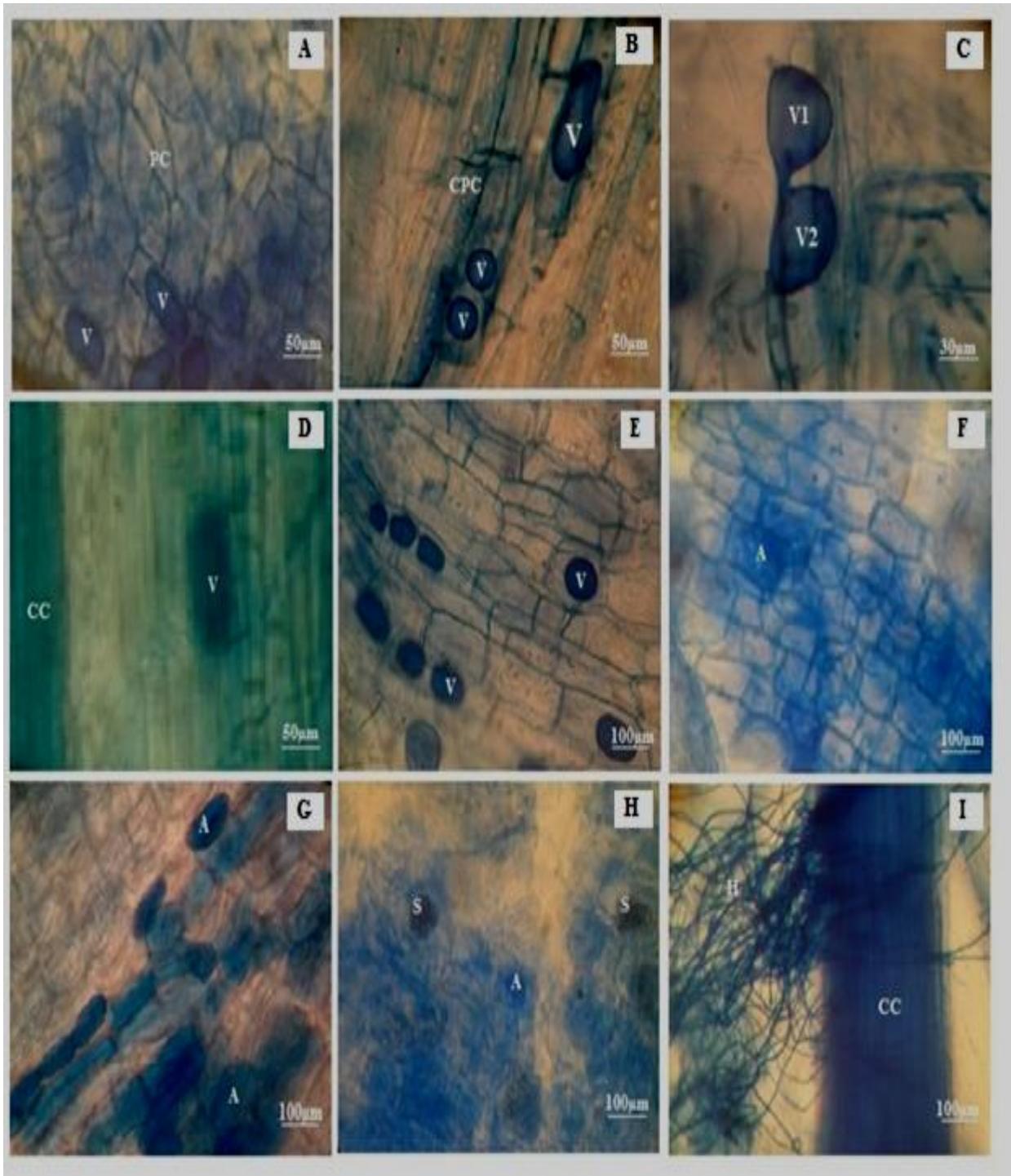
**Figure 32 :** Vésicules intracellulaires des champignons symbiotiques dans les racines de *P. atlantica* (A-G) et *P. terebinthus* (H et I) ; A et I- des vésicules intracellulaires (V) réparties dans les cellules du parenchyme cortical (PC).M.P.GrX40. A et B (station Sidi-Naâmane , été), C et D (station de Messaàd, automne et été), E et F (Station de Aïn-Ouessara , été et printemps), G et H (station de Goutaia, été), I (station de Senalba, automne).



**Figure 33:** Vésicules extracellulaires des champignons symbiotiques dans les racines de *P. atlantica* (A-I) et *P. terebinthus* (J et L); **A** et **L**-Vésicules extracellulaires (VE) de forme ovale (VEO), sphérique (VER) et irrégulière (VEI), séparées ou attachées avec une hyphe (H), de couleur foncée (VEF) ou claire (VEC). M.P.GrX40. **A-E** (station Aïn-Ouessara , été), **F** (station de Goutaia, été), **G** (Station de Sidi-Naamane , automne), **H** (station de Messaâd, automne), **I** (station de Sidi-Khaled), **J-L** (station de Senalba, été et printemps).



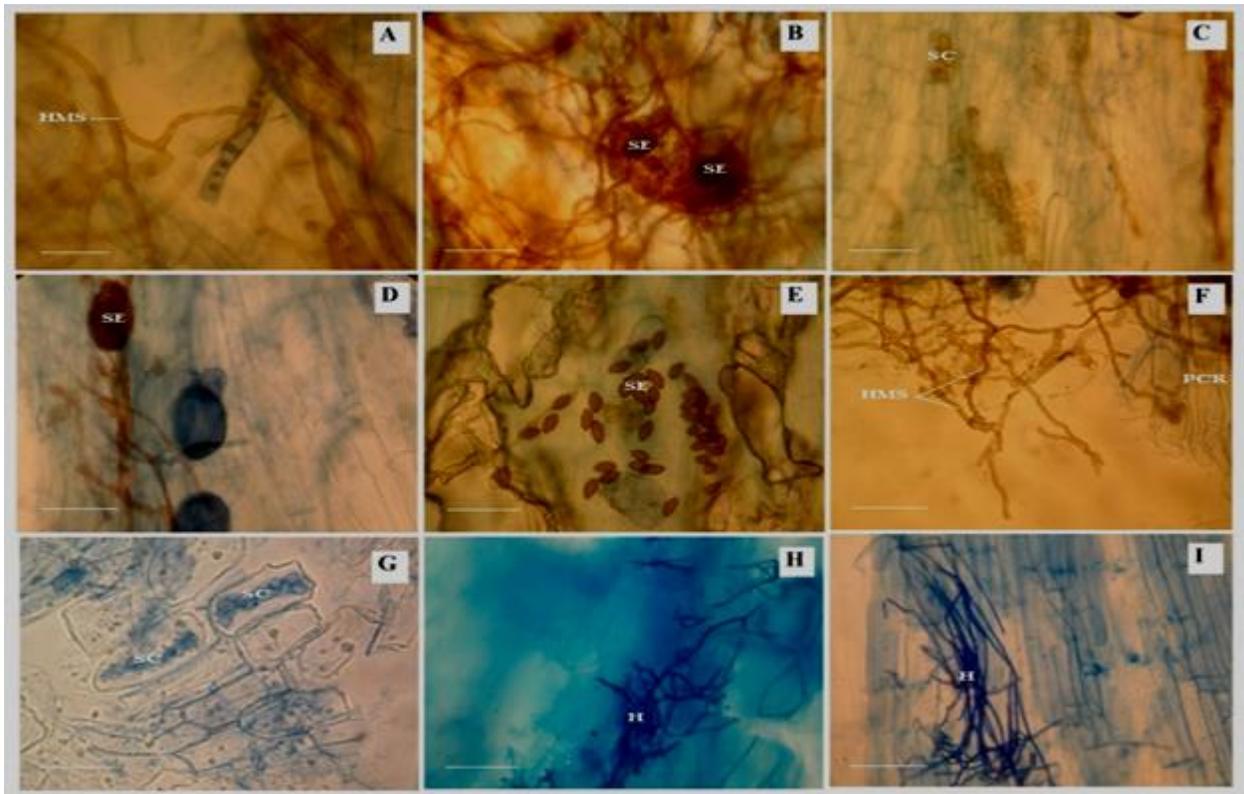
**Figure 34 :** Arbuscules des champignons symbiotiques dans les racines de *P. atlantica* (A-G) et de *P. terebinthus* (H et I) ;A, F, G, H et I-type Arum A (AA), C et D-type Arum B (AB), B-type Paris (P),B et E-deux types dans un même fragment racinaire. M.P.GrX40. A (station de Aïn-Ouessara , été), B et C (Station de Goutaia, été), D et E (station de Sidi-Naamane , automne), F (station de Messaâd, été), G (Station de Sidi-Khaled, printemps), H et I (station de Senalba, automne).



**Figure 35:** Structures fongiques observées chez les quatre espèces du genre *Pistacia* ; **A-E :** vésicules (V) intra et extracellulaires de *P. atlantica* (A), *P. terebinthus* (B et C), *P. lentiscus* (D) et *P. vera* (E), **F-H :** arbuscules (A) de *P. atlantica* (F et H) et *P. vera* (G) avec des sclérotés (S) des endopytes , **I :** hyphes des endophytes autour du cylindre central (CC) de la racine chez *P. terebinthus*.

V.1.3.2 Les endophytes

Des endophytes à mycélium septé (Rhizoendophytes ou champignons endophytes septés foncés, DES) ont été observés dans quelques fragments racinaires (Fig.36). Ils se caractérisent par la présence d'hyphes mélanisées et cloisonnées (Fig. 36, A, C et F) et des microsclérotés mélanisés (Fig. 36 G). Des spores, de ces endophytes, de taille et de forme variée ont également été observées (Fig. 36, B, D et E). Ces structures sont observées chez les quatre espèces étudiées. Chez *P. terebinthus* on a remarqué la présence d'hyphes très fines (Fig. 36, H et I), enregistrées uniquement chez cette espèce.



**Figure 36:** Structures des endophytes dans les racines de *P. atlantica* (A-G) et de *P.terebinthus* (H et I) ; A,C et F-hyphes mélanisées et cloisonnées (HMS),G-Microsclérotés (SC) mélanisés, B, D et E- Spores des endophytes (SE) dans le parenchyme cortical de la racine (PCR),H-I-Hyphes (H) très fines des endophytes chez *P. terebinthus*.H-station de Senalba,I- station de Goutaia.M.P.GrX40.Barre 40µm. Figure A-E (station de Messaàd, printemps), F (station de Sidi-Khaled, printemps), G (Station de Aïn-Ouessara , été), H (station de Goutaia, printemps ), I (station de Senalba, printemps).

### V.1.4 Discussion

Il a souvent été démontré que la plupart des plantes dans les écosystèmes terrestres ont des associations mycorhiziennes (Brundrett, 1991). Les CMA sont omniprésents et forment des relations symbiotiques avec les racines de la plupart des plantes terrestres (Akhtar et Siddiqui, 2008). Dans cette association le champignon prend le rôle de la racine de la plante et agit comme une extension du système racinaire (Muchovej, 2004).

La symbiose est l'un des mécanismes majeurs de l'évolution et de l'écologie des organismes, elle accélère l'innovation évolutive et favorise l'expansion et la diversification des espèces. Elle joue un rôle moteur dans la richesse, la stabilité et la complexité des écosystèmes par ses effets régulateurs sur les populations et les communautés d'organismes qui lui sont directement ou indirectement associées (Gardes, 2003). La symbiose endomycorhizienne concerne les plantes des zones arides et semi-arides, en particulier, tous les arbres connus pour résister à la sécheresse, tels que les Acacias (Diem *et al.*, 1981), le Thuya de Berbérie (Díaz et Honrubia, 1993) et l'Arganier (Nouaïm *et al.*, 1991), portent des endomycorhizes. Plusieurs études ont révélé la présence d'endomycorhizes à arbuscules chez plusieurs espèces de la famille des Anacardiaceae, nous citerons celles appartenant au genre *Pistacia*, tels que les travaux de Estaún *et al.* (1990) pour *P. palaestina*, *P. atlantica* et *P. vera* ; Maremmani *et al.* (2003) pour *P. lentiscus* ; Kafkas et Ortas (2009) pour *P. vera*, *P. eurycarpa*, *P. atlantica* et *P. terebinthus*.

Le champignon mycorhizien à arbuscules forme plusieurs structures à l'intérieur des racines principalement des arbuscules, des vésicules des spores et des hyphes (Tommerup, 1992). On utilise le terme propagule pour les désigner puisque toutes ces structures servent à propager l'espèce (Fortin *et al.*, 2008).

Nos résultats montrent la présence de champignons endomycorhiziens chez les quatre espèces étudiées à savoir le *P. atlantica*, *P. terebinthus*, *P. lentiscus* et *P. vera*. D'après Mosse *et al.* (1986), chez les endomycorhizes à arbuscules, il n'y a pas de spécificité entre la plante-hôte et le partenaire fongique, un champignon endomycorhizien peut s'associer à plusieurs plantes et une même plante peut être infectée par plusieurs espèces de CMA.

La symbiose endomycorhizienne est de loin l'association racine-champignon la plus importante pour les plantes. Elle se produit dans presque tous les sols agricoles et naturels, et colonise ainsi les racines de nombreuses espèces végétales (Smith et Read, 2008). Plusieurs études ont montré le rôle joué par les CMA dans la protection des plantes sous les stress abiotiques tels que la salinité (Giri et *al.*, 2007), la température (Abdellatef et Chaoxing, 2011), le calcaire (Labidi et *al.*, 2011), la sécheresse (Ruiz-Sánchez et *al.*, 2010) et le compactage du sol (Miransari et *al.*, 2008). Ils sont aussi impliqués dans l'atténuation des effets néfastes des polluants tels que les hydrocarbures aromatiques polycycliques (Verdin et *al.*, 2006; Debiane et *al.*, 2008, 2009), les fongicides (Campagnac et *al.*, 2010) et les éléments traces métalliques (Firmin et *al.*, 2015). De même, les CMA interviennent dans l'amélioration de la résistance à certaines maladies cryptogamiques (Dalpé, 2005).

### V.1.5 Conclusion

Les résultats du présent travail montrent bien la colonisation des quatre espèces par les champignons endomycorhiziens à arbuscules (CMA). Ces résultats nous permettent de retenir, qu'en milieu naturel, la mycorhization est une réalité écologique. Les trois structures qui caractérisent le type d'endomycorhize à arbuscules (hyphes, vésicules et arbuscules) se trouvent dans tous les fragments racinaires de nos espèces, quelque soit le bioclimat ou bien la saison, ce qui signifie que ce type de mycorhize est préféré par le genre *Pistacia*.

## V.2 Estimation du taux de colonisation racinaire par les CMA des espèces étudiées

### V.2.1 Taux de mycorhization

#### V.2.1.1 *Pistacia atlantica*

Parmi les paramètres mesurés, la fréquence de l'infection (F) est celle qui enregistre le taux le plus élevé (97,7 %). Le taux le plus bas (17,5%) est enregistré pour la teneur vésiculaire (V). Les valeurs les plus importantes pour les quatre paramètres mesurés ont été enregistrées pour les stations de Djelfa (G, A et M), caractérisées par un climat semi-aride à aride. L'automne semble également être la saison la plus favorable pour les teneurs arbusculaires et vésiculaires, alors que l'été l'est pour l'intensité de colonisation. F ne varie pas selon les saisons mise à part pour la station du subhumide (N) où l'été et le printemps enregistrent les valeurs les plus importantes (92 et 100 %, respectivement) (Tableau 42).

L'analyse de la variance à un seul facteur montre une différence hautement significative entre les populations pour la fréquence de l'infection en automne ; la station N enregistre le taux

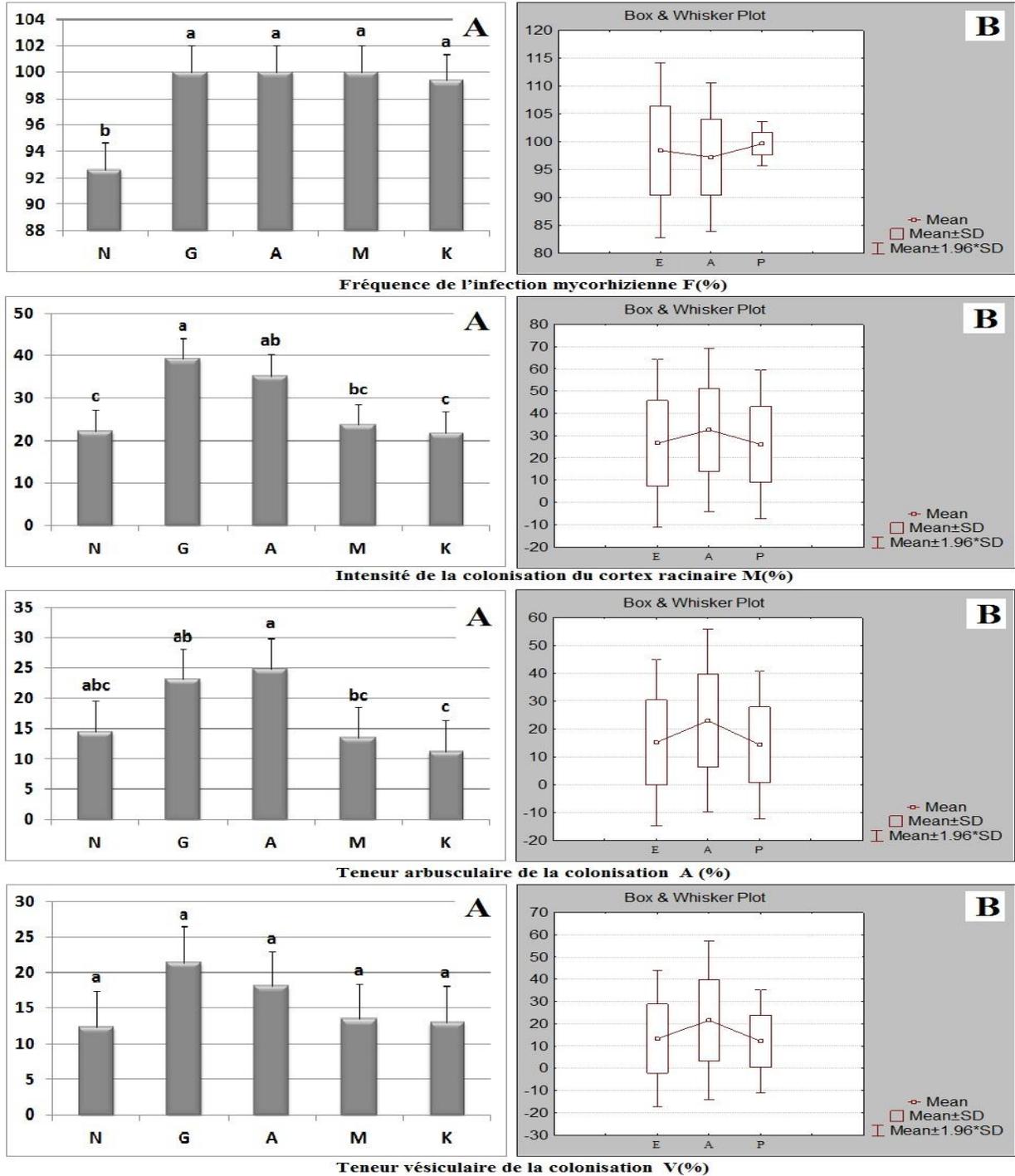
le plus bas (86 %) contre 100 % pour le reste des stations. De même, pour la teneur arbusculaire, une différence très significative a été enregistrée entre les populations en automne. Pour la teneur vésiculaire, une différence significative entre les saisons pour la station G a été enregistrée.

Le test de Fisher montre deux groupes hétérogènes pour la fréquence de mycorhization, le premier étant composé par les stations G-A-M-K et le second par la station N. Pour l'intensité de colonisation et la teneur arbusculaire, deux groupes hétérogènes sont notés (Fig. 37). Par contre, l'analyse de la variance à deux facteurs montre des différences hautement significatives pour le facteur station et très significatives pour l'interaction station x saison pour F, significatives pour le facteur station pour M et A (Tableau43).

**Tableau 42 : Paramètres de mycorhization chez les cinq populations de *P. atlantica*.**

Paramètres	Saison	Sidi-Naamane (N)	Goutaia (G)	Ain-Ouessara (A)	Messaad (M)	Sidi-Khaled (K)	Moy. ± ET (Min-Max)
Fréquence de l'infection mycorhizienne F (%)	Eté	92±17,9	100±0	100±0	100±0	100±0	98,3NS ±8,3 (60-100)
	Automne	86±8,9	100±0	100±0	100±0	100±0	97,2***±6,8 (80-100)
	Printemps	100±0	100±0	100±0	100±0	98±4,47	99,6NS ±2,04 (90-100)
	Moy.± ET	<b>92,7NS ±12,2</b>	<b>100NS ±0</b>	<b>100NS ±0</b>	<b>100NS ±0</b>	<b>99,3NS ±2,58</b>	<b>97,7 ±7,5 (60-100)</b>
Intensité de colonisation du cortex racinaire M (%)	Eté	16,3±17,3	40,5±19,8	28,1±12,1	25,2±12,1	22,7±30,8	32,6NS±18,7 (2,6-67)
	Automne	32,9±24,4	40,2±11,1	38,7±20,4	30,3±16,5	20,7±20,1	26,6NS ±17,3 (0,6-43,1)
	Printemps	17,3±16,6	36,7±13,5	38,9±21,1	15,6±10,8	22,1±12,3	26,1NS ±17,1 (2,2-65,5)
	Moy. ± ET	<b>22,2NS ±19,9</b>	<b>39,1NS ±13,7</b>	<b>36,5NS ±17,7</b>	<b>23,7NS ±13,5</b>	<b>21,8NS ±20,8</b>	<b>28,4±19,3 (0,6-67,8)</b>
Teneur arbusculaire de l'infection A (%)	Eté	10,2±12,1	18,7±10,1	15,5±11,6	16,2±12,3	15,1±27,8	15,3 NS±15,7 (0-63,9)
	Automne	22,2±21,9	31,5±6,5	33,7±20,3	16,8±10,3	10,7±13,1	22,9**±16,8 (0,1-65,5)
	Printemps	11,1±13,8	19,3±11,1	25,4±21,2	7,7±5,4	8,0±4,8	14,3NS±13,9 (0,2-47)
	Moy.± ET	<b>14,5NS ±16,8</b>	<b>23,3NS ±10,8</b>	<b>24,9 NS ±18,4</b>	<b>13,5NS ±10,1</b>	<b>11,3 NS ±16,9</b>	<b>17,5 ±16,6 (0-65,5)</b>
Teneur vésiculaire de l'infection V(%)	Eté	14,3±15,8	17,7±10,7	3,8±3,6	15,9±12,5	15,5±27,7	13,5NS±15,9 (0-63,9)
	Automne	14,4±23,5	31,1±6,1	28,7±24,9	17,1±10,6	16,2±18,9	21,49NS±18,16 (0-65,5)
	Printemps	8,4±8,7	15,4±10,2	22,3±19,7	7,2±4,4	7,5±5,5	12,7NS±12,1 (0,17-45,8)
	Moy.± ET	<b>12,4NS ±16,1</b>	<b>21,4*±11,3</b>	<b>18,0NS ±20,6</b>	<b>13,4NS ±10,4</b>	<b>13,1NS ±18,6</b>	<b>15,7 ±17,4 (0-65,5)</b>

Moy, Moyenne ; ET, écart type ; Min, minimum ; Max, maximum ; Seuil de signification statistique  $\alpha=0,05$  ; \*,  $p < 0,05$  ; \*\*,  $p < 0,01$  ; \*\*\*,  $p < 0,001$  ; NS, non significatif.



**Figure 37:** Histogrammes de la variation des paramètres de mycorhization chez *P. atlantica*, pour les cinq stations (A) et les trois saisons (B). N: Sidi-Naâmane , G: Goutaia, A: Aïn-Ouessara , M: Messaâd, K: Sidi-Khaled. E: été, A: automne, P: printemps. <sup>a, b et c</sup>: séparation des groupes des populations par le test de Fisher ( $\alpha < 0,05$ ), les valeurs ayant les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes.

**Tableau 43:** Résultats de l'analyse de la variance à deux facteurs pour les différents paramètres de mycorhizations étudiés.

Variables	Facteur	df - Model	MS – Model	F	P	Sign.
Fréquence de l'infection mycorhizienne F (%)	Station	4	155,3	4,97	0,001	**
	Saison	2	36	0,95	0,392	NS
	Station x saison	14	80,6	2,87	0,002	**
Intensité de colonisation du cortex racinaire M (%)	Station	4	993,4	3,32	0,014	*
	Saison	2	323,5	0,96	0,387	NS
	Station x saison	14	416,9	1,31	0,227	NS
Teneur arbusculaire de l'infection A (%)	Station	4	563,3	2,52	0,048	*
	Saison	2	569,2	2,45	0,093	NS
	Station x saison	14	316,4	1,41	0,176	NS
Teneur vésiculaire de l'infection V (%)	Station	4	229,9	0,93	0,453	NS
	Saison	2	646,9	2,74	0,071	NS
	Station x saison	14	288,9	1,21	0,288	NS

Seuil de signification statistique  $\alpha=0,05$  “ \*,  $p < 0,05$  ; \*\*,  $p < 0,01$ \*\*\*,  $p < 0,001$ ”, NS : Non significatif

### V.2.1.2 *Pistacia terebinthus*

La fréquence de l'infection F (%) est en moyenne de 92% pour cette espèce, elle est plus élevée à la station de Senalba (100%), Goutaia enregistre un pourcentage de 84% (Fig. 38A). Pour les trois saisons échantillonnées, une fréquence de 96% est enregistrée en été suivie par une valeur de 90% enregistrée pour les autres saisons (automne et printemps) (Fig. 38B).

L'intensité de colonisation M (%) est en moyenne de 19,7 % ; 26,1 % est le taux enregistré à la station de Senalba suivi par une valeur de 13,3% pour Goutaia (Fig. 38A). L'été et le printemps marquent 23% de cette valeur et 22,4% pour l'automne (Fig. 38B).

La teneur arbusculaire A (%) est en moyenne de 15,5 %, Senalba marque 16,3% de la teneur arbusculaire et 14,6% uniquement pour Goutaia (Fig. 38A). Cette teneur atteint le

maximum au printemps (20,2%), suivi par les deux autres saisons été et automne (18,5% et 7,7% respectivement) (Fig. 38B).

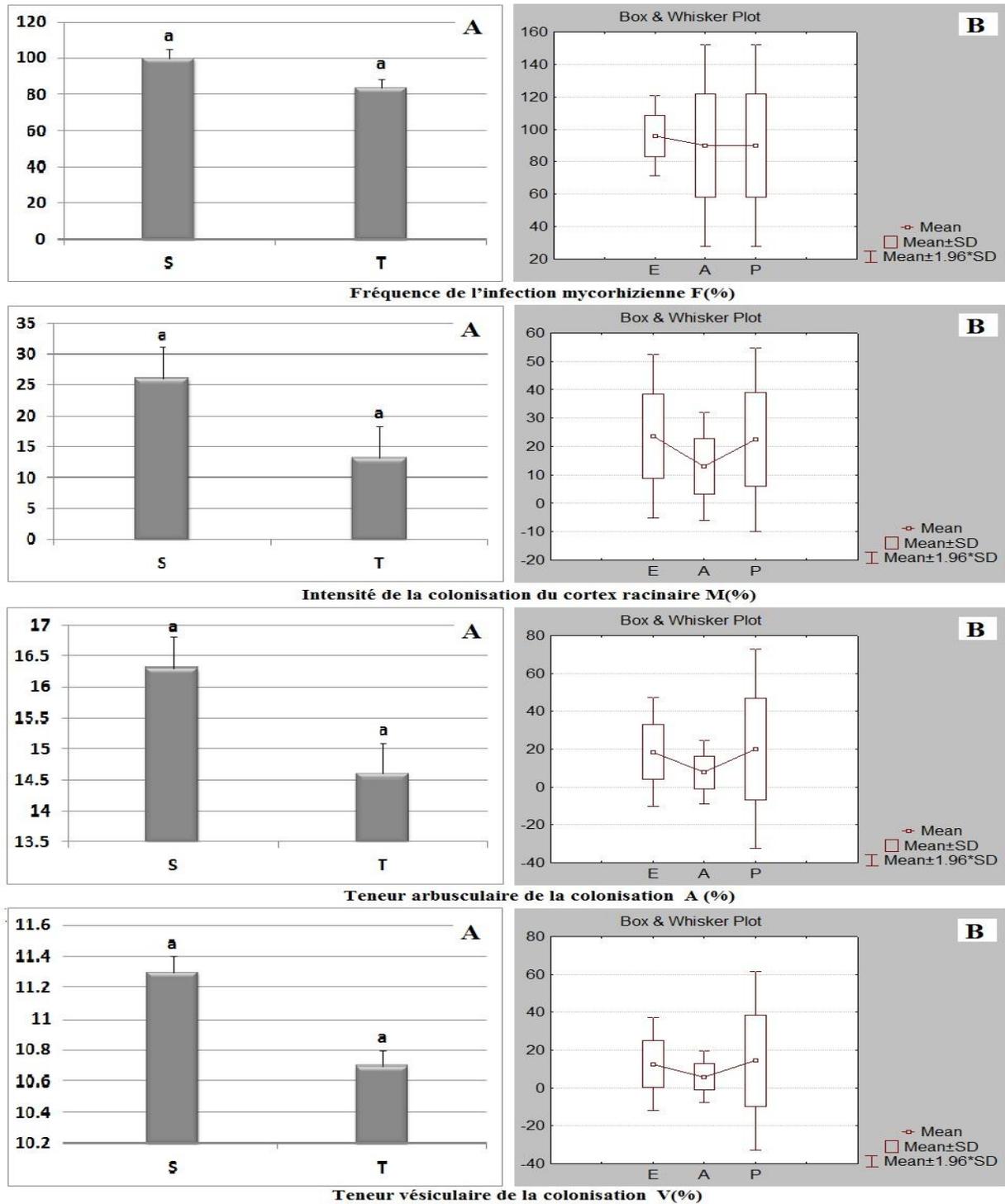
La teneur vésiculaire V (%) est en moyenne de 11%. Senalba et Goutaia enregistrent 11,2% et 10,7% respectivement (Fig. 38A). La valeur la plus élevée est enregistrée au printemps (14,4%).

L'analyse de la variance à un facteur (facteur saison et facteur station) et à deux facteurs (interaction saison-station) pour l'ensemble des paramètres de mycorhization (F, M, A et V) montre aucune différence significative, excepté pour la station de Goutaia où l'on a enregistré une différence significative entre les saisons pour l'intensité de colonisation (Tableau 44). Un seul groupe homogène a été mis en évidence par le test de Fisher pour tous les paramètres de mycorhization (Fig. 38).

**Tableau 44:** Paramètres de mycorhization pour *P. terebinthus* (Senalba et Goutaia).

Paramètres	Saison	Fréquence de l'infection F (%)	Intensité de colonisation M (%)	Teneur arbusculaire de l'infection A (%)	Teneur vésiculaire de l'infection V(%)
Senalba(S)	Eté	100±0	30,9±12,1	25,5±12,9	18,7±15,5
	Automne	100±0	18,7±10,4	13,5±9	10,3±7,6
	Printemps	100±0	28,8±20,5	10,0±4,2	6,1±2,9
	Moy. S± ET	100NS±0	26,1NS±14,9	16,3NS±11,1	11,2NS±10,2
Goutaia (T)	Eté	92,0±17,9	16,4±14,5	11,6±14	7,9±10,3
	Automne	80±44,7	7,4±4,8	2±1,5	1,4±0,9
	Printemps	80±44,7	16±9,6	30,4±36,7	22,8±33,4
	Moy. S± ET	84NS±35,6	13,3*±10,6	14,6NS±24,3	10,7NS±20,9
Facteur Saison	Moy. E± ET	92NS±26,1	19,7NS±14,3	15,5NS±18,6	11NS±16
Facteur Station	Moy. E± ET	92NS±26,1	19,7*±14,3	15,5NS±18,6	11NS±16
Interaction Saison-Station	Moy. E± ET	92NS±26,1	19,7NS±14,3	15,5NS±18,6	11NS±16

Moy. S, Moyenne Station; Moy. E± ET, Moyenne espèce ; Moy. G± ET, Moyenne Genre; ET, écart type ; Min, minimum ; Max, maximum ; Seuil de signification statistique à  $\alpha=0,05$  ; \*,  $p < 0,05$  ; NS, non significatif.



**Figure 38:** Histogrammes de la variation des paramètres de mycorhization chez *P. terebinthus*, pour les deux stations (A) et les trois saisons (B). S (Senalba) et T (Goutaia). E: été, A: automne, P: printemps. <sup>a, b et c</sup>: séparation des groupes des populations par le test de Fisher ( $\alpha < 0,05$ ), les valeurs ayant les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes.

### V.2.1.3 Etude comparative entre les quatre espèces étudiées

*P. terebinthus* enregistre le pourcentage le plus important de la fréquence de l'infection avec une moyenne de 98%, suivi par *P. atlantica* et *P. vera* (69%), puis *P. lentiscus* (62%).

L'intensité de colonisation est plus élevée chez *P. terebinthus* (45,2%), 31,1% ont été enregistré pour *P. lentiscus* puis 29,21% et 21,6% pour *P. atlantica* et *P. vera*, respectivement.

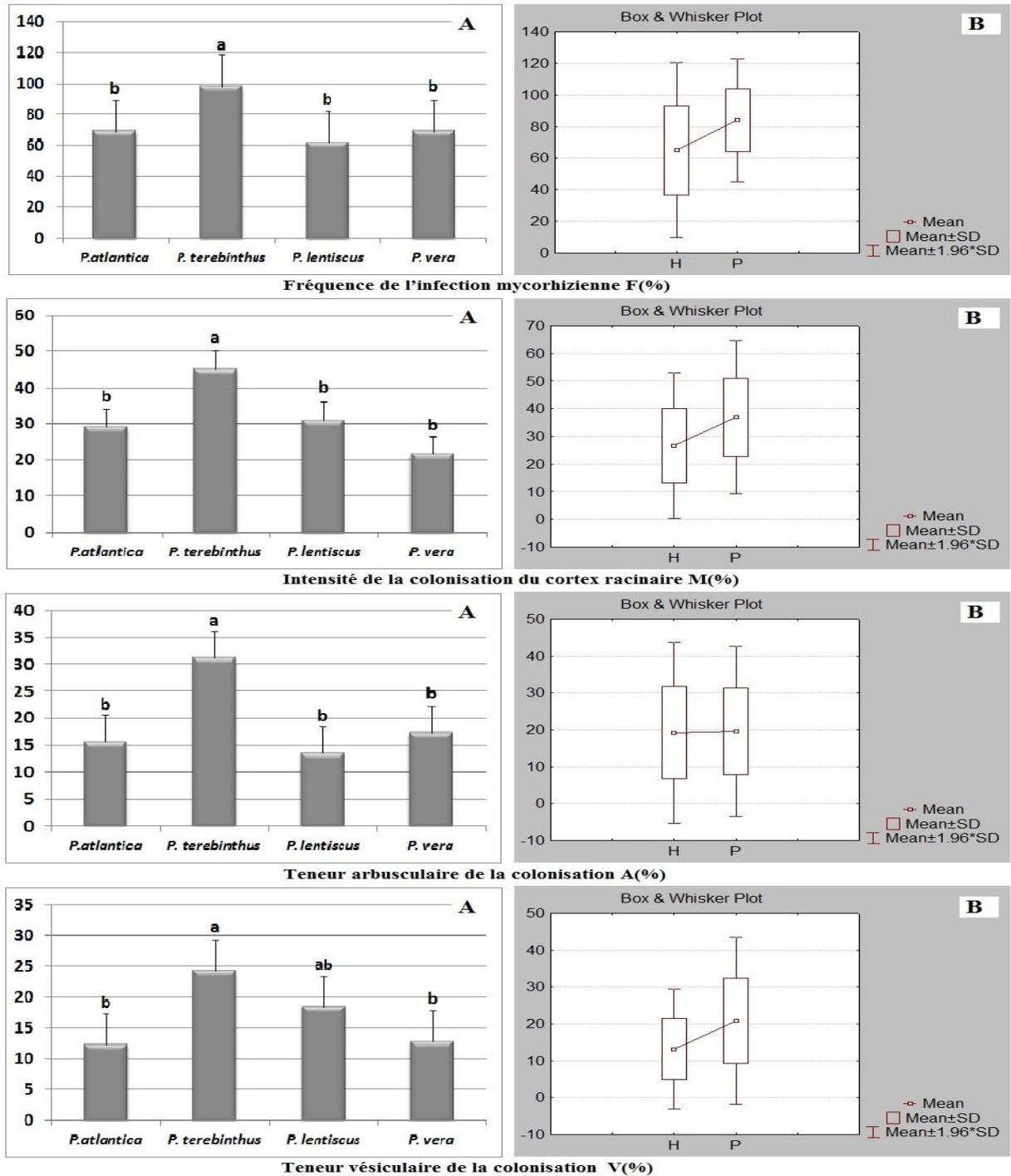
La teneur arbusculaire enregistrée pour *P. terebinthus* est de 31,1% suivi par *P. vera* (17,3%), *P. atlantica* (15,7%) et *P. lentiscus* (13,5%).

De la même manière, *P. terebinthus* enregistre la valeur la plus importante, 24,3%, pour la teneur vésiculaire. Les trois autres espèces enregistrent entre 12,4% (*P. atlantica*), 12,8% (*P. vera*) et 18,4% (*P. lentiscus*) (Fig. 39A).

Le printemps est la saison qui cumule les valeurs les plus importantes pour les quatre paramètres étudiés (Fig. 39B).

L'analyse de la variance (ANOVA) montre une différence significative entre les deux saisons sauf pour la teneur arbusculaire, une différence significative et très significative pour le facteur « espèces » et une différence très significative et hautement significative pour l'interaction saison-espèce (Tableau 39).

Le test de Fisher montre deux groupes hétérogènes pour les trois paramètres de mycorhization ; la fréquence, l'intensité et la teneur arbusculaire, le premier groupe est formé par *P. terebinthus* et le deuxième groupe par les trois autres espèces (*P. atlantica*, *P. lentiscus* et *P. vera*). Pour la teneur vésiculaire, on enregistre deux groupes hétérogènes avec un groupe intermédiaire : *P. terebinthus* ; *P. atlantica* et *P. vera* ; *P. lentiscus* (Fig. 39).



**Figure 39:** Histogrammes de la variation des paramètres de mycorhization chez les quatre espèces du genre *Pistacia*, pour les quatre espèces (A) et les deux saisons (B). H: hiver, P: printemps. <sup>a, b et c</sup>: séparation des groupes des populations par le test de Fisher ( $\alpha < 0,05$ ), les valeurs ayant les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes.

**Tableau 45:** Paramètres de mycorhization pour les quatre espèces étudiées.

Paramètres	Saison	Fréquence de l'infection F (%)	Intensité de colonisation M (%)	Teneur arbusculaire de l'infection A (%)	Teneur vésiculaire de l'infection V(%)
El-Mergueb (E) ( <i>Pistacia atlantica</i> )	Hiver	64±20,7	27,3±6,8	16,9±6,1	14,2±5,6
	Printemps	74±18,2	31,1±8,2	14,4±4,4	10,5±1,5
	Moy. S± ET	<b>69,7NS±19,1</b>	<b>29,2NS ±7,3</b>	<b>15,7 NS ±5,2</b>	<b>12,4NS±4,3</b>
Djebel-Misaàd (B) ( <i>Pistaciaterbinthus</i> )	Hiver	96±8	41,7±10,4	36,7±7,9	22,9±7
	Printemps	100±0	48,7±9	25,8±3,4	25,7±8,6
	Moy. S± ET	<b>98NS±6,3</b>	<b>45,2NS±10,9</b>	<b>31,1*±8,7</b>	<b>24,3NS±8,4</b>
Djebel-Misaàd (L) ( <i>Pistacialentiscus</i> )	Hiver	36±20,7	23,9±9,2	14,7±4,2	10,3±0,2
	Printemps	88±13	38,3±10,4	12,4±4,3	26,5±9,1
	Moy. S± ET	<b>62,7**±31,9</b>	<b>31,1*±12</b>	<b>13,5 NS±4,2</b>	<b>18,4 *±10,5</b>
ITMA (I) ( <i>Pistaciavera</i> )	Hiver	64±24,1	13,4±8,6	8,4±6,9	5,3±4,9
	Printemps	74±27,9	29,8±19,8	26,2±20,1	20,36±15,9
	Moy. S± ET	<b>69,7NS±25,1</b>	<b>21,6NS±16,8</b>	<b>17,3NS±17</b>	<b>12,8NS±13,7</b>
<b>Facteur Saison</b>		*	*	NS	*
<b>FacteurEspèce</b>		**	**	**	*
<b>Interaction Saison-Espèce</b>		***	**	***	**

Moy. S, Moyenne Station; Moy. E± ET, Moyenne espèce ; Moy. G± ET, Moyenne Genre; ET, écart type ; Min, minimum ; Max, maximum ; Seuil de signification statistique à  $\alpha=0,05$  ; \*,  $p < 0,05$  ; \*\* ;  $p < 0,01$  ; \*\*\* ;  $p < 0,001$  ; NS, non significatif.

## V.2.2 Discussion

Nombreux travaux de recherches ont révélé des résultats variables des paramètres de l'infection mycorhizienne, en relation avec plusieurs facteurs tels que les espèces végétales et fongiques, le nombre de propagules dans le sol et la sporulation, la saison, (Bohrer et al., 2004 ; Escudero & Mendoza, 2005 ; Zhao & Zhao, 2007). Nos résultats sont proches de ceux obtenus par Estaún et al.(1990), Kafkas et Ortas (2009) et Abbas et al. (2013) pour *P. atlantica*, pour lesquels le taux de l'infection avoisine 93,9%. Pour les autres espèces il n'y a pas de travaux qui estiment le taux de cette infection mycorhizienne.

Selon, Birhane et *al.* (2012), la fréquence de colonisation est maximale au printemps, période de floraison et de développement végétatif par excellence, durant laquelle l'intensification de la photosynthèse fournit plus de carbone aux racines ce qui permet un développement plus important des CMA. L'évolution des niveaux d'éléments nutritifs dans le sol augmente également durant le printemps ainsi qu'une production importante de spores pendant la floraison des plantes (Hatimi et Tahrouch, 2007). Dans notre étude, le printemps est la saison préférée par les champignons, on trouve des taux plus élevés des structures fongiques par rapport aux autres saisons. Ces observations ont été confortées par d'autres auteurs, où le niveau de colonisation atteint parfois son maximum au printemps et diminue en été (Puppi et *al.*, 1986 ; Bohrer et *al.*, 2004), baisse en automne et en hiver et augmente au printemps et en été (Escudero & Mendoza, 2005), faible en hiver (40 à 50 %) et constant (60 et 80 %) pendant les autres saisons (Roldan-Fajardo et Barea, 1986).

Les résultats obtenus pour la saisonnalité des CMA chez les trois espèces *P. atlantica*, *P. terebinthus* et *P. vera* ne concordent pas avec ceux rapportés par Brundrett et Abott (1995) et Merryweather et Fitter (1998), qui signalent l'existence de variations saisonnières de l'activité fongique dans les sols, mesurée par la colonisation des racines. Selon Giovanetti (1985), les changements saisonniers sont des conditions environnementales qui influencent le plus fortement la physiologie des plantes hôtes, ce qui touche le plus directement la symbiose mycorhizienne. Lors de notre étude, d'autres facteurs influençant la répartition et l'abondance des souches CMA ont été mis en évidence, notamment les précipitations et la température, ceux-ci peuvent influencer directement l'habitat disponible pour l'espèce végétale, ce qui affecte la capacité du champignon à coloniser et à exister dans un lieu donné (Chaudhary et *al.*, 2008). Le taux de colonisation a été influencé par le site lors de notre étude pour *P. atlantica*, les mêmes observations ont été reportées par Ruotsalainen et *al.* (2002) pour *Trollius europaeus*, et par Escudero & Mendoza (2005) pour *Lotus glaber*. Selon Gui et Nobel (1992), ce taux peut varier, également, d'une année à une autre et d'une station à une autre, dépendamment des conditions climatiques. Pour *P. terebinthus* aucune différence n'a été reportée entre les deux stations étudiées (Goutaia et Senalba). Néanmoins, d'une façon globale, la colonisation est plus importante sous les climats semi-aride et aride, ceci peut s'expliquer par le fait que les CMA contribuent à la tolérance au stress hydrique par l'amélioration de l'hydratation des tissus et la physiologie des plantes (Bryla et Duniway, 1997).

### V.2.3 Conclusion

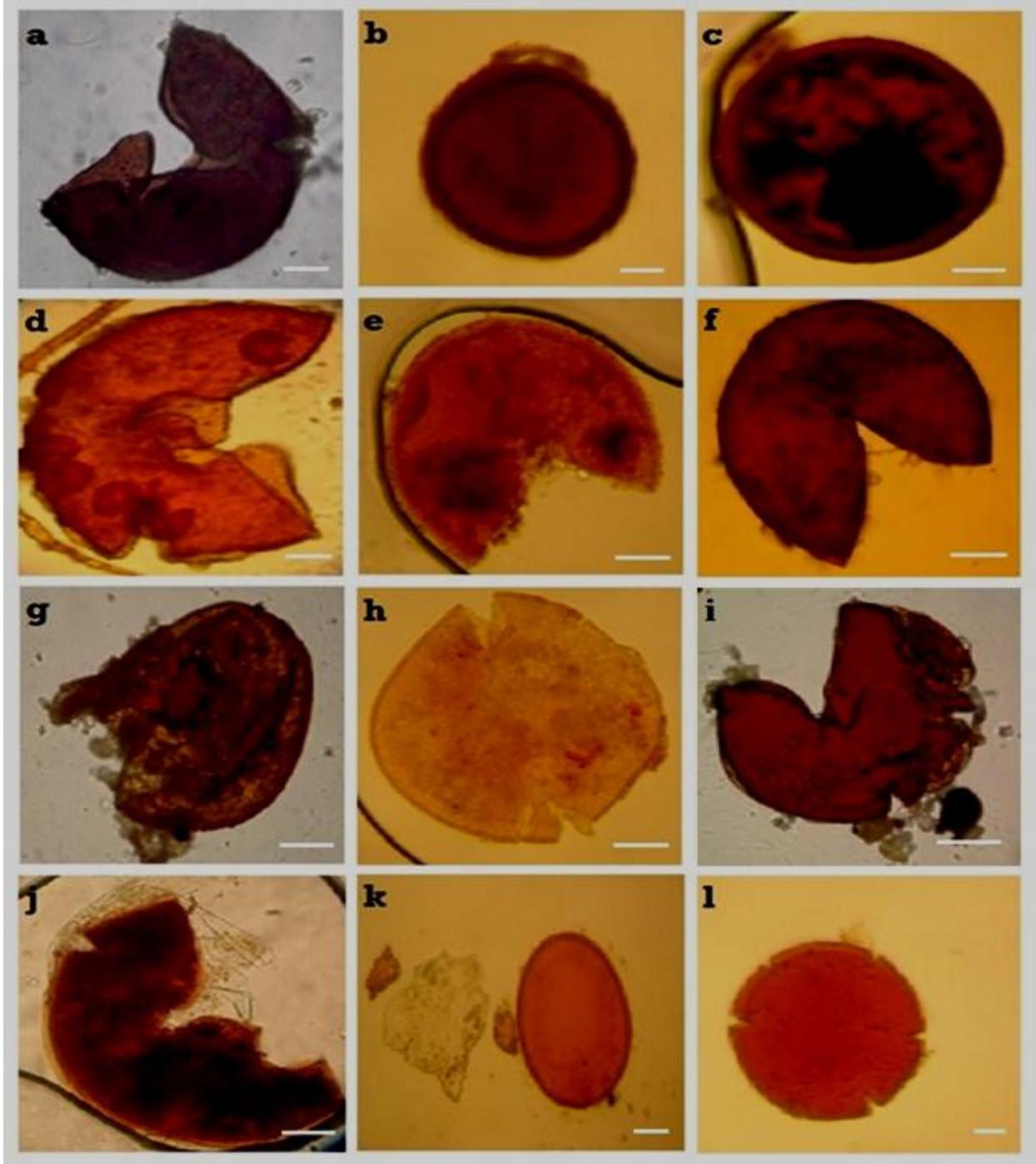
Les fragments racinaires analysés sont densément endomycorhizés, la colonisation par les CMA atteint 100 % chez les espèces étudiées. Ces résultats sont très importants et méritent des études plus approfondies utilisant d'autres approches (biochimique, physiologique et moléculaire), pour une meilleure compréhension des interactions entre les espèces du genre *Pistacia* et les champignons endomycorhiziens à arbuscules dans les différents écosystèmes, ce qui permettra sans aucun doute une meilleure gestion et valorisation de nos ressources naturelles.

### V.3 Diversité des champignons endomycorhiziens de *P. atlantica* et de *P. terebinthus*

#### V.3.1 Identification morphologique des spores des CMA

##### V.3.1.1 Identification des CMA de *P. atlantica*

Concernant l'identification morphologique des CMA (Fig. 40), 19 espèces appartenant à huit genres, quatre familles et deux ordres des Glomeromycota, ont été détectées dans les échantillons de sols. Six espèces appartiennent au genre *Gigaspora*, trois pour chacun des genres *Funneliformis* et *Acaulospora*, deux pour *Glomus* et *Scutellospora* et une espèce pour chacun des genres restant, *Septoglomus*, *Rhizophagus* et *Claroideoglomus*. Deux familles majoritaires ont été répertoriées : *Gigasporaceae* (Diversisporales) et *Glomeraceae* (Glomerales). Sept espèces sur 19 ont été identifiées, avec la station N ayant le nombre le plus important (9 espèces) et la station de K le plus faible (4 espèces). Parmi les espèces identifiées, une espèce, *Septoglomus constrictor*, se retrouve dans tous les bioclimats (stations). D'autres, sont répertoriées uniquement au niveau d'une seule station : *Funneliformis geosporus* à N ; *Rhizophagus clarus* et *Claroideoglomus caledoniensis* à A. *Gigasporarosea* et *Acaulosporalaevis* sont répertoriées dans différents bioclimats (Tableau 46). L'indice de diversité de Shannon (Tableau 47) varie peu (entre 1,21 et 1,61) et suit le gradient Aïn-Ouessara >Sidi-Khaled>Messaad>Goutaia>Sidi-Naamane. Néanmoins, la richesse spécifique est plus marquée au niveau des stations arides. La station la plus humide N, est celle qui compte le moins d'espèces.



**Figure 40:** Spores de différentes espèces de CMA isolées de la rhizosphère sous *P. atlantica* ; **a-e:** *Glomus* sp., **f:** *Funneliformus mosseae*, **g-i:** *Acaulospora* sp. (*Acaulosporasp1*, *Acaulospora* sp2., *Acaulospora laevis*), **j-k:** *Scutellospora* sp. (*Scutellospora* sp1, *Scutellospora* sp2.) , **l:** *Gigaspora* sp. M.P. X400. Barre 30  $\mu$ m.

**Tableau 46:** Espèces de CMA isolées de la rhizosphère de *P. atlantica*.

Classe	Ordre	Famille	Genre	Espèces identifiées	Espèces Non identifiées	Stations				
						N	G	A	M	K
<b>Glomeromycètes</b>	Glomerales	Glomeraceae	<i>Glomus</i>		<i>Glomus</i> sp.1		*		*	
<b>Glomeromycètes</b>	Glomerales	Glomeraceae	<i>Glomus</i>		<i>Glomus</i> sp.2		*		*	
<b>Glomeromycètes</b>	Glomerales	Glomeraceae	<i>Septoglomus</i>	<i>S. constrictum</i>		*	*	*	*	*
<b>Glomeromycètes</b>	Glomerales	Glomeraceae	<i>Funneliformis</i>	<i>F. geosporus</i>		*				
<b>Glomeromycètes</b>	Glomerales	Glomeraceae	<i>Funneliformis</i>	<i>F. mosseae</i>		*		*		
<b>Glomeromycètes</b>	Glomerales	Glomeraceae	<i>Funneliformis</i>		<i>Funneliformis</i> sp.	*				
<b>Glomeromycètes</b>	Glomerales	Glomeraceae	<i>Rhizophagus</i>	<i>R. clarus</i>				*		
<b>Glomeromycètes</b>	Glomerales	Claroideoglomeraceae	<i>Claroideoglomus</i>	<i>C. caledonius</i>				*		
<b>Glomeromycètes</b>	Diversisporales	Gigasporaceae	<i>Gigaspora</i>	<i>G. rosea</i>		*			*	
<b>Glomeromycètes</b>	Diversisporales	Gigasporaceae	<i>Gigaspora</i>		<i>Gigaspora</i> sp.1	*				
<b>Glomeromycètes</b>	Diversisporales	Gigasporaceae	<i>Gigaspora</i>		<i>Gigaspora</i> sp.2	*			*	
<b>Glomeromycètes</b>	Diversisporales	Gigasporaceae	<i>Gigaspora</i>		<i>Gigaspora</i> sp.3	*				
<b>Glomeromycètes</b>	Diversisporales	Gigasporaceae	<i>Gigaspora</i>		<i>Gigaspora</i> sp.4		*			
<b>Glomeromycètes</b>	Diversisporales	Gigasporaceae	<i>Gigaspora</i>		<i>Gigaspora</i> sp.5					*
<b>Glomeromycètes</b>	Diversisporales	Gigasporaceae	<i>Scutellospora</i>		<i>Scutellospora</i> sp.1		*			
<b>Glomeromycètes</b>	Diversisporales	Gigasporaceae	<i>Scutellospora</i>		<i>Scutellospora</i> sp.2					*
<b>Glomeromycètes</b>	Diversisporales	Acaulosporaceae	<i>Acaulospora</i>	<i>A. laevis</i>		*		*		
<b>Glomeromycètes</b>	Diversisporales	Acaulosporaceae	<i>Acaulospora</i>		<i>Acaulospora</i> sp.1		*		*	
<b>Glomeromycètes</b>	Diversisporales	Acaulosporaceae	<i>Acaulospora</i>		<i>Acaulospora</i> sp.2					*
<b>Total</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>7</b>	<b>12</b>	<b>9</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>4</b>

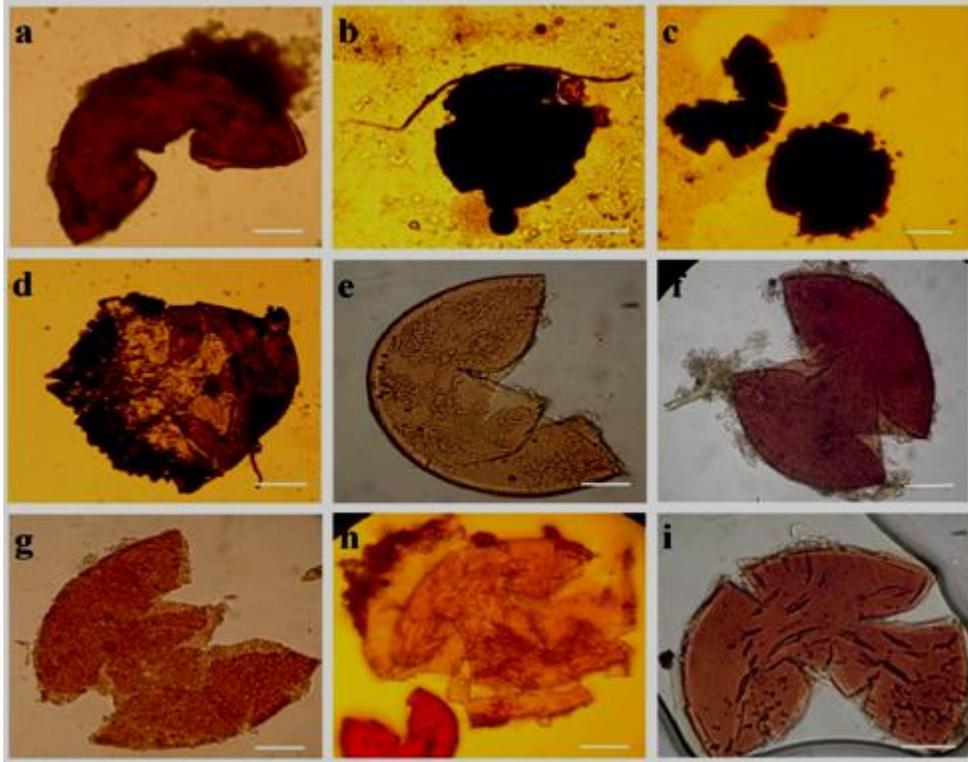
**Tableau 47:** Indice de diversité de Shannon des espèces de CMA des cinq stations étudiées de *P. atlantica* sur la base du nombre des espèces (identifiées et non identifiées).

Station	Indice de Shannon
Sidi-Naamane (N)	1,21
Goutaia (G)	1,26
Aïn-Ouessara (A)	1,61
Messaâd (M)	1,33
Sidi-Khaled (K)	1,39

### V.3.1.2 Identification des CMA de *P. terebinthus*

L'identification morphologique des spores nous a permis d'observer diverses morphotypes qui diffèrent entre eux par la taille, la couleur et la forme (arrondie ou oblongue) (Fig. 41). Au total, 7 espèces, appartenant à cinq genres, trois familles et deux ordres des Glomeromycota, ont été détectées dans les échantillons de sols. Deux espèces pour chacun des genres *Glomus* et *Gigaspora*, une espèce pour chacun des genres *Septoglomus*, *Funneliformis* et *Acaulospora*. Deux familles majoritaires ont été répertoriées Glomeraceae (Glomerales) et Gigasporaceae (Diversisporales) (Tableau48).

L'indice de diversité de Shannon (Tableau 49) varie entre 1,04 et 1,61 et suit le gradient Goutaia> Senalba. Malgré l'homogénéité climatique des deux stations (semi-aride frais), la forêt de Goutaia est plus riche en espèces de CMA.



**Figure 41:** Spores de différentes espèces de CMA isolées de la rhizosphère sous *P. terebinthus* ; **a-d:** spores isolées de la station de Goutaia, **e-f :** spores isolées de la station de Senalba. M.P. X400. Barre30 µm.

**Tableau 48 :** Espèces de CMA isolées de la rhizosphère de *P. terebinthus*

Classe	Ordre	Famille	Genre	Espèces Identifiées	Espèces Non identifiées	Stations	
						(S)	(T)
Glomeromycètes	Glomerales	Glomeraceae	<i>Glomus</i>		<i>Glomus</i> sp.1	*	
Glomeromycètes	Glomerales	Glomeraceae	<i>Glomus</i>		<i>Glomus</i> sp.2	*	
Glomeromycètes	Glomerales	Glomeraceae	<i>Septoglomus</i>	<i>S. constrictum</i>		*	*
Glomeromycètes	Glomerales	Glomeraceae	<i>Funneliformis</i>	<i>F. mosseae</i>			*
Glomeromycètes	Diversisporales	Gigasporaceae	<i>Gigaspora</i>		<i>Gigaspora</i> sp.1		*
Glomeromycètes	Diversisporales	Gigasporaceae	<i>Gigaspora</i>		<i>Gigaspora</i> sp.4	*	
Glomeromycètes	Diversisporales	Acaulosporaceae	<i>Acaulospora</i>		<i>Acaulospora</i> sp.1	*	*
<b>Total</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>5</b>

**Tableau 49:** Indice de diversité de Shannon des espèces de CMA des deux stations étudiées de *P. terebinthus* sur la base du nombre des espèces (identifiées et non identifiées) de CMA.

Station	Senalba (S)	Goutaia (G) = T
Indice de Shannon	1,04	1,61

### V.3.2 Discussion

En termes de diversité des CMA, peu de morphotypes ont été isolés de la rhizosphère des deux espèces (*P. atlantica* et *P. terebinthus*), cependant, quelques espèces ont été identifiées ; ce nombre peut nous renseigner sur l'état de dégradation des stations étudiées. Des études antérieures (Stutz et Morton, 1996 ; Azcon-Aguillar et al., 2003) ont rapporté la faible richesse spécifique des CMA dans des environnements arides et semi-arides. En effet, dans les milieux méditerranéens, Atkinson et al. (2002), Calvente (2003) et Ferrol et al. (2003) ont montré que la diversité naturelle des CMA reste faible, voire même très faible dans les sols affectés par les processus de désertification. La majorité des spores retrouvées dans nos sols appartiennent aux familles des Gigasporaceae et Glomeraceae, ce qui concorde avec les données de Driai (2016). La dominance des Glomeraceae a été rapportée dans d'autres études réalisées sur différents habitats tels que les sites géothermiques (Appoloni et al., 2008), les forêts tropicales (Wubet et al., 2004), et les sols agricoles (Daniell et al., 2001). Cela suppose que, dans notre zone d'étude, ces deux familles ont le même potentiel d'infection vis-à-vis des racines de nos pistachiers. Néanmoins certaines espèces restent spécifiques à certains bioclimats, l'exemple le plus frappant reste celui de *Funneliformus geosporus*, qui a été répertoriée uniquement à la station Sidi-Naâmane, caractérisée par un climat sub-humide tempéré. Selon Öpik et al. (2009), *F. mosseae* a une distribution plus large, dans notre étude celle-ci a été détectée au niveau de deux stations pour le *P. atlantica*, Sidi-Naamane (sub-humide tempéré), Aïn-Ouessara (Aride frais) et une station pour *P. terebinthus*, Goutaia (semi-aride froid). Ces résultats coïncident avec ceux de Gai et al. (2009), Mohammad et al. (2003) qui rapportent cette espèce dans des climats froids et désertifiés. Quant à *F. mosseae* et *A. laevis*, espèces des altitudes très élevées (Gai et al., 2009 ; Velázquez et al., 2016 et Vigay et al., 2017) on les retrouve au niveau des altitudes élevées à moyennes : stations Goutaia (1320m) et moyenne Sidi-Naamane (671m) et Aïn-Ouessara (735m). De même, *S. constrictum* est répertoriée dans les sept stations caractérisées par des bioclimats variés (sub-humide, semi-aride, aride et saharien).

### V.3.3 Conclusion

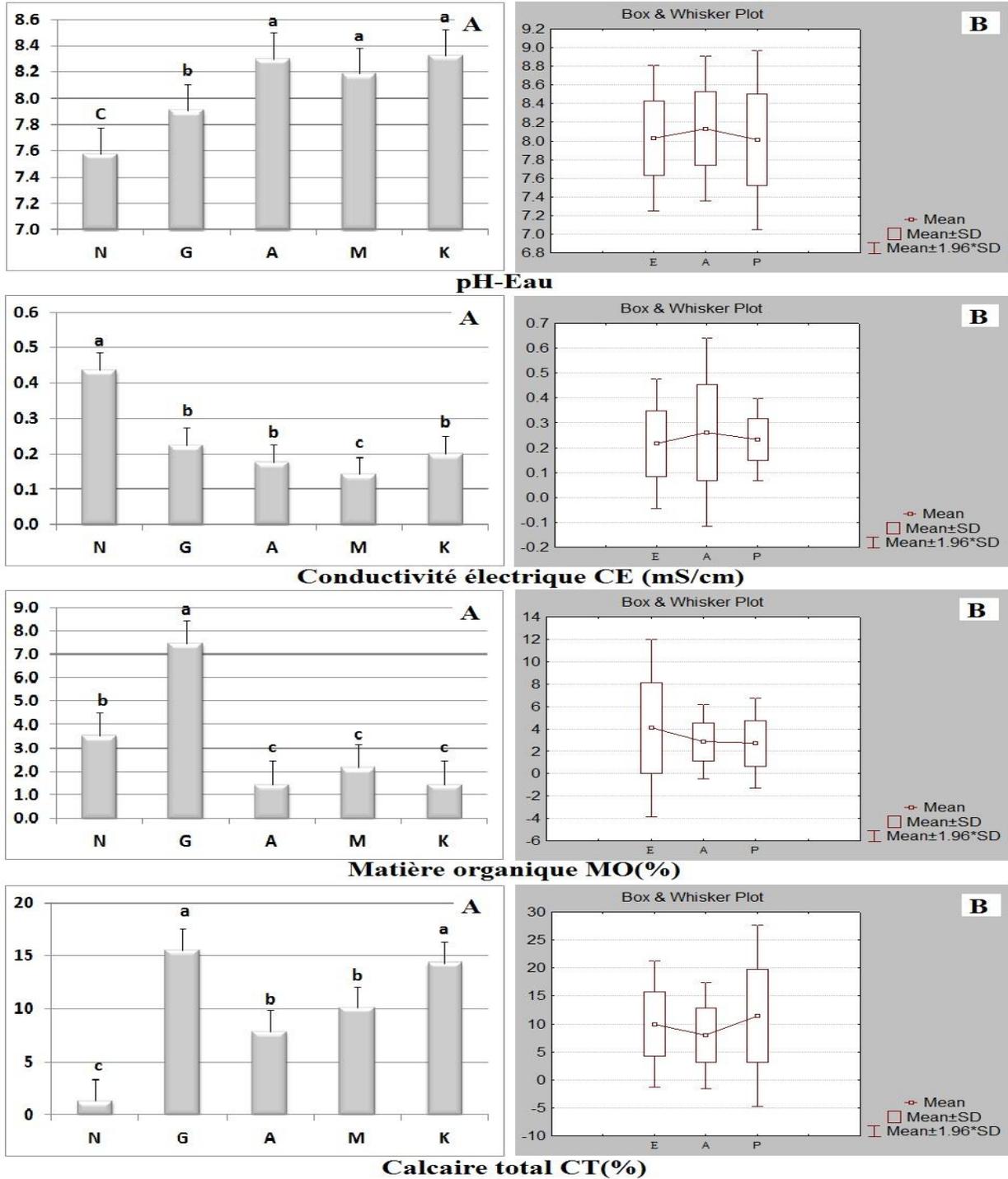
L'inventaire sporal permet de conclure que les rhizosphères des deux espèces *P. atlantica* et *P. terebinthus* sont peuplées par des communautés de CMA communes, dominées par les familles *Gigasporaceae* et *Glomeraceae*. Nous avons détecté dans les échantillons de sols 19 espèces chez *P. atlantica* et 7 espèces chez *P. terebinthus*. Il est à noter que nous n'avons pas pu identifier tous les morphotypes des spores recensés dans les sols sous les deux espèces étudiées, l'identification morphologique est très difficile, ce qui nécessite l'identification moléculaire pour de meilleurs résultats.

### V.4 Analyse physico-chimiques des sols

#### V.4.1. *P. atlantica*

Le sol des différentes stations ont une alcalinité modérée (pH moyen de 8,1), néanmoins N présente la valeur la plus basse (7,6). La conductivité électrique est en moyenne de 0,2 mS/cm, la plus petite valeur se trouve à M (0,1 mS/cm) et la plus élevée à N (0,4 mS/cm). Les sols des cinq stations sont donc non salés. La matière organique (MO) présente une moyenne de 2,8 %, G (station forestière) a le meilleur taux (7,5%) alors que les deux stations K et A (arido-sols) présentent un faible taux de matière organique (1,5%). Le calcaire total (CT) est en moyenne de 9,7% ; on remarque que, pour la station N, le sol est non calcaire (1,1%), faiblement calcaire pour les deux stations A et M (7,8% et 10,1%) et modérément calcaire pour G et K (15,5% et 14,3%) (Tableau 50). L'analyse granulométrique (Tableau 51) a révélé une dominance de la fraction limoneuse pour les stations N, A et M ; par contre, pour G et K elle est sableuse. La texture du sol est, dans ce cas, de type limono-sableux en moyenne avec des variantes : limono-argileuse pour la station N, limoneuse pour G et sableuse pour K. Cependant, les sols de A et M présentent une texture limoneuse fine.

L'ANOVA montre une différence très significative ( $p < 0,001$ ) concernant le facteur station ainsi que pour l'interaction station x saison pour tous les paramètres étudiés (Tableau 52). Le test de Fisher montre trois différents groupes de stations pour tous les paramètres : le pH (A-M-K ; G ; N), la CE (N ; G-A-K ; M), la MO (G ; N ; A-M-K), le CT (G-K ; A-M ; N) (Fig. 42).



**Figure 42:** Histogrammes de la variation des paramètres de sol chez *P. atlantica*, pour les deux stations (A) et les trois saisons (B). N: Sidi-Naamane , G: Goutaia, A: Aïn-Ouessara , M: Messaàd, K: Sidi-Khaled. E: été, A: automne, P: printemps. <sup>a, b et c</sup>: séparation des groupes des populations par le test de Fisher ( $\alpha < 0,05$ ), les valeurs ayant les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes.

**Tableau 50:** Paramètres de l'analyse physico-chimique des sols rhizosphériques de *P. atlantica*.

Paramètres	Saison	Sidi-Naamane (N)	Goutaia (G)	Aïn-Ouessara (A)	Messaâd (M)	Sidi-Khaled (K)	Moy. ± ET (Min-Max)
pH-eau	Eté	7,4±0,7	7,7±0,1	8,4±0,1	8,3±0,3	8,3±0,1	8,0***±0,5 (6,8-8,7)
	Automne	7,5±0,5	8,1±0,1	8,2±0,2	8,2±0,2	8,3±0,4	8,1**±0,4 (7,07-8,8)
	Printemps	7,8±0,2	8,4±0,3	8,3±0,1	8,0±0,5	8,5±0,5	8,2*±0,4 (7,6-8,9)
	Moy.± ET	<b>7,6 NS ±0,5</b>	<b>8,1***±0,3</b>	<b>8,3 NS ±0,2</b>	<b>8,2 NS ±0,4</b>	<b>8,3 NS ±0,2</b>	<b>8,1 ±0,5 (6,7-8,9)</b>
Conductivité électrique CE (mS/cm)	Eté	0,3±0,1	0,2±0,03	0,2±0,04	0,2±0,03	0,3±0,1	0,2*±0,1 (0,1-0,5)
	Automne	0,4±0,01	0,2±0,01	0,2±0,03	0,1±0,02	0,2±0,01	0,2***±0,01 (0,1-0,6)
	Printemps	0,6±0,01	0,3±0,1	0,2±0,04	0,1±0,02	0,2±0,04	0,3***±0,02 (0,1-0,7)
	Moy.± ET	<b>0,4**±0,01</b>	<b>0,2 NS ±0,1</b>	<b>0,2 NS ±0,04</b>	<b>0,1 NS ±0,03</b>	<b>0,2***±0,1</b>	<b>0,2 ±0,01 (0,1-0,7)</b>
Matière organique MO (%)	Eté	3,8±1,2	5,3±2,5	1,0±0,9	1,8±0,3	1,5±0,9	2,7***±2,1 (0,3-8,9)
	Automne	3,8±2,1	11,3±3,1	1,8±0,3	2,1±0,7	1,5±0,9	4,1***±2,6 (0,7-7,5)
	Printemps	3,0±0,5	5,7±1,8	1,6±0,6	2,6±0,4	1,4±0,4	2,9***±1,7 (0,3-8,85)
	Moy.± ET	<b>3,5 NS ±1,4</b>	<b>7,5***±3,4</b>	<b>1,5 NS ±0,7</b>	<b>2,2 NS ±0,6</b>	<b>1,5 NS ±0,7</b>	<b>2,8 ±2,1 (0,27-10,5)</b>
Calcaire total CT (%)	Eté	1,8±0,6	13,3±8,1	6,3±1,9	11,2±0,8	15,2±3,7	9,6***±5,3(1,3-33,7)
	Automne	1,6±0,2	10,4±3,325	8,6±2,7	10,9±0,9	15,5±2,4	9,4***±4,7 (0-17,2)
	Printemps	0,6±0,5	22,8±7,01	8,5±0,6	8,1±0,37	12,3±0,4	10,1***±8,2 (1,3-33,7)
	Moy.± ET	<b>1,1**±0,9</b>	<b>15,5*±10,9</b>	<b>7,8 NS ±3,5</b>	<b>10,1***±4,2</b>	<b>14,3 NS±3,3</b>	<b>9,7 ±6,6 (0-33,7)</b>

Moy, Moyenne ; ET, écart type ; Min, minimum ; Max, maximum ; Seuil de signification statistique  $\alpha=0,05$  ; \*,  $p < 0,05$  ; \*\*,  $p < 0,01$  ; \*\*\*,  $p < 0,001$  ; NS, non significatif.

**Tableau 51:** Analyse granulométrique des sols chez les populations étudiées de *P. atlantica*.

Élément	Sidi-Naamane (N)	Goutaia (G)	Aïn-Ouessara (A)	Messaâd (M)	Sidi-Khaled (K)
Sable (%)	4,0	44,2	20,1	15,4	96,2
Limon (%)	75,2	42,8	78,2	82,6	2,8
Argile (%)	20,8	13,0	1,7	2	1,0
Texture	Limono-argileuse	Limoneuse	Limoneuse fine	Limoneuse fine	Sableuse

**Tableau 52** : Résultats de l'analyse de la variance à deux facteurs pour les différents paramètres des sols étudiés pour *P. atlantica*.

Variables	Facteur	df - Model	MS – Model	F	P	Sign.
pH-eau	Station	4	1,5	14,01	0,000	***
	Saison	2	0.11	0,58	0,559	Ns
	Station x saison	14	0.50	4,65	0,000	***
Conductivité électrique CE ( mS/cm)	Station	4	200284.3	19,82	0,000	***
	Saison	2	13044.62	0,63	0,533	Ns
	Station x saison	14	84229.21	15,35	0,000	***
Matièreorganique MO (%)	Station	4	95.0	31,69	0,000	***
	Saison	2	14.46	1,85	0,163	Ns
	Station x saison	14	35.65	23,63	0,000	***
Calcaire total CT (%)	Station	4	483.4	27,36	0,000	***
	Saison	2	78.43	1,87	0,160	Ns
	Station x saison	14	174.36	14,34	0,000	***

Seuil de signification statistique  $\alpha=0,05$  “ \*,  $p < 0,05$  ; \*\*,  $p < 0,01$ \*\*\*,  $p < 0,001$ ” , ns : Non significatif

#### V.4.2 *P. terebinthus*

Le pH moyen des deux stations est de 8,2 (sol alcalin). On enregistre une valeur (8,4) plus importante à Senalba (avec 8,0 pour Goutaia) (Fig. 43A). Les trois saisons printemps, automne et été ont des valeurs de pH-eau entre 8,4 ; 8,2 et 8,1, respectivement (Fig. 43B).

Pour la conductivité électrique, le taux moyen est de 0,2mS/cm. Les sols sont non salés ; Senalba (0,23mS/cm) et Goutaia (0,15mS/cm) (Fig. 43A). Les CE varient peu entre les saisons (0,22 ; 0,21 et 0,15mS/cm pour le printemps, l'été et l'automne, respectivement) (Fig. 43B).

Pour la matière organique, les deux stations sont riches (7,9% pour Goutaia et 4,8% pour Senalba, avec une moyen de 6,3%) (Fig. 43A). Le printemps et l'été ont des taux importants 8,4 et 7,8%, l'automne est la saison où ce taux est faible (2.8%) (Fig. 43B).

La valeur moyenne de calcaire total est de 10,6% pour les deux stations, représentant une faible quantité de CaCO<sub>3</sub> total (12 et 9,2%, pour Goutaia et Senalba, respectivement) (Fig. 43A). On remarque que les valeurs les plus élevées sont marquées au printemps (12,5%), et diminuent en été (12,0%) puis en automne (7,2%) (Fig. 43B).

L'analyse granulométrique (Tableau 53) a révélé une dominance de la fraction limoneuse pour les deux stations : Limoneuse pour la station de Goutaia et Limono-sableuse pour Senalba.

**Tableau 53:** Analyse granulométrique des sols chez les populations étudiées de *P.terebinthus*.

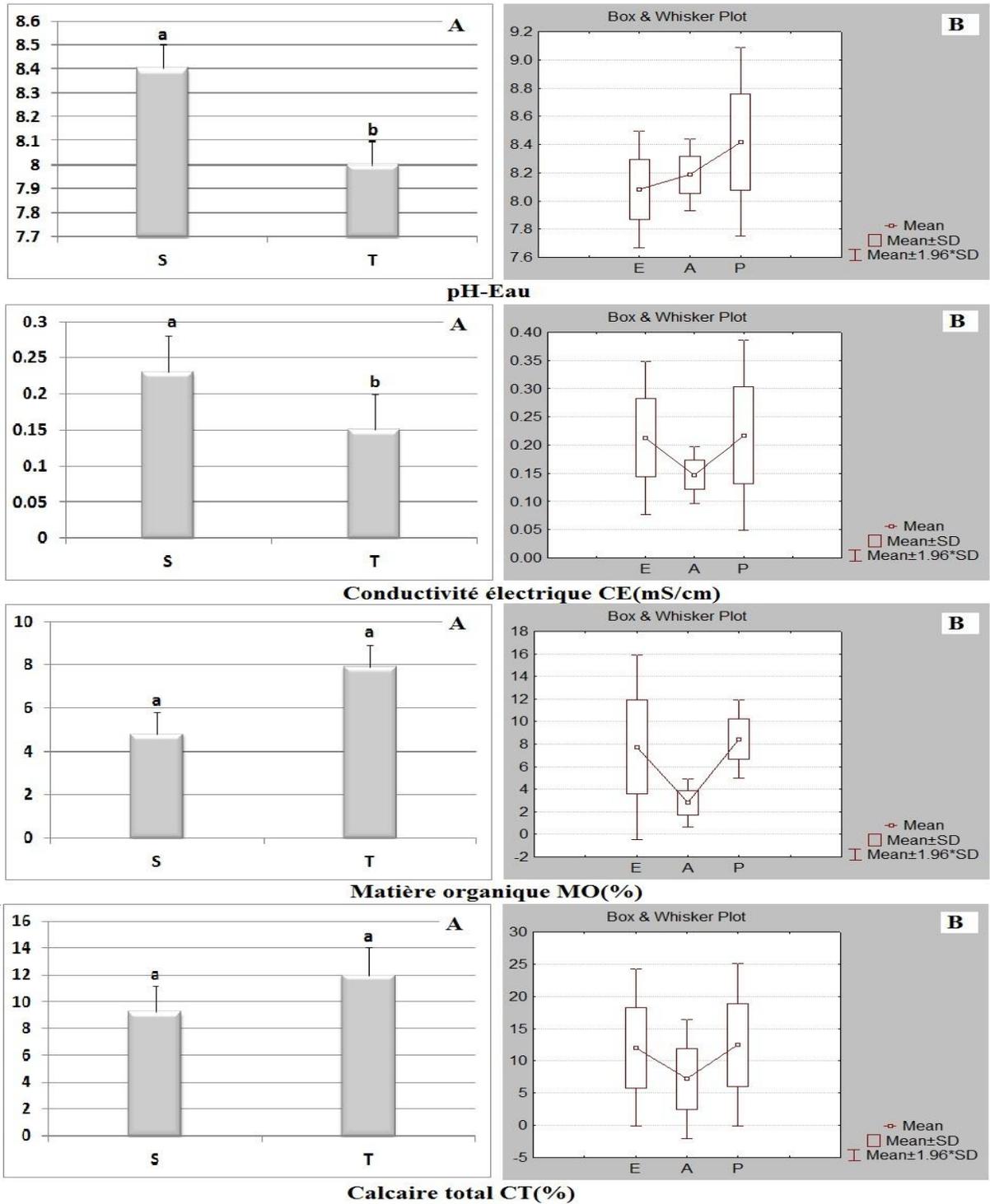
Élément	Goutaia (T)	Senalba(S)
Sable (%)	44,2	13,77
Limon (%)	42,8	81,33
Argile (%)	13,0	4,90
Texture	Limoneuse	Limono-sableuse

Le test de Fisher montre deux groupes hétérogènes pour le pH et la conductivité électrique, Senalba et Goutaia. Un seul groupe pour la matière organique et le calcaire total (Fig. 47).L'analyse de la variance établie sur l'ensemble des variables de sols : pH, CE, MO et CT pour un seul facteur (facteur saison) montre une différence significative pour le pH et la CE et une différence hautement significative pour MO. Pour le facteur station, on enregistre une différence hautement significative pour le pH et la CE et une différence significative pour MO. L'ANOVA à deux facteurs (interaction saison-station) montre une différence hautement significative pour les trois premières variables : pH, CE et MO. Pour le CT aucune différence significative n'est enregistrée pour les deux facteurs et leur interaction (Tableau 54).

**Tableau 54:** Analyse physico-chimique des sols rhizosphériques de *P. terebinthus* (Senalba et Goutaia)

Paramètres	Saison	pH-eau	Conductivité électrique (mS/cm)	Matièreorganique MO (%)	Calcaire total CT (%)
Senalba(S)	Eté	8,7±0,1	0,3±0,1	7,9±2,2	11,2±6,7
	Automne	8,2±0,1	0,3±0,1	4,2±1	10,8±6,3
	Printemps	8,3±0,1	0,2±0,03	2,4±1,3	5,6±1,4
	Moy. S± ET	<b>8,4***±0,3</b>	<b>0,2*±0,1</b>	<b>4,8***±2,8</b>	<b>9,2NS±5,6</b>
Goutaia (T)	Eté	8,1±0,1	0,2±0,02	9±1,2	13,8±6,6
	Automne	7,9±0,2	0,2±0,02	11,4±2,2	13,3±6,6
	Printemps	8,1±0,0	0,1±0,01	3,2±0,7	8,8±6,5
	Moy. S± ET	<b>8,0NS±0,1</b>	<b>0,2*±0,02</b>	<b>7,9***±3,8</b>	<b>12NS±6,5</b>
Facteur Saison	Moy. E± ET	<b>8,2*±0,3</b>	<b>0,2*±0,1</b>	<b>6,3***±3,6</b>	<b>10,6NS±6,1</b>
Facteur Station	Moy. E± ET	<b>8,2***±0,3</b>	<b>0,2***±0,1</b>	<b>6,3*±3,6</b>	<b>10,6NS±6,1</b>
Interaction Saison-Station	Moy. E± ET	<b>8,2***±0,3</b>	<b>0,2***±0,1</b>	<b>6,3***±3,6</b>	<b>10,6NS±6,1</b>

Moy. S, Moyenne Station; Moy. E± ET, Moyenne espèce ; Moy. G± ET, Moyenne Genre; ET, écart type ; Min, minimum ; Max, maximum ; Seuil de signification statistique à  $\alpha=0,05$  ; \*,  $p < 0,05$  ; \*\* ;  $p < 0,01$  ; \*\*\* ;  $p < 0,001$  ; NS, non significatif.



**Figure 43:** Histogrammes de la variation des paramètres de sol chez *P. terebinthus*, pour les deux stations (A) et les trois saisons (B). S (Senalba) et T (Goutaia).E: été, A: automne, P: printemps. <sup>a, b et c</sup>: séparation des groupes des populations par le test de Fisher ( $\alpha < 0,05$ ), les valeurs ayant les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes.

#### V.4.3 Etude comparative entre les quatre espèces

Les sols des quatre espèces sont de nature alcaline, les plus fortes valeurs de pHs' enregistrent chez *P. vera* avec une moyenne de 8,9, suivi par *P. atlantica* (8,6), *P. lentiscus* (8,3) et *P. terebinthus* (8,2) (Fig. 44A).

On a enregistré la même valeur de la conductivité électrique (0,19% mS/cm) chez *P. atlantica*, *P. terebinthus* et *P. vera*. La valeur la plus élevée est enregistrée pour *P. lentiscus* avec une moyenne de 0,32mS/cm (Fig. 44A).

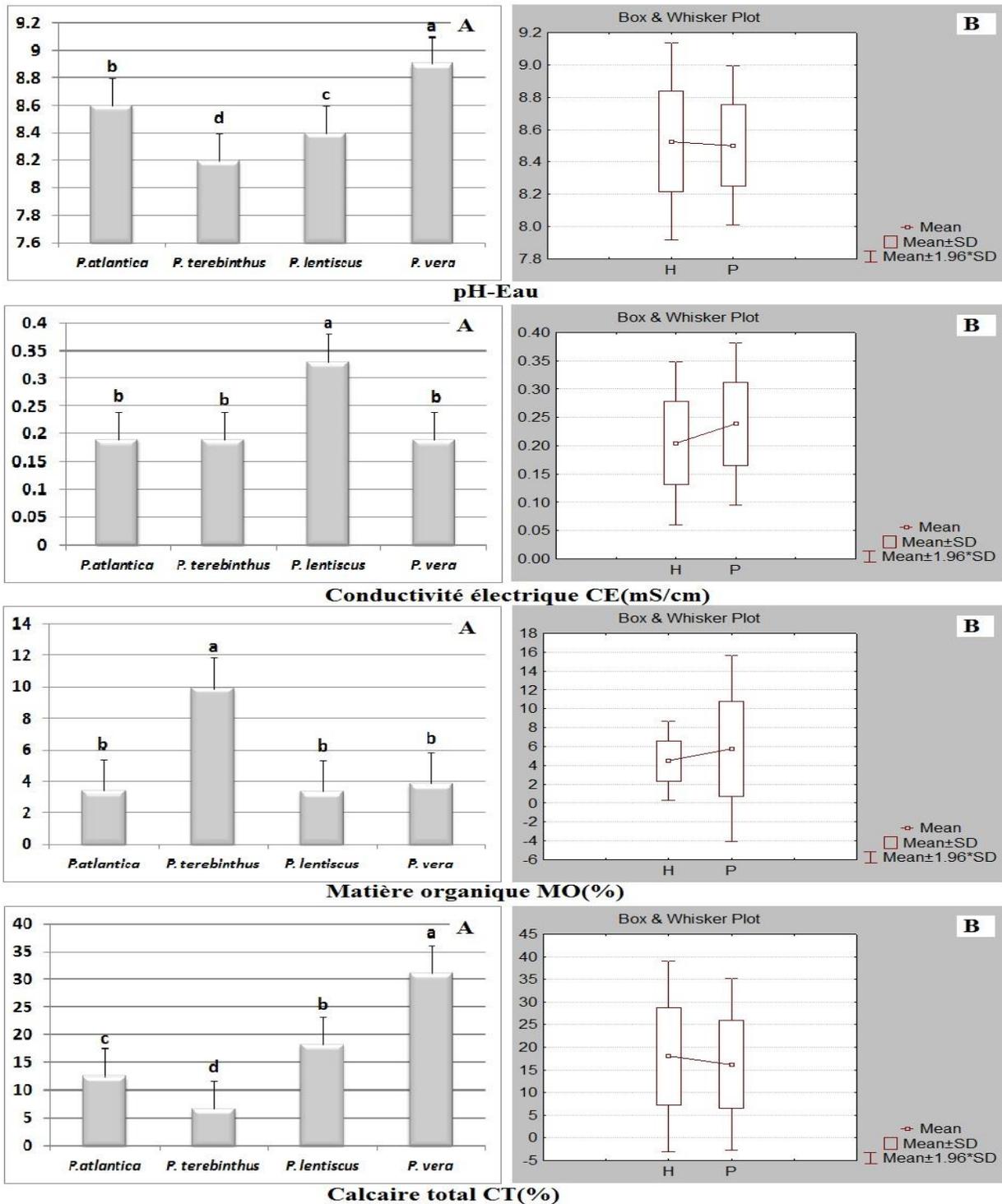
Chez *P. terebinthus*, le taux de matière organique est très élevé (9,85%), les autres espèces ont un taux moyen (3,58 ; 3,4 et 3,37% chez *P. vera*, *P. atlantica* et *P. lentiscus*, respectivement) (Fig. 44A).

Sous *P. vera*, on enregistre un sol riche en calcaire avec une moyenne de 31%, pour *P. lentiscus* et *P. atlantica* le sol est moyennement riche (18,2 et 12,5%, respectivement). Chez *P. terebinthus* on enregistre un taux de 6,7% (Fig. 44A).

En comparant les deux saisons (hiver et printemps), on remarque que les deux paramètres pH-eau et calcaire total sont plus importants en hiver, tandis que les autres paramètres conductivité électrique et matière organique le sont plutôt au printemps (Fig. 44B).

Pour les quatre paramètres du sol, l'ANOVA ne montre aucune différence entre les deux saisons, par contre une différence hautement significative a été enregistrée entre les espèces et pour l'interaction saison-espèce (Tableau 55).

Le test de Fisher montre deux groupes hétérogènes pour la conductivité électrique et la matière organique, le groupe un est formé par *P. terebinthus* et le groupe deux est formé par les trois espèces : *P. atlantica*, *P. lentiscus* et *P. vera*. Quatre groupes hétérogènes sont distincts pour le pH et le calcaire total, chaque espèce forme un groupe (Fig. 44).



**Figure 44:** Histogrammes de la variation des paramètres de sol chez les quatre espèces du genre *Pistacia* (A) et les deux saisons (B). H: hiver, P: printemps. <sup>a, b et c</sup>: séparation des groupes des populations par le test de Fisher ( $\alpha < 0,05$ ), les valeurs ayant les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes.

**Tableau 55:** Paramètres de l'analyse physico-chimique des sols rhizosphériques des quatre espèces étudiées du genre *Pistacia*.

Paramètres	Saison	pH-eau	Conductivité électrique CE (mS/cm)	Matière organique MO (%)	Calcaire total CT (%)
<b>El-Mergueb (E)</b> ( <i>Pistacia atlantica</i> )	Hiver	8,7 ± 0,1	0,16 ± 0,05	4,40 ± 1,03	13,24 ± 3,11
	Printemps	8,5 ± 0,11	0,21 ± 0,06	2,47 ± 0,23	11,75 ± 1,42
	<b>Moy. S ± ET</b>	<b>8,6* ± 0,1</b>	<b>0,19 *** ± 0,06</b>	<b>3,44 ** ± 0,63</b>	<b>12,50 NS ± 2,27</b>
<b>Djebel-Misaàd (B)</b> ( <i>Pistacia terebinthus</i> )	Hiver	8.14 ± 0.14	0.19 ± 0.03	6.18 ± 2.51	7.09 ± 3.01
	Printemps	8.27 ± 0.12	0.19 ± 0.03	13.53 ± 3.32	6.32 ± 3.05
	<b>Moy. S ± ET</b>	<b>8.20 NS ± 0.13</b>	<b>0.19 NS ± 0.03</b>	<b>9.85** ± 2.91</b>	<b>6.7 NS ± 3.03</b>
<b>Djebel-Misaàd (L)</b> ( <i>Pistacia lentiscus</i> )	Hiver	8,37 ± 0,08	0,31 ± 0,04	2,92 ± 2,38	17,70 ± 4,98
	Printemps	8,36 ± 0,06	0,34 ± 0,05	3,83 ± 2,05	18,73 ± 9,69
	<b>Moy. S ± ET</b>	<b>8,36 NS ± 0,07</b>	<b>0,32 NS ± 0,04</b>	<b>3,37 NS ± 2,21</b>	<b>18,21 NS ± 7,33</b>
<b>ITMA (I)</b> ( <i>Pistacia vera</i> )	Hiver	8,9±0,1	0,16±0,02	4,5±0,54	34,1±1,91
	Printemps	8,9±0,1	0,21±0,02	3,23±0,2	28±3,16
	<b>Moy. S ± ET</b>	<b>8,9NS±0,1</b>	<b>0,19*±0,04</b>	<b>3,58**±0,7</b>	<b>31**±4,0</b>
<b>Facteur Saison</b>		NS	NS	NS	NS
<b>Facteur Espèce</b>		***	***	***	***
<b>Interaction Saison-Espèce</b>		***	***	***	***

Moy. S, Moyenne Station; Moy. E± ET, Moyenne espèce ; Moy. G± ET, Moyenne Genre; ET, écart type ; Min, minimum ; Max, maximum ; Seuil de signification statistique à α=0,05 ; \*, p < 0,05 ; \*\*, p < 0,01 ; \*\*\*, p < 0,001 ; NS, non significatif.

#### V.4.4 Discussion

Sur la base de la composition granulométrique moyenne, toutes les stations ont des sols à texture à dominante limoneuse (fine, argileuse et sableuse), sauf une station (Sidi-Khaled) qui a une texture sableuse. On en déduit que les sols sous pistachier de l'Atlas des stations étudiées sont à texture majoritairement fine. Nos résultats sont similaires à la majorité des études précédemment réalisées sur l'analyse granulométrique des sols du pistachier de l'Atlas, qui montrent une variabilité dans la texture de cette espèce (Limoneuse à Limono-sableuse) (Tahrou, 2005 ; Bournine, 2007 ; Kebci, 2008 ; Limane, 2009 ; Boubrima, 2014 ; Hamitouche, 2016). La même texture est enregistrée sous *P. terebinthus*.

Les quatre espèces étudiées (*P. atlantica*, *P. terebinthus*, *P. lentiscus* et *P. vera*) ont un sol rhizosphérique alcalin. Selon les normes d'interprétation, le pH-eau des sols étudiés a

généralement une alcalinité faible à modérée (Aubert, 1978). C'est une fourchette des pH courants pour les sols en régions semi arides (Madani, 2008). Sauf pour la station ITMA (*P. vera*) qui présente une alcalinité assez importante. Nos résultats présentent une similitude avec les sols étudiés par Limane (2009) à El-Mergueb (M'sila) et Boubrima (2014) à Aiat-Timzerth (Laghouat). La dégradation des sols par alcalinisation apparaît comme toile de fond à tous les aménagements forestiers en zone aride ou semi-aride. Ce sont là les types de dégradation les plus fréquentes, et souvent liées à la désertification. C'est donc le jeu de processus chimiques qui va conditionner de très mauvaises caractéristiques physiques des sols.

La salinité du sol a une certaine influence sur le développement de la végétation, la présence de quantités importantes de sels dans la solution du sol abaisse le potentiel hydrique et réduit fortement la disponibilité de l'eau pour les plantes, on parle alors de milieu «physiologiquement sec» (Tremblin, 2000). Les sels, au sens large du terme, constituent les traits caractéristiques des paysages arides d'Algérie, plus de 95% de ces régions sont en effet soit calcaires, soit gypseux, soit salsodiques (Halitim, 1988). Ce n'est pas le cas des sols échantillonnés lors de cette étude. En effet, les sols de toutes les stations sont non salés, même si nous avons enregistré des taux variés de la C.E, ce qui montre que les espèces étudiées ne tolèrent pas la salinité, ce sont des espèces hypohalophytes (tolèrent des taux de salinité relativement faible.). La conductivité électrique dépend de la teneur en électrolytes ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^+$ ,  $\text{CO}_2^{-3}$ ,  $\text{HCO}^{-3}$ ) qui exprime la concentration en sels. Une grande quantité de sels solubles peut affecter les propriétés pédologiques, notamment la dispersion des colloïdes, la stabilité structurale et la chute de la perméabilité hydraulique (Aubert 1983 ; Halitim et *al.*, 1984; Daoud, 1993).

La valeur la plus faible de salinité a été enregistrée au niveau de Messaïd pour *P. atlantica* (0,1 mS/cm), ce qui peut s'expliquer par l'absorption des sels par les arbres qui sont plus jeunes par rapport aux autres populations, et qu'ils nécessitent plus des sels minéraux. Par contre, la valeur la plus élevée (0,4 mS/cm) est enregistrée à Sidi-Naâmane (*P. atlantica*), ce qui peut s'expliquer par la salinisation anthropique, généralement liée à l'irrigation, que l'on appellera secondaire ou bien à l'utilisation d'engrais inorganiques, car cette station est située dans un champ cultivé.

La matière organique du sol a des rôles extrêmement importants à jouer comme la construction et la stabilité de la structure, le maintien ou l'augmentation de la capacité à retenir l'eau ou les éléments minéraux. Les différents types de matières organiques influent sur ces propriétés, notamment en fonction de la texture des sols (Monnier, 1965). Les analyses de sol montrent que les stations de *P. atlantica* (Aïn-Ouessara , Messaâd et Sidi-Khaled) présentent un taux faible de matière organique, ces résultats sont proches de ceux de Bentaleb (2011) pour la station de Aïn-Ouessara , d'après Kebaili (2009), on peut l'expliquer par le faible taux de recouvrement. Les stations Djebel-Misaâd (*P. Lentiscus*), ITMA(*P. vera*), El-Mergueb (*P. atlantica*) et Sidi-Naamane (*P. atlantica*) sont moyennement riches en matière organique, pour ces deux dernières stations de *P. atlantica*, nos résultats sont similaires à ceux de Limane (2009 et 2014). Les autres stations de *P. terebinthus* (Senalba, Goutaia et Djebel-Misaâd) sont riches en matière organique, ce sont des forêts naturelles riches en débris organiques. Les différences de richesse en matière organique ne sont pas dues uniquement à une différence d'approvisionnement en débris végétaux. La vitesse de minéralisation joue un rôle au moins aussi grand et elle est déterminante dans la répartition des groupements végétaux présentés (Aafi, 2003). Cette étude a révélé que sous *P. atlantica* le sol est pauvre en matière organique, pour *P. lentiscus* et *P. vera* les sols sont moyennement riches alors que sous *P. terebinthus* le sol est plus riche. La MO est un facteur de stockage des nutriments surtout dans les sols pauvres (Zhou *et al.*, 2008) et elle influence une large bande de propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol et est le plus important et sensible indicateur de la qualité du sol, de la santé des parcours et leur durabilité (Bolinder *et al.*, 1999 ; Rezaei et Gilkes , 2005 ; Tefera *et al.*, 2007 ; Fernandez *et al.*, 2008 ; Dai *et al.*, 2011).

D'après les résultats obtenus concernant le taux de calcaire total, on remarque que *P. atlantica* s'accommode avec les différentes classes de calcaire, non calcaire (station Sidi-Naâmane ), faiblement calcaire (stations Aïn-Ouessara et Messaâd) à modérément calcaire (stations Goutaia, Sidi-Khaled et El-Mergueb), alors que les trois stations de *P. terebinthus* (Senalba, Goutaia et Djebel-Misaâd ) sont faiblement calcaires ; pour *P. lentiscus*, il se trouve dans des sols modérément calcaires (station Djebel-Misaâd ) et enfin la station de l'ITMA où il y'a *P. vera* a des sols fortement calcaires. La faiblesse du taux de calcaire peut s'expliquer par une décalcification suite à la circulation des eaux de pluies (400-600 mm) et au bon drainage aidé par la pente et le fort pourcentage de matière organique et un taux de calcaire élevé

s'explique par la présence de croute calcaire (Abdelouahab, 2014). Dans notre étude, il n'en ressort aucune corrélation entre le calcaire et pH. Cela a été déjà confirmé par les résultats de Pouget (1980), par contre Limane (2009) démontra que le pH le plus faible correspondait au taux de calcaire le plus élevé.

En comparant l'effet des deux facteurs station et saison sur les différents paramètres physiques et chimiques des sols étudiés, on remarque que l'effet significatif de station est très important par rapport à la saison, les différences significatives observées entre les stations pour les sols échantillonnés sont dues à la localisation des stations dans différents étages bioclimatiques. Selon Kaplan et *al.* (2012), la modification des paramètres climatiques a un impact non négligeable sur le fonctionnement du sol.

### V.4.5 Conclusion

A travers les résultats obtenus, on peut conclure que la texture du sol sous les espèces étudiées est majoritairement limoneuse, ces espèces sont vivre dans des sols basiques non salés caractérisés par des taux variés de matière organique (pauvre, moyen et riche). Différentes classes de calcaire ont été enregistrées, une seule station a un sol non calcaire (Sidi-Naâmane).

### V.5 Analyses multivariées

Une analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée pour mettre en évidence les relations existantes entre les différentes variables étudiées. De plus un test de corrélation (Pearson) a été réalisé pour compléter l'analyse.

Pour *P. atlantica*, la matrice de corrélations entre les paramètres de mycorhization et des sols montre des corrélations positives et significatives entre l'intensité de mycorhization (M) et les deux teneurs arbusculaire (A) et vésiculaire (V) ( $r = 0,90$  et  $r = 0,82$ , respectivement), une corrélation négative et significative entre la fréquence (F) et la conductivité électrique (CE) ( $r = -0,63$ ) (Tableau 56).

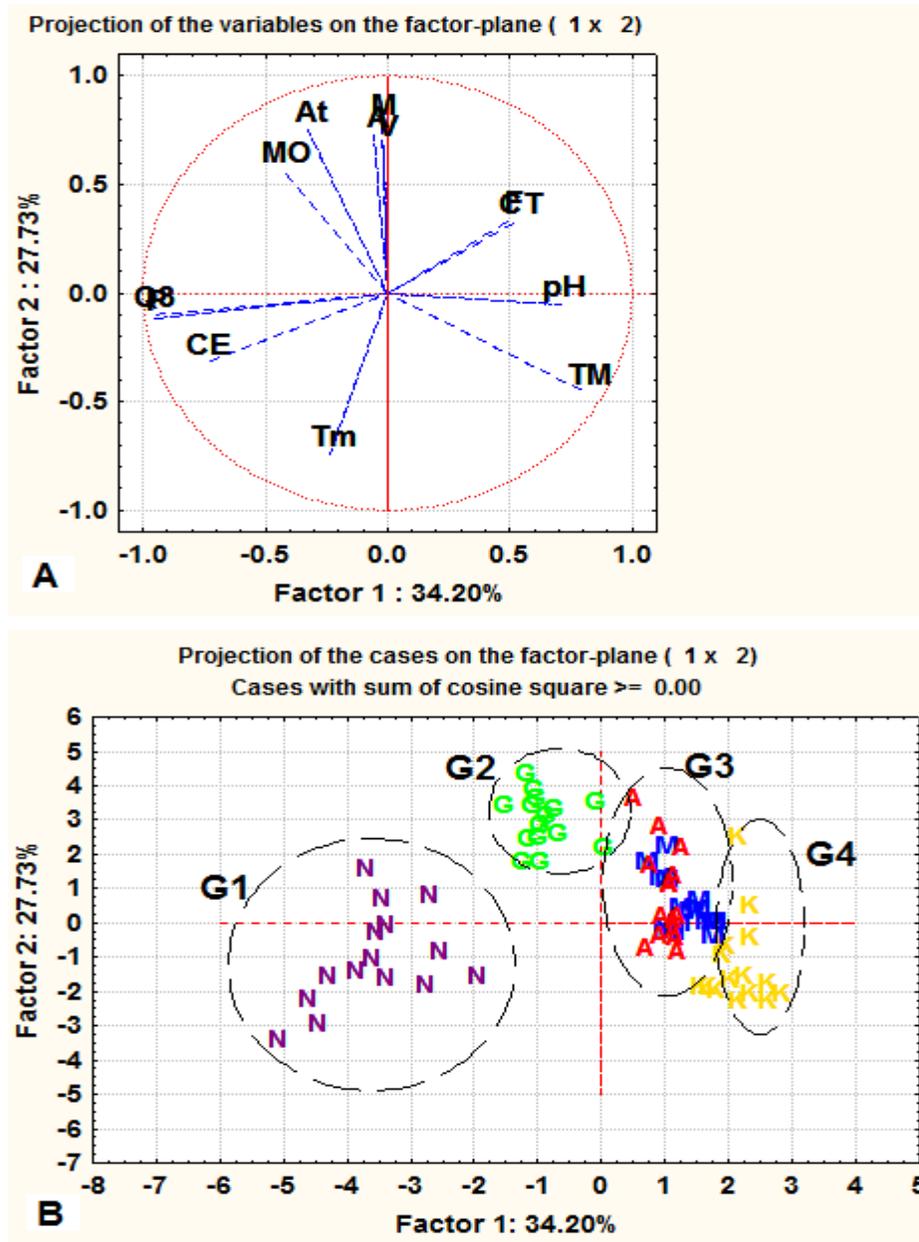
Le cercle de corrélation montre que la majorité des variables sont corrélées avec les deux axes, à l'exception des variables CT et F. En effet, les variables de sol (pH-eau, CE et CT) sont corrélées avec l'axe 1, alors que les variables de mycorhization (M, A et V) sont corrélées avec l'axe 2 (Fig. 45A). Par conséquent, cette interaction a permis de regrouper l'ensemble des arbres des cinq populations en différents groupes (Fig. 45B). L'axe 1 paraît traduire un indice d'aridité

(Q3) croissant, où les différentes stations sont discriminées selon leurs bioclimats en quatre groupes distincts.

**Tableau 56:** Matrice de corrélation de Pearson ( $p < 0,05$ ) pour l'ensemble des variables de mycorhization et des sols.

	Fréquence de mycorhization F (%)	Intensité de colonisation M (%)	Teneur arbusculaire A (%)	Teneur vésiculaire V (%)	pH-eau	Conductivité électrique (mS/cm)	Matière organique MO (%)	Calcaire total CT (%)
Fréquence de mycorhization F (%)	1.000000	0.147425	0.079447	0.078727	0.180725	<b>-0.635388</b>	0.051391	0.301514
Intensité de colonisation M (%)		1.000000	<b>0.903264</b>	<b>0.828977</b>	-0.05224	-0.066051	0.230208	0.172239
Teneur arbusculaire A (%)			1.000000	<b>0.904626</b>	-0.01652	-0.077410	0.146066	0.008731
Teneur vésiculaire V (%)				1.000000	-0.00123	-0.116035	0.162463	0.042483
pH-eau					1.000000	-0.436993	-0.315568	0.197397
Conductivité électrique CE (mS/cm)						1.000000	0.042924	-0.391697
Matière organique MO (%)							1.000000	0.092119
Calcaire total CT (%)								1.000000

Le groupe 1 est composé de la station sub-humide (N) caractérisée par une valeur importante de CE, le groupe 2 comporte la station semi-aride (G) avec des valeurs élevées pour M, A, V et MO. Le groupe 3 est représenté par les stations arides (A et M) et le groupe 4 constitué par une station saharienne (K) avec des valeurs importantes de pH-eau. Concernant l'axe 2, il explique un gradient thermique hivernal (m) croissant autrement-dit, les différentes stations se distinguent selon l'intensité du froid (G1, G4, G3 puis G2).



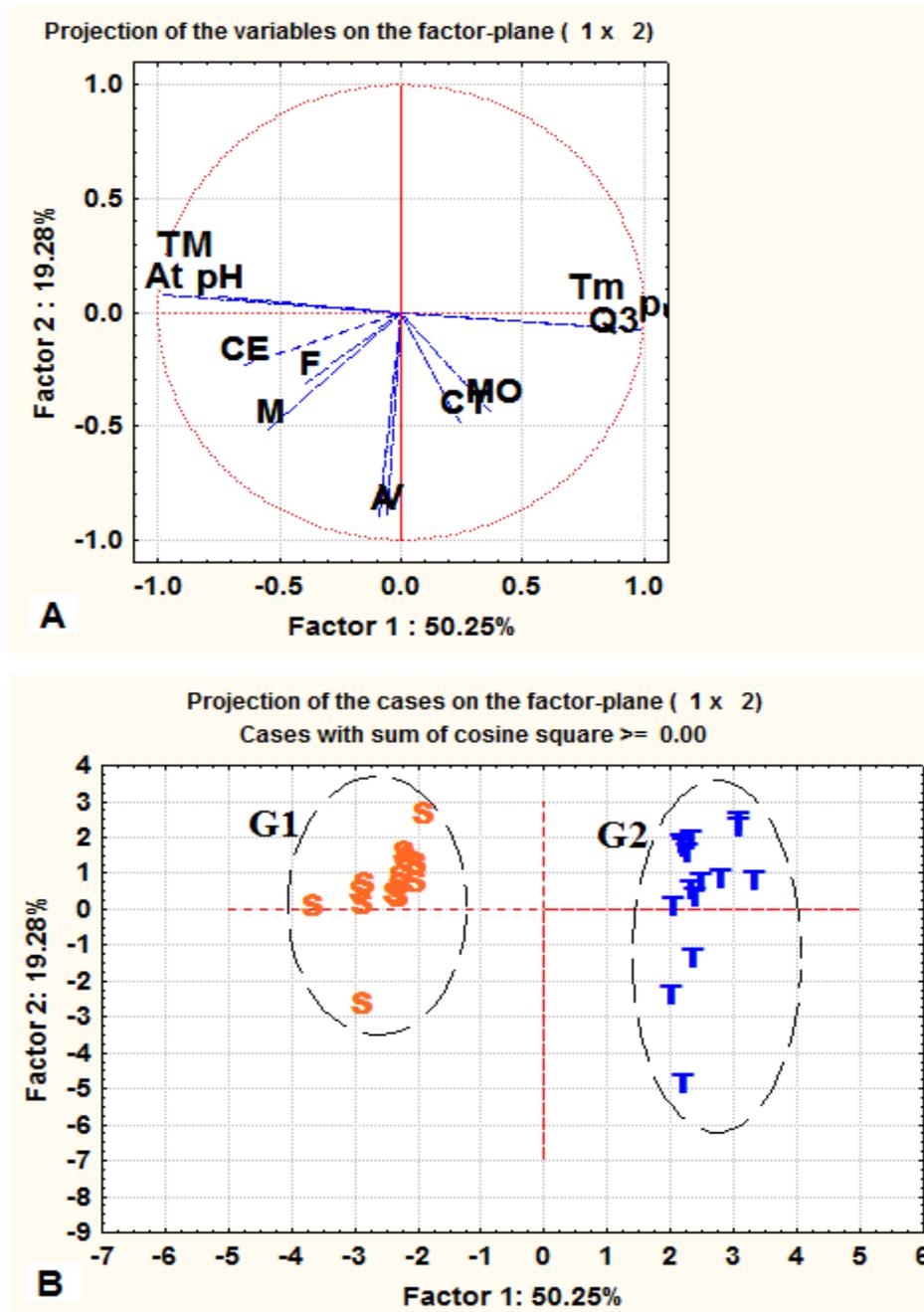
**Figure 45:** Analyse en composante principale (ACP). **A- Cercle de corrélation des variables mesurées pour *P. atlantica***; F : fréquence de mycorhization, M : intensité de colonisation du cortex racinaire, A: teneur arbusculaire, V: teneur vésiculaire, pH : pH-eau, CE : conductivité électrique, MO : matière organique, CT: calcaire total, Alt : altitude, Q3 : quotient pluviothermique, TM: moyenne des températures maxima du mois le plus chaud en degrés Celsius, Tm : moyenne des températures minima du mois le plus froid en degrés Celsius. **B- Diagramme de dispersion des échantillons** ; N: Sidi-Naâmane , G : Goutaia, A: Aïn-Ouessara , M: Messaâd, K: Sidi-Khaled. G1 : groupe 1, G2 : groupe 2, G3 : groupe 3, G4 : groupe 4.

Chez *P. terebinthus*, la matrice de corrélations entre les paramètres de mycorhization, sols et climatiques montre plusieurs corrélations significatives (Tableau 57) ; entre la teneur arbusculaire (A) et vésiculaire (V) ( $r=0,98$ ), entre la conductivité (CE) et le pH ( $r=0,57$ ) et entre l'intensité de colonisation (M) et la conductivité électrique (CE) ( $r=0,63$ ).

**Tableau 57:** Matrice de corrélation de Pearson ( $p < 0,05$ ) pour l'ensemble des variables de mycorhization et des sols pour *P. terebinthus*.

	F	M	A	V	Ph	CE	MO	CT	P	TM	Tm	At	Q3
F	1.00	0.42	0.26	0.21	0.20	0.22	-0.05	-0.16	-0.31	0.31	-0.31	0.31	-0.31
M		1.00	0.36	0.33	0.34	<b>0.63</b>	0.12	0.07	-0.46	0.46	-0.46	0.46	-0.46
A			1.00	<b>0.98</b>	-0.05	0.10	0.16	0.29	-0.05	0.05	-0.05	0.05	-0.05
V				1.00	-0.07	0.07	0.13	0.30	-0.02	0.02	-0.02	0.02	-0.02
pH					1.00	<b>0.57</b>	-0.08	-0.14	<b>-0.71</b>	<b>0.71</b>	<b>-0.71</b>	<b>0.71</b>	<b>-0.71</b>
CE						1.00	0.18	-0.02	<b>-0.57</b>	<b>0.57</b>	<b>-0.57</b>	<b>0.57</b>	<b>-0.57</b>
MO							1.00	0.28	0.43	-0.43	0.43	-0.43	0.43
CT								1.00	0.23	-0.23	0.23	-0.23	0.23
P									1.00	<b>-1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>-1.00</b>	<b>1.00</b>
TM										1.00	<b>-1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>-1.00</b>
Tm											1.00	<b>-1.00</b>	<b>1.00</b>
At												1.00	<b>-1.00</b>
Q3													1.00

Le cercle de corrélation montre que la majorité des variables (excepté F, MO et CT) sont corrélées avec les deux axes expliquant 69,53%. Les deux variables de sol (pH, CE) et toutes les variables climatiques sont corrélées avec l'axe 1, les deux variables de mycorhization (A et V) sont corrélées avec l'axe 2, alors que le variable M est corrélée avec les deux axes (Fig. 46A). Par conséquent, cette interaction a permis de regrouper l'ensemble des arbres des deux populations en deux groupes distincts (Fig. 46B). L'axe 1 paraît traduire un indice d'aridité (Q<sub>3</sub>) croissant, où les différentes stations sont discriminées selon leurs bioclimats en deux groupes distincts.



**Figure 46:** Analyse en composante principale. **A- Cercle de corrélation des variables pour *P. terebinthus*** ; F : fréquence de mycorhization, M : intensité de colonisation du cortex racinaire, A: teneur arbusculaire, V: teneur vésiculaire, pH : pH-eau, CE : conductivité électrique, MO : matière organique, CT: calcaire total, Alt : altitude, Q3 : quotient pluviothermique, TM: moyenne des températures maxima du mois le plus chaud en degrés Celsius, Tm : moyenne des températures minima du mois le plus froid en degrés Celsius. **B-Diagramme de dispersion des échantillons** ; S : Senalba, T : Goutaia. G1 : groupe 1, G2 : groupe 2.

Le groupe 1 est composé par la station de Senalba (S) caractérisée par des valeurs importantes de pH, CE, TM et At. Le groupe 2 comporte la station de Goutaia (T) avec des valeurs élevées de P, Tm et Q3.

Pour les quatre espèces de *Pistacia*, La matrice de corrélations entre les paramètres de mycorhization et ceux des sols, montre des corrélations significatives entre tous les paramètres de mycorhization, entre le pH et le calcaire total ( $r=0.73$ ), et entre le pH et l'intensité de colonisation ( $r=-0.57$ ) (Tableau 58).

**Tableau 58:** Matrice de corrélation de Pearson ( $p < 0,05$ ) pour l'ensemble des variables de mycorhization et des sols chez les quatre espèces de *Pistacia*.

	F	M	A	V	Ph	CE	MO	CT	P	TM	Tm	At	Q3
F	1.00	<b>0.76</b>	<b>0.59</b>	<b>0.62</b>	-0.32	-0.09	0.40	-0.30	0.15	-0.06	-0.05	0.11	0.15
M		1.00	<b>0.74</b>	<b>0.71</b>	<b>-0.57</b>	0.05	0.37	-0.45	0.19	0.05	0.07	0.07	0.16
A			1.00	<b>0.56</b>	-0.38	-0.19	0.19	-0.29	0.21	-0.12	-0.11	0.17	0.20
V				1.00	-0.30	0.13	0.40	-0.26	0.31	-0.14	-0.12	0.23	0.29
Ph					1.00	-0.35	-0.28	<b>0.73</b>	-0.33	-0.11	-0.16	-0.11	-0.28
CE						1.00	-0.25	-0.05	0.37	-0.17	-0.14	0.28	0.35
MO							1.00	-0.33	0.30	-0.15	-0.13	0.23	0.29
CT								1.00	0.13	-0.49	-0.52	0.31	0.17
P									1.00	<b>-0.88</b>	<b>-0.85</b>	<b>0.97</b>	<b>1.00</b>
TM										1.00	<b>1.00</b>	<b>-0.97</b>	<b>-0.90</b>
Tm											1.00	<b>-0.95</b>	<b>-0.88</b>
At												1.00	<b>0.98</b>
Q3													1.00

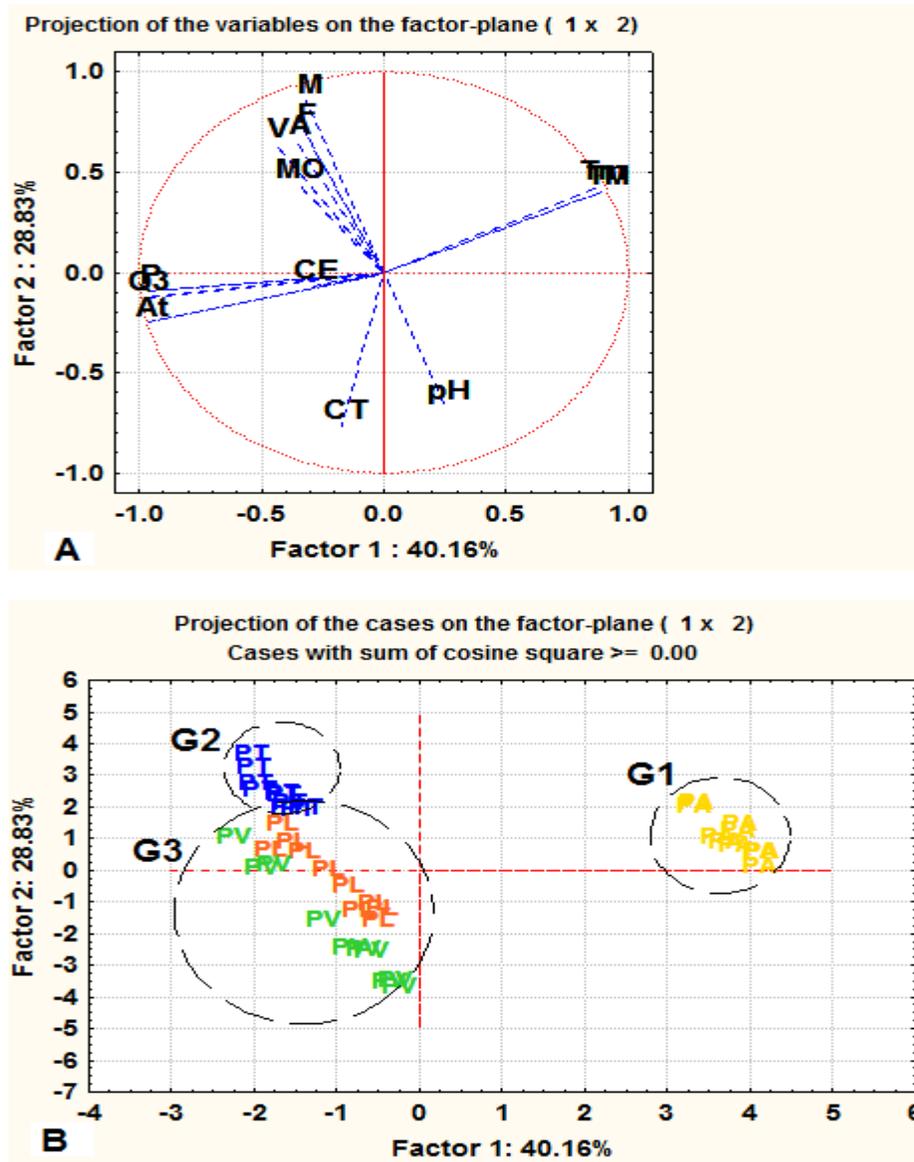
Le cercle de corrélation montre que la majorité des variables sont corrélées avec les deux axes, excepté les variables CE et MO, ces deux axes expliquant 68,99% de l'inertie totale. En effet, pour l'axe 2, les variables de mycorhization (F, M, A et V) sont corrélées positivement, alors que les variables de sol (pH-eau et CT) sont corrélées négativement.

Sur l'axe 1, tous les paramètres de climat (P, TM, Tm, At et Q3) sont corrélés (Fig. 47A) (Annexe 03). Par conséquent, cette interaction a permis de regrouper l'ensemble des arbres des quatre espèces en différents groupes (Fig. 47B). L'axe 1 traduit un indice d'aridité croissant, où les différentes stations sont discriminées selon leurs bioclimats en trois groupes distincts.

Le groupe 1 est composé de la population d'El-Mergueb pour *P. atlantica*(PA) à climat aride caractérisée par des valeurs importantes de températures (TM et Tm), le groupe 2 comporte la population de *P. terebinthus* (PT) (Djebel-Misaâd ),à climat semi-aride avec des valeurs élevées pour les paramètres de mycorhization (F, M, A, V) et MO.

Le groupe 3 est représenté par les deux populations de *P. lentiscus* (PL) et *P. vera* (PV) avec un climat semi-aride, elles ont des valeurs importantes de pH-eau, CT, P, At et Q3.

Une corrélation est enregistrée entre la CE et la fréquence de l'infection ( $r=-0,64$ ) et l'intensité de colonisation ( $r=0,63$ ) chez *P. atlantica* et *P. terebinthus*, respectivement.



**Figure 47:** Analyse en composante principale pour l'ensemble des paramètres mesurés pour les quatre espèces étudiées. **A-Cercle de corrélation des variables** ; F : fréquence de mycorhization, M : intensité de colonisation du cortex racinaire, A : teneur arbusculaire, V : teneur vésiculaire, pH : pH-eau, CE : conductivité électrique, MO : matière organique, CT : calcaire total, Alt : altitude, Q3 : quotient pluviothermique, TM : moyenne des températures maxima du mois le plus chaud en degrés Celsius, Tm : moyenne des températures minima du mois le plus froid en degrés Celsius. **B-Diagramme de dispersion des échantillons** ; PA : *P. atlantica*, PT : *P. terebinthus*, PL : *P. lentiscus*, PV : *P. vera*, G1 : groupe 1, G2 : groupe 2, G3, groupe 3.

---

# **Conclusion générale et perspectives**

---

## Conclusion générale et perspectives

L'étude de la symbiose mycorhizienne chez les quatre espèces étudiées du genre *Pistacia* à savoir *P. atlantica*, *P. terebinthus*, *P. lentiscus* et *P. vera* est effectuée sur plusieurs populations situées à différents étages bioclimatiques dans le pays. Au terme de cette étude nous pouvons conclure que la mycorhization des espèces étudiées est naturellement établie.

En réponse aux questions citées en introduction, nous pouvons résumer les principales observations comme suit :

- L'endomycorhize à vésicules et à arbuscules, est le type de mycorhize observé chez les quatre espèces étudiées. Les mêmes structures fongiques sont observées au microscope photonique chez les fragments racinaires traités. Des endophytes sont également observés chez la plupart des fragments racinaires étudiés. Des structures semblables aux ecto-endomycorhizes ont été signalées pour la première fois lors de notre travail dans les racines de *P. terebinthus* échantillonnées dans la forêt de Guetia dans des échantillons prélevés au printemps. Ceci nous interpelle afin d'envisager une étude plus approfondie sur un échantillonnage plus large afin de confirmer nos observations ;
- La fréquence de mycorhization s'est montrée importante (plus de 60%) atteignant les 100% chez *Pistacia atlantica* en milieu aride, indépendamment de l'espèce, la saison ou de la station (différentes conditions édapho-climatiques). Ce qui permet de déduire la grande affinité entre ces champignons et les espèces du genre *Pistacia* ;
- Pour *P. atlantica*, les stations les plus arides sont plus favorables à l'établissement de cette symbiose. Mais aucun effet de saison n'est signalé, on enregistre des taux élevés de cette colonisation au printemps.

La connaissance des phénomènes éco-physiologiques qui régissent la symbiose mycorhizienne chez nos espèces serait louable surtout pour *P. atlantica* et *P. terebinthus*, ouvrant ainsi des possibilités de réintroduction de ces deux espèces dans les reboisements et plantations du barrage vert, qui connaît, actuellement, un regain d'intérêt de la part des décideurs afin d'apporter des corrections sur la politique de la monoculture conduite depuis les années 70,

notamment dans la région des hauts plateaux steppiques. En effet, l'utilisation d'espèces arborescentes et arbustives, peu exigeantes et capables de se développer dans des conditions d'aridité extrême et de marginalité absolue des sols peut représenter une solution significative au problème de la désertification.

Quant à la biodiversité sporale, à partir des critères taxonomiques, les plus couramment utilisés, et qui sont basés essentiellement sur les caractères morphologiques de la spore, on a pu isolé et identifié quelques genres et espèces, une tentative de classification globale a été effectuée mais qui reste insuffisante. Il est à signaler qu'aucune espèce n'a fait l'objet d'une identification complète. Pour ce faire, l'utilisation des techniques moléculaires d'identification des espèces des CMA, comme complément à l'outil morphologique, est souhaitée afin de procéder à l'isolement des souches les plus performantes dans le but de leur utilisation, à grande échelle, pour la mycorhization des jeunes pistachiers à planter dans les zones favorables pour le reboisement du barrage vert.

Au terme de cette étude et comme perspective, il est intéressant de retenir que :

- i) Des recherches supplémentaires avec l'amplification de la zone d'étude semblent nécessaires pour mieux voir les effets de la saisonnalité, des bioclimats et les autres facteurs édaphiques sur le taux de l'infection mycorhizienne ;
- ii) Vu le rôle écologique de *P. atlantica*, il est important de la réimplantation de cette espèce indigène tolérante à la sécheresse dans les écosystèmes méditerranéens, il a été proposé pour accélérer les successions naturelles et ré-établir le couvert végétal fonctionnel constitué d'espèces arbustives ;
- iii) Vu le rôle économique de *P. vera*, il serait très intéressant d'isoler et de sélectionner les souches de champignons mycorhiziens responsables de l'amélioration de la nutrition phosphatée et azotée de cette espèce dans les sols pauvres des milieux arides et semi-arides.

---

# **Références bibliographiques**

---

1. **Aafi, A. 2003.** Richesse et diversité floristique du Parc National de Talassemtane. Revue du Muséum d'Histoire Naturelle de Marrakech. *Naturalia Maroccana*. 1: 45-48.
2. **Abbas, Y. 1998.** Mycorhizes à arbuscules de zones arides : biodiversité et rôle dans la tolérance du trèfle (*Trifolium alexandrinum*) au stress salin. Thèse de 3ème cycle, Université Cadi Ayyad, 112 p.
3. **Abbas, Y., Bakkali Yakhlef, S.E., Prin, Y., Arahou, M., Duponnois, R. and Abourouh, M. 2013.** Growth and nutrition of *Tetraclinis articulata* (Vahl.) Masters cultivated in different rhizosphere soils collected from *Tetraclinis* stand. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*, 17(1):3-11.
4. **Abdellatef, A.A.H. and Chaoxing, H. 2011.** Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on growth, mineral nutrition, antioxidant enzymes activity and fruit yield of tomato grown under salinity stress. *Scientia Horticulturae*, 127: 228-233.
5. **Abdelouahab, S. 2014.** Contribution à l'étude des caractères physico-chimiques des sols des pinèdes (*Pinus Halepensis*) de la wilaya de Saida. Mémoire de master, Faculté des sciences de la nature et de la vie, département d'écologie et environnement. 83p.
6. **Abdelkrim, H. 1985.** Les dayates (1) du Sud de l'Atlas Saharien (Algérie). Colloques phytosociologiques XIII, Végétation et géomorphologie. Bailleul, Pp 361-371.
7. **Adjoud-Sadadou, D. et Halli-Harrga, R. 2000.** Occurrence of arbuscular mycorrhiza on aged Eucalyptus. *Mycorrhiza*, 9, 287-290. <https://doi.org/10.1007/PL00009993>
8. **AFNOR. 1990.** Granulats, analyse granulométrique par tamisage. Norme.18-560.
9. **Ait Radi, A. 1979.** Multiplication par voie végétative et par semis de *Pistacia atlantica* Desf. Et de *Ailantus altissima*. Thèse Ingénieur. INA El Harrach, 40p.
10. **Ait-Said, S. 2011.** Stratégies adaptatives de deux espèces du genre *Pistacia* (*P. lentiscus* L. et *P. atlantica* Desf) aux conditions d'altitude, de salinité et d'aridité : approches morpho-anatomiques, photochimiques et écophysologiques. Thèse de doctorat d'état. Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, 160p.
11. **Ait-Slimane, L. 2004.** Architecture racinaire et adaptation du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica*) à la sécheresse : cas de la population de Béni-Ounif (Béchar). Mémoire Ing. Agr., Département des Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, 102 p.
12. **Akhtar, M.S. and Siddiqui, Z.A. 2008.** Arbuscular mycorrhizal fungi as potential bioprotectants against plant pathogens. In: Siddiqui ZA, Akhtar MS et Futai K. (eds) *Mycorrhizae: Sustainable agriculture and forestry*. Springer Netherlands, Pp 61-97.
13. **Al-Habbal, M.J., Al-Habbal, Z and Huwez, F.U. 1984.** A double-blind controlled clinical trial of mastic and placebo in the treatment of duodenal ulcer, *J. Clin. Exp. Pharmacol. Physiol*, 11: 19-23.
14. **Al-Saghir, M. G. and Porter, D. M. 2012.** Taxonomic revision of the genus *Pistacia* L. (Anacardiaceae). *American Journal of Plant Sciences*, 3: 12-32.

15. **Al-Saghir, M.G., Porter, D.M. and Nilsen, E.T. 2006.** Leaf anatomy of *Pistacia* species (Anacardiaceae). *J Biol Sci.*, 6: 242-244.
16. **Alyafi, J. 1978.** New characters differentiating *Pistacia atlantica* subspecies. Conservatoire et Jardin botanique de Genève. *Candollea*, 33 (2) : 201-206.
17. **Ames, R.N. and Schneider R.W. 1979.** Entrophospora, a new genus in the endogonaceae. *Mycotaxon*, 8 : 347-352.
18. **Amroune, R. 2013.** Caractérisation de propriétés physiques et chimiques des sols sous pistachier de l'Atlas dans la daya de Timzerth (Wilaya de Laghouat). Mémoire d'ingénieur, Département des Sciences Agronomiques, Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, 102 p
19. **Ananthakrishnan, G., Ravikumar, R., Giriya S. and Ganapathi, A. 2004.** Selection of efficient arbuscular mycorrhizal fungi in the rhizosphere of cashew and their application in the cashew nursery. *Sci. Hort.*, 100: 369-375.
20. **Ansari, S.H., Ali, M., Quadry, J.S., 1993.** Tree new tetracyclic triterpenoids from *Pistacia integerrima* galls. *Pharmazie*, 49 : 356-357.
21. **Aoudjit, H. et Mouissa, H. 1997.** Contribution à l'étude de la propagation végétative du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf). Thèse. Ing. INA. El Harrach-Alger. 61p.
22. **Appoloni, S., Lekberg, Y., Tercek, M.T., Zabinski, C.A., and Redecker, D. 2008.** Molecular community analysis of arbuscular mycorrhizal fungi in roots of geothermal soils in Yellowstone National Park (USA). *Microbial Ecology*, 56 :649-659.
23. **Atkinson, D., Baddeley, J.A., Goicoechea, N., Green, J., Sanchez-Diaz, M. and Watson, C.A. 2002.** Arbuscular mycorrhizal fungi in low input agriculture. En: Gianinazzi S (Ed) *Mycorrhizal Technology in Agriculture*, Birkhauser-Verlag, Pp 211-222.
24. **Aubert, G. 1978.** Méthode d'analyse des sols. C.R.D.P., Marseille, 546p.
25. **Aubert, G. 1983.** Observation sur les caractéristiques, la dénomination et la classification des sols salés ou sals sodiques. *Cash. ORSTOM.ser. ped.*, Vol xxx (1) 73-78.
26. **Azcon-Aguilar, C., Palenzuela, J., Roldan, A., Bautista, S., Vallejo, R. and Barea, J.M. 2003.** Analysis of the mycorrhizal potential in the rhizosphere of representative plant species from desertification-threatened Mediterranean shrublands. *Applied Soil Ecology*,14: 165-175.
27. **Bâ, Y.R., Duponnois, A.M., Prin, E., Baudoin, A., Galiana, est B. et Dreyfus, Ird., 2010.** Laboratoire des Symbioses Tropicales et Méditerranéennes (LSTM). Campus International de Baillarguet. In France (Montpellier), Pp 424-425.
28. **Badri, D.V., Weir T.L., Van der Lelie, D. and Vivanco, J.M. 2009.** Rhizosphere chemical dialogues: plant-microbe interactions. *Current opinion in biotechnology*, 20: 642-50.
29. **Bago, B., Vierheilig, H., Piché, Y., Azcón-Aguilar, C. 1996.** Nitrate depletion and pH changes induced by the extraradical mycelium of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* grown in monoxenic culture. *New Phytologist* 133:273-280.

30. **Bagnouls, F et Gaussen, H. 1953.** Saison sèche et indice xérothermique Bull., Hist., Nat., Toulouse, 88 : 143-239.
31. **Bagyaraj, D.J. 1984.** Biological interactions with VA mycorrhizal fungi. In : VA Mycorrhiza (C.L. Powell, J.B. Bagyaraj, Eds.), CRC Press, Boca Raton, Florida, U.S.A., a. Pp 131-154.
32. **Balzergue, C. 2012.** Régulation de la symbiose endomycorhizienne par le phosphate. Université Toulouse 3 Paul Sabatier (UT3 Paul Sabatier).
33. **Barea JM, Azcón R, Azcón-Aguilar C. 2002.** Mycorrhizosphere interactions to improve plant fitness and soil quality. *Antonie van Leeuwenhoek International Journal of General and Molecular Microbiology* 81, 343–351
34. **Barrow J.R. and Aaltonen R.E., 2001.** Evaluation of the internal colonization of *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt. roots by dark septate fungi and the influence of host physiological activity. In: *Mycorrhiza*, 11(4) : 199-205.
35. **Baytop, T. 1984.** Therapy with medicinal plants in turkey (past and present). 2nd ed. Istanbul: Publications of the Istanbul University, 305p.
36. **Bécard, G. and Fortin, J.A. 1988.** Early events of vesicular-arbuscular mycorrhiza formation on Ri T-DNA transformed roots. *New Phytol.*, 108:211-218.
37. **Beddiar, A. 2003.** Les symbioses racinaires chez les principales essences forestières spontanées ou introduites dans le Nord-Est algérien (Etude particulière de la symbiose quadripartite chez l'Aulne glutineux). Thèse de Doctorat, Université d'Annaba, Algérie.
38. **Behboodi, B.S. and Ghaffari, M. 2005.** Pollen morphology and analysis of Iranian wild pistachio. In : Oliveira M.M. (ed.), Cordeiro V. (ed.). XIII GREMPA Meeting on Almonds and Pistachios . Zaragoza : CIHEAM (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 63). 13. Meeting of the Mediterranean Research Group for Almond and Pistachio, 2003/06/01-05, Mirandela (Portugal), Pp 123-127.
39. **Belhadj, S. 1999.** Pistachio situation in Algeria. *FAO.CIHEAM.NUCIS NEWS LETTER*, 8: 30-30.
40. **Belhadj, S. 2001.** Les pistacheraies algériennes : Etat actuel et dégradation. In Ak B.E. (ed.). 11 GREMPA Seminaire on Pistachios and Almonds, September 01-04, 1999. Sanliurfa, Turkey. *Cahiers options Méditerranéennes*, 56:107-109.
41. **Belhadj, S. 2002.** Geographical distribution of *Pistacia atlantica* DESF. in Algeria. *Acta Hort. (ISHS)*, 591:499-503.
42. **Belhadj, S. 2007.** Etude eco-botanique de *Pistacia atlantica* Desf. (Anacardiaceae) en Algérie, préalable à la conservation des ressources génétiques de l'espèce et à sa valorisation. Thèse de doctorat. Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, 210 p.
43. **Belhadj, S., Derridj A., Moriana, A., Gijon, M.D.C., Mevy, J.P. and Gauquelin, T. 2011.** Comparative analysis of stomatal characters in eight population of Atlas pistachio (*Pistacia atlantica* Desf., Anacardiaceae). *International Research Journal of Plant Science*, 2 (3): 060-069.

44. **Benaradj, A., Bouazza, M. et Boucherit, H. 2015.** Phytodiversity the group to *Pistacia atlantica* Desf. in the Saharan Atlas (Bechar -Algeria). *Energy Procedia*, 74: 258-264.
45. **Benhassaini H., Belkhodja M. 2004.** Le pistachier de l'Atlas en Algérie entre la survie et disparition. *La feuille et l'aiguille*, 54:1-2.
46. **Bellakhdar, J. 1997.** La pharmacopée marocaine traditionnelle. Médecine arabe ancienne et savoirs populaires. IBIS Press, P 764.
47. **Bentaleb, T. 2011.** Caractérisation physique et chimique des sols sous pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) dans la daya de Boucédraia (Wilaya de Djelfa). Mémoire Ing. Agronome, Département des Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, 62p.
48. **Bencherif, k. Boutekrabet, A., fontaine, J., laruelle, F., DALPE, Y., lounes Hadj Sahraoui, A. 2008.** Impact of soil salinity on arbuscular mycorrhizal fungi biodiversity and microflora biomass associated with *Tamarix arculata* Vall. rhizosphere in arid and semiarid in Algeria areas. *Science of Total Environment*.488P.
49. **Béreau, M., Louisanna, É., Grandcourt, A., et Garbaye, J. 2003.** Symbiose mycorrhizienne et nutrition minérale *Rev. For. Fr.* LV - numéro spécial.
50. **Berendsen, R.L., Pieterse, C.M.J. and Bakker, P.A.H.M. 2012.** The rhizosphere microbiome and plant health. *Trends in plant science*, P 19.
51. **Berrichi, M. Chilh M. Haddad A. Allam F. Gueffar M. Belkhodja Y. 2007.** Quelques aspects histo-morphologiques du Pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) dans le nord occidental de l'atlas tellien (Tlemcen-Algérie). *Algerian journal of arid environment*, 7(1) : 111-121.
52. **Bever, J.D., Westover, K.M. & Antonovics, J. 1997.** Incorporating the soil community into plant population dynamics: the utility of the feedback approach. *Journal of Ecology*, 85: 561-573.
53. **Birhane, E., Sterck, F.J., Fetene, M., Bongers, F. and Kuyper, T.W. 2012.** Arbuscular mycorrhizal fungi enhance photosynthesis, water use efficiency, and growth of frankincense seedlings under pulsed water availability conditions. *Oecologia*, 169: 895-904.
54. **Blal, B. 1989.** Les endomycorhizes VA chez le palmier à huile (*Elaeis guineensis* jacq.): Rôle dans la régulation de la croissance et dans la nutrition minérale des jeunes plants de clones micropropagés. Thèse de Doctorat, Univ. de Bourgogne, Dijon.
55. **Bohrer, K., Friese, C.F. and Amon, J.P. 2004.** Seasonal Dynamics of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Differing Wetland Habitats. *Mycorrhiza*, 14(5):329-337.
56. **Bolinder et al. 1999.** In: Caravaca, F. ; Barea , J.M. ; Figuerola, D. and Roldán, A. **2002.** Assessing the effectiveness of mycorrhizal inoculation and soil compost addition for enhancing reforestation with *Olea europaea* subsp. *sylvestris* through changes in soil biological and physical parameters. *Applied Soil Ecology*, 20 : 107-118.
57. **Bonfante, P. and Genre, A. 2010.** Mechanisms underlying beneficial plant-fungus interactions in mycorrhizal symbiosis. *Nature communications*, 1(4):48.

58. **Bouabdelli, Z., Belhadj, S., Smail Saadoun, N., Mevy J.P., Notonnier, R., Tonetto, A., Ortas, B. et Gauquelin, T. 2018.** Influence de l'aridité sur la variation de la colonisation mycorhizienne arbusculaire chez cinq populations naturelles du Pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.). Revue d'Ecologie (Terre et Vie), 73 (3). 330-344.
59. **Boubrima, A.** Diversité architecturale du système racinaire du pistachier de l'Atlas en fonction du sol sous-jacent dans deux dayas de la région de Laghouat (Algérie) : dayate Saadi, Hassi Delaà et dayate Aiat, Timzerth, mémoire de magistère, Université Amar Telidji Laghouat, 224p.
60. **Boullard, B. 1990.** Guerre et paix dans le règne végétal. Edition marketing, p. 336.
61. **Boukeloua, A. 2009.** Caractérisation botanique et chimique et évaluation pharmacotoxicologique d'une préparation topique à base de l'huile de *Pistacia lentiscus* L. (Anacardiaceae), Mémoire de magister, département de biologie et écologie. Université de Mantouri, Constantine, 79p.
62. **Bournine, K. 2007.** Contribution à l'étude des sols rhizosphériques et non rhizosphériques sous le pistachier de l'Atlas dans la région de Ain-Ouassara (Wilaya de Djelfa) et Béni-Ounif (Wilaya de Béchar). Mémoire Ing. Agronome, Département des Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, 96p.
63. **Bounceur, D. 2009.** Contribution à l'étude de caractéristiques physiques et chimiques des sols sous pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf. Sub-sp *atlantica*) : cas de la daya de Tilrhemt (Wilaya de Laghouat). Mémoire Ing. Agronome, Département des Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, 85p.
64. **Boudy, P. 1952.** Guide du forestier en Afrique du nord. La maison rustique. PARIS, Pp.195-196.
65. **Bozorgi, M., Memariani, Z., Mobli, M., Hossein, M., Surmaghi, S., Shams-ardekani, M. R., and Rahimi, R. 2013.** *P. khinjuk* and *P. lentiscus*, A review of their traditional uses, phytochemistry and pharmacology, The Scientific World Journal, Pp 1-33.
66. **Brundrett, M. 1991.** Mycorrhizas in natural ecosystems. Adv. Ecol. Res., 21: 171-313.
67. **Bryla, D.R. and Duniway, J.M. 1997.** Effects of mycorrhizal infection on drought tolerance and recovery in safflower and wheat. Plant. Soil, 197: 95-103.
68. **Brundrett, M.C. and B. Kendrick. 1990.** The roots and mycorrhizas of herbaceous woodland plants I. Quantitative aspects of morphology. New Phytol., 14: 457-468.
69. **Buée, M., Rossignol, M., Jauneau, A., Ranjeva, R. and Bécard, G. 2000.** The pre-symbiotic growth of arbuscular mycorrhizal fungi is induced by a branching factor partially purified from plant root exudates. Molecular plant-microbe interactions : MPMI 13: 693-8.
70. **Callot, G., Chamayou, H., Mariens, C. et Salsac, L. 1983.** Les interactions sol-racines, incidence sur la nutrition minérale. I.N.R.A., 338 p.
71. **Calvente, R. 2003.** Inoculación de hongos micorrizicos en variedades comerciales del olivo (*Olea europea* L.): efectos sobre el crecimiento, nutrición e inducción de enzimas

- hidrolíticas relacionadas con el establecimiento de la simbiosis y/o protección frente a enfermedades. Tesis Doctoral. Universidad de Granada.
72. **Camefort, H. 1977.** Morphologie des végétaux vasculaires. 2<sup>ème</sup> édition. Doin-Paris Bp 60.
73. **Campagnac, E., Lounès-Hadj Sahraoui, A., Debiane, D., Fontaine, J., Laruelle, F., Garçon, G., Verdin, A., Durand, R., Shirali, P., and Grandmougin-Ferjani, A. 2010.** Arbuscular mycorrhiza partially protect chicory roots against oxidative stress induced by two fungicides, fenpropimorph and fenhexamid. *Mycorrhiza*, 20: 167-178.
74. **Caputo, R., Mangoni, L., Monaco, P. and Palumbo, G. 1975.** Triterpenes of galls of *Pistacia terebinthus*: Galls produced by *Pemphigus utricularius*. *Phytochemistry*, 14: 809-811.
75. **Caravaca, F., Barea, J. M., Figuerola, D., Roldán, A. 2002.** Assessing the effectiveness of mycorrhizal inoculation and soil compost addition for enhancing reforestation with *Olea europaea* subsp. *sylvestris* through changes in soil biological and physical parameters. *Appl. Soil Ecol.* 20, 107-118.
76. **Castro-Diéz, P., Villar-Salvador, P., Pérez-Rontomé, C., Maestro-Martínez, M and Montserrat-Martí, G. 1998.** Leaf morphology, leaf chemical composition and stem xylem characteristics in two *Pistacia* (Anacardiaceae) species along a climatic gradient. *Flora*, 193: 195-202.
77. **Chaudhary, V.B., Lau, M.K. and Johnson, N.C. 2008.** Macroecology of Microbes Biogeography of the Glomeromycota. Varma A. (ed.). *Mycorrhiza*, Pp 529-561.
78. **Chebouti-Meziou, N., Boukeroui N., Doumandji S.E. 2011.** Entomofaune du pistachier (*Pistacia*) dans la Mitidja, 3p.
79. **Chibane, B., Boutaleb, A. et Lacroix, M. 2010.** Etude hydrochimique et Approche Isotopique en Région semi-aride : cas du Synclinal de Djelfa (Algérie). *European Journal of Scientific Research* ISSN 1450-216X, 45(2) : 270-290.
80. **Chief, R. 1982.** Les plantes médicinales. ED. Solor, Pp. 2276-2277.
81. **Clarkson, D.T. 1985.** Factors affecting mineral acquisition by plants. *Annual Review of Plant Physiology*, 36:77-115.
82. **Dai, F., Su, Z., Liu, S. and Liu, G. 2011.** Temporal variation of soil organic matter content and potential determinants in Tibet, China. *Catena*, 85: 288-294.
83. **Dal, F. 2012.** conseiller viticole – SICAVAC Didier BARROUILLET, vigneron à Pouillé (41).
84. **Dalpe, Y. 2006.** Biodiversité d'Agriculture et agroalimentaire. Canada (Québec vert), Pp 8 - 9.
85. **Daniell, T.J., Husband, R., Fitter, A.H., and Young, J.P.W. 2001.** Molecular diversity of arbuscular mycorrhizal fungi colonising arable crops. *FEMS Microbiology Ecology*, 36: 203-209.
86. **Daneshrad, A. and Ayanehchi, Y. 1980.** Chemical Studies of the oil *Pistacia* nuts Growing Wild in Iran. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 57: 248-249.

87. **Daoud, Y. 1993.** Contribution à l'étude des sols des plaies de Cheliff, le phénomène de salinisation, conséquences sur les propriétés physiques des sols argileux. Thèse doctorat d'état. INRA. Alger, 193p.
88. **Debiane, D., Garçon, G., Verdin, A., Fontaine, J., Durand, R., Grandmougin-Ferjani, A., Shirali, P. and Sahraoui, A.L.-H. 2008.** In vitro evaluation of the oxidative stress and genotoxic potentials of anthracene on mycorrhizal chicory roots. *Environmental and Experimental Botany*, 64: 120-127.
89. **Debiane, D., Garçon, G., Verdin, A., Fontaine, J., Durand, R., Shirali, P., Grandmougin Ferjani, A. and Lounès-Hadj Sahraoui, A. 2009.** Mycorrhization alleviates benzo[a]pyreneinduced oxidative stress in an in vitro chicory root model. *Phytochemistry*, 70: 1421-1427.
90. **Dechamplain, N. et Gosselin, L. 2002.** Les champignons mycorrhiziens Université Laval.
91. **Deguiche, M. 2008.** Caractérisation des sols sous pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) : cas de la daya de Timzerth (Wilaya de Laghouat). Mémoire Ing. Agro., Département des Sciences Agronomiques, Université Mouloud Maamri de Tizi-Ouzou, 88p.
92. **Delaunoy, A., Hérody, Y. and Robert J.P. 2006.** La méthode Hérody. Méthode d'étude agronomique des sols mise au point par le BRDA Hérody. Application au département du Tarn. Chambre d'Agriculture du Tarn, Bureau de Recherche sur le Développement Agricole, 42p.
93. **Delaux, P.M. (2011).** Rôles des strigolactones et évolution des compétences mycorrhiziennes dans la lignée verte. In biosciences végétales. Thèse doctorat : Université Toulouse III. France. 25-29 p.
94. **De Martonne E. 1926.** une nouvelle fonction climatologie : l'indice d'aridité. *La météo*, Pp : 449-459.
95. **Demars, B.D., and Broener, R.E.J. 1995.** A simple method for observing VAM with suggestions for designing class activities. *J. of Biological Education*. 29 (3): 209-214.
96. **DGF, 2015.** Direction générale des forêts (W. Médéa).
97. **Díaz, G. and Honrubia, M. 1993.** Arbuscular mycorrhiza on *Tetraclinis articulata* (Cupressaceae) : development of mycorrhizal colonization and effect of fertilization and inoculation. *Agronomie*, 13 : 267-274.
98. **Diem, H.G., Gueye, I., Gianinazzi-Pearson, V., Fortin, J.A. and Dommergues, Y.R. 1981.** Ecology of VA mycorrhizae in the tropics: The semi-arid zone of Senegal. *Acta Oecologica / Oecologia Plantarum*, 16: 53-62.
99. **Dikson, S. 2004.** The Arum-Paris continuum of mycorrhizal symbioses. *New Phytologist*. 163: 187-200.
100. **Ditengou, F.A. 2000.** Mise en évidence de l'antagonisme hypaphorine / AJA lors du développement de l'ectomycorrhize *Pisolithus tinctorius* - *Eucalyptus globulus*. INRA UMR 136 INRA-UHP, "Interactions Arbres/Micro-Organismes Centre INRA de Nancy, F -54289 Champenoux.

101. **Djebaili, S. (1984)** Steppes algériennes, phytosociologie et écologie. OPU, Alger, 171 p.
102. **Djenidi, H. 2012.** Etude du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.): essais de germination, extraction des polyphénols et activité antimicrobienne. Magistère en Biologie. Département des Sciences de la Nature et de la Vie .Université Mohamed KHEIDER. Biskra, 52p.
103. **Dobignard, A. et Chatelain, C. 2013.** Éditions des conservatoire et jardin botaniques, Genève, Index synonymique de la flore d'Afrique du nord, 451p.
104. **Dodd, J.C., Rosendhal, S., Giovannetti, M., Broome, A., Lanfranco, L. and Walker, C. 1996.** Inter- and intraspecific variation within the morphologically similar arbuscular mycorrhizal fungi *Glomus mosseae* and *Glomus coronatum*. New Phytol., 133 : 113-122.
105. **Doghbage, A. 2011.** Contribution à l'étude de la variabilité des caractères foliaires et stomatiques de quatre espèces du genre *Pistacia* en Algérie. Mémoire de Magister. Département des Sciences Agronomiques. Université de Djelfa, 153p.
106. **D.P.A.T. 2002.** Direction de planification et aménagement de territoire "La Wilaya en quelque chiffre", Djelfa.
107. **Driai, S. 2016.** Impact des polluants d'origine industrielle sur le développement des champignons mycorrhiziens à arbuscules, sur leur diversité et sur la viabilité microbienne des sols des agro-écosystèmes du Nord-est algérien. Thèse de Doctorat. Département de Biologie, Laboratoire de Biologie Végétale et Environnement. Université d'Annaba, 137p.
108. **Drénou, C. 2006.** Les racines, faces cachées des arbres. Institut pour le développement forestier CNPPF, Ed : Paris, P 29 p.
109. **Duhoux, E. et Nicole, N. 2004.** Association et interaction chez les plantes .IRD Edition, Pp : 56-59.
110. **Dupont, J. 2010 .** Les champignons endophytes, un vaste univers à découvrir.
111. **Egli, S., et Brunner, I. 2002.** Les mycorhizes Une fascinante biocénose en forêt. WSL Birmensdorf, Pp: 1-8.
112. **El-Oqlah, A.A. 1996.** Biosystematic research on the genus *Pistacia* in Jordan In: Taxonomy, distribution, conservation and uses of *Pistacia* genetic resources. Proceedings of the IPGRI Workshop 29-30 June 1995. Edited by S. Padulosi, T. Caruso and E. Barone. Palermo, Italy, Pp: 12-19.
113. **Emberger, L. 1952.** Sur le quotient pluviothermique .C.R.Sci. N° 234. Paris, Pp : 2508-2511.
114. **Elna, S., Eva, D. et Unestam. T. 1997.** Le rôle des mycorhizes dans la protection des arbres forestiers contre les agents pathogènes du sol, 124p.
115. **Escudero, V.G. and Mendoza, R.E. 2005.** Seasonal variation of arbuscular mycorrhizal fungi in temperate grasslands along a wide hydrologic gradient. Mycorrhiza, 15: 291-299.
116. **Estaun, V., Calvet , C. and Camprubi, A. 1990.** Vesicular-arbuscular mycorrhizae on *Pistacia* sp. *Symbiosis*, 9: 309-313.

117. **Evreinoff, V.A. 1955.** Etude pomologique sur le Pistachier. Bull. Soc. His. Nat. Toulouse. T.90, fasc. 3-4, Pp. 303-326.
118. **Fallahyan, F., Abbaspour, H., Fahimi, H. and Khavarinejad, R.A. 2006.** Influence of mycorrhizal fungi (VA) inoculation and different levels of phosphorus on vegetative features of pistachio seedling and uptake of P, K, Ca, Mg and Zn, Pajouhesh & Sazandegi. 78: 48-56.
119. **Fasihi Harandi, O. and Ghaffari, S.M. 2001.** Chromosome studies on pistachio (*Pistacia vera* L.) from Iran. *Cahiers Options Méditerranéennes*, 56 : 35-40.
120. **Feidemann, J. 2005.** World Spices Plants: Economic Usage, Botany, Taxonomy Springer Verlag, Berlin Heidelberg, European Union, p 196.
121. **Fernandez, D.P., Neff, J.C. and Reynolds, R.L. 2008.** Biogeochemical and ecological impacts of livestock grazing in semi-arid southeastern Utah, USA. *Journal of Arid Environments*, 72: 777-791.
122. **Ferrol, N., Calvente, R., Cano, C., Barea, J.M. and Azcón-Aguilar, C. 2003.** Analysing arbuscular mycorrhizal fungal diversity in shrub-associated resource islands from a desertification threatened semiarid Mediterranean ecosystem. *Applied Soil Ecology*, 25: 123-133.
123. **Fiore-Donno, A.M. 2001.** Etude de biodiversité microbiologique forestière : variations annuelles et spatiales de la structuration génétique d'espèces choisies de champignons ectomycorhiziens. Thèse de doctorat, Université Henri Poincaré (Nancy 1), FRA, Université de Lausanne, CHE), 154 p.
124. **Firmin, S., Labidi, S., Fontaine, J., Laruelle, F., Tisserant, B., Nsanganwimana, F., Pourrut, B., Dalpé, Y., Grandmougin, A., Douay, F. Shirali, P., Verdin, A. and Lounès-Hadj Sahraoui A. 2015.** Arbuscular mycorrhizal fungal inoculation protects *Miscanthus* × *giganteus* against trace element toxicity in a highly metal-contaminated site. *Science of The Total Environment*, 527-528, 91-99.
125. **Fortin, JA, Plenchette, C and Piché, Y. 2008.** Les mycorhizes La nouvelle révolution verte. MultiMondes. Québec, Canada, 129p.
126. **Frank, A.B. 1877.** Über die biologischen Verhältnisse des Thallus einiger Krustenflechten. *Beiträge zur Biologie der Pflanzen*, 2: 123-200.
127. **Freire, F.C.O. and bezerra, J.L. 2001.** Foliar endophytic fungi associated with palms. *Mycil Res study. Summa Phyopathol*, 27(3): 304-308.
128. **Gallaud, I. 1905.** Études sur les mycorhizes endotrophes. *Rev. Gen. Bot.*, 17: 1-500.
129. **Garbaye, J. 2013.** Synthèse la symbiose mycorhizienne. Une association entre les plantes et champignons. Ed : Quae (Paris), Pp : 12-15.
130. **Gardes, M., Biallet, E., Binet, E., Brousseau, C., Carré, F., Charcosset, J-Y, Fradet, N., Griffith, P., Gryta, H., Laquerbe, M., Martinez, C. et Millot, S. 2003.** Les symbiotes mycorhiziens du peuplier noir (*Populus nigra* L.) : la spécificité des assemblages fongiques en milieu riverain. *Les Actes du BRG*, 4 : 453-466.

131. **Gaussen, H., Leroy, J.F. et Ozenda, P. 1982.** Précis de Botanique, 2-Les végétaux supérieur, P 579.
132. **Gerdemann, J.W. and Nicolson, T.H. 1963.** Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. Transactions of the British Mycological Society, 46: 235-244.
133. **Gerdemann, J.W. and Trappe, J.M. 1974.** The Endogonaceae in the Pacific Northwest. Mycologia memoir n°5, The Mycological Society of America, 76 p.
134. **Ghaffari, S.M., Behboodi, B.Sh. and Shabazz, M. 2005.** Chromosome variation in *Pistacia* genus. Ciheam Mediterraneennes, Séminaires Méditerranéens, 63 :347- 354.
135. **Ghalem, B.R and Mohamed, B. 2009.** Bactericidal activity of *Pistacia atlantica*. Desf. mastic gum against certain pathogens. Afr. J. Plant Sci., 3(1): 13-15.
136. **Ghorbel, A., Ben Salem-Fnayou, A., Chatibi, A. and Twey, M. 2001.** Genetic resources of *Pistacia* in Tunisia. In: *Pistacia: Towards a comprehensive documentation and use of Pistacia genetic diversity in Central and West Asia, North Africa and Europe.* Report of the IPGRI Workshop 14-17 December 1998. Edited by S. Padulosi and A. Hadj-Hassan Irbid, Jordan, Pp. 62-71.
137. **Gianinazzi-pearson, V. and Diem, H.G. 1982.** Endomycorrhizae in the tropics. In : *Microbiology of Tropical Soils and Plant Productivity* (Dommergues Y.R. and Diem H.G. Eds), Martinus Nijhoff / Dr Junk W. Publishers. The Hague Boston London. Pp : 209-251.
138. **Giner-Larza, E.M., Manez, S., Giner-Pons, R.M., Recio, M.C., Prieto, J.M., Cerda-Nicolas, M. 2002:** Anti-inflammatory triterpenes from *Pistacia terebinthus* galls. *Planta Medica*, 68. 311-315.
139. **Giovanetti, M. and Gianinazzi-Pearson, V. 1994.** Biodiversity in arbuscular mycorrhizal fungi. *Mycol. Res.*, 98 : 705-715.
140. **Giovanetti, M. 1985.** Seasonal variations of vesicular-arbuscular mycorrhizas and endogonaceous spores in a maritime sand dune. *Trans. Br. Mycol. Soc.*, 84: 679-684.
141. **Giri, B., Kapoor, R. and Mukerji, K. 2007.** Improved tolerance of *Acacia nilotica* to salt stress by arbuscular mycorrhiza, *Glomus fasciculatum* may be partly related to elevated K/Na ratios in root and shoot tissues. *Microbial Ecology*. 54: 753-760.
142. **Gobat, J.M., Arago, M. and Matthey, W. 2003.** Le sol vivant. Bases de pédologie, biologie des sols. 2<sup>ème</sup> Edition Presses Polytechniques et Universitaire Romandes, Lausanne, 519p.
143. **Grundwag, M. 1976.** Embryology and fruit development in four species of *Pistacia* L. (Anacardiaceae), *Bot.j. Linn, SOC*, 73:355-370.
144. **Gupta, R. and Krishnamerthy, K.V. 1996.** Response of mycorrhizal and non mycorrhizal *Arachis hypogaea* to NaCl and acid stress. *Mycorrhiza*, 6: 145-149.
145. **Gui, M. and Nobel, P. 1992.** Nutrient status, water uptake and gaz exchange for three desert succulents infected with mycorrhizal fungi. *New Phytol.*, 122: 643-649.

146. **Hadj Brahim, I., Kerdouch, M. et Elrais, R. 1998.** Le pistachier et ses différentes techniques (document en arabe). ACSAD. Administration des études botaniques, 59 : 356.
147. **Halitim, A. 1988.** Sols des régions arides d'Algérie. OPU, Alger, 384 p.
148. **Hall, I.R. 1977.** Species and mycorrhizal infections of New Zealand Endogonaceae. Trans Brit Mycol. Res., Pp341-356.
149. **Hamitouche, F. 2016.** Influence des propriétés physico-chimiques du sol sur l'architecture racinaire de *Pistacia atlantica* Desf. de Dayate El Gouffâ, Commune Ain Madhi, W. Laghouat. Mémoire de magistère, Département des Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, 116p.
150. **Hampp, R. and Wingler, A. 1997.** The role of mycorrhiza. A molecular approach to primary metabolism in higher plants. In: C Foyer and WP Quick. Eds, Taylor & Francis, London, Pp 275-292.
151. **Harley, J.L. 1989.** The significance of mycorrhiza. *Mycological Research* 92: 129-139.
152. **Harrison, M.J. and van Buuren, M.L. 1995.** A phosphate transporter from the mycorrhizal fungus *Glomus versiforme*. *Nature*, 378: 626-9.
153. **Haselwandter, K. and Read, D.J. 1980.** Fungal association of root of dominant and sub-dominant plants in high Alpinic vegetation systems with special reference to mycorrhiza. *Oecol.*, 45: 57-62.
154. **Hatimi, A. and Tahrouch, S. 2007.** Caractérisation chimique, botanique et microbiologique du sol des dunes littorales du Souss- Massa. *Biomatec Echo.*, 2(5): 85-97.
155. **Hawkins, H.J., Johansen, A. and George, E. 2000.** Uptake and transport of organic and inorganic nitrogen by arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant and Soil* 226:275-285.
156. **He, X.H., Critchley, C. and Bledsoe, C. 2003.** Nitrogen transfer within and between plants through common mycorrhizal networks (CMNs). *Critical Reviews in Plant Sciences* 22:531-567.
157. **Hernández, W. and Salas, E. 2009.** La inoculación con *Glomus fasciculatum* en el crecimiento de cuatro especies forestales en vivero y campo. *Agronomía Costarricense*, 33(1) :17-30.
158. **Herrera, C. M., and P. Bazaga. 1993.** Epigenetic correlates of plant phenotypic plasticity: DNA methylation differs between prickly and nonprickly leaves in heterophyllous *Ilex aquifolium* (Aquifoliaceae) trees. *Botanical Journal of the Linnean Society* 171, 441-452.
159. **Hiltner, L. 1904.** Über neuere Erfahrungen und Probleme auf dem Gebiete der Bodenbakteriologie unter besonderer Berücksichtigung der Gründüngung und Brache. Pp : 69-78.
160. **Hodge, A., Campbell, C.D. and Fitter, A.H. 2001.** An arbuscular mycorrhizal fungus accelerates decomposition and acquires nitrogen directly from organic material. *Nature* 413:297-299.

161. **Hormaza, J.I., Dollo, L. and Polito, V.S. 1994.** Determination of relatedness and geographical movements of *Pistacia vera* L. (Pistachio; Anacardiaceae) germplasm by RAPD analysis. *Economic Botany*, 48: 349-358.
162. **Jassac, S. 1992.** Fungal-Plant Interactions. Chapman and Hall Eds, London, 418p.
163. **INVAM** (International Culture Collection of Arbuscular and Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungi) [http://invam.caf.wvu.edu/Myc\\_Info/Taxonomy/species.htm](http://invam.caf.wvu.edu/Myc_Info/Taxonomy/species.htm).
164. **Jafri, S.M.H. and El-Gadi, A. 1978.** Flora of Lybia. Anacardiaceae, 52: 1-12.
165. **Janos, D.P. 1980.** Mycorrhizae influence tropical succession. *Biotropica*, 12 : 56-64.
166. **Jany, J.L. 2002.** Le champignon ectomycorhizien *Cenococcum geophilum* Fr. dans les hêtraies lorraines: structure génétique des populations et rôle dans la résistance à la sécheresse des racines superficielles du hêtre Unité Mixte de Recherche 1136 INRA-Nancy I Université Henri Poincaré «Interactions Arbres I Micro-Organismes».
167. **Johansen, A., Jakobsen, I., Jensen, E.S. 1993.** Hyphal transport by a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus of N applied to the soil as ammonium or nitrate. *Biology and Fertility of Soils* 16:66-70.
168. **Johansen, A., Finlay, R.D. and Olsson, P.A. 1996.** Nitrogen metabolism of external hyphae of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices*. *New Phytologist* 133:705-712.
169. **Johnson, G. I., Mead, A. J., Cooke, A. W. and Dean, J. R. 1992.** Mango stem end rot pathogens Fruit infection by endophytic colonisation of inflorescence and pedicel. *Annu. Appl. Biol.*, 120 :225 - 234.
170. **Judd, W. S., Campbel, C. S., Kellogge, A. et Stevens, P. 2002.** Botanique systématique. Edit. De Boeck, 467 p.
171. **Jumpponen, A. 2001.** Dark Septate Endophyte-are they Mycorrhizal ? *Mycorrhizal*, 11 : 207-211.
172. **Jumpponen, A. and Trappe, J.M., 1998.** Dark-septate root endophytes: a review with special reference to facultative biotrophic symbiosis. *New Phytol.*, 140: 295-310.
173. **Kadi-Bennane, S., Ait Said S. and Smail Saadoun N. 2005.** Adaptation study of three *Pistacia atlantica* Desf. ssp. *Atlantica* populations (Ain-Ouessara-Messaad-Taissa) through stomatal complex, *Options Méditerranéennes: Séminaires Méditerranéens*, 63 : 365-368.
174. **Kafkas, S. and Ortas, I. 2009.** Various mycorrhizal fungi enhance dry weights, P and Zn uptake of four *Pistacia* species. *J. Plant Nutr.* 32:146-159p.
175. **Kafkas, S., Kaska, N., Perl-Treves, R., Gucluturk,, H., Karaca S. and Cetiner, M. S. 2001.** Monoecious *P. atlantica* trees in the Yunt Mountains of Manisa province of Turkey. 11ème colloque du GREMPA sur le pistachier et l'amandier Zaragoza. *Cahiers options Méditerranéennes* 56 : 416p.
176. **Kannadan S, Rudgers JA, 2008.** Endophyte symbiosis benefits a rare grass under low water availability. *Functional Ecology* 22: 706-713

177. **Kaplan, J.O., Krumhardt, K.M. and Zimmermann, N.E. 2012.** The effects of land use and climate change on the carbon cycle of Europe over the past 500 years. *Global Change Biology* 18: 902-914. doi:10.1111/j.1365-2486.2011.02580.x
178. **Karabaghli, C., Sotta, B. et Gay G. 1997.** Hormones fongiques, ectomycorhizes et rhizogénèse. Champignons et mycorhizes en forêt. *Revue Forestière Française* numéro special 1997:110-120.
179. **Kaska N., 1994.** Choice and breeding of *Pistacia* root stocks. CIHEAM. FAO. Cours approfondi- Production et économie des fruits secs. Reus (Tarragona). P. 8.
180. **Kawashty, S. A., Mosharrata, S.A.M., El-Gibali, M., Saleh, N.A.M., 2000.** The flavonoids of four *Pistacia* species in Egypt. *Biochemical Systematics and Ecology*, 28: 915-917.
181. **Kebaili, C. 2009.** Contribution à l'étude des écosystèmes de la zone de Ain Skhouna (w. Saïda) et de ses incidences sur l'évolution de Leishmaniose Cutanée. Mém. Ing. Etat en Agronomie, Univ. Mostaganem, 87 p.
182. **Kebei, S. 2008.** Approche de l'architecture racinaire et adaptation du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) cas de daya de Tirlhemt (Wilaya de Laghouat). Mémoire Ing. Agronome, Département des Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, 116p.
183. **Khaldi, A. and Khoudja, M.K. 1996.** Atlas pistachio (*Pistacia atlantica* Desf.) in North Africa: taxonomy, geographical distribution, utilization and conservation. In: Taxonomy, distribution, conservation and uses of *Pistacia* genetic resources. Proceedings of the IPGRI Workshop 29-30 June 1995. Edited by S. Padulosi, T. Caruso and E. Barone. Palermo, Italy, Pp : 57-62.
184. **Kherfane, 2014.** Les outils de gestion de l'espace et la réalité du développement urbain non maîtrisé "approche géomatique" (cas de la Ville de Djelfa). Université Hadj Lakhda, P 174.
185. **König, C. 2012.** Anatomie végétale au microscope. Futura Sciences. 32 p.
186. **Koske, R.E. and Tessier, B. 1983.** A convenient permanent slide mounting medium, *Mycological Society of America Newsletter*, Pp: 34-59.
187. **Krishna, K.R. 2005.** Mycorrhizas: A molecular analysis. Science publisher, Inc.
188. **Krishna, K.R. and Bagyaraj, D.J. 1984.** Phenols in mycorrhizal roots of *Arachis hypogea*; *Experientia*, 40: 85-86.
189. **Kusmenoglu. S., Baser, K.H.C. and Özek, T. 1995.** Constituents of the essential oil from the hulls of *Pistacia vera* L. *Journal of Essential Oil Research*, Pp 744-442.
190. **Lambers, H., Raven, J.A., Shaver, G.R. and Smith, S.E. 2008.** Plant nutrient-acquisition strategies change with soil age. *Trends in Ecology & Evolution*, 23: 95-103.
191. **Lambers, H., Mougel, C., Jaillarrd, B. et Hinsinger, P. 2009.** Plant-microbe-soil interactions in the rhizosphere: an evolutionary perspective. *Plant Soil*. 321: 83-115.
192. **Labidi, S., Calonne, M., Ben Jeddi, F., Debiane, D., Rezgui, S., Laruelle, F., Tisserant, B., Grandmougin-Ferjani, A., and Sahraoui, A.L.-H. 2011.** Calcareous

- impact on arbuscular mycorrhizal fungus development and on lipid peroxidation in monoxenic roots, *Phytochemistry*, 72: 2335–2341.
193. **Lagha, L. 1993.** Contribution à l'étude de la biologie de la reproduction chez le pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.). Thèse d'Ingénieur Agronome. INA-Alger, 101p.
194. **Lanfranchi, F.r., Bui, T. M. et Girard M. 1999.** La fabrication d'huile de Lentisque (listincu ou Chessa) en Sardaigne. *JATBA, Revue d'ethnobiologie*, 41 (2): 81-100.
195. **Lecompte, F., Ozier-Lafontaine, H. and Pagès, L. 2001.** The relationships between static and dynamic variables in the description of root growth. Consequences for field interpretation of rooting variability. *Plant Soil*, 236:19-31.
196. **Lemaistre, J. 2000.** Etude bibliographique du pistachie, Pp : 12-15.
197. **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, Département des Sciences Agronomiques, Faculté des Sciences biologiques et des Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Pp.78-127.
198. **Lieutaghi, P. 2004.** Le livre des arbres, arbustes et arbrisseaux. Edit. Actes Sud, 1305 p.
199. **Limane, A., Smail-Saadoun, N., Belkebir-Boukais, A. and Kissoum-Hissoum, 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. doi: 10.3906/bot-1308-9.
200. **Loisel, R. 1976.** La végétation de l'étage méditerranéen dans le sud-est continental français. Thèse. Marseille. CNRS. AO 389 p.
201. **Louzabi S., Belhadj S. and Bouragba Brague N. 2016.** Morphology of healthy leaves and galling leaves in *Pistacia terebinthus* L.. In : Kodad O. (ed.), López-Francos A. (ed.), Rovira M. (ed.), Socias i Company R. (ed.). XVI GREMPA Meeting on Almonds and Pistachios. Zaragoza: CIHEAM, Pp. 221-224.
202. **Lucero, M. E., Barrow, J.R. and Osuna, P. 2006.** Plant-fungal interactions in arid and semi-arid ecosystem: large-scale impacts from microscale process. *Journal of Aride Environnement* 65:276-284.
203. **Luttge, U., Kluge, M. and Bauer, G. 1992.** Botanique, Traité fondamental, Ed. Lavoisier, Paris, 574 p.
204. **Maamri, 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, Boumerdes, 108p.
205. **Madani, D. 2008.** Relation entre le couvert végétal et les conditions édaphiques en zone à déficit hydrique. Mémoire de magistère. Faculté des sciences, département d'agronomie, Université de El Hadj Lakhdar, Batna, 137p.
206. **Malinowski, D.P. and Belesky, D.P. 2000.** Adaptations of Endophyte-Infected Cool-Season Grasses to Environmental Stresses: Mechanisms of Drought and Mineral Stress Tolerance. *Crop Science*, 40, 923-940.

207. **Marschner, H and Dell, B. 1994.** Nutrition uptake in mycorrhizal symbiosis, Plant Soil, Dordrecht, 159: 89-102.
208. **Marschner P & Timonen S. 2006.** Bacterial community composition and activity in rhizosphere of roots colonized by arbuscular mycorrhizal fungi. Microbial Activity in the Rhizosphere (Mukerji KG, Manoharachary C & Singh J, eds), pp. 139–154. Springer-Verlag, Berlin, Germany
209. **Maremmari, A., Bedii, S., Matosevic, I., Tomei, P.E. and Giovannetti, M. 2003.** Type of mycorrhizal associations in two coastal nature reserve of the Mediterranean basin, Mycorrhiza, 13: 33-40.
210. **Mayumi, A. K. and Hyakumachi, M. 2004.** Co-occurrence of Arum and Paris type morphologies of arbuscular mycorrhizae in cucumber and tomato, Mycorrhizas, 15: 73-77.
211. **Meddad-Hamza, A., Beddiar, A., Gollotte, A., Lemoine, M. C., Kuszala, C. et Gianinazzi, S. 2010.** Arbuscular mycorrhizal fungi improve the growth of olive trees and their resistance to transplantation stress. Afr J Biotech 9(8):1159-1167
212. **Meddich, A. 1997.** Ecophysiologie des mycorhizes à arbuscules des zones arides : Effet sur la croissance, la nutrition minérale et la tolérance du trèfle (*Trifolium alexandrinum*) au stress hydrique. Thèse de 3ème cycle présentée à l'Université Cadi Ayyad, 82 p.
213. **Merryweather, J. and Fitter, A.H. 1998.** The arbuscular mycorrhizal fungi of *Hyacinthoides non-scripta*. Diversity of fungal taxa, New Phytol, 138: 117-129.
214. **Miransari, M., Bahrani, H.A., Rejali, F. and Malakouti, M.J. 2008.** Using arbuscular mycorrhiza to alleviate the stress of soil compaction on wheat (*Triticum aestivum* L.) growth, Soil Biology and Biochemistry, 40: 1197-1206.
215. **Mirzaie-Nodoushan, H. and Arefi, H.M. 2001.** Variability in seed blankness in *Pistacia atlantica* Desf. in a natural habitat. PGR Newsletter. FAO-Biodiversity. Bull. Res, Phytogén, 127: 46-48.
216. **Mlika, M. 1987.** Anatomies des fleurs et évolution des bourgeons floraux en inflorescences du Pistachier (*Pistacia vera* L) in programme de recherche et d'étude médit. Pour le Pistachier et l'Amandier, édit. Grasselly, INRA, France, Pp : 343-355.
217. **Mohammad, M.J., Hamad, S.R. and Malkawit, H.I. 2003.** Population of arbuscular mycorrhizal fungi in semi-arid environment of Jordan as influenced by biotic and abiotic factors, J. Arid Environ, 53: 409-417.
218. **Mohammadi, A. H. and Banhashemi, Z. 2010.** Effect of two isolates of *Glomus mosseae* from saline and non-saline soil and NaCl levels on the growth, biochemical indices and mineral composition of three pistachio rootstocks. 1. Growth and biochemical characteristics, 1: 15-18.
219. **Mohannad, G., AL-Saghir, M.G., Duncan, M. and Porter. D. 2005.** Stomatal Distribution in *Pistacia* sp. (Anacardiaceae). International Journal of Botany, 1: 183-187.
220. **Monaco, P., Previtera, L. and Mangoni, L. 1982.** Terpenes in *Pistacia* plants: A possible defence role for monoterpenes against gall-forming aphids. Phytochemistry, 21: 2408-2410.

221. **Monjauze, A. 1965.** Répartition et écologie de *Pistacia atlantica* Desf., en Algérie. Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord, Alger, 56: 5-128.
222. **Monjauze, A. 1968.** Répartition et écologie de *Pistacia atlantica* DESF. en Algérie. Bull. Soc. Nat. Afrique du Nord.
223. **Monjauze, A. 1980.** Connaissance du « betoum » *Pistacia atlantica* Desf. Biologie et forêt. Rev. For. Fran, 4: 357-363.
224. **Monnier, G. 1965.** Action des matières organiques sur la stabilité structurale des sols.
225. **Molinier, R. 1954.** Les climax côtiers de la Méditerranée occidentale. Vegetatio, 4 (5) : 284-308.
226. **Morandi, D. 1989.** Effect of xenobiotics on endomycorrhizal infection and phytoalexin accumulation in soybean roots. Plants Physiology and Biochemistry, 27(5): 697-701.
227. **Morte, A., Diaz, G., Rodriguez, P., Alarcon, J.J. and Sanchez –Blanco, MJ . 2001.** Growth and water relations in mycorrhizal and non mycorrhizal *Pinus halepensis* plants in response to drought. Biologia Plantarum 44: 263-267.
228. **Morton, J.B. and Benny, J. 1990.** Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Zygomycetes): a new order, Glomales, two new suborders, Glominae and Gigasporinae, and two new families, Acaulosporaceae and Gigasporaceae, with an amediation of Glomaceae. Mycotaxon, 37: 471-491.
229. **Morton, J.B. and Redecker, D. 2001.** Two new families of Glomales, Archaeosporaceae and Paraglomaceae, with two new genera Archaeospora and Paraglomus, based on concordant molecular and morphological characters. Mycologia, 93:181-195.
230. **Morton, J.B, Bentivenga, S.P. and Wheeler, W.W. 1993.** Germ plasm in the international collection of arbuscular and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi (INVAM) and procedures for culture development, documentation and storage. Mycotaxon, 48: 491-528.
231. **Mosse, B. 1986.** Mycorrhiza in a sustainable agriculture. Biological Agriculture and Horticulture, 3: 191-209.
232. **Mousain, D., Bonnin, C., Mauré, L., Scheromm, P., El Karkouri, K., Cleyet-Marel, J.C., Argillier, C. et Sardin, T. 1996.** Stratégie d'amélioration de la qualité des plants forestiers et des reboisements méditerranéens par utilisation de la mycorrhization contrôlée en pépinière *Bocconea*, 5: 375-387.
233. **Mousain, D., Matumoto, P. et Quiquampoix, P. 1997.** Le rôle des mycorrhizes dans la nutrition phosphatée des arbres forestiers. Rev. For. Fr. XLIX-n°sp.
234. **Nouaim, R., Chaussod, R., El Aboudi, A., Schnabel, C. et Peltier, J.P. 1991.** L'Arganier. Essai de synthèse des connaissances sur cet arbre. In : Physiologie des arbres et arbustes en zones arides et semiarides. Groupe d'étude de l'arbre (Paris). Pp 373- 388.
235. **Nandakwang, P., Stephen, E. and Saisamorn, L. 2008.** Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in forest restoration area of doisuthep-pui national park, northern Thailand. Journal of Microscopy Society of Thailand, Pp : 60-64.

236. **Nehls, U. 2008.** Mastering ectomycorrhizal symbiosis: the impact carbohydrates. *Journal Experimental Botany*, 59: 1097-1108
237. **Oehl, F. and Sieverding, E. 2004.** Pacispora, a new vesicular arbuscular mycorrhizal fungal genus in the Glomeromycetes. *Journal of Applied Botany*, 78 : 72-82.
238. **Oihabi, A. 1991.** Etude de l'influence des endomycorhizes à vésicules et arbuscules sur le Bayoud et la nutrition du palmier dattier. Thèse de Doctorat d'Etat. 92p.
239. **Omar, M.S., Denke, A.M. and Rayboud, J.N. 1979.** The development of ochengi (*Nematoda Filarioidea*) to the infective stage in *Simulium damnosum* note on the histochemical staining of the parasite. *Tropenmed. Parasit.* 30: 157-62.
240. **Öpik, M., Metsis, M., Daniell, T.J., Zobel, M. and Moora, M. 2009.** Large-scale parallel 454 sequencing reveals host ecological group specificity of arbuscular mycorrhizal fungi in a boreonemoral forest. *New Phytol*, 18: 424-437.
241. **Osonubi, O., Mulongoy, K., Awotoye, O., Atayese, M.O. and Okali, D.U., 1991.** Effects of Ectomycorrhizal and VAM fungi on drought tolerance of four leguminous woody seedlings. *Plant and soil*, 136 : 131-143.
242. **Ozenda, P. 1977.** Flore du Sahara, Paris, CNRS, 622p.
243. **Ozenda, P. 1983.** Flore du Sahara, Paris, CNRS, 159p.
244. **Ozenda, P. 2004.** Flore et végétation du Sahara, Paris, CNRS, 624p.
245. **Palenzuela, J., Ferrol, N., Boller, T., Azcón-Aguilar, C. and Oehl, F. 2008.** *Otospora bareai*, a new fungal species in the Glomeromycetes from a dolomitic shrub land in Sierra de Baza National Park (Granada, Spain). *Mycologia*, 100(2) : 296-305.
246. **Parniske M. 2008.** Arbuscular mycorrhiza: the mother of plant root endosymbioses. *Nature Reviews Microbiology* 6 :763-775.
247. **Paugy, M., F. Baillon, D. Chevalier, and R. Duponnois, 2004.** Elephants as dispersal agents of mycorrhizal spores in Burkina Faso, *African Journal of Ecology*, Afr. J. Ecol., 42: 225-227.
248. **P.A.W. 2009.** Plan d'aménagement de la wilaya de M'sila, phase I; évaluation territoriale "bilan critique et problématique d'aménagement", Pp.16-25.
249. **Peterson, L.R., Massicotte, H., Melville, B. and Lewis, H. 2004.** Mycorrhizas : Anatomy and Cell Biology. NRC research press. Ottawa, 1(3): 147-153.
250. **Peterson, L.R., Wagg, C. and Pautler, M. 2008.** Association between microfungel endophyte and roots : do structural features indicate function? *Botany*, 86: 445-456.
251. **Peyronnel, B., Fassi, B., Fontana, A. et Trappe, J.M. 1969.** Terminology of Mycorrhizae. *Mycologia*, 61: 41 0-41 1.
252. **Pfeiffer, M.C. and Bloss, H.E. 1988.** Growth and nutrition of guayule (*Parthenium argentatum*) in saline soil as influenced by vesicular-arbuscular mycorrhiza and phosphorus fertilization. *New Phytol.*, 108 : 315-321.
253. **Phillips, J.M. and Hayman, D.S. 1970.** Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society*, 55 :158-161.

254. **Pouget, M. 1980.** Les sols à croûte calcaire dans les steppes algériennes. Quelques aspects morphologiques et esquisse d'une évolution actuelle. *ORSTOM. esr. Pédologie*, 235-246.
255. **Pumplin, N., Mondo, S.J., Topp, S., Starker, C.G., Gantt, J.S. and Harrison, M.J. 2010.** *Medicago truncatula* Vapyrin is a novel protein required for arbuscular mycorrhizal symbiosis. *The Plant Journal*, 61: 482–94.
256. **Puppi, G., Tabbachini, S., Riess, S. and Sanvito, A. 1986.** Seasonal patterns in mycorrhizal associations in a maritime sand dune system (Castelporziano, Italy). In : *Les mycorhizes : physiologie et Génétique. Actes du 1<sup>er</sup> Symposium Européen sur les mycorhizes.* Dijon, 1-5 Juillet. INRA.
257. **Purin, S. and Rillig, M.C. 2007.** The arbuscular mycorrhizal fungal protein glomalean: Limitations, progress, and a new hypothesis for its function. *Pedobiologia*, 51: 123-130.
258. **Quézel, P. et Santa, S. 1963.** Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Tome II. Ed. C.N.R.S. Paris, 1087p.
259. **Raab, P. and Redecker, D. 2006.** Phylogeny of the Glomeromycota (arbuscular mycorrhizal fungi): recent developments and new gene markers. *Mycologia*, 98:885- 895.
260. **Rameau, J-c., Mansion, D., Dumé, G., Gauberville, C., Bardat, J., Bruno, E. et R.Keller. 2008.** Flore forestière française, Guide écologique illustré vol.3 région Méditerranéen. 2426p.
261. **Raven, O., Evert, R. and Eichhorn, S. 2000.** *Biologie végétale.* Paris:De Boeck.
262. **Read, D.J. and Haselwandter, K. 1981.** Observation on the mycorrhizal status of some alpine plant communities. *New Phytol.*, 88:341-352.
263. **Readhead, J.F. 1980.** Mycorrhiza in natural forest. In : *Tropical Mycorrhiza Research* (Mikola P. Eds.), Clarendon Press, Oxford, Pp127-142.
264. **Redecker, D., Morton, J.B. and Bruns, T.D. 2000.** Ancestral lineages of arbuscular mycorrhizal fungi (Glomales). *Mol. Phylog. Evol.*, 14(2): 276-284.
265. **Rezaei, S. and Gilkes, R. 2005.** The effect of landscape attributes and plant community on soil chemical properties in rangelands. *Geoderma*, 125: 167-176.
266. **Rodrigue, M. and Menezes, M. 2002.** Detecção de fungos endofíticos em sementes de caupi provenientes de Serra Talhad de Caruaru. Estado de Pernambuco. *Fitopatologia Brasileira*, 27(5): 532-537.
267. **Roldan-Fajardo, B. E. and Barea, J.M. 1986.** Mycorrhizal dependency in the olive tree (*Olea europaea* L.). In Gianinazi-Pearson V, Gianinazzi. S, First European Symposium on Mycorrhizae. Physiology and genetics aspects of mycorrhizae, Paris. 323-326.
268. **Rosendahl, C.N. and Rosendahl, S. 1991.** Influence of VAM fungi (*Glomus* Spp.) on the response of cucumber (*Cucumis sativus* L.) to salt stress. *Environmental and Experimental Botany*, 31 (3) : 313-318.
269. **Rosendahl S., Dodd J.C. and Walker C. 1994.** Taxonomy and phylogeny of the glomales. In: *Impact of arbuscular mycorrhizae on sustainable agriculture and natural ecosystems.* Edited by S. Gianinazzi and Schuepp H.

270. **Rouahna, Y. 2007.** Croissance et caractérisation des films de nickel obtenus par électrodeposition. Mémoire Masters, Université Mohamed Khider – Biskra, 70p.
271. **Rubini, M.R., Silva-Ribeiro, R.T., Pomella, A.W.V., Maki, C.S., Araujo, W.L., dos Santos D.R., and Azedevo J.L. 2005.** Diversity of endophytic fungal community of *Theobrom cacao* and biological control of *Crinipellis pernicioso*, causal agent of Witches Broom disease. *J. Biol. Sci.*, 1(1):24-33.
272. **Ruiz-Lozano, J.M. and Azcón, R. 1995.** Hyphal contribution to water uptake in mycorrhizal plants as affected by the fungal species and water status. *Physiologia Plantarum*, 95: 472-478.
273. **Ruiz-Lozano, J.M., Azcón, R. and Gomez, M. 1996.** Alleviation of salt stress by arbuscular *Glomus* species in *Lactuca sativa* plants. *Physiologia Plantarum*, 98: 767- 772.
274. **Ruotsalainen, A.L., Väre, H. and Vestberg, M. 2002.** Seasonality of root fungal colonization in low-alpine herbs. *Mycorrhiza*, 12: 29-36.
275. **Salehi, F., Moradi Ghahderijani, M., Mirabol Fathy, M. and Ali Asghar Zadeh, N. 2009.** Influence of mycorrhizal fungi (VA) inoculation and different levels of phosphorus on vegetative feature of pistachio seedling and uptake of P, K, Mg, and Zn. *Pajouhesh & Sazandegi*, 78: 48-56.
276. **Sarasin, G. 2011.** Biotechnologie des symbioses racinaires en restauration écologique des écosystèmes dégradés à Madagascar.
277. **Saxena, A., Shende, R. and Grover, M. 2006.** Interactions among beneficial microorganisms. In *Microbial Activity in the Rhizosphere*. pp 121-137.
278. **Scales, P.F. and Peterson, R.L. 1991.** Structure and development of *Pinus banksiana* - *Wilcoxina ectendomycorrhizae*. *Can. J. Bot.*, 69: 2135-2148.
279. **Schachtman, D.P., Reid, R.J. and Ayling, S.M. 1998.** Phosphorus uptake by plants: from soil to cell. *Plant Physiology*, 116:447-453.
280. **Schenck, N.C and Kellan, M.K. 1978.** The influence of Vesicular-Arbuscular Mycorrhizae on disease development. Gainesville, Univ. Florida, bulletin technique, 789: 16p.
281. **Schüssler, A., Schwarzott, D. and Walker, C. 2001.** A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. *Mycol Res*, 105: 1413-1421.
282. **Selosse, M.A. 2000.** La symbiose : structures et fonctions, rôle écologique et évolutif, Vuibert.
283. **Seltzer, P. 1946.** Le climat de l'Algérie. *Inst. Météor. Et de Phys- du globe. Univ. Alger.* 219 p.
284. **Shannon, C.E. and Weaver, W. 1949.** The mathematical theory of communication. University Illinois Press, Urbana, 117 p.
285. **Shi, Q. and Zuo, C. 1992.** Chemical components of the leaves of *Pistacia chinensis* Bge. *Zhongguo Zhong Yao Za Zhi* 17: 422-446.
286. **Shubler, A., Schwarzott, D. and Walker, C. 2001.** A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. *Mycol. Res.* 105:1413-1421.

287. **Sieverding, E. and Oehl, F. 2006.** Revision of *Entrophospora* and description of *Kuklospora* and *Intraspora*, two new genera in the arbuscular mycorrhizal Glomeromycetes. *J. Appl. Bot. Food Qual.* 80 : 69-81.
288. **Smith, F.A. and Smith, S.E. 1997.** Transley Review No.96. Structural diversity in (vesicular)-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *New Phytol.*, 137: 373- 388.
289. **Smith, S.E. and Read, D.J. 2008.** Mycorrhizal symbiosis. Second edition. Academic press.
290. **Solaiman, M.Z, Saito, M. 2001.** Phosphate efflux from intraradical hyphae of *Gigaspora margarita* in vitro and its implication for phosphorus translocation. *New Phytologist*, 151:525-533.
291. **Spain, J., Sieverding, E. and Oehl, F. 2006.** Appendicispora, a new genus in the arbuscular mycorrhizal-forming Glomeromycetes, with a discussion of the genus *Archaeospora*. *Mycotaxon*, 97 : 163-182.
292. **Spichiger, R.E., Savolainen, V.V. et Figeat, M. 2000.** Botanique systématique des plantes à fleurs. Une approche phylogénétique nouvelle des Angiospermes des régions tempérées et tropicales. Collection biologie. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes. Lausanne, P 372.
293. **Smith, S.E. and Read, D.J. 2008.** Mycorrhizal symbiosis, 3<sup>rd</sup> Edition. Clarendon Press, Oxford.
294. **Smail-Saadoun, N. 2002.** Types stomatiques du genre *Pistacia*: *Pistacia atlantica* Desf.ssp. *atlantica* et *Pistacia lentiscus* L., P 369.
295. **Smaili, Y. 2011.** Contribution à l'étude de la variabilité des caractères des feuilles et des fruits de *Pistacia atlantica* Desf. dans les régions arides et semi-arides (Cas de la région de M'sila). Mémoire de magister. 100 p
296. **Stewart, P. 1968.** Quotient pluviothermique et dégradation biosphérique. *Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord*, 59: 23-36.
297. **Strullu, D.G. 1991.** Les relations entre les plantes et les champignons. In : Les endomycorhizes des arbres et plantes cultivées. 3<sup>ème</sup> édition. Lavoisier.
298. **Stutz, J.E. and Morton, J.B. 1996.** Successive pot cultures reveal high species richness of arbuscular endomycorrhizal fungi in arid ecosystems. *Canadian Journal of Botany*, (74): 1883-1889.
299. **Suryanarayanan, T.S., Murali, T.S. and Venkatesan, G. 2003.** Occurrence and distribution of fungal endophytes in tropical forest across a rainfall gradient.
300. **Tahrour, A. 2005.** Architecture racinaire et adaptation du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica*) à la sécheresse. Cas de la population d'Oued Besbès (Wilaya de Médéa). Mémoire Ing. Agronome, Département des Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, 101p.
301. **Tan, R. X., and Zou, W. X. 2001.** Endophytes: a rich source of functional metabolites. *Natural Product Reports*, 18(4) : 448-459.

302. **Tanker, M., Tanker, N. 1998.** Farmakognozi (2nd Ed.). Ankara: Ankara University, Faculty of Pharmacy Publication N° 65. Ankara, Turkey.
303. **Tefera, S., Snyman, H.A. and Smit, G.N. 2007.** Rangeland dynamics in southern Ethiopia: (1) Botanical composition and soil characteristics in relation to land-use and distance from water in semiarid Borana rangelands. *Journal of Environmental Management*, 85: 429-442.
304. **Tingshuang, Y. I., Jun, W., Avi, G. G., and Dan, E. P. 2008.** Phylogenetics and reticulate evolution in *Pistacia* (Anacardiaceae). *American Journal of Botany*, 95 : 241-251.
305. **Tisgouine, Z. 2010.** Approche de caractéristiques physiques et chimiques des sols sous pistachier de l'Atlas de la forêt de Theniet El Hd (Wilaya de Tissemsilt). Mémoire Ing. Agronome, Département des Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, 68p.
306. **Tommerup IC (1992).** The role of mycorrhiza in plant populations and communities. *Mycorrhiza*, 1:123-125.
307. **Topçu., G., Ay, M., Bilici, A., Sarkürkcü, C., Öztürk, M. and Ulubelen, A. 2007.** A new flavone from antioxidant extracts of *Pistacia terebinthus*. *Food Chemistry*, 103: 816-822.
308. **Trabelsi, H., Cherif, O.A., Sakouhi, F., Villeneuve, P., Renaud, J., Barouh, N. and Boukhechina, S. and Mayer P. 2012.** Total lipid content, fatty acids and 4-desmethylsterols accumulation in developing fruit of *Pistacia lentiscus* L. growing wild in Tunisia. *Food chemistry*, 131:434-440.
309. **Trouvelot, A., Kough, J.L. and Gianinazzi-Pearson, V. 1986.** Mesure du taux de mycorrhization VA d'un système racinaire. Recherche des méthodes d'estimation ayant une signification fonctionnelle. *The Mycorrhizae. In Physiology and Genetics*. V. Gianinazzi-Pearson and S. Gianinazzi, eds. INRA Presse, Paris, 217-221.
310. **Toussaint, J.P., St-Arnaud, M., Charest, C. 2004.** Nitrogen transfer and assimilation between the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* Schenck & Smith and Ri T-DNA roots of *Daucus carota* l. In an in vitro compartmented system. *Canadian Journal of Microbiology*, 50: 251-260.
311. **Van der Heijden, M.G.A., Klironomos, J.N., Ursic, M., Moutoglis, P., Streitwolf-Engel, R., Boller, T., Wiemken, A. Sanders, I.R. (1998).** Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. *Nature*, 396: 69-72.
312. **Velázquez, M.S., Sturmer S.L., Bruzone, C., Fontenla, S., Barrera, M. and Cabello, M. 2016.** Occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi in high altitude sites of the Patagonian Altoandina region in Nahuel Huapi National Park (Argentina). *Acta Bot. Bras.*, 30: 521-531.
313. **Vercambre, G., Pagès, L. Doussan, C. and Habib, R. 2003.** Architectural analysis and synthesis of the plum tree root system in an orchard using a quantitative modelling approach. *Plant Soil*, 251:1-11.

314. **Verdin, A., Sahraoui, A.L.H., Fontaine, J., Grandmougin-Ferjani, A. and Durand, R. 2006.** Effects of anthracene on development of an arbuscular mycorrhizal fungus and contribution of the symbiotic association to pollutant dissipation. *Mycorrhiza*, 16: 397-405.
315. **Vigay, S.M., Pankaj, K.M., Jaideep, K.B. and Arunava, P. 2017.** Agriculturally important microbes for sustainable agriculture. Volume 1. Plant-soil-microbes. Springer Doi 10.1007/978-981-10-5589-8.
316. **Walker, C. and Sanders, F.E. 1986.** Taxonomic concepts in the endogonaceae. III: The separation of *Scutellospora* gen. Nov. From *Gigaspora* Gerd. & Trappe. *Mycotaxon*, XXXII 17: 169-182.
317. **Walker, C., Vestberg, M. and Schüßler, A. 2007a.** Nomenclatural clarifications in Glomeromycota. *Mycol. Res.* 111: 253-255.
318. **Walker, C., Vestberg, M., Demircik, F., Stockinger, H., Saito, M., Sawaki, H., Nishmura, I. and Schüßler, A. 2007b.** Molecular phylogeny and new taxa in the Archaeosporales (Glomeromycota): *Ambispora fennica* gen. sp. nov., Ambisporaceae fam. nov., and emendation of *Archaeospora* and Archaeosporaceae. *Mycol. Res.*, 111: 137-13.
319. **Wang, B. and Qiu, Y.L. 2006.** Phylogenetic distribution and evolution of mycorrhizas in land plants. *Mycorrhiza*, 16: 299-363.
320. **Wickert, E., De Goes, A., Gertrudes De Macedo Lemos, E., De Souza, A., Leandro Da Silveira, E., Dias Pereira, F. and Rinaldo, D. 2009 :** Relações filogenéticas e diversidade de isolados de *Guignardia* spp. Oriundos de diferentes hospedeiros nas regiões, *Rev Bras Frutic.* 31(2): 360-380.
321. **Wubet, T., Weiß, M., Kottke, I., Teketay, D., and Oberwinkler, F. 2004.** Molecular diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in *Prunus africana*, an endangered medicinal tree species in dry Afromontane forests of Ethiopia. *New Phytologist.* 161: 517-528.
322. **Xie, L., Yang, Z. Y., Wen, J., Li, D. Z. and Yi, T. S. 2014.** Biogeographic history of *Pistacia* (Anacardiaceae), emphasizing the evolution of the Madrean-Tethyan and the eastern Asian-Tethyan disjunctions. *Molecular phylogenetics and evolution*, 77(1) : 136-146.
323. **Yaaqobi, A., El hafid, L. et Haloui, B. 2009.** Étude biologique de *Pistacia atlantica* Desf. de la région orientale du Maroc, Pp : 41-48.
324. **Yaltirik, F. 1967.** *Pistacia* L. In: Flora of Turkey and the east Aegean Islands. Edited by P.H. Davis. Edinburgh University Press. 2: 542-548.
325. **Yousfi, M., Nedjemi, B., Belal, R., Ben Bertal, D. 2003.** Etude des acides gras d'huile de fruit de pistachier de l'Atlas algérien. *Oléagineux Corp gras lipides*, 10 : 425-427.
326. **Yu, T., Egger, K. N., and Peterson, R.L. 2008.** Ectendomycorrhizal associations- characteristics and functions. *Mycorrhizas*, 11: 167-177.
327. **Zeramardini, N. 2009.** Etude du polymorphisme intra-et inter- spécifique du gène  $\beta$ -tubuline chez des espèces de champignons mycorrhiziens à arbuscules vue de développer

- des marqueurs moléculaires. Thèse de M .Sc en sciences biologiques. Université de Montréal. 101p.
- 328.**Zhao, X., Sun, H., Hou, A., Zhao, Q., Wei, T. and Xin, W., 2005.** Antioxidant properties of two gallotannins isolated from the leaves of *Pistacia*. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)* 1725: 103-110.
- 329.**Zhao, D. and Zhao, Z. 2007.** Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi in the hot-dry valley of the Jinsha River, southwest China. *Applied Soil Ecology*. 37:118-128.
- 330.**Zhang, Q., Blaylock, L.A. and Harrison, M.J. 2010.** Two *Medicago truncatula* half-ABC transporters are essential for arbuscule development in arbuscular mycorrhizal symbiosis. *The Plant cell* 22: 1483-97.
- 331.**Zhou, R.L., Li, Y.Q., Zhao, H. L. and Drake, S. 2008.** Desertification effects on C and N content of sandy soils under grassland in Horqin , northern China. *Geoderma*. 145: 370-375.
- 332.**Zohary, M. 1952.** A monographical study of the genus *Pistacia* Palestine Journ. Bot. J., 5 (4): 187-228.
- 333.**Zohary, M. 1987.** Flora of Palaestina Platanaceae to Umbelliferae. Second printing, 2: 296-300.
- 334.**Zohary, M. 1996.**The genus *Pistacia* L. In: Taxonomy, distribution, conservation and uses of *Pistacia* genetic resources. Proceedings of the IPGRI Workshop 29-30 June 1995. Edited by S. Padulosi, T. Caruso and E. Barone. Palermo, Italy, Pp: 1-11.

---

# **Annexe**

---

---

**Annexe 1 : Composition des colorants et réactifs utilisés****-FAA : Mélange éthanol-acide acétique-formol (Phillips et Hayman, 1970)**

Formol à 37%	5mL
Acide acétique glacial	5mL
Alcool éthylique 70°	90mL

**-Bleu de trypan au lactophénol (Phillips et Hayman, 1970)**

Acide lactique	100mL
Glycérol	100mL
Bleu trypan	0,3g
Phénol	100mL
Eau distillée	100mL

**-Polyvinyl-lactoglycérol (PVLG) (Locquin et Langeron, 1978)**

Alcool polyvinylique aq. à15%	56g
Acide lactique	22g
Glycérol	22g

**-Réactif de Melzer (Locquin et Langeron, 1978)**

Hydrate de chlorale	100g
Iode	1,5g
Potassium	5g
Eau distillée	100 mL

## Annexe 2 : Normes d'interprétation des analyses physiques et chimiques de sol selon AFNOR

- **Tableau 59:** Normes d'interprétation de pH

pH eau	<5.5	5.5-6	6-7	7-8	>8
Normes d'interprétation	Forte acidité	Acidité légère	Très légère acidité	Alcalinité	Forte alcalinité

- **Tableau 60:** Normes d'interprétation de la conductivité électrique

Mesure	Non salé	Peu salé	Salé	Très salé	Extrêmement sale
CE(1/5) mmhos /cm	<0,6	0,6-1 ,2	1,2-2,4	2,4-6	>6
Salure (SST) meq /100g	< 3	3-6	6-12	12-30	>30

- **Tableau 61:** Normes d'interprétation du calcaire total

Taux de CaCO <sub>3</sub> total	CaCO <sub>3</sub> ≤5%	5<CaCO <sub>3</sub> ≤12,5 %	12,5<CaCO <sub>3</sub> ≤25 %	25< CaCO <sub>3</sub> ≤50%	CaCO <sub>3</sub> >50 %
Qualification du sol	Sol non calcaire	Sol faiblement calcaire	Sol modérément calcaire	Sol fortement calcaire	Sol très fortement calcaire

- **Normes d'interprétation de matière organique:**

<1 -----très pauvre  
 1 à 2 -----pauvre  
 2 à 4 -----moyenne  
 > 4-----riche

### Annexe 3 : Analyse statistiques

#### 3-1-Résultats des analyses de variance (ANOVA)

**Tableau 62:** ANOVA de facteur station (*P. atlantica*)

Test of SS Whole Model vs. SS Residual (Spreadsheet1)											
	Multiple - R	Multiple - R <sup>2</sup>	Adjusted - R <sup>2</sup>	SS - Model	df - Model	MS - Model	SS - Residual	df - Residual	MS - Residual	F	p
<b>F</b>	0.47039	0.221273	0.176774	621.3	4	155.3	2186.7	70	31.24	4.9725	<b>0.0013</b>
<b>M</b>	0.39947	0.159577	0.111553	3973.7	4	993.4	20927.6	70	298.97	3.3228	<b>0.0149</b>
<b>A</b>	0.35488	0.125945	0.075999	2253.1	4	563.3	15636.2	70	223.37	2.5216	<b>0.0486</b>
<b>V</b>	0.22419	0.050264	-0.004006	919.9	4	230.0	17381.4	70	248.31	0.9261	<b>0.4538</b>
<b>pH</b>	0.66677	0.444584	0.412846	6.0	4	1.5	7.5	70	0.11	14.007	<b>0.0000</b>
<b>CT</b>	0.72879	0.531141	0.504349	801137.4	4	200284.3	707194.5	70	10102.78	19.824	<b>0.0000</b>
<b>MO</b>	0.80265	0.644259	0.623931	379.9	4	95.0	209.8	70	3.00	31.693	<b>0.0000</b>
<b>CT</b>	0.78099	0.609948	0.587659	1933.8	4	483.4	1236.6	70	17.67	27.365	<b>0.0000</b>

**Tableau 63:** ANOVA de facteur saison (*P. atlantica*)

Test of SS Whole Model vs. SS Residual (Spreadsheet1)											
	Multiple - R	Multiple - R <sup>2</sup>	Adjusted - R <sup>2</sup>	SS - Model	df - Model	MS - Model	SS - Residual	df - Residual	MS - Residual	F	p
<b>F</b>	0.16012	0.025641	-0.001425	72.00	2	36.00	2736	72	38.00	0.9473	0.3925
<b>M</b>	0.16119	0.025985	-0.001071	647.06	2	323.53	24254	72	336.86	0.9604	0.3875
<b>A</b>	0.25227	0.063641	0.037631	1138.49	2	569.25	16751	72	232.65	2.4467	0.0937
<b>V</b>	0.26589	0.070702	0.044888	1293.93	2	646.97	17007	72	236.21	2.7389	0.0713
<b>pH</b>	0.12640	0.015978	-0.011356	0.22	2	0.11	13	72	0.19	0.5845	0.5599
<b>CT</b>	0.13151	0.017297	-0.010001	26089.24	2	13044.62	1482243	72	20586.70	0.6336	0.5335
<b>MO</b>	0.22144	0.049036	0.022621	28.91	2	14.46	561	72	7.79	1.8563	0.1636
<b>CT</b>	0.22242	0.049474	0.023071	156.85	2	78.43	3014	72	41.86	1.8737	0.1609

**Tableau 64:** ANOVA de facteur station X saison (*P. atlantica*)

Test of SS Whole Model vs. SS Residual (Spreadsheet1)											
	Multiple - R	Multiple - R <sup>2</sup>	Adjusted - R <sup>2</sup>	SS - Model	df - Model	MS - Model	SS - Residual	df - Residual	MS - Residual	F	p
<b>F</b>	0.63380	0.401709	0.262108	1128	14	80.57	1680.0	60	28.000	2.8775	<b>0.0022</b>
<b>M</b>	0.48413	0.234389	0.055746	5837	14	416.90	19064.7	60	317.745	1.3120	0.2275
<b>A</b>	0.49758	0.247588	0.072025	4429	14	316.37	13460.1	60	224.335	1.4102	0.1767
<b>V</b>	0.47011	0.221008	0.039244	4045	14	288.91	14256.6	60	237.610	1.2159	0.2882
<b>pH</b>	0.72139	0.520404	0.408499	7	14	0.50	6.5	60	0.108	4.6503	<b>0.0000</b>
<b>CT</b>	0.88419	0.781797	0.730883	1179209	14	84229.21	329122.9	60	5485.381	15.355	<b>0.0000</b>
<b>MO</b>	0.92006	0.846514	0.810701	499	14	35.65	90.5	60	1.508	23.636	<b>0.0000</b>
<b>CT</b>	0.87746	0.769944	0.716264	2441	14	174.36	729.4	60	12.156	14.343	<b>0.0000</b>

**Tableau 65:** ANOVA de facteur station (*P. terebinthus*)

Test of SS Whole Model vs. SS Residual (Spreadsheet1)											
	Multiple - R	Multiple - R <sup>2</sup>	Adjusted - R <sup>2</sup>	SS - Model	df - Model	MS - Model	SS - Residual	df - Residual	MS - Residual	F	P
<b>F</b>	0.31234	0.097561	0.065331	1920.00	1	1920.00	17760.00	28	634.286	3.0270	0.0928
<b>M</b>	0.45748	0.209295	0.181056	1239.45	1	1239.45	4682.55	28	167.234	7.4114	0.0110
<b>A</b>	0.04628	0.002142	-0.033496	21.45	1	21.45	9993.50	28	356.911	0.0601	0.8081
<b>V</b>	0.01727	0.000298	-0.035405	2.22	1	2.22	7455.93	28	266.283	0.0083	0.9278
<b>pH</b>	0.71171	0.506538	0.488914	1.11	1	1.11	1.08	28	0.039	28.741	0.0000
<b>CT</b>	0.57165	0.326792	0.302749	46024.75	1	46024.75	94813.15	28	3386.184	13.591	0.0009
<b>MO</b>	0.42815	0.183317	0.154150	70.78	1	70.78	315.32	28	11.262	6.2850	0.0182
<b>CT</b>	0.23194	0.053798	0.020006	58.72	1	58.72	1032.69	28	36.882	1.5920	0.2174

**Tableau 66:** ANOVA de facteur saison (*P. terebinthus*)

Test of SS Whole Model vs. SS Residual (Spreadsheet1)											
	Multiple - R	Multiple - R <sup>2</sup>	Adjusted - R <sup>2</sup>	SS - Model	df - Model	MS - Model	SS - Residual	df - Residual	MS - Residual	F	p
<b>F</b>	0.11043	0.012195	-0.060976	240.00	2	120.00	19440.0	27	720.000	0.1666	0.8473
<b>M</b>	0.33698	0.113559	0.047896	672.49	2	336.25	5249.5	27	194.426	1.7294	0.1964
<b>A</b>	0.30210	0.091265	0.023951	914.01	2	457.01	9100.9	27	337.072	1.3558	0.2747
<b>V</b>	0.23500	0.055228	-0.014755	411.90	2	205.95	7046.3	27	260.972	0.7891	0.4644
<b>pH</b>	0.52048	0.270905	0.216898	0.60	2	0.30	1.6	27	0.059	5.0161	0.0140
<b>CT</b>	0.45611	0.208041	0.149378	29300.11	2	14650.06	111537.8	27	4131.029	3.5463	0.0429
<b>MO</b>	0.70152	0.492135	0.454515	190.01	2	95.01	196.1	27	7.263	13.081	0.0001
<b>CT</b>	0.39621	0.156985	0.094540	171.33	2	85.67	920.1	27	34.077	2.5139	0.0997

**Tableau 67:** ANOVA de facteur station X saison (*P. terebinthus*)

Test of SS Whole Model vs. SS Residual (Spreadsheet1)											
	Multiple - R	Multiple - R <sup>2</sup>	Adjusted - R <sup>2</sup>	SS - Model	df - Model	MS - Model	SS - Residual	df - Residual	MS - Residual	F	p
<b>F</b>	0.349215	0.121951	-0.060976	2400.00	5	480.00	17280.00	24	720.000	0.6666	0.6523
<b>M</b>	0.570063	0.324972	0.184341	1924.48	5	384.90	3997.52	24	166.563	2.3108	0.0755
<b>A</b>	0.525646	0.276304	0.125534	2767.17	5	553.43	7247.78	24	301.991	1.8326	0.1444
<b>V</b>	0.452870	0.205091	0.039485	1529.60	5	305.92	5928.56	24	247.023	1.2384	0.3222
<b>pH</b>	0.937146	0.878243	0.852877	1.93	5	0.39	0.27	24	0.011	34.622	<b>0.0000</b>
<b>CT</b>	0.800370	0.640592	0.565715	90219.64	5	18043.93	50618.27	24	2109.094	8.5553	<b>0.0000</b>
<b>MO</b>	0.921039	0.848313	0.816711	327.53	5	65.51	58.57	24	2.440	26.844	<b>0.0000</b>
<b>CT</b>	0.459961	0.211565	0.047307	230.90	5	46.18	860.50	24	35.854	1.2880	0.3017

**Tableau 68:** ANOVA de facteur station (*P. atlantica*, *P. terebinthus*, *P. lentiscus* et *P. vera*)

Test of SS Whole Model vs. SS Residual (Spreadsheet2)											
	Multiple - R	Multiple - R <sup>2</sup>	Adjusted - R <sup>2</sup>	SS - Model	df - Model	MS - Model	SS - Residual	df - Residual	MS - Residual	F	p
<b>F</b>	0.54187	0.293624	0.234759	7690.0	3	2563.33	18500.00	36	513.8889	4.9881	<b>0.0053</b>
<b>M</b>	0.59259	0.351170	0.297101	2913.3	3	971.11	5382.74	36	149.5207	6.4948	<b>0.0012</b>
<b>A</b>	0.58317	0.340089	0.285096	1903.0	3	634.33	3692.56	36	102.5711	6.1842	<b>0.0016</b>
<b>V</b>	0.46036	0.211934	0.146262	935.7	3	311.90	3479.41	36	96.6502	3.2271	<b>0.0337</b>
<b>pH</b>	0.92506	0.855749	0.843728	2.6	3	0.87	0.44	36	0.0122	71.188	<b>0.0000</b>
<b>CE</b>	0.93627	0.876618	0.866336	245614.1	3	81871.35	34569.64	36	960.2679	85.258	<b>0.0000</b>
<b>MO</b>	0.71886	0.516773	0.476504	301.5	3	100.49	281.89	36	7.8304	12.833	<b>0.0000</b>
<b>CT</b>	0.89900	0.808216	0.792234	3243.4	3	1081.14	769.64	36	21.3790	50.570	<b>0.0000</b>

**Tableau 69:** ANOVA de facteur saison (*P. atlantica*, *P. terebinthus*, *P. lentiscus* et *P. vera*)

Test of SS Whole Model vs. SS Residual (Spreadsheet2)											
	Multiple - R	Multiple - R <sup>2</sup>	Adjusted - R <sup>2</sup>	SS - Model	df - Model	MS - Model	SS - Residual	df - Residual	MS - Residual	F	p
<b>F</b>	0.37126	0.137839	0.115150	3610.000	1	3610.000	22580.0	38	594.211	6.0752	<b>0.0183</b>
<b>M</b>	0.36055	0.129999	0.107104	1078.482	1	1078.482	7217.6	38	189.937	5.6781	<b>0.0222</b>
<b>A</b>	0.01944	0.000378	-0.025928	2.116	1	2.116	5593.4	38	147.195	0.0143	0.9051
<b>V</b>	0.36193	0.130995	0.108127	578.360	1	578.360	3836.8	38	100.967	5.7281	<b>0.0217</b>
<b>pH</b>	0.04440	0.001972	-0.024292	0.006	1	0.006	3.0	38	0.080	0.0750	0.7855
<b>CE</b>	0.06943	0.004820	-0.021368	1350.616	1	1350.616	278833.1	38	7337.713	0.1840	0.6703
<b>MO</b>	0.17086	0.029193	0.003646	17.030	1	17.030	566.3	38	14.903	1.1427	0.2918
<b>CT</b>	0.09090	0.008263	-0.017835	33.160	1	33.160	3979.9	38	104.735	0.3166	0.5769

**Tableau 70:** ANOVA de facteur station X saison (*P. atlantica*, *P. terebinthus*, *P. lentiscus* et *P. vera*)

Test of SS Whole Model vs. SS Residual (Spreadsheet2)											
	Multiple - R	Multiple - R <sup>2</sup>	Adjusted - R <sup>2</sup>	SS - Model	df - Model	MS - Model	SS - Residual	df - Residual	MS - Residual	F	p
<b>F</b>	0.75654	0.572356	0.478809	14990.0	7	2141.43	11200.00	32	350.0000	6.1183	<b>0.0001</b>
<b>M</b>	0.71672	0.513689	0.407308	4261.6	7	608.80	4034.48	32	126.0774	4.8287	<b>0.0008</b>
<b>A</b>	0.73641	0.542304	0.442183	3034.5	7	433.50	2561.06	32	80.0330	5.4164	<b>0.0003</b>
<b>V</b>	0.70816	0.501499	0.392452	2214.2	7	316.31	2200.94	32	68.7794	4.5989	<b>0.0011</b>
<b>pH</b>	0.94783	0.898382	0.876153	2.7	7	0.39	0.31	32	0.0097	40.414	<b>0.0000</b>
<b>CE</b>	0.94648	0.895828	0.873041	250996.5	7	35856.64	29187.23	32	912.1010	39.312	<b>0.0000</b>
<b>MO</b>	0.87919	0.772976	0.723315	450.9	7	64.42	132.44	32	4.1386	15.564	<b>0.0000</b>
<b>CT</b>	0.91290	0.833397	0.796953	3344.5	7	477.78	668.59	32	20.8934	22.867	<b>0.0000</b>

### 3-2-Analyse en Composantes Principales

**Tableau 71:** ACP des paramètres de mycorhization et sols chez *Pistacia atlantica*

Factor coordinates of the variables, based on correlations (Spreadsheet2)		
	Factor 1	Factor 2
F	0.502343	0.341314
M	-0.033656	0.783503
A	-0.059306	0.727297
V	-0.017481	0.688397
pH	0.709576	-0.046545
CE	-0.741404	-0.330817
MO	-0.433187	0.556474
CT	0.524631	0.336680
P	-0.962539	-0.115524
M	0.814711	-0.448404
m	-0.223689	-0.743286
At	-0.338588	0.746074
Q3	-0.960856	-0.106917

**Tableau 72:** ACP des paramètres de mycorhization et sols chez *Pistacia terebinthus*

Factor coordinates of the variables, based on correlations (Spreadsheet1)		
	Factor 1	Factor 2
F	-0.389221	-0.311125
M	-0.556383	-0.525966
A	-0.086833	-0.904730
V	-0.055795	-0.893997
pH	-0.759087	0.066458
CE	-0.656331	-0.243225
MO	0.370187	-0.433057
CT	0.242460	-0.484951
P	0.985758	-0.075773
M	-0.985758	0.075773
m	0.985758	-0.075773
At	-0.985758	0.075773
Q3	0.985758	-0.075773

**Tableau 73:** ACP des paramètres de mycorhization et sols (*P. atlantica*, *P. terebinthus*, *P. lentiscus* et *P. vera*)

Factor coordinates of the variables, based on correlations (Spreadsheet2)		
	Factor 1	Factor 2
<b>F</b>	-0.324423	0.710506
<b>M</b>	-0.317098	0.858887
<b>A</b>	-0.355604	0.655984
<b>V</b>	-0.441253	0.638536
<b>pH</b>	0.254890	-0.669030
<b>CE</b>	-0.285355	-0.066051
<b>MO</b>	-0.351316	0.438918
<b>CT</b>	-0.169525	-0.769002
<b>P</b>	-0.967645	-0.093611
<b>M</b>	0.900693	0.399403
<b>m</b>	0.879563	0.427985
<b>At</b>	-0.964209	-0.251370
<b>Q3</b>	-0.971717	-0.127879

## Liste des activités scientifiques

Les résultats obtenus durant cette thèse ont fait l'objet de :

### A/ Publications internationales (02)

1. Influence de l'aridité sur la variation de la colonisation mycorhizienne arbusculaire chez cinq populations naturelles du Pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.)

Auteurs : **Bouabdelli Z.**, Belhadj S., Smail Saadoun N., Mevy J.P., Notonnier R., Tonetto A., Ortas B. et Gauquelin T.

Article publié dans la revue *d'Ecologie (Terre et Vie)*, Vol. 73 (3), 2018

2. Rate of endomycorrhizal colonization in *Pistacia vera* L.

Auteurs : **Bouabdelli Z\***, Belhadj S. et Smail Saadoun N.

Article publié dans la revue « Options Méditerranéennes, Séries A, Mediterranean Seminars ». N° 119. XVI GREMPA Meeting on Almonds and Pistachios. Edited by Kodad O., Lopez-Francos A., Rovira M., Socias i Company R. 159-162. 2016

### B/ Publication nationale (01)

1. Contribution à l'étude des champignons mycorhiziens chez le pistachier de l'Atlas en milieu aride, Wilaya de Djelfa.

Auteurs : Bouabdelli Z., Belhadj S. et Smail Saadoun N.

Article publié dans la revue d'El-Wahat pour les Recherches et les Etudes. Vol.8 n°2 (2015) : 90 - 98. ISSN : 1112 -7163 <http://elwahat.univ-ghardaia.dz>

### C / Communications internationales (04)

1. Effet du calcaire total sur la symbiose mycorhizienne chez le *Pistacia atlantica* dans différentes étages bioclimatiques (W. de Djelfa).

Auteurs : **Bouabdelli Z.**, Belhadj S et Smail Saadoun N.

Une conférence internationale sur les symbioses végétales et leurs Applications Biotechnologiques, Agronomiques et Environnementales. 19-20 Avril 2016. Khmis-Miliana (Algérie).

2. Rate of endomycorrhizal colonization in *Pistacia vera*.

Auteurs : **Bouabdelli Z.**, Belhadj S., et Smail-Saadoun N.

XVI GREMPA Meeting. 11-14 May, 2015. Meknes (Morocco).

3. Influence des facteurs climatiques sur la morphologie foliaire du pistachier de l'Atlas.

Auteurs : **Bouabdelli Z.**, Belhadj S. et Smail-Saadoun N.

Deuxième Congrès International sur la Biodiversité Végétale. 27-29 Mars 2014. Marrakèch (Maroc).

4. Contribution à l'étude du statut mycorhizien de *Pistacia atlantica* en relation avec les conditions climatiques.

Auteurs : **Bouabdelli Z.**, Belhadj S. et Smail-Saadoun N.

1er Séminaire International sur les biotechnologies et Améliorations des productions végétales et animales. 30-31 Octobre 2013. Djelfa (Algérie).

#### **D / Communications nationales (02)**

1. Evaluation du taux de mycorhization chez le Pistachier de l'Atlas de la wilaya de Biskra.

Auteurs : **Bouabdelli Z.**, Belhadj S. et Smail Saadoun N.

Séminaire national sur les plantes spontanées. 15 November 2017. Ghardaia (Algérie).

2. Contribution à l'étude des champignons mycorhiziens chez le pistachier de l'Atlas en milieu aride, wilaya de Djelfa.

Auteurs : **Bouabdelli Z.**, Belhadj S. et Smail Saadoun N.

Séminaire National sur l'agriculture en zones arides, 17-18 Novembre 2015. Ghardaia (Algérie).