

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DES SCIENCES

DEPARTEMENT DE :
SCIENCES DE LA NATURE
ET DE LA VIE

N°:



DOMAINE : SCIENCES DE LA
NATURE ET DE LA VIE

FILIERE : BIOTECHNOLOGIE
VEGETALE

OPTION : BIOTECHNOLOGIE
VEGETALE

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Par :

BOUREZGUE Nadia

GHERABI Nawel

GHERABI Sara

Intitulé

**Contribution à l'évaluation de la diversité
mycorhiziennes associée à la rhizosphère de quelques
Fabacées en Algérie**

Soutenu le :

Devant le jury composé de :

Mr. BOUNAR Rabah	Professeur - université de m'sila	Président
Mr. GHADBANE Mouloud	Professeur - université de m'sila	Rapporteur
Mr. NOUIDJEM Yacine	Professeur - université de m'sila	Examinatrice

Année universitaire : 2023/2024

Remerciement

Avant toute chose, nous tenons à remercier Dieu le tout puissant qui nous a donné la puissance pour achever ce travail.

La réalisation de ce mémoire n'a été possible que grâce à la collaboration d'un certain nombre de personnes en particulier notre encadreur Mr **GHADBANE Mouloud** pour sa patience, son soutien moral, sa rigueur, et sa disponibilité durant la période de la préparation de ce travail.

Nous remercions également Mlle **ATTIG Imane** pour tous les efforts déployés pour mener à bien ce travail.

Nous tenons à remercier aussi les membres de jury d'avoir accepté de juger notre travail.

Mr. **BOUNAR Rabah** d'avoir accepté présider le jury.

Mr. **NOUIDJEM Yacine** d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Nous ne terminerons pas sans adresser nos vifs remerciements à toutes les personnes qu'ont œuvré de loin ou de près à la réalisation de ce document.



Dédicace :

Pour ma famille et mes amis.

BOUREZGUE Nadia



Dédicace ;

Pour ma famille et mes amis.

GHERABI Nawel



Dédicace ;

Pour ma famille et mes amis.

GHERABI Sara

Liste des figures

Figure 1. Les différents types de mycorhizes.	5
Figure 2. Prolifération des hyphes, formation des arbuscules et des vésicules).....	8
Figure 3. Types de colonisation racinaire des champignons mycorhiziens à arbuscules.....	9
Figure 4. Les espèces de Fabaceae étudiées.	15
Figure 5. Localisation de la zone d'étude.	17
Figure 6. Notation du degré de mycorhization des fragments racinaires..	18
Figure 7. Notation de l'abondance des arbuscules dans les fragments racinaires (d'après Trouvelot et al. 1986).	19
Figure 8. Types de mycorhize chez <i>Ononis angustissima</i>	22
Figure 9. Types de mycorhize chez <i>Astragalus gombo</i>	22
Figure 10. Types de mycorhize chez <i>Calobota saharae</i>	23
Figure 11. Les spores isolées à partir de sol rhizosphérique de <i>Ononis angustissima</i>	23
Figure 12. Les spores isolées à partir de sol rhizosphérique de <i>Astragalus gombo</i>	24
Figure 13. Les spores isolées à partir de sol rhizosphérique de <i>Calobota saharae</i>	24
Figure 14. Densité des espèces sporales dans le sol rhizosphérique des <i>Calobota saharae</i> , <i>Astragalus gombo</i> et <i>Ononis angustissima</i> . (Spores/100g).	25
Figure 15. Densité des spores dans le sol de <i>Calobota saharae</i> , <i>Astragalus gombo</i> , <i>Ononis angustissima</i>	26
Figure 16. Pourcentage d'infection racinaire des espèces des Fabaceae étudiée.	27

Liste des abréviations

CMA: Champignons mycorhiziens à arbuscules.

ERM: Ericoïde mycorrhiza.

ECM: Ectomycorhize.

INVAM: Manual for the identification of vesicular-arbuscular (VA) Mycorrhizal Fungi.

MA: Mycorhize à arbuscule.

ORM: Orchid mycorrhiza.

Résumé

Notre travail vise à étudier la relation entre les mycorhizes et trois plantes de la famille des fabacées dans la région de Bou Saâda de l'état de M'Sila. Afin de réaliser ce travail, nous avons calculé et estimé la densité fongique présente au niveau des racines des plantes *Ononis angustissima*, *Calobota saharae* et *Astragalus gombo*. Des spores ont également été extraites du sol. À la fin de cette étude, les résultats obtenus ont montré que toutes les plantes étudiées étaient liées à des champignons avec une fréquence supérieure à 70 % et avec de différentes structures endomycorhiziennes : hyphes, arbuscules et vésicules. Les résultats ont également montré une remarquable diversité de spores fongiques dans les trois Fabacées, où le nombre total a été identifié à 12 espèces appartenant principalement à 4 genres : (*Gigaspora*, *Acaulospora*, *Glomus* et *Scutellospora*), les genres *Glomus* et *Acaulospora* étant les plus répandus au niveau des racines des trois *Fabaceae* étudiées chez d'autres espèces.

Mots clé : Mycorhize, Fabaceae, Endomycorhize à Arbuscules et à Vésicules, Symbiose, Spore.

Abstract

Our work aims to study the relationship between mycorrhiza and three plants of the *Fabaceae* family in the Bou Saâda region of M'Sila state. In order to achieve this work, we calculated and estimated the fungal density present at the root level of the plants *Ononis angustissima*, *Calobota saharae* and *Astragalus gombo*. Spores were also extracted from the soil. At the end of this study, the results obtained showed that all of the studied plants were related to fungi with a frequency greater than 70% and with different endomycorrhizal structures: hyphae, arbuscules and vesicles. The results also showed a remarkable diversity in fungal spores in the three Fabaceous plants, where the total number was identified as 12 species belonging mainly to four genera: (*Gigaspora*, *Acaulospora*, *Glomus*, and *Scutellospora*), the genus *Glomus* and *Acaulospora* are the most widespread in the rhizospheric soil level of the three *Fabaceae* studied from other species.

Key words: Mycorrhiza, Fabaceae, Arbuscular and vesicular mycorrhiza, Symbiosis, Spore.

ملخص

يهدف عملنا هذا لدراسة العلاقة الموجودة بين الميكوريزا وثلاثة نباتات من عائلة البقوليات في منطقة بوسعادة بولاية المسيلة، ومن أجل تحقيق هذا العمل قمنا بحساب وتقدير الكثافة الفطرية المتواجدة على مستوى جذور النباتات التالية: *Ononis angustissima*، *Calobota saharae* و *Astragalus gombo* كما تم استخراج الأبواغ من التربة. وفي نهاية هذه الدراسة أظهرت النتائج المتحصل عليها أن جميع النباتات المدروسة لها علاقة بالفطريات بتردد أكبر من 70 % ويتوفر أشكال متعدد من خيوط، شجيرات وحوصلات. وكذلك أظهرت النتائج تنوعا ملحوظا في الأبواغ الفطرية عند البقوليات الثلاثة، حيث تم تحديد العدد الإجمالي بـ 12 نوعا ينتمون أساسا إلى 4 أجناس هي (*Gigaspora*، *Acaulospora*، *Glomus*، *Scutellospora*)، حيث أن الجنس *Glomus* و *Acaulospora* هما الأكثر انتشارا في مستوى الجذور عند البقوليات الثلاثة المدروسة من الأجناس الأخرى.

الكلمات المفتاحية: الفطريات الجذرية، البقوليات، المكوريزا الداخلية الشجيرية والحوصلية، التعايش، الأبواغ.

Sommaire

Remerciement

Dédicace

Liste des figures

Liste des abréviations

Résumé

Introduction 1

Chapitre I Synthèse Bibliographique

1. Mycorhizes..... 4

1.1. Historique..... 4

1.2. Types de mycorhizes..... 5

1.2.1. Ectomycorhizes..... 5

1.2.2. Ectendomycorhizes 6

1.2.3. Endomycorhizes..... 6

1.2.3.1. Endomycorhizes vésiculo-arbusculaires 6

1.2.3.2. Endomycorhizes à pelotons ou orchidoïdes 7

1.2.3.3. Endomycorhizes éricoïdes..... 7

1.3. Etapes de la formation des mycorhizes 7

1.3.1. Développement des hyphes dans le sol..... 7

1.3.2. Rencontre avec la racine 8

1.3.3. Prolifération intra-racinaire et la formation des arbuscules 8

1.3.4. Formation des Vésicules 9

1.4. Rôle du mycorhize 9

2. Fabaceae..... 10

2.1. Classification..... 10

2.1.1. *Mimosoideae* 10

2.1.2. *Caesalpinioideae* 11

2.1.3. <i>Papilionoideae</i>	11
2.2. Caractères botaniques	11
2.2.1. Appareil végétatif	12
2.2.2. Appareil reproducteur	12
2.3. Espèces de fabacées	12
2.3.1. <i>Calobota saharae</i> Coss. & Dur.....	12
2.3.2. <i>Astragalus gombo</i> Pomel.....	13
2.3.3. <i>Ononis angustissima</i> Lam.....	14
3. Mycorhize et Fabaceae.....	15

Chapitre II Matériel et Méthodes

1. Matériel végétal.....	17
2. Evaluation du taux de mycorhization des espèces végétales	17
2.1. Prélèvement de racines.....	17
2.2. Lavage et séparation des racines	17
2.3. Eclaircissement et coloration des racines.....	17
2.4. Observation microscopique.....	18
2.5. Quantification de la colonisation endomycorhizienne des racines	18
.3 Extraction des spores à partir de sol.....	19

Chapitre III Résultats et Discussions

1. Résultats	22
1.1. Formes et structures microscopique des mycorhizes	22
1.1. Observation et caractérisation des spores	23
1.2. Dénombrement des spores	25
1.3. Paramètres d'estimation de taux de mycorhization	26
1.3.1. Fréquence de mycorhization (F%).....	27
1.3.2. Intensité de la colonisation dans le système racinaire (M%).....	27
1.3.3. Intensité de la mycorhization des fragments mycorhizés (m%).....	27
1.3.4. La richesse arbusculaire de la partie mycorhizées (a%).....	28

1.3.5. La richesse arbusculaire du système racinaire (A%)	28
2. Discussion	28
2.1. Types de mycorhization chez <i>Astragalus gombo</i> , <i>Ononis angustissima</i> et <i>Calobota saharae</i>	28
2.2. Caractérisation des spores	28
2.3. Taux de mycorhization.....	29
Conclusion	30
Références Bibliographie	31
Annexes	35

Introduction

La restauration et la préservation de la biodiversité (« la diversité de la vie sur Terre ») est l'un des sujets les plus importants actuellement étudiés. En effet, la biodiversité subit actuellement des changements drastiques et sans précédent qui entraînent un déclin de la richesse biologique terrestre. Parmi les composantes de la biosphère, les formations végétales sont particulièrement sensibles à ces changements globaux. La dégradation des communautés végétales, tant qualitativement (perte de diversité) que quantitative (diminution de la productivité) entraîne des déséquilibres importants dans le fonctionnement biologique des écosystèmes, qui, à terme, ne permettent plus à la végétation d'assurer sa pérennité. Le fonctionnement et la stabilité des écosystèmes terrestres sont fonction des caractéristiques du couvert végétal (diversité et structure). Plus récemment, il a été démontré que la microflore tellurique jouait un rôle clé dans les processus assurant la co-existence des plantes mais également la dynamique de l'écosystème et sa productivité. Au sein des communautés microbiennes peuplant le sol figurent les microorganismes symbiotiques qui contractent des relations étroites avec les plantes en leur assurant en particulier une nutrition minérale (N et P) nécessaire au développement des espèces végétales. En ce qui concerne les symbiotes fongiques (champignons mycorhiziens) (Dia & Duponnois, 2010).

Le symbiote fongique s'associe de diverses manières avec les racines de la plante-hôte, ce qui conduit à la réalisation de structures mycorhiziennes différentes qui ont été décrites comme des ectomycorhizes, des endomycorhizes et des ectendomycorhizes. Chacun de ces types mycorhiziens présente une organisation qui lui est propre (Dexheimer, 1997).

La famille des Fabacées (ex. Légumineuses) est l'une des plus importantes du règne végétal (Ozenda, 1991), communément appelée fabales, comptent 750 genres et 20000 espèces environ, réparties sur une aire géographique diversifiée (Cronk et al., 2006). Dans l'Algérie on enregistre 53 genres et 339 espèces (Quezel & Santa, 1962).

De loin, ce sont les plantes qui jouent un rôle le plus important dans la fixation de l'azote avec des bactéries symbiotiques. De plus, des scientifiques ont mis au jour l'existence d'échanges de composés chimiques entre les champignons du sol (mycorhizes) et les plantes fabuleuses. Ces champignons assurent aux végétaux qui leurs sont associés un apport minéral, notamment du phosphate et hydrique, qui sont essentiel à leur développement, ainsi leur compétitivité dans le milieu naturel.

Pour ces raisons nous avons consisté à identifier les types de mycorhizes présents chez trois espèces de la famille *Fabaceae* (*Calobota saharae*, *Astragalus gombo*, *Ononis angustissima*) ont été collectées de la région de Bou Saâda de la wilaya de M'sila.

Les objectifs de ce travail sont : en premier lieu l'évaluation du taux de mycorhization de ces 3 espèces (Fréquence de mycorhization, Intensité globale de la mycorhization, Intensité de mycorhization des fragments mycorhizés, Intensité arbusculaire dans le système racinaire et la richesse arbusculaire de la partie mycorhizée), en deuxième lieu, l'identification des spores extrait à partir du sol rhizosphériques des espèces.

Ce travail se compose de trois chapitres : Le premier chapitre présente une revue générale sur les mycorhizes et une description botanique de la famille des *Fabaceae*.

Le Deuxième chapitre présente le matériel et les méthodes : présentation de la zone d'étude, et la méthodologie expérimentale utilisée.

Le troisième chapitre est consacré à la présentation des résultats obtenus, les interprétations, les discussions éventuelles et la conclusion.

Chapitre I
Synthèse
Bibliographique

1. Mycorhizes

Le mycorhize (du grec "mukês" qui signifie champignon et "rhiza" qui signifie racine) est la symbiose des champignons sur les racines des plantes. En d'autres termes, les racines colonisées par des champignons mycorhiziens changent de morphologie. Le champignon entoure l'extrémité des racines d'un tissu épais et filiforme (appelé mycélium). C'est ainsi que se forment les mycéliums. L'aspect des racines mycorhizées varie fortement en fonction du champignon (Egli & Brunner, 2002).

Les champignons mycorhiziens travaillent en symbiose avec les racines et les plantes et jouent un rôle important dans le jardinage. Les champignons aident les plantes à extraire les nutriments du sol et à s'adapter à leur environnement. En retour, les plantes fournissent aux champignons l'énergie qu'elles ne peuvent pas obtenir du soleil. Ces dernières années, de nombreuses études ont clairement démontré la valeur scientifique et pratique de cette symbiose pour toutes les plantes du monde, tant dans les écosystèmes naturels qu'artificiels. Cependant, malgré ces preuves irréfutables et répétées, de nombreux praticiens de l'horticulture, de l'agriculture, de la sylviculture et de l'environnement connaissent mal l'importance pratique de ce phénomène. Pourtant, les pratiques durables dans ces secteurs ont beaucoup à gagner d'une utilisation intelligente de la symbiose mycorhizienne (Fortin et *al.*, 2016).

1.1. Historique

Dès 1840, Theodor Hartig décrit les premières observations microscopiques de mycorhizes provenant de diverses espèces d'arbres, mais il ne reconnaît pas la nature fongique des structures observées. En 1874, Bruchmann renouvelle ses premières observations sur des racines de pin et admet que le réseau enserrant toutes les cellules des tissus externes de la racine est fongique. Albert Bernard Frank a été le premier à regrouper toutes les observations de cette association en prenant d'abord en compte la présence systématique de filaments fongiques à la surface et à l'intérieur des racines des arbres observés. Il a ensuite soumis cette observation à l'expérience et a démontré de manière causale la nécessité et le bénéfice de la présence des champignons pour la plante. Il a conclu que l'association était essentielle pour assurer le bon développement des jeunes arbres. En 1885, Frank a introduit le concept de mycorhize afin de faire référence aux organes mixtes de racines et de champignons. En 1886, Robert Hartig valide et soutient la nouvelle théorie et donne définitivement son nom au Réseau de Hartig, en l'honneur de son père Theodor Hartig, qui avait décrit cette structure

pour la première fois dès 1840. Ensuite, au cours du XXe siècle, de nombreux chercheurs se penchèrent sur d'autres catégories de mycorhizes (Garabaye, 2013).

1.2. Types de mycorhizes

Le symbiote fongique s'associe de diverses manières avec les racines de la plante-hôte, ce qui conduit à la réalisation de structures mycorhiziennes différentes qui ont été décrites comme des ectomycorhizes, des endomycorhizes et des ectendomycorhizes. Chacun de ces types mycorhiziens présente une organisation qui lui est propre. Quel que soit le type mycorhizien, le champignon reste confiné dans le cortex racinaire et ne franchit jamais la barrière endodermique (Figure 1) (Dexheimer, 1997).

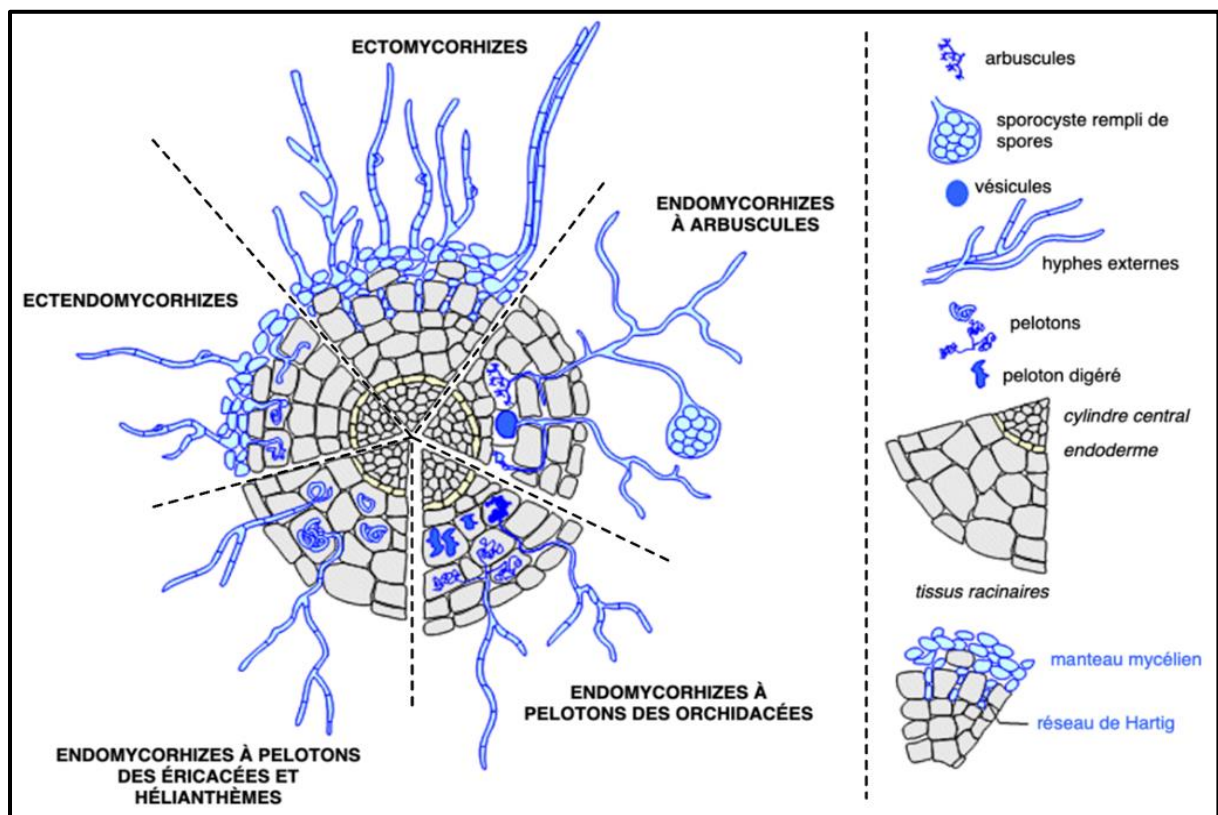


Figure 1. Les différents types de mycorhizes (illustration : E. Force, d'après F. Le Tacon, 1985). En bleu : éléments du champignon ; en gris : éléments végétaux.

1.2.1. Ectomycorhizes

Les ectomycorhizes (ECM) du grec *ektos* qui signifie à l'extérieur (Garabaye, 2013). La symbiose ectomycorhizienne est une association mutualiste entre les racines fines des plantes et des champignons du sol. Elle se traduit par la formation d'ECM, organe mixte, et par l'apparition de fructifications appelées sporophores visibles à proximité de la plante hôte. Au plan morphologique et structural, la racine, profondément modifiée, est enrobée d'un manteau fongique, ce qui la rend visible à l'œil nu, et présente un réseau d'hyphes, appelé

réseau de Hartig, qui pénètre entre les cellules corticales sans jamais traverser la paroi (Figure 1) (Bâ et *al.*, 2011).

1.2.2. Ectendomycorhizes

Ce type de mycorhize signifie que le champignon est à la fois à l'extérieur et à l'intérieur des cellules de la racine, comme dans le cas des ectomycorhizes typiques, le champignon colonise la surface des racines courtes et forme un manteau, pénètre entre les cellules du cortex et constitue un réseau de Hartig; cependant, l'analogie s'arrête là car le manteau n'existe pas toujours et est de toute façon lâche et peu différencié, et surtout un fait nouveau survient : les hyphes du réseau de Hartig émettent des branches qui perforent les parois des cellules végétales grâce à la sécrétion d'enzymes détruisant les constituants de cette paroi que sont la cellulose, les hémicelluloses et les pectines. Une fois à l'intérieur de la cellule, les hyphes se ramifient et prennent une forme contournée jusqu'à occuper toute la cellule, mais en repoussant la membrane cellulaire sans la traverser, finissant par être entièrement et étroitement engainés par cette membrane, représentant ainsi une grande surface de contact propice aux échanges symbiotiques (Figure 1) (Garabaye, 2013).

1.2.3. Endomycorhizes

Endomycorhizes (du grec endon, en dedans, et mukês, champignon, et rhiza, racine). Type de mycorhize caractérisé par l'absence de manteau fongique et par des hyphes qui se développent dans les cellules du cortex racinaire (à l'extérieur du cytoplasme) sous forme de structures caractéristiques appelées arbuscules ou pelotons, On distingue trois grands types d'endomycorhizes selon leurs particularités structurales et leur mycobiontes (Figure 1) (Forêt, 2018).

1.2.3.1. Endomycorhizes vésiculo-arbusculaires

Elles concernent environ 95 % des taxons végétaux à mycorhizes : ligneuses, herbacées, mousses, fougères, gymnospermes et angiospermes plusieurs conifères et la majorité des plantes à fleurs, mono et dicotylédones. Ce type est non visible à l'oeil nu. Contrairement aux autres types de mycorhizes, ce sont des champignons aseptés faisant partie de l'ordre des Glomales (anciennement classé dans les Zygomycètes, il a été placé récemment dans un nouveau phylum : les Glomeromycètes) (Oehl et *al.*, 2016). Les hyphes des champignons mycorhize à arbuscule (MA) se développent dans le cortex racinaire où ils forment des arbuscules intracellulaires et des vésicules. Les champignons mycorhiziens à

arbuscules (CMA) aident les plantes à tolérer les contraintes édaphiques (Meddich et *al.*, 2015).

1.2.3.2. Endomycorhizes à pelotons ou orchidoïdes

Au cours de cette forme d'endomycorhize, le champignon pénètre dans les cellules de la racine mais ne crée que très rarement un réseau intercellulaire. La propagation de l'infection se fait directement d'une cellule à autre.

Quand un hyphe entre dans une cellule du cortex racinaire, elle s'enroule autour d'elle-même pour former un peloton (Figure 1), tout comme dans certaines cellules des mycorhizes VA. Cependant, à la différence du précédent type mycorhizien, c'est le seul type de formation intracellulaire et elles se forment dans des cellules actives (Dexheimer, 1997).

1.2.3.3. Endomycorhizes éricoïdes

Les champignons éricoïdes sont surtout des Ascomycètes (ex : *Hymenoscyphus*) et rarement des Basidiomycètes. Ils s'associent avec les plantes de la famille des *Ericacées* qui se développent dans divers milieux, très pauvres en nutriments (Kohout, 2017). Le mycélium éricoïde forme un peloton intracellulaire (Smith & Read, 2008).

Les ERM ont de nombreuses caractéristiques communes avec les ECM et dériveraient probablement de ces dernières (Wang & Qiu, 2006). D'ailleurs de nombreuses espèces fongiques formant des ERM sont également capables de former des ECM avec d'autres espèces végétales (Kjoller et *al.*, 2010).

1.3. Etapes de la formation des mycorhizes

1.3.1. Développement des hyphes dans le sol

Les premiers hyphes peuvent provenir de la germination de spores ou de racines mycorhizées déjà présentes dans le sol. Les hyphes issues de la germination de spores ont une durée de vie très limitée, elles dépérissent si elles ne rencontrent pas rapidement une racine compatible ; ce champignon est en effet un biotrophe obligatoire, il ne peut pas se développer sans son hôte. Les hyphes d'origine racinaire sont des filaments résultant de l'activité d'une mycorhization antérieure qui développe son réseau mycélien dans le but de rechercher des éléments nutritifs ou de partir à la conquête d'autres racines. Ces hyphes ne sont pas cloisonnées, elles ont une structure cœnocytaire, les noyaux sont dans un même cytoplasme (Pierre, 2012).

1.3.2. Rencontre avec la racine

Lorsqu'une racine rencontre au cours de sa croissance, les hyphes du sol, issues d'une germination récente, les hyphes sont comme attirées, elles viennent se placer le long de la racine, des contacts s'établissent, de petits gonflements apparaissent ; ils correspondent à des appressoriums à partir desquels les hyphes vont pénétrer dans la partie externe de la racine en passant entre les cellules de l'épiderme et du cortex ; les hyphes vont alors pouvoir se développer, se ramifier, coloniser la racine. Cette communication entre l'hyphe et la racine est possible via la libération de la plante à la molécule de strigolactone (le 5-deoxystrigol) en très faible concentration pour stimuler l'activité des mitochondries du champignon qui reprend son activité métabolique (Figure 2) (Pierre, 2012).

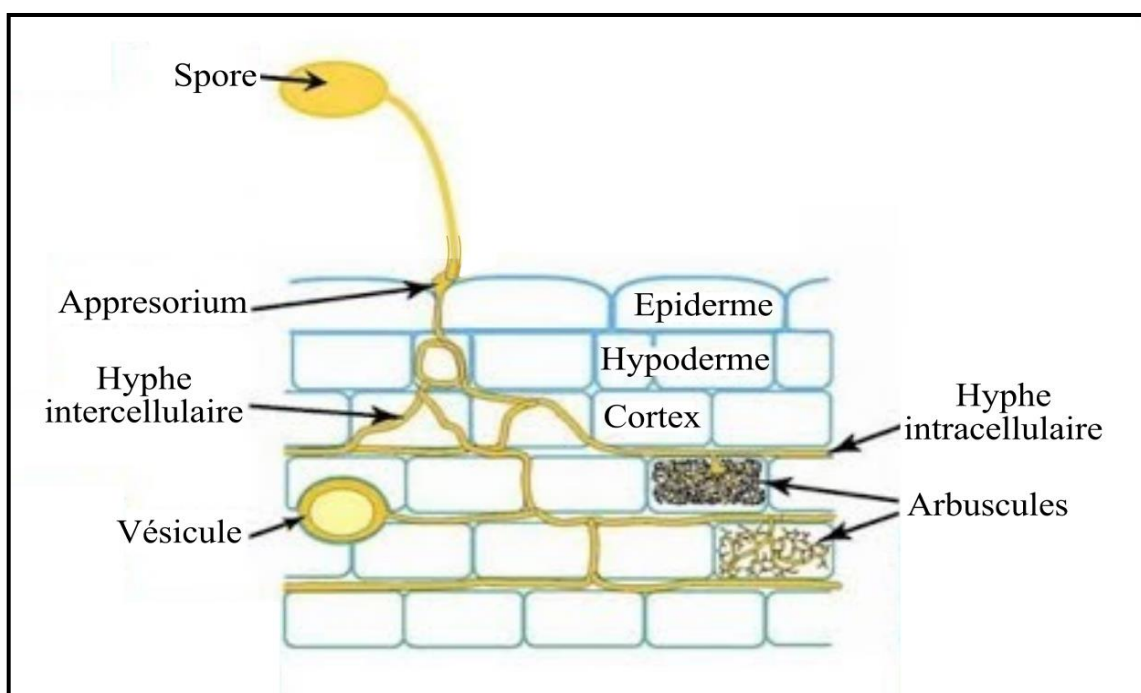


Figure 2. Prolifération des hyphes, formation des arbuscules et des vésicules (Pierre, 2012).

1.3.3. Prolifération intra-racinaire et la formation des arbuscules

Une ramification du mycélium dans les cellules, au contact de l'endoderme, permet l'élaboration des arbuscules qui ont comme rôle, d'augmenter la surface de communication entre le mycélium fongique et la cellule hôte, via l'invagination du plasmalemme. Cette surface, appelée interface arbusculaire est le siège favorisé des échanges entre les deux partenaires. Deux types de colonisation racinaire sont généralement différenciées en fonction de la structure de l'arbuscule : le type Arum et le type Paris (Figure 3). Le type Arum se distingue par une phase intercellulaire de croissance d'hyphes et une production d'arbuscules terminaux sur les branches d'hyphes intracellulaires. Le type Paris se caractérise par une

croissance d'hyphes intracellulaires considérables, formant des enroulements et portant des petits arbuscules (Smith & Smith, 1996).

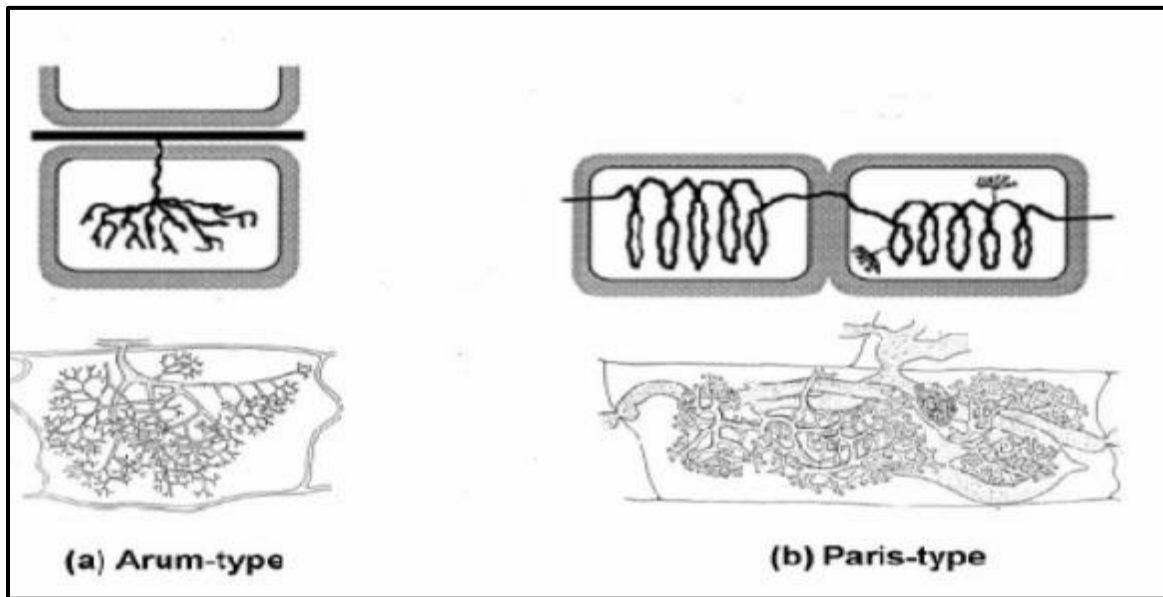


Figure 3. Types de colonisation racinaire des champignons mycorhiziens à arbuscules (Smith & Smith, 1996).

1.3.4. Formation des Vésicules

Après le développement des arbuscules, des hyphes commencent à se renfler à certains endroits de leur parcours ou à leur extrémité pour donner des espaces de stockage qui permettront la mise en réserve de diverses substances : lipides (corps gras), triacylglycérol (TAG). Ces structures appelées vésicules peuvent être inter- ou intracellulaires (Pierre, 2012).

1.4. Rôle du mycorhize

Les effets bénéfiques de la symbiose racinaire sont obtenus par la présence d'un stade intra-racinaire du champignon et d'un petit mycélium extra-racinaire qui se ramifie dans le sol et joue un rôle important dans l'absorption du phosphore. Ce mycélium parcourt de longues distances et atteint des zones inaccessibles aux racines, augmentant ainsi la surface d'échange entre la plante et son environnement (Louisanna *et al.*, 2003).

Les hyphes ont aussi la possibilité d'acquérir d'autres minéraux comme l'azote, le soufre, le calcium, le magnésium, le potassium, le zinc et le cuivre mais les informations dont on dispose sont plus limitées à ce sujet. L'avantage de la mycorhization est de permettre à l'arbre (en passant par le réseau d'hyphes du champignon) d'augmenter sa capacité à puiser des ressources minérales en couvrant un très grand territoire, comparativement aux seules racines des végétaux, et en ayant accès à des nutriments inaccessibles aux racines. En fait, les

champignons ont besoin de 100 fois moins de matériel biologique qu'un végétal pour couvrir la même zone d'absorption (Louisanna et *al.*, 2003).

De plus, les hyphes accélèrent l'altération des roches, permettant ainsi d'augmenter la disponibilité en minéraux. Ils peuvent s'attaquer aux minéraux insolubles du sol, comme le phosphore. Cette dernière action se fait généralement en symbiose avec des bactéries. Des recherches ont démontré que certaines ectomycorhizes peuvent pénétrer à l'intérieur de cristaux de feldspath (cristaux contenant de l'aluminium, de la silice et du potassium) en les dissolvants et ainsi y puiser du potassium. Ces champignons sont particulièrement utiles dans des sols où la rétention de minéraux n'est plus possible. Il a aussi été démontré que les mycorhizes peuvent directement exploiter les débris végétaux tombés par terre pour le compte des plantes (Louisanna et *al.*, 2003).

2. Fabaceae

La grande famille des *Fabaceae* doit son unité à son fruit, appelé gousse ou légume, d'où l'autre dénomination de Légumineuses sous laquelle cette famille est plus connue. Les fabacées constituent l'une des plus grandes familles de plantes à fleurs, avec 730 genres et plus de 19 400 espèces, et sont présentes dans les environnements tempérés et tropicaux. La famille est représentée par des variétés horticoles et de nombreuses espèces sont récoltées pour l'alimentation (haricots, pois, soja, ...), le fourrage (trèfle, luzerne, sainfoin), l'huile (arachides, soja), les fibres, le combustible, le bois, la médecine (extrait de genêt, spartine, réglisse) et les utilisations chimiques au Zimbabwe (Wojciechowski et *al.*, 2004).

2.1. Classification

Selon Quézel et Santa (1962) les Fabacées sont classées comme suit : les Mimosées (fleurs actinomorphes), les Papilionacées (fleurs papilionacées) et les Césalpiniacées (fleurs zygomorphes mais non papilionacées).

2.1.1. Mimosoideae

La majorité des *Mimosoideae* sont des arbres et arbustes qui se trouvent dans les régions tropicales et subtropicales, elles possèdent des fleurs symétriques, petites et très nombreuses qui sont localisées en grappes serrées à nombreuses étamines saillantes en dehors des petits pétales. Cette sous-famille regroupe 40 genres et 2500 espèces tel que *Parkia*, *Mimosa*, *Acacia*, *Albizia* (Sebihi, 2008).

2.1.2. *Caesalpinioideae*

Les *Caesalpinioideae* sont principalement des arbres ou des arbustes qui se retrouvent dans des régions tropicales et subtropicales. Elles possèdent des fleurs sous forme des papillons et à étamines unis. Cette sous-famille comprend 150 genres et 2700 espèces comme *Cassia*, *Cercis* et *Caesalpinia* (Sebihi, 2008).

2.1.3. *Papilionoideae*

Les *Papilionoideae* sont principalement des herbes et des petits arbustes, cosmopolites, présentes dans les régions tempérées et tropicales et inclut les légumineuses à graines bien connus telles que des haricots et des pois. Leurs fleurs prennent la forme de papillon. C'est la sous-famille qui comprend 429 genres et 12615 espèces telles que *Sophora*, *Abrus*, *Arachis* (Sebihi, 2008).

2.2. Caractères botaniques

Les *Fabaceae* partagent de nombreuses caractéristiques morphologiques. Cependant, la famille possède un grand nombre de types de fleurs. Cela est dû à des tendances évolutives plus ou moins simultanées, notamment la réduction du nombre d'éthamines et la création de fleurs zygomorphes. Les feuilles des plantes de cette famille ont également évolué morphologiquement (Quezel & Santa, 1962).

La famille ou la superfamille présente des plantes dicotylédones, dialypétales, superovariées, herbacées ou arborescentes, annuelles, bisannuelles ou pérennes dont le fruit est une gousse ou légume (Quezel & Santa, 1962).

Les espèces des Fabacées sont généralement des herbacées, arbustes, arbres ou plantes grimpantes à lianes volubiles ou à vrilles. Les feuilles sont généralement alternes, composées pennées (ou bipennées) à composés palmés, trifoliolés, ou unifoliées ; entières à parfois dentées – serrées à nervation pennée. Mais selon Quézel et Santa (1962), les fleurs généralement hermaphrodites, régulières ou irrégulières. Péricorolle double en général ; Calice caduc ou persistant à 5 sépales constituant parfois deux lèvres, tubuleux ou en cloche. Corolle le plus souvent constituée par 5 pétales et zygomorphe, en général papilionacée. Pétale supérieur (étendard) recouvrant les autres dans le bouton plus grand souvent redressé. Deux pétales latéraux (ailes) égaux recouvrant deux pétales inférieurs (carène) souvent soudés par leur bord externe. 5-10 Etamines ou très nombreuses très souvent à filets soudés en un tube staminal fendu ou non contenant l'ovaire et lui-même contenu dans la carène. Les inflorescences presque toujours indéterminées parfois réduites à une fleur solitaire terminale

ou axillaire, fruit généralement une gousse parfois une samare, un fruit momentané, une gousse indéhiscente, un akène, une drupe ou une baie ; La graine est presque toujours ex albuminée (Quezel & Santa, 1962).

2.2.1. Appareil végétatif

Les racines sont généralement pivotantes et laissent apparaître des nodosités à rhizobium qui se forment si le sol est pauvre en azote. Les feuilles sont généralement alternes, pennées ou trifoliolées et stipulées. Néanmoins, on peut noter quelques évolutions : la foliole terminale peut être absente (fève) ou en forme de vrille (vesce), les folioles sont remplacées par des épines (ajonc), les stipules font place à des épines (robinier faux acacia), le nombre de folioles peut être réduit (trèfle, genêt), la nervation peut être de type palmée (lupin) (Guignard & Dupont, 2007).

2.2.2. Appareil reproducteur

Les inflorescences sont des grappes plus ou moins allongées. Les *Fabaceae* les plus primitives (Mimosoïdees) possèdent un périanthe régulier et réduit, avec des étamines très nombreuses. Chez les plus évoluées, on observe une réduction du nombre d'étamines à 10 et la fleur devient zygomorphe. La préfloraison est imbriquée, descendante ou vexillaire. Toutes les *Fabaceae* possèdent un ovaire formé d'un seul carpelle. Celui-ci est supère et surmonté d'un style et d'un stigmate. Le fruit, élément le plus constant et qui caractérise cette famille, est appelé gousse ou légume. Il s'agit d'un fruit qui s'ouvre en général à maturité grâce à une double ouverture : ventrale et dorsale. Chez certaines espèces, la gousse subit des transformations. En fonction des espèces, la gousse est sèche ou charnue aplatie ou comprimée, spiralée, arquée, ailée, segmentée, articulée, verdâtre ou de couleur vive. Sa taille va de quelques centimètres à une trentaine de centimètres. Le nombre d'ovules est variable. Ils évoluent pour former une graine arquée, ex albuminée, qui est d'ailleurs souvent riche en composés à haute valeur alimentaire comme : l'amidon (pois, fèves, lentilles), des lipides (arachides, graines de soja), des protéines (graines de soja) (Morale, 2011).

2.3. Espèces de fabacées

2.3.1. *Calobota saharae* Coss. & Dur.

Le genre *Calobota* comprend des espèces d'arbustes ou d'arbustes massifs épineux. Elles se distribuent dans le sud et le sud-ouest de l'Afrique du Sud et en Namibie, à

l'exception de *Calobota saharae*, qui est endémique de l'Afrique du Nord, où il se produit sur les dunes de sable de la Libye à l'Algérie et au Maroc.

L'espèce *Calobota saharae* (Figure 4 - A) est un arbrisseau pouvant aller jusqu'à 2 m. Les tiges sont multiples, de couleur verte, les jeunes tiges sont densément pileuses puis glabres ; sans épines, Les tiges plus âgées sont pileuses ou glabres et portent une écorce brun clair. Les feuilles sont simples, à base cunéiforme et apex aigu. Elles sont sessiles, linéaires, alternes, pileuses sur les deux faces. Elles mesurent de 6 -10 mm de longueur et 1- 2 mm de largeur. La floraison se produit entre le mois Mars à Mai. L'inflorescence comporte 5 à 12 fleurs, et mesure 75 à 150 mm de long. Les fleurs sont pédonculées (1-2 mm), et possèdent une bractée (1,5-2,0 mm de long), linéaire, pubescente ; et des bractéoles (0,5 - 1.0 mm de long), linéaire, pubescentes. Les fleurs mesurent 13 à 17 mm de long. Le calice n'est pas bilabié mais forme un tube de 4.5 - 7.0 mm de long, pileux, avec des lobes de 1.5 à 3 mm. La carène est glabre et mesure 12.5 - 13.0 mm de long, la griffe mesure 4 - 5 mm et le limbe, en forme de bateau, mesure 8.0 à 8.5 mm de long et 4,5 - 5,0 mm de large. L'étendard mesure 13-15 mm de long, les griffes sont linéaires (3.5 - 4.0 mm de long), le limbe est ovale (9.5 - 11.0 mm de long et 7.5 - 8.0 mm de large), pubescent sur la surface dorsale à apex obtus. Les ailes mesurent 11.5 - 14.0 mm de long, la griffe 4.0 - 4.5 mm de long. Le limbe est oblong, mesure 7 à 9 mm de long, 3 - 4 mm de large, glabres, avec 4 rangées de sculpture. Les espèces du groupe *Calobota* ont généralement des gousses cylindriques ou semi cylindriques à parois épaisses, cependant, les fruits de *Calobota saharae* sont à paroi mince et membraneuse. La gousse est comprimée latéralement, indéhiscente, mesure 30.0 - 40.0 mm et 6.0 à 10.0 mm de large. Elle comporte 4 à 6 graines. Les graines sont réniformes à oblongues-réniformes. Elles mesurent 2.5 à 3.0 mm de long, et 1,5 à 2,0 mm de large. Les graines matures sont brun clair, à surface lisse (Boatwright, 2009).

2.3.2. *Astragalus gombo* Pomel

L'espèce *Astragalus gombo* (Figure 4 - B) est une plante vigoureuse et basse à port chamaephytique dont les bourgeons se situent près du sol, de 10 à 50 cm de haut, aux tiges dressées, tomenteuses (cotonneuses) recouvertes de poils épais blancs. Elles sont de couleur claire, pourvues de très longues feuilles aux nombreuses petites folioles. Les pétioles, deviennent coriaces et piquants à l'extrémité en perdant leurs folioles (Ozenda P. , 2004). Les fleurs papilionacées de 25 mm sont jaunes, regroupées en grappes compactes axillaires, sessiles (dépourvues de pédoncules) ou presque, insérées à l'aisselle des feuilles terminales. Comme pour toutes les espèces d'Astragale, la caractérisation du fruit est déterminante. La

gousse est divisée complètement en deux loges par une cloison longitudinale, à paroi épaisse, ligneuse, renflée, très dure, et couverte d'un dur soyeux dépassant 1 cm de diamètre (Quezel & Santa, 1962). Elle a une forme saillante ornée de nervures superficielles, terminée en bec robuste. *Astragalus gombo* est une espèce endémique saharienne (Ozenda, 2004). Elle pousse sur les plateaux calcaires ou gréseux où s'écoulent les oueds, dans les lits sablonneux, ou les éboulis de falaises. Elle forme parfois d'importants pâturages après la pluie et résiste longtemps dans certains oueds (Benchelah et al., 2000). Elle est bien appréciée par les animaux, notamment, le dromadaire (Kherraze et al., 2010).

2.3.3. *Ononis angustissima* Lam.

Ononis angustissima (Figure 4 – C) est une plante rameuse à nombreuses tiges dressées bien verte. Elle peut atteindre 30 à 100 cm. Les rameaux sont persistants après la floraison. Feuilles à trois folioles étroites quatre à cinq fois plus longues que large, plus ou moins dentées. Les feuilles sont munies de deux stipules engainantes à leur base, le pétiole des feuilles est court. Fleurs jaunes, petites et moyennes (environ 0,3 à 2,5 cm) portées par un long pétiole qui se prolonge au-delà de l'insertion de la fleur (Ozenda, 1958). Les gousses peuvent être régulièrement déhiscent, ou manquent de points de suture et irrégulièrement déhiscent. La corolle et le calice sont généralement persistantes après l'anthèse, avec un ou parfois les deux en fonctionnement dispersion des fruits. Les quatre pétales inférieurs (aile et de la quille) sont partiellement soudés et leurs griffes sont adnées au tube staminal ; les pétales supérieurs (bannière) peuvent également être soudés aux pétales inférieurs, et parfois à l'étamine libre. La nacelle est souvent de texture du papier et sont entièrement situés dans la corolle persistante et souvent fortement modifiés ou calice (Burnett, 1833).

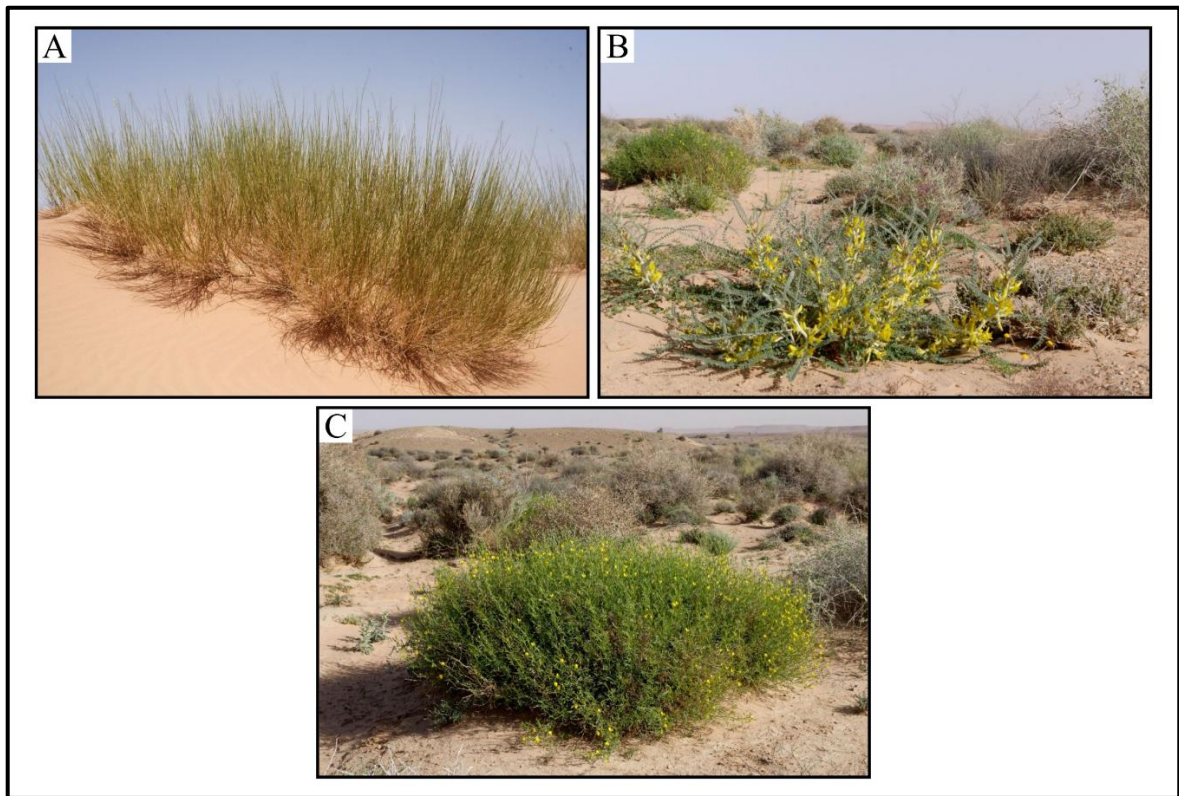


Figure 4. Les espèces de Fabaceae étudiées, (A) *Calobota saharae*, (B) *Astragalus gombo*, (C) *Ononis angustissima*. (<https://atlas-sahara.org>)

3. Mycorhize et Fabaceae

Les Fabacées sont également très mycorhiziennes. En effet, les nodules ont besoin de phosphore, de soufre et de nutriments complexes pour fonctionner. Les mycorhizes facilitent également la digestion des résidus et de la matière organique, fournissant aux plantes de grandes quantités d'azote. Il y a l'azote libre prélevé par les plantes directement dans le sol, l'azote atmosphérique fixé par le rhizobium et l'azote mobilisé par la symbiose mycorhizienne. En d'autres termes, les réseaux mycorhiziens contournent les processus traditionnels de minéralisation et accélèrent le recyclage de l'azote. Il est donc logique que les légumineuses gourmandes en azote aient développé un certain nombre de stratégies pour le fournir (Duponnois et *al.*, 2013).

Chapitre II

Matériel

et Méthodes

1. Matériel végétal

Les espèces des *Fabaceae* étudiées sont : *Calobota saharae*, *Astragalus gombo* et *Ononis angustissima* ont été collectées de la région de Bou Saâda de la wilaya de M'sila (Figure 5) au mois de Février de l'année 2024.

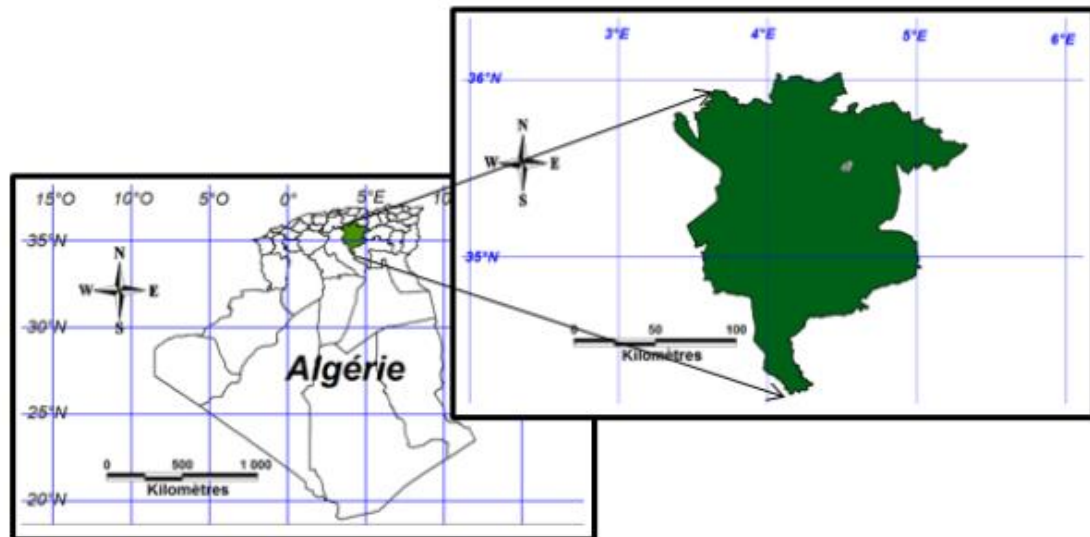


Figure 5. Localisation de la zone d'étude.

2. Evaluation du taux de mycorhization des espèces végétales

2.1. Prélèvement de racines

Les prélèvements de monolithe de sol sont réalisés sur une profondeur de 10 à 15 cm avec l'intégralité du plant et de son système racinaire et/ou à proximité de la plante étudiée : directement sous celle-ci, dans le sol rhizosphérique.

2.2. Lavage et séparation des racines

Les racines échantillonnées sont soigneusement rincées à grande eau afin d'éliminer les particules de sol. Elles doivent être maintenues en permanence dans l'eau afin de séparer les plus fines des plus grosses à l'aide de ciseaux ou de pinces. Les racines fines peuvent être coupées en morceaux de 2 à 3 cm de longueur (afin de faciliter leur manipulation ultérieure). Les racines lavées peuvent être gardées dans une chambre froide dans des pots ou dans des tubes à essai avant d'être traités ultérieurement.

2.3. Eclaircissement et coloration des racines

La technique de coloration des racines utilisée est celle décrite par Philips et Hayman (1970) modifiée. Les racines sont lavées avec de l'eau puis conservées pendant 24h dans une

solution de potasse (KOH) à 10%. Elles sont ensuite, blanchies en ajoutant quelques gouttes de H₂O₂ (100V) au mélange KOH plus racines, pendant 5mn. Après un rinçage à l'eau distillée, les racines sont acidifiées avec du HCl à 1% pendant quelques minutes. Elles sont à nouveau rincées à l'eau distillée, puis colorées au bleu trypan (pendant au moins 24h à l'air ambiant). Les racines sont enfin rincées à l'eau distillée et conservées dans une petite quantité de glycérine.

2.4. Observation microscopique

Après la coloration, les racines peuvent être conservées dans du glycérol jusqu'à leur observation. Pour chaque échantillon, 30 fragments fins de racines d'environ 1 cm sont montés entre lame et lamelle, écrasés dans du glycérol et observés au microscope. Chaque fragment tant soigneusement vérifié sur toute sa longueur, au grossissement X40.

2.5. Quantification de la colonisation endomycorhizienne des racines

L'estimation de la colonisation des racines par les champignons mycorhiziens à arbuscules repose sur la méthode de Trouvelot et *al.* (1986). Ainsi, 30 fragments racinaires de 1 cm par échantillon sont examinés. Cette méthode consiste à évaluer la colonisation par les champignons mycorhiziens de chaque fragment observé en lui attribuant une note entre 0 et 5 (Figure 6), l'abondance des arbuscules par fragment de A0 (pas d'arbuscule) à A3 (arbuscules abondants) (Figure 7).

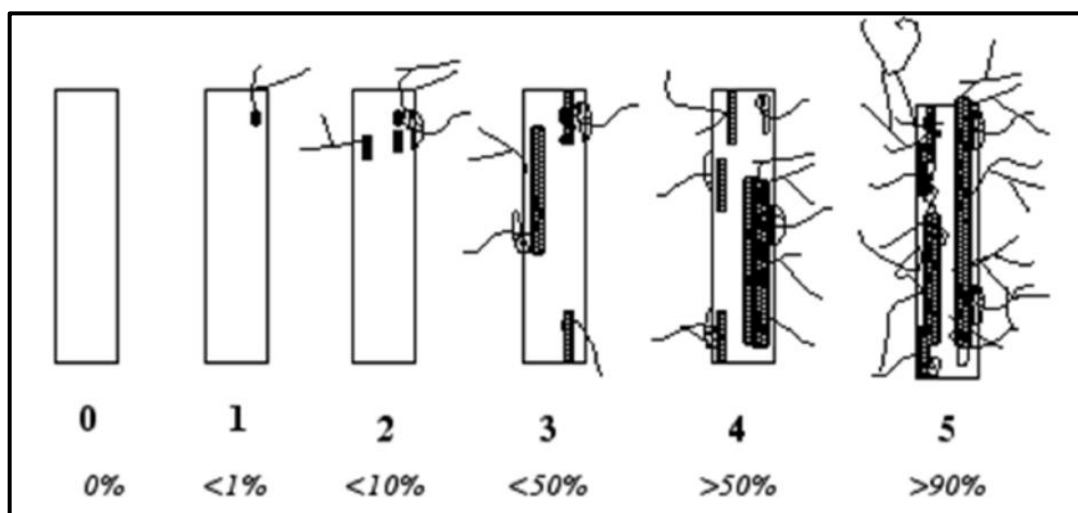


Figure 6. Notation du degré de mycorhization des fragments racinaires. L'échelle s'étend de 0 (pas de mycorhization) jusqu'à 5 (au moins 90% du fragment est mycorhizé) d'après Trouvelot et al. 1986.

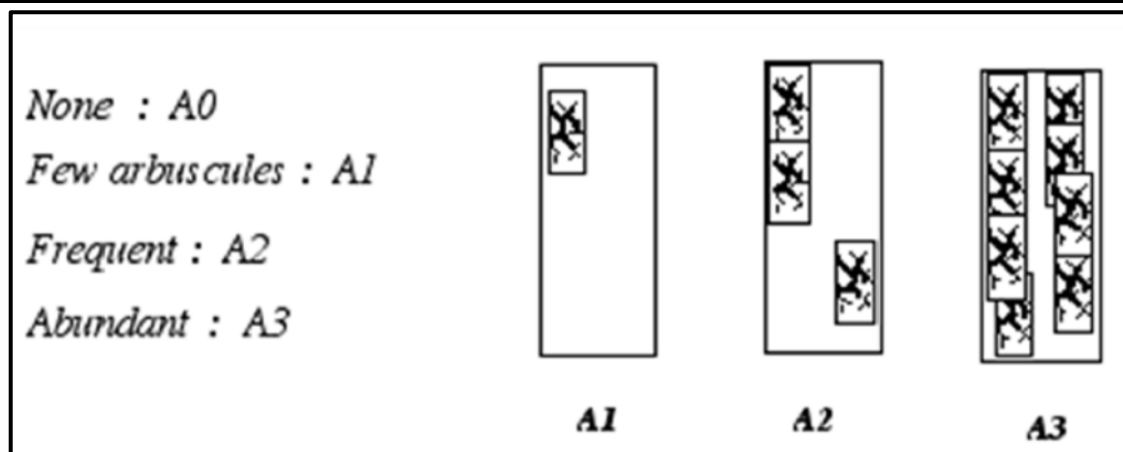


Figure 7. Notation de l'abondance des arbuscules dans les fragments racinaires (d'après Trouvelot et al. 1986).

Au total 5 paramètres sont à calculer : F%, M%, m%, a% et A%

F% : Fréquence de la mycorhization = (nombre de fragments mycorhizés/nombre total de fragments observés) x 100

M% : Intensité de mycorhization = $(95n_5 + 70n_4 + 30n_3 + 5n_2 + n_1) / (\text{nombre total de fragments observés})$ où n_5 = nombre de fragments mycorhizés notés 5, n_4 = nombre de fragments notés 4, n_3 = nombre de fragments notés 3, n_2 = nombre de fragments notés 2, n_1 = nombre de fragments notés 1. Ce paramètre traduit le mieux le degré de mycorhization.

m% : Intensité de mycorhization des fragments mycorhizés = $M \times (\text{nombre total de fragments observés}) / (\text{nombre de fragments mycorhizés}) = M \times 100 / F$.

a% : Intensité arbusculaire de la partie mycorhizée = $(100mA_3 + 50mA_2 + 10mA_1) / 100$? Où mA_3 , mA_2 , mA_1 sont les % de m respectivement affectés des notes A3, A2, A1. Avec $mA_3 = ((95n_5A_3 + 70n_4A_3 + 30n_3A_3 + 5n_2A_3 + n_1A_3) / \text{nombre de fragments mycorhizés}) \times 100 / m$, de même pour A2 et A1.

A% : Intensité arbusculaire dans le système racinaire = $a \times (M/100)$

3. Extraction des spores à partir de sol

L'extraction des spores de champignons mycorhiziens à partir des sols rhizosphériques s'est effectuée selon les étapes suivantes :

1. On met 5 g de sol dans 4 ml d'eau distillée stérile.
2. Placez-le dans un vortex pendant 10 minutes.

3. Placer les tubes usagés dans une centrifugeuse à une vitesse de 2500 RPM pendant 15 minutes.
4. Nous retirons les tubes de l'appareil, éliminons le liquide surnageant et les ajoutons 4 ml de solution de saccharose à 63 %.
5. Remettez les tubes dans le vortex pendant 10 minutes.
6. Placez les tubes dans le centrifugeuse pendant 20 minutes.
7. A l'aide d'une aiguille stérile, on prélève le liquide surnageant contenant les spores.
8. Observation microscopique.

Chapitre III

Résultats

et Discussion

1. Résultats

1.1. Formes et structures microscopique des mycorhizes

Les analyses microscopiques des racines de *Calobota saharae*, *Astragalus gombo*, *Ononis angustissima* ont révélé l'existence d'une colonie mycorhizienne vivant en interaction avec les racines des espèces étudiées. La colonisation des racines par des structures fongiques de transport (les hyphes), de transfert (les arbuscules) et de stockage (les vésicules) est un exemple de ces mycorhizes. On a pu observer ces structures mycorhiziennes au microscope optique.

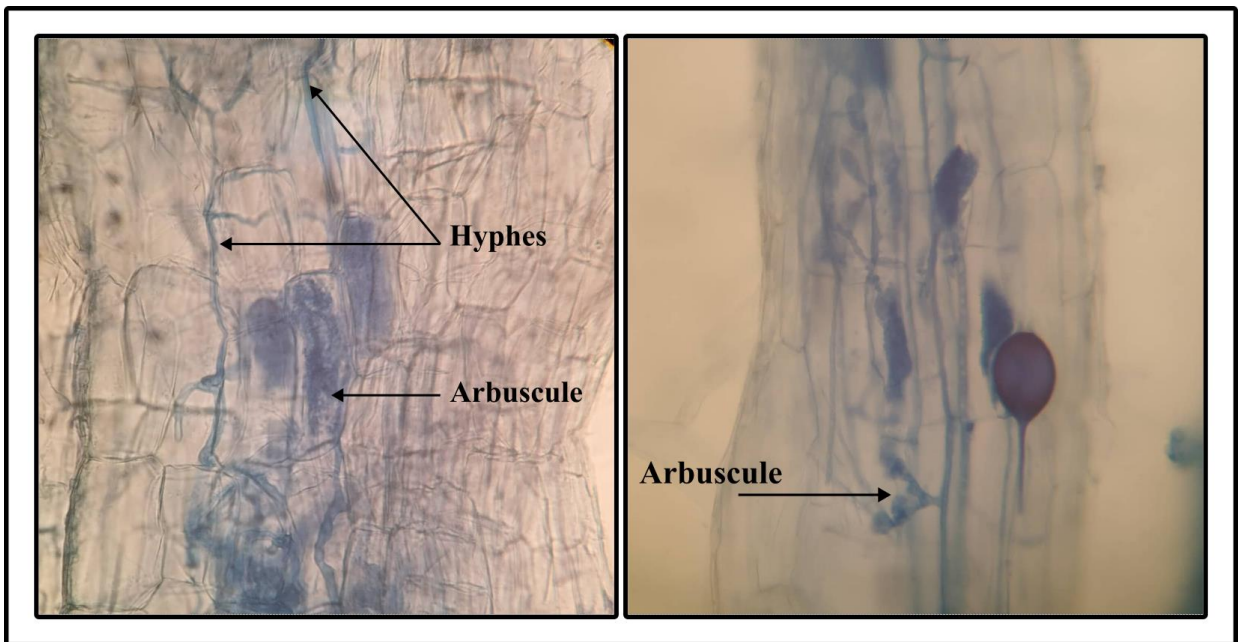


Figure 8. Types de mycorhize chez *Ononis angustissima*.

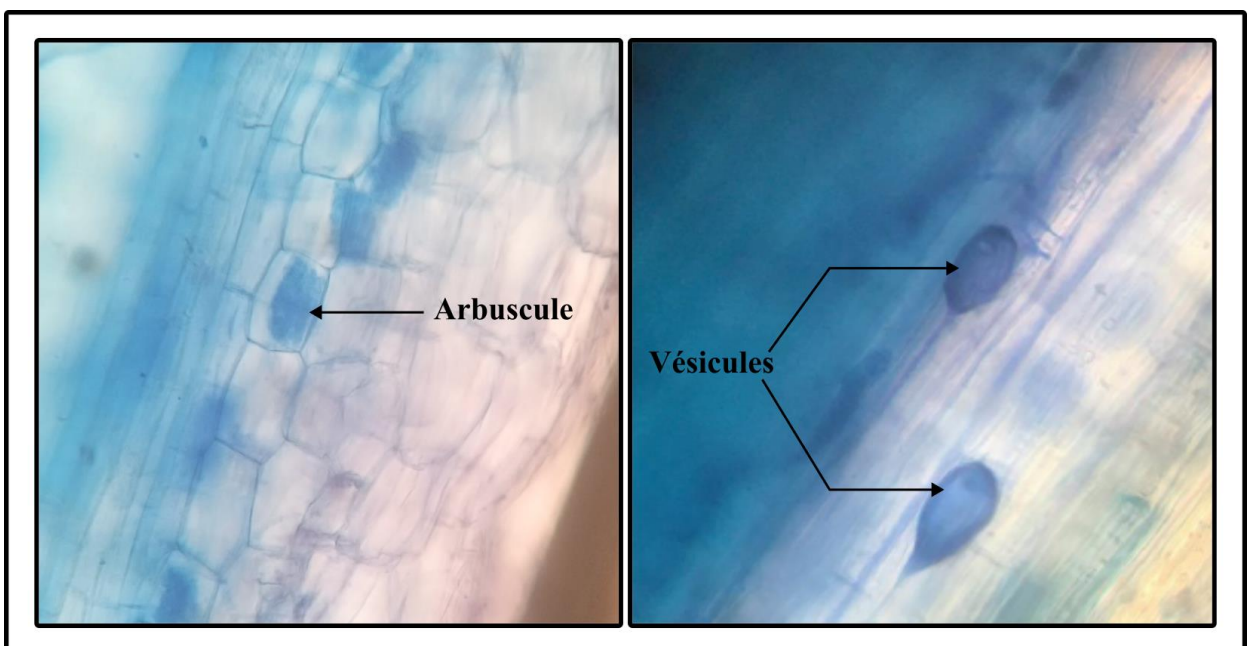


Figure 9. Types de mycorhize chez *Astragalus gombo*.

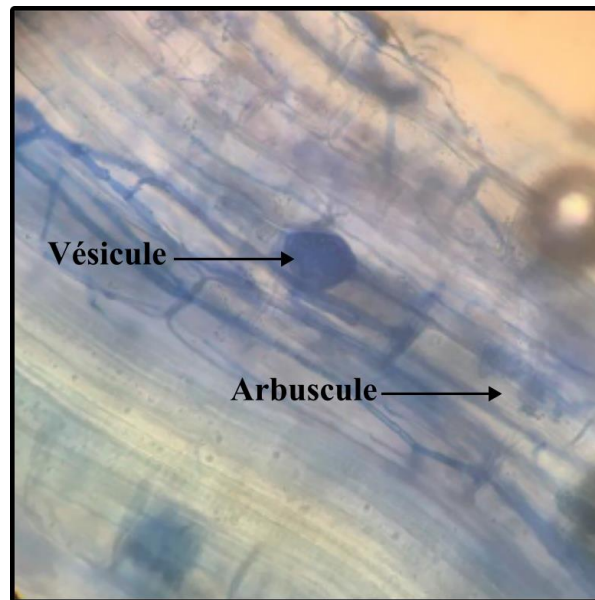


Figure 10. Types de mycorhize chez *Calobota saharae*

1.1.Observation et caractérisation des spores

L'isolement des spores des champignons qui nous a permis d'observer la présence de plusieurs morphotypes (figure 11, 12, 13), ils s'agissent des spores de couleur noire, marron, marron foncé, orange, blanche et jaunâtre, de forme globuleuse ou irrégulière et de taille variable.

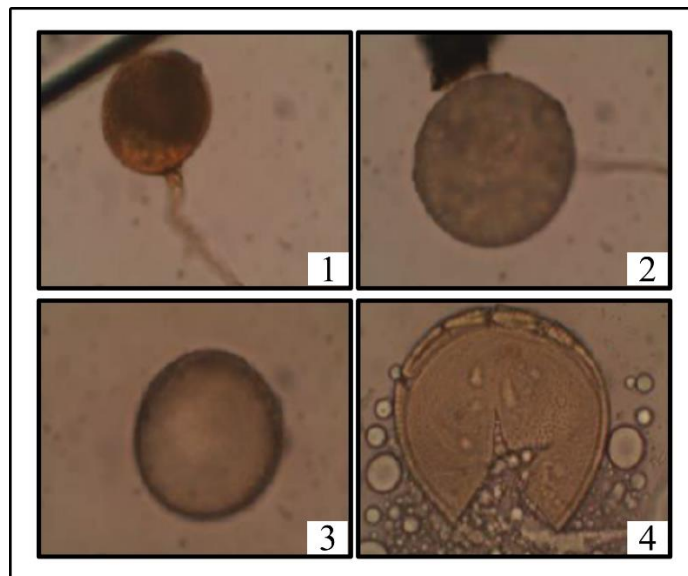


Figure 11. Les spores isolées à partir de sol rhizosphérique de *Ononis angustissima*.

(1) *Gigaspora* sp. (2) *Gigaspora* sp. (3) *Acaulospora* sp. (4) *Acaulospora* sp.

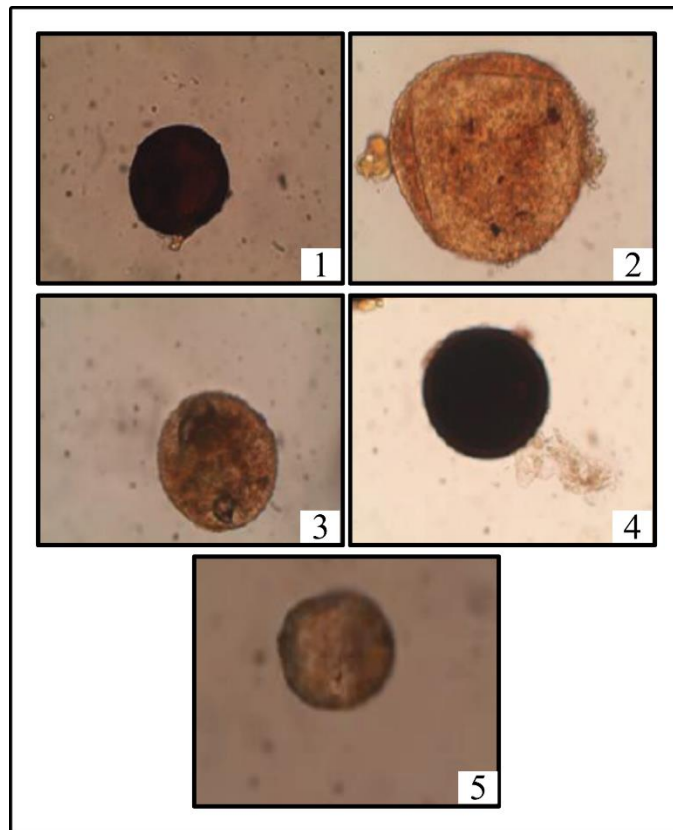


Figure 12. Les spores isolées à partir de sol rhizosphérique de *Astragalus gombo*.

- (1) *Glomus sp.* (2) *Acaulospora sp.* (3) *Glomus sp.* (4) *Glomus sp.*
 (5) *Acaulospora sp.*

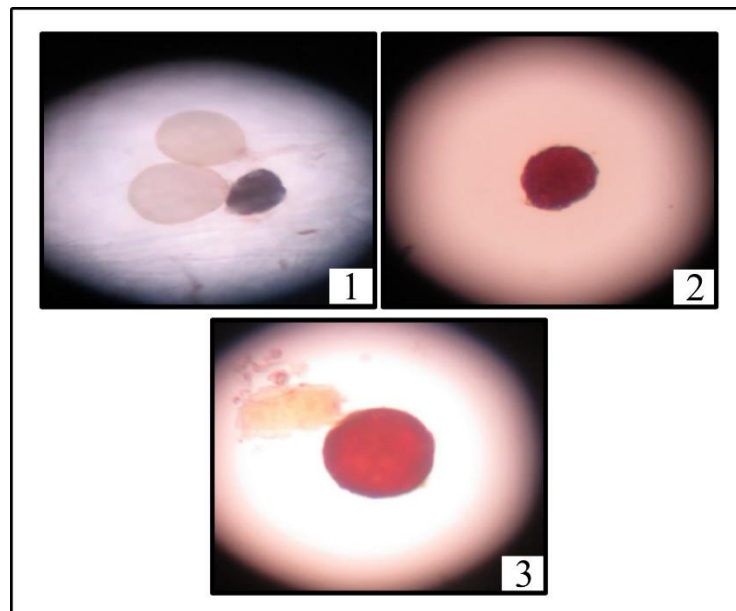


Figure 13. Les spores isolées à partir de sol rhizosphérique de *Calobota saharae*

- (1) *Gigaspora sp.* (2) *Scutellospora sp.* (3) *Glomus sp.*

1.2. Dénombrement des spores

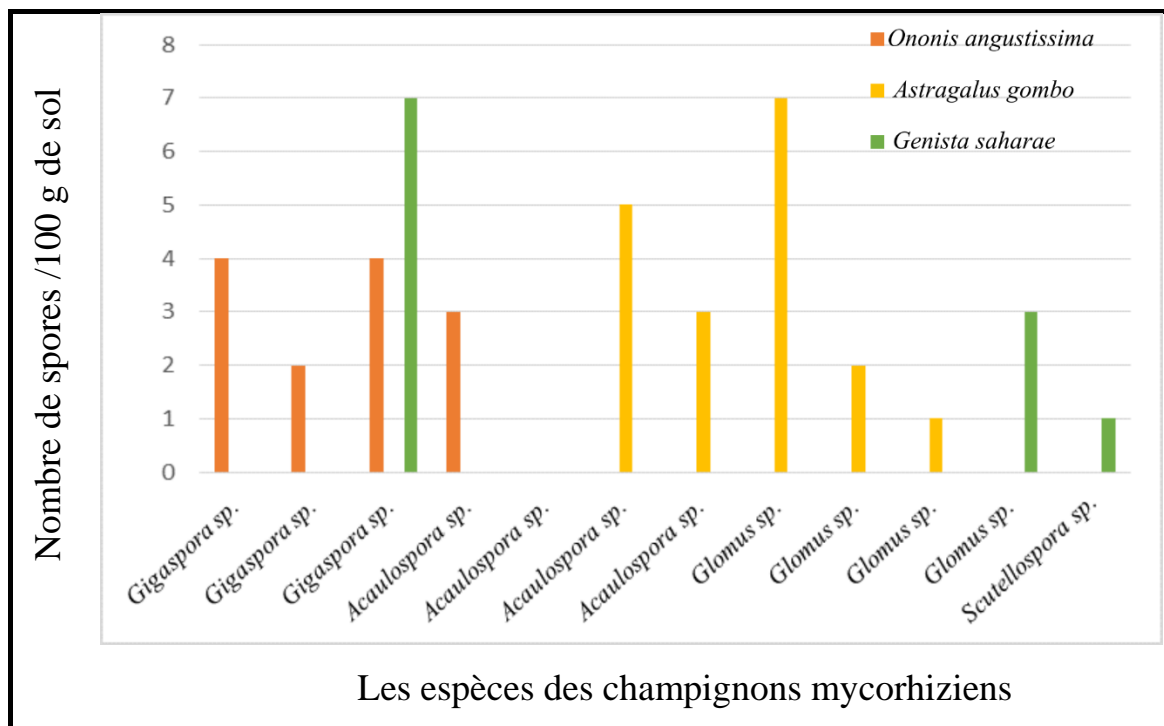


Figure 14. Densité des espèces sporales dans le sol rhizosphérique des *Calobota saharae*, *Astragalus gombo* et *Ononis angustissima*. (Spores/100g).

Le dénombrement des espèces des spores a été effectué pour chaque 100 g de sol rhizosphérique des Fabaceae (*Calobota saharae*, *Astragalus gombo* et *Ononis angustissima*) et les résultats sont présentés dans la figure (15). L'identification du genre des spores a été effectuée en se basant sur les clés proposées par des sites : INVAM. Les résultats montrent que le nombre et le type de spore varient d'une plante à l'autre. Le genre *Gigaspora* est présent chez *Ononis angustissima* et *Calobota saharae* et absent chez *Astragalus gombo*. Le genre *Acaulospora* est trouvé chez *Ononis angustissima* et *Astragalus gombo*, alors qu'il est absent chez *Calobota saharae*; Le genre *Glomus* est présent chez *Astragalus gombo* et *Calobota saharae* et absent chez *Ononis angustissima*; l'espèce *Scutellospora sp.* ne trouve que chez *Calobota saharae*.

Le nombre de spores trouvé dans 100g de sol varie d'une plante à l'autre. La valeur la plus élevée a été enregistrée chez *Astragalus gombo*, alors que la valeur la plus faible a été enregistrée chez *Calobota saharae* (Figure 15).

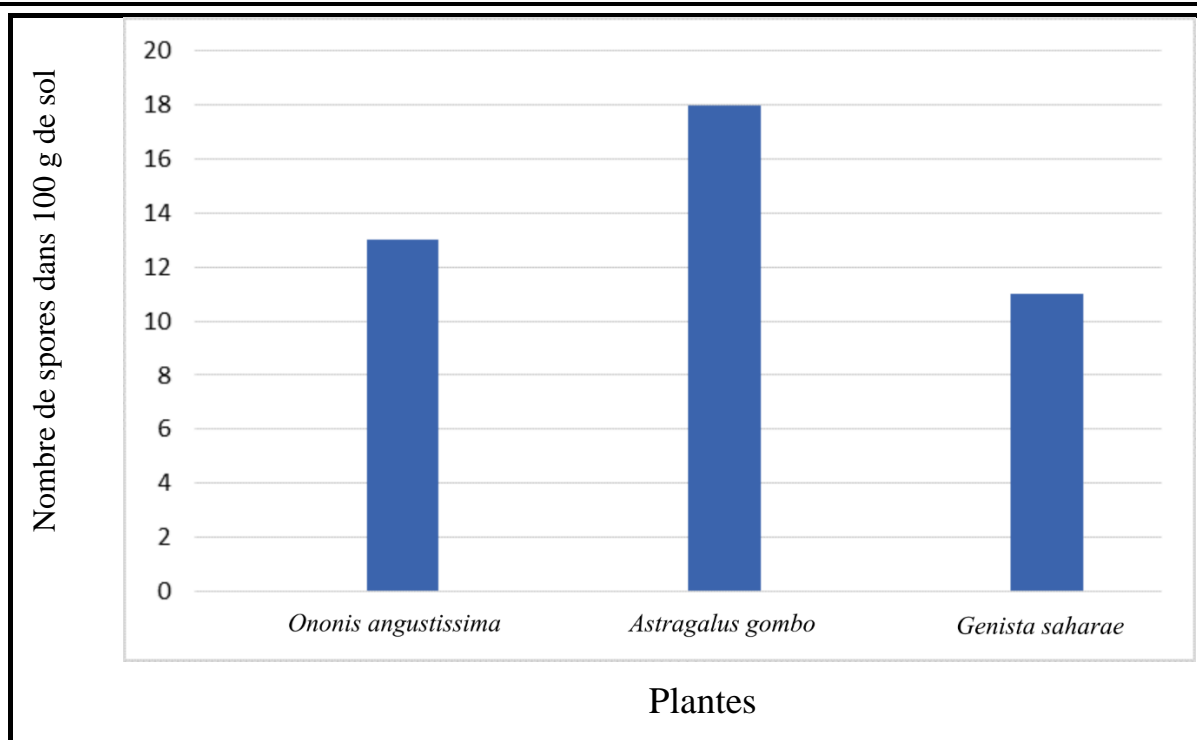


Figure 15. Densité des spores dans la rhizosphère de *Calobota saharae*, *Astragalus gombo*, *Ononis angustissima*.

1.3. Paramètres d'estimation de taux de mycorhization

D'après l'observation microscopique des racines des espèces collectées et les résultats des paramètres étudiés : la fréquence de mycorhization, l'intensité globale de la mycorhization, l'intensité de mycorhization des fragments mycorhizés, la richesse arbusculaire du système racinaire et la richesse arbusculaire de la partie mycorhizées, sont rapportées dans la (figure 16) qui indique la présence de mycorhization de type endomycorhizes vésiculo-arbusculaire chez les espèces étudiées de la région de Bou Saâda de la wilaya de M'sila.

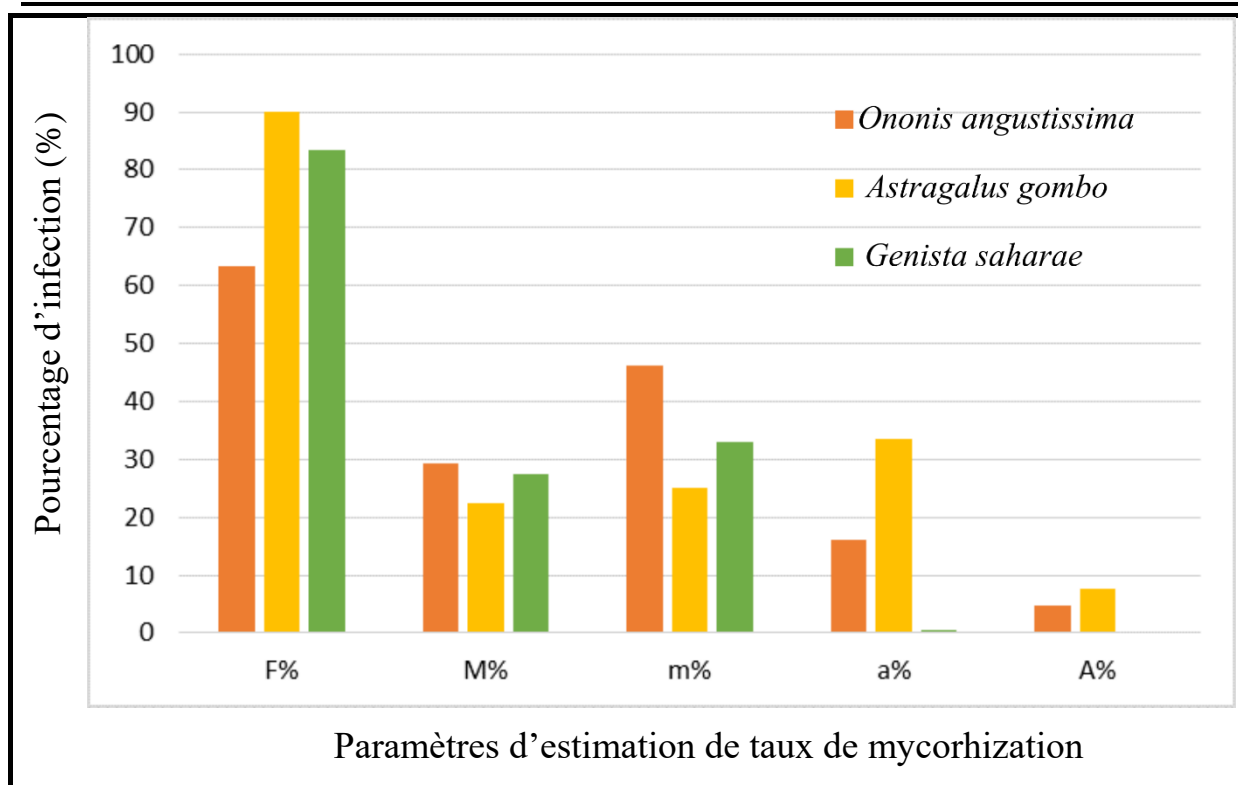


Figure 16. Pourcentage d'infection racinaire des espèces des Fabaceae étudiées : Fréquence de mycorrhization (F%), Intensité de la colonisation dans le système racinaire (M%), Intensité de la mycorrhization des fragments mycorhizés (m%), la richesse arbusculaire de la partie mycorhizée (a%), la richesse arbusculaire du système racinaire (A%).

1.3.1. Fréquence de mycorrhization (F%)

Les résultats de la fréquence de la mycorrhization sont présentés dans la (figure 16). L'analyse est significativement plus élevée chez *Astragalus gombo* (90 %), par rapport aux autres plantes étudiées. (*Calobota saharae* (83.33%), *Ononis angustissima* (63.33%).

1.3.2. Intensité de la colonisation dans le système racinaire (M%)

Le résultat de la fréquence de la mycorrhization sont présentés dans la (figure 16). a montré qu'il n'y a aucune différence significative entre les trois espèces étudiées *Astragalus gombo*, *Calobota saharae*, *Ononis angustissima* avec 22.43%, 27.43% et 29.20% respectivement.

1.3.3. Intensité de la mycorrhization des fragments mycorhizés (m%)

Les résultats présentés dans la (figure 16) montrent que l'intensité de mycorrhization ne dépasse pas 50% pour toutes les espèces. Elle est significativement plus élevée chez *Ononis angustissima* avec 46.11% par rapport aux autres espèces étudiées. Cependant, aucune

différence significative de m% a été enregistrée entre *Astragalus gombo* et *Calobota saharae* respectivement avec un pourcentage de 24.93%, et 32.92%.

1.3.4. La richesse arbusculaire de la partie mycorhizées (a%)

La richesse arbusculaire de la partie mycorhizée apportée dans la (figure 16) varie entre 0.44 et 33.52% chez l'ensemble des espèces étudiées. montre qu'elle est influencée de manière significative par l'espèce. Les résultats montrent que cette richesse arbusculaire bien marqué chez *Astragalus gombo* avec un taux de 33.52% et moyenne pour *Ononis angustissima* avec 15.99%. Par contre elle est Presque inexistante chez *Calobota saharae* (0.12%).

1.3.5. La richesse arbusculaire du système racinaire (A%)

Des arbuscules ont été notées dans les racines de trois espèces étudiées, la résultats apportée dans la (figure 16) montre que l'intensité de mycorhization ne dépasse pas 10% pour toutes les espèces .Où il a été estimé avec 7.52% chez *Astragalus gombo*, et avec 4.67% chez *Ononis angustissima*, et avec 0.12% chez *Calobota saharae*.

2. Discussion

2.1. Types de mycorhization chez *Astragalus gombo*, *Ononis angustissima* et *Calobota saharae*

Les résultats obtenus après les études réalisées ont montré que les trois plantes de la région de Bou Saâda (M'sila) (*Astragalus gombo*, *Ononis angustissima* et *Calobota saharae*) qui appartiennent à la famille de Fabaceae sont mycorhizées mais en pourcentage d'infection mycorhizienne notable. La plupart des *Fabaceae* forment des relations symbiotiques avec les champignons mycorhizienne. Cette colonisation est caractérisée par la présence du type de mycorhize à arbuscule et à vésicule avec différentes structures remarquables au niveau des racines : hyphes, arbuscules et vésicules de forme variable.

2.2. Caractérisation des spores

L'identification des spores (en fonction de la couleur, de la taille et de la forme) isolées à partir de sol rhizosphérique des Fabacées étudiées indique qu'il pourrait exister une diversité taxonomique. En effet, le nombre et le type de spores observés ne sont pas les mêmes dans les trois sols rhizosphériques. Cela pourrait s'expliquer par le fait que, les changements dans la composition des hôtes peuvent influencer la composition des champignons associés (Brundett, 1991). D'une autre côte il y a des types de spores communs,

chez la majorité des plantes étudiées, ce sont les spores qui appartiennent aux genres *Glomus*, *Acaulospora*. En termes de dominance ; *Glomus* représente le genre le plus répandu avec un pourcentage très élevé par rapport aux autres genres chez la majorité des espèces étudiées ce qui a été signalée aussi pour d'autres plantes (*Retama monosperma*, *Ononis natrix* et *Schismus barbatus*) par Hatimi et Tahrouch, (2007). Les espèces du genre *Glomus* sont réparties dans les différentes régions du monde et dominant les communautés des champignons mycorhiziens dans les parties arides et semi-arides, tempérées et à basse température. (Li & Zhao, 2005)

2.3. Taux de mycorhization

Les fréquences de mycorhization obtenus dans ce travail varient d'une espèce à l'autre où la valeur la plus faible est enregistrée chez *Ononis angustissima* 63.33% par contre la valeur la plus élevée a été enregistrée chez *Astragalus gombo* 90.00 % mais en générale la majorité des espèces ont des fréquences supérieures à 70 % ce qui indique que nos espèces ont un fort taux de mycorhization. Ces résultats sont très proches à celle qui a été trouvé par DEBBI et GUERROUCHE (2019) chez quelque Fabacées *Ononis natrix* L. (95.55%), *Scorpiurus muricatus* L. (93.33%), *Lotus corniculatus* L. (86.73%) et *Tripodion tetraphyllum* (L.) Fourr. (73.33%). Par contre Lakehal et Charik, (2018) ont montré que *Ononis biflora* Desf a une fréquence moyenne de (57%).

La teneur arbusculaire estimée par les paramètres a% et A% chez les espèces étudiées est très faible, lorsque on les compare avec les données de DEBBI et GUERROUCHE (2019) où elle a été trouvée des valeurs très élevée chez toutes les espèces étudiées comme suivant *Ononis natrix* L. (A%=12.90, a%=48.29), *Scorpiurus muricatus* L. (A%=41.11, a%=79.27), *Lotus corniculatus* L. (A%=21.09, a%=65.01) et *Tripodion tetraphyllum* (L.) Fourr. (A%=18.72, a%=59.84). est plus important par rapport au celle qui a été trouvée par (Hatimi et Tahrouch, 2007) où *Ononis natrix* prend la valeur 17.11% pour le paramètre a%.

La diversité et la distribution des CMA résultent des processus écologiques temporaires agissant sur les communautés végétales et fongiques, la température, le pH et le niveau de P dans le sol ainsi que le génotype des plantes constituent des facteurs limitant la distribution des espèces de CMA (Johnson *et al.*, 2004).

Conclusion

La présente étude a été consacrée à l'exploration du statut mycorhizien de trois Fabacées (*Astragalus gombo*, *Calobota saharae*, *Ononis angustissima*.) collectés de la région de Bou Saâda, (M'sila, Algérie), afin d'analyser la diversité des champignons mycorhiziens dans leurs sols rhizosphériques et d'évaluer le potentiel mycorhizogènes de ces symbiotes fongiques. Les résultats montrent que toutes ces espèces sont mycorhizées avec un taux de mycorhization varié d'une espèce à l'autre. Ces champignons forment des structures caractéristiques (des arbuscules, des hyphes, et des vésicules). Ce résultat permet d'identifier le type de mycorhize qui révèle une endomycorhization vésiculo-arbusculaire chez toutes les espèces des Fabacées étudiées. L'intensité de mycorhization MA est importante et varie de 22.43 % à 29.20 % selon les espèces étudiées.

Les champignons mycorhiziens jouent un rôle médiateur des interactions entre les plantes et ils leur permettent d'exploiter les ressources du sol et une meilleure tolérance aux stress biotique et abiotique.

La symbiose mycorhizienne, autant que la symbiose rhizobienne, joue un rôle déterminant dans la structuration et la dynamique des écosystèmes végétaux.

L'extraction des spores à partir des sols rhizosphériques prélevés sous ces fabacées choisis a permis d'identifier quatre genres fongiques endomycorhiziens (*Glomus*, *Acaulospora*, *Gigaspora*, *Scutellospor*) avec une prédominance de *Glomus*, et *Acaulospora*. la taille et la couleur des spores variant d'une espèce à l'autre ou l'espèce elle-même.

Ce travail est une contribution à la constitution d'une collection locale de champignons mycorhiziens des Fabacées dans la région de Bou Saâda - M'sila. Il doit être poursuivi afin de permettre de caractériser l'ensemble des champignons mycorhiziens inventoriés des sols de la région de M'sila.

Références Bibliographiques

- Bâ, A., Duponnois, R., Diabaté, M., & Dreyfus, B.** (2011). *Les champignons ectomycorrhiziens des arbres forestiers en Afrique de l'Ouest: méthodes d'étude, diversité, écologie, utilisation en foresterie et comestibilité*. IRD Editions.
- Benchelah, A. C., Bouziane, H., Maka, M., & Monod, T.** (2000). *Fleurs du Sahara : voyage ethnobotanique avec les touaregs du Tassili*. Paris: Ibis Press.
- Boatwright, J.** (2009). Systematic studies of the genus *Lebeckia* and related genera of the tribe crotalarieare (Fabaceae). *Systematic studies of the genus Lebeckia and related genera of the tribe crotalarieare (Fabaceae)*, 68 - 186.
- Brundett, M.** (1991). *Mycorrhiza in natural ecosystems*. Adv Ecol Res.
- Burnett, G.** (1833). *outlines of botany*. London: Adlard JC.
- Cronk, Q., Ojeda, I., & Pennington, R.** (2006). *Legume comparative genomics: progress in phylogenetics and phylogenomics*. Récupéré sur ScienceDirect: <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2006.01.011>
- Dexheimer, J.** (1997). Etude structurale et fonctionnelle des interfaces entre le champignon et la plante-hôte. *Revue forestiere francaise*, pp. 43-53. Récupéré sur Revue forestière française.
- Dia, A., & Duponnois, R.** (2010). *Le projet majeur africain de la Grande Muraille Verte*. IRD Éditions.
- Duponnois, R., Bâ, A., Prin, Y., Baudoin, E., Galiana, A., & Dreyfus, B.** (2013). *Les champignons mycorrhiziens : une composante majeure dans les processus biologiques régissant la stabilité et la productivité des écosystèmes forestiers tropicaux*. Marseille: IRD.
- Egli, S., & Brunner, I.** (2002). *Les mycorhizes. Une fascinante biocénose en forêt*.
- Forêt, R.** (2018). *Dictionnaire des sciences de la vie*. Saint Orens de Gameville: De Boek Supérieur.
- Fortin, J., Plenchette, C., & Piché, Y.** (2016). *Les mycorhizes. L'essor de la nouvelle révolution verte* (éd. 2). Québec.
- Garabaye, J.** (2013). *La symbiose mycorrhizienne, une association entre les plantes et les champignons*. Paris: Quae.

GUIGNARD, J.-L., & DUPONT, F. (2007). *BOTANIQUE ; SYSTÉMATIQUE MOLÉCULAIRE*. ELSEVIER-MASSON.

Kherraze, M., Lakhdari, Y., Kherfi, Y., Benzaoui, T., Berroussi, S., Bouhanna, M., & Sebaa, A. (2010). *Atlas floristique de la vallée de l'Oued Righ par écosystème* (éd. 1). Touggourt: centre de recherche scientifique et technique.

Kjoller, R., Olsrud, M., & Michelsen, A. (2010). Co-existing ericaceous plant species in a subarctic mire community share fungal root endophytes. *Fungal Ecology*, 205 - 214.

Kohout, P. (2017). Biogeography of Ericoid Mycorrhiza. Dans L. Tedersoo, *Biogeography of Mycorrhizal Symbiosis*. Estonia: Springer.

Li, T., & Zhao, Z. (2005). *Arbuscular mycorrhizas in a hot and arid ecosystem in South-West China*. Applied Soil Ecology.

Louisanna, E., de Grandcourt, A., & Garbaye, J. (2003, 11 25). Symbiose mycorhizienne et nutrition minérale. *HAL open science*, pp. 74 - 83.

Meddich, A., Hafidi, M., Ait El mukhtar, M., & Boumezzough, A. (2015). Caractérisation des paramètres physicochimiques et des potentialités mycorhizogènes des sols salés de la palmeraie Nord-est de Marrakech. *Journal of Materials and Environmental Science*.

Morale, S. (2011). étude phytochimique et évaluation biologique de derris ferruginea benth, (Fabaceae). *université d'Angers*, pp. 25 - 27.

Oehl, F., Oberholzer, H., Van der Heijden, M., Laczko, E., Jansa, J., & Egli, S. (2016). *Champignons mycorhiziens arbusculaires : bio-indicateurs dans les sols agricoles*. Recherche agronomique suisse.

Ozenda, P. (1991). *Flore et végétation du Sahara*. Editions du Centre national de la recherche scientifique.

Ozenda, P. (2004). Flore et végétation du Sahara. Dans F. Médail, *Ecologia mediterranea*. Paris.

Pierre, J. P. (2012). LES GLOMEROMYCOTA - Mycorhizes VAM et Geosiphon pyriformis (Kützing) Wettstein - . pp. 01 - 17.

Quezel, P., & Santa, S. (1962). *Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales* (Vol. 1). Paris: CNRS Paris.

Sebihi, F. (2008). *.Les bactéries nodulants les légumineuses (B.N.L) : caractérisation des bactéries associées aux nodules de la légumineuse fourragère, Hédysarum perrauderianum.* Thèse de Magister en Génétique et Amélioration des plantes. Université Mentouri. Constantine. Algérie:

Smith, F. A., & Smith, S. (1996). Mutualism and Parasitism: Diversity in Function and Structure in the “Arbuscular” (VA) Mycorrhizal Symbiosis. Dans *Advances in Botanical Research* (Vol. 22, pp. 1 - 43). Academic Press.

Smith, S. E., & Read , D. (2008). *Mycorrhizal Symbiosis*. New York: Elsevier. Academic Press.

Wang, B., & Qiu, Y. (2006). Phylogenetic distribution and evolution of mycorrhizas in land plants. *Mycorrhiza*, 299 - 363.

Wojciechowski, M. F., Lavin, M., & Sanderson, M. (2004). A phylogeny of legumes (Leguminosae) based on analysis of the plastid matK gene resolves many well-supported subclades within the family. *American journal of botany*, 91(11), 1846 - 1862. Retrieved from <https://doi.org/10.3732/ajb.91.11.1846>

Sites web

Site 1 :

<http://www.Invam.caf.wvu.edu> (The International Culture Collection of Arbuscular and Vésiculo-Arbuscular Endomycorrhizal Fungi).

Site 2 :

<https://atlas-sahara.org>

Annexes

Annexes 1

Réactifs pour la coloration des racines

Bleu de Trypan

Acide lactique.....	333ml
Glycérol.....	333ml
Bleu Trypan.....	0.05g
Eau distillée.....	333ml

Potasse hydroxyde

KOH.....	100g
Eau distillée.....	1000ml

Solution de conservation

Glycérol.....	.500ml
H ₂ O.....	450ml
HCl (1%)	50ml

Annexe 2

Grille d'évaluation de l'infection

	0	1				2				3				4				5			
		A1	A2	A1	A0	A1	A2	A1	A0	A1	A2	A1	A0	A1	A2	A1	A0	A1	A2	A1	A0
1																					
2																					
3																					
4																					
5																					
6																					
7																					
8																					
9																					
10																					
11																					
12																					
13																					
14																					
15																					
16																					
17																					
18																					
19																					
20																					
21																					
22																					
23																					
24																					
25																					
26																					
27																					
28																					
29																					
30																					
Tot																					

Annexe 3

Formules de calculs des paramètres de la colonisation endomycorhizienne définies par Trouvelot *et al.*, 1986.

Les paramètres d'estimation de taux de mycorhization F%, M%, m%, a%, A% sont ensuite calculés d'après les formules suivantes :

Fréquence des mycorhizes dans le système racinaire

$$F\% = (\text{nb de fragments myco} / \text{total nb}) * 100$$

Intensité de la colonisation mycorhizienne dans le système racinaire

$$M\% = (95n_5 + 70n_4 + 30n_3 + 5n_2 + n_1) / (\text{nb total})$$

Où n_5 = nombre de fragments classés 5 ; n_4 = nombre de fragments 4, etc.

Intensité de la colonisation mycorhizienne dans les fragments de racines

$$m\% = M * (\text{nb total}) / (\text{nb myco})$$

Abondance des arbuscules dans les parties mycorhiziennes des fragments de racines

$$a\% = (100m_{A3} + 50m_{A2} + 10m_{A1}) / 100$$

Où m_{A3} , m_{A2} , m_{A1} sont les % de m, classés A3, A2, A1, respectivement, avec $m_{A3} = ((95n_5A_3 + 70n_4A_3 + 30n_3A_3 + 5n_2A_3 + n_1A_3) / \text{nb myco}) * 100 / m$ et identiques pour A2 et A1.

Abondance d'arbuscules dans le système racinaire

$$A\% = a * (M / 100)$$

Résumé

Notre travail vise à étudier la relation entre les mycorhizes et trois plantes de la famille des fabacées (*Ononis angustissima*, *Calobota saharae* et *Astragalus gombo*) dans la région de Bou Saâda de la wilaya de M'Sila. Afin de réaliser ce travail, nous avons calculé et estimé la densité fongique présente au niveau des racines des plantes. Les spores ont également été extraites du sol. À la fin de cette étude, les résultats obtenus ont montré que toutes les plantes étudiées réalisent une association symbiotique avec des champignons avec une fréquence supérieure à 70 % et avec de différentes structures endomycorhiziennes : hyphes, arbuscules et vésicules. Les résultats ont également montré une remarquable diversité de spores fongiques dans les trois Fabacées, où le nombre total a été identifié à 12 espèces appartenant principalement à 4 genres : (*Gigaspora*, *Acaulospora*, *Glomus* et *Scutellospora*), les genres *Glomus* et *Acaulospora* étant les plus répandus au niveau des racines des trois *Fabaceae* étudiées chez d'autres espèces.

Mots clé : Mycorhize, Fabaceae, Endomycorhize à Arbuscules et à Vésicules, Symbiose, Spore.

Abstract

Our work aims to study the relationship between mycorrhiza and three plants of the *Fabaceae* family in the Bou Saâda region of M'Sila state. In order to achieve this work, we calculated and estimated the fungal density present at the root level of the plants *Ononis angustissima*, *Calobota saharae* and *Astragalus gombo*. Spores were also extracted from the soil. At the end of this study, the results obtained showed that all of the studied plants were realized a symbiotic association to fungi with a frequency greater than 70% and with different endomycorrhizal structures: hyphae, arbuscules and vesicles. The results also showed a remarkable diversity in fungal spores in the three Fabaceous plants, where the total number was identified as 12 species belonging mainly to four genera: (*Gigaspora*, *Acaulospora*, *Glomus*, and *Scutellospora*), the genus *Glomus* and *Acaulospora* are the most widespread in the rhizospheric soil level of the three *Fabaceae* studied from other species.

Key words: Mycorrhiza, Fabaceae, Arbuscular and vesicular mycorrhiza, Symbiosis, Spore.

ملخص

يهدف عملنا هذا لدراسة العلاقة الموجودة بين الميكوريزا وثلاثة نباتات من عائلة البقوليات في منطقة بوسعادة بولاية المسيلة، ومن أجل تحقيق هذا العمل قمنا بحساب وتقدير الكثافة الفطرية المتواجدة على مستوى جذور النباتات التالية: *Ononis angustissima*، *Calobota saharae* و *Astragalus gombo* كما تم استخراج الأبواغ من التربة. وفي نهاية هذه الدراسة أظهرت النتائج المتحصل عليها أن جميع النباتات المدروسة لها علاقة تكافلية مع الفطريات بتردد أكبر من 70 % ويتوفر أشكال متعددة من خيوط، شجيرات وحوصلات. وكذلك أظهرت النتائج تنوعا ملحوظا في الأبواغ الفطرية عند البقوليات الثلاثة، حيث تم تحديد العدد الإجمالي بـ 12 نوعا ينتمون أساسا إلى 4 أجناس هي (*Scutellospora*، *Glomus*، *Acaulospora*، *Gigaspora*)، حيث أن الجنسين *Glomus* و *Acaulospora* هما الأكثر انتشارا في مستوى الجذور عند البقوليات الثلاثة المدروسة من الأجناس الأخرى.

الكلمات المفتاحية: الفطريات الجذرية، البقوليات، الميكوريزا الداخلية الشجرية والحوصلية، التعايش، الأبواغ.