

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DES SCIENCES

DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA NATURE ET

DE LA VIE

N°: .....



DOMAINE : SCINCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

FILIERE : BIOTECHNOLOGIE

OPTION : BIOTECHNOLOGIE VEGETALE

**Mémoire présenté pour l'obtention**

**Du diplôme de Master Académique**

Par :

***RAHMANI Takwa, SAOUDI Yasmine et SATTA Nour Elhouda***

**Diversité des champignons mycorhiziens associés aux *Hedysarum coronarium* L. dans la région de M'sila (Algérie)**

**Intitulé**

Soutenu devant le jury composé de :

<b>REBBAS Kellaf</b>	Pr	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Président
<b>GHADBANE Mouloud</b>	Pr	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Rapporteur
<b>BOUNAR Rabah</b>	Pr	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Examineur

Année universitaire : 2021 /2022

الله أكبر



## REMERCIEMENTS

Avant tout, nous remercions **ALLAH** qui nous a donné la force la foi et de nous avoir permis d'arriver à ce travail.

**Nous** souhaitons adresser, à travers ces quelques lignes, Nos grande reconnaissance envers l'Université Mohammed Boudiaf de Msila, la Faculté des Sciences, particulièrement, le Département des sciences de la nature et de la vie. Nous vifs remerciements vont à tous nos enseignants, spécialement, aux membres du jury :

Monsieur **GHADBANE Mouloud**, Professeur à l'université **Mohamed BOUDIAF** de M'sila, Pour avoir accepté de nous encadrer et l'encourager de nous suivre ce travail. Et par son caractère de noblesse incomparable, pour sa générosité et la grande patience dont il a si faire preuve malgré ses charges académiques.

Monsieur **REBBAS.K**, Professeur à l'université Mohamed BOUDIAF de M'sila

Monsieur **BOUNAR Rabeh**, Professeur à l'université Mohamed BOUDIAF de M'sila

Monsieur **SEGHIRI Kamel**, Responsable de l'aboratoires de département des sciences de la nature et de la vie à l'université Mohamed Boudiaf de M'sila. Nous les remercions pour son soutien et support.

Nous tiennons à remercier tous ceux qui d'une façon d'une autre, nous a aidé pendant notre travail de mémoire, certains par leur conseils et leur connaissances scientifiques.

Nous adressons également mes remerciement au mes collègues pour tous les bons moments passés, pour leurs gentillesse, leurs disponibilités et leurs compétences, merci du fond du cœur.

Enfin, nous exprimons nos reconnaissances à tous ceux qui nous apportent aide ou soutien et que nous ne pouvons pas citer individuellement.

.....A vous tous, Merci.

# Dédicace

Mon parcours universitaire s'est terminé après épuisement et épreuves.. et me voilà en train de conclure mon mémoire de fin d'études avec enthousiasme et plaisir, et le mérite de mon parcours, et m'aider, même si c'est un peu,

A celle qui m'a soutenu dans ses prières et ses supplications , À qui j'ai veillé des nuits pour éclairer mon chemin

A qui partages-tu mes joies et mes peines , A la source de la bonté et de la tendresse

À la femme la plus merveilleuse qui soit , **ma chère mère** *Nabila boudrifa*

A ceux qui m'ont appris que le monde est un comba , Et sa bonté est la science et la connaissance

A ceux qui luttent pour mon confort et ma réussite , A l'homme le plus grand et le plus cher de l'univers, **mon cher père** *Abd al hak rahmani*

A mon don de Dieu, et la grande bénédiction que je vis, Pour ceux dont l'amour coule dans mes veines et se réjouit du souvenir de mon cœur (A,B)

**mes frères**« *Muhammad al-Amin , Ahmad Taqi al-Din, Safwa , Abdel Rahman* » et

Notre petit **Razan** ma **grand-mère** *aljia* À tous **famille de Rahmani**

A la **famille Boudarifa**, en particulier ma tante qui est chère à mon cœur et à mon inspiration, et l'autre moitié à Amin **Basma**, je dédie cette recherche. J'ai été contente de vos observations, expériences de recherche et conseils permanents.

Aux **amis fidèles**, qui n'ont jamais cessé de m'aider, de m'aider et de me soutenir dans les circonstances les plus sombres : **Rania , Yasmine , Omaima , Nour** .

A tous mes **professeurs**



# Dédicace

Tout d'abord, je remercie Dieu Tout-Puissant de m'avoir aidé à atteindre cet objectif Voici le travail que j'ai effectué :

**A ma chère mère : *kadouri Wahiba*, et à ma chère grand-mère, *chayb rabi Fatiha***

Merci pour toutes les nuits où tu es resté éveillé De prendre soin de moi, merci pour vos sourires, c'est la lanterne qui éclaire mon chemin vers tout le monde Les moments de bonheur que tu m'apportes peu importe le temps que ça prend et quoi qu'il arrive Expression, rien ne peut exprimer mon amour comme mon cœur le ressent

Que Dieu vous bénisse et vous protège

**A mon cher père : *Saoudi Elhachmi* et mon cher grand-père: *kadouri Ahmed*** Je vois en vous à la fois le courage de l'amour et toutes les qualités requises chez un père. vous deux Mon soutien dans les moments difficiles et une inspiration et aussi mon compagnon et ma seconde moitié (*BO*). sans fin J'espère que vous trouverez dans ce travail toute ma gratitude et tout mon amour

Que Dieu vous bénisse et vous protège.

**A mes soeurs : *Nisren, Ismahan, Hanan, Maysson et Ciline***

**A mes frères : *Mohammad et Ahmad***

A toute ma famille et mes proches, ***Saoudi, kadouri*** surtout mes tantes et oncles, tu es à moi Ma force, ma fierté, merci à tous de m'avoir soutenu et hébergé Courage et être à mes côtés toute ma vie. je te souhaite un avenir parfait

Joie, bonheur, réussite et sérénité

**A tous mes amis** rencontrés durant mon parcours étudiant, en particulier ***Ben Saoucha Rania, Rahmani Taqwa***.

Tu comptes beaucoup pour moi, les mots ne suffisent pas pour exprimer la relation et l'amour À tous mes ***professeurs*** du primaire à l'université.



*Yasmine*

# Dédécace

*Je dédie affectueusement ce mémoire :  
Avant tout, je tiens à remercier le Dieu de nous avoir  
accordé le success et qui nous a donné la force d'achever  
ce travail.*

*A mes très chers parents ma mère et mon père qui m'ont  
soutenu tout au long de mes études par leur amour, leurs  
prières et leurs encouragements.*

*A mes frère : Khaleddine, Alaa Eddie, Abd ElBasset et  
Akram pour leur aide et support.*

*A mon frère Soufiane paix a son ame.*

*A ma très belles soeur : Nadia.*

*A ma joi et Bonheur mon fiancé : Ali, pour le comprendre  
et restes avec moi à tout les moment.*

*A toutes mes amies .*

*A toutes la famille et les personnes qui ma aime et aide moi  
pour continue a ce point.*

*A tous mes professeurs du primaire jusqu'à l'enseignement  
supérieur.*



## Sommaire

Résumé .....	xi
Liste des abréviations .....	xii
Liste des figures .....	xiii
Listes des tableaux .....	xiv
Introduction .....	1
Chapitre I. Synthèse bibliographique. ....	3
I.1. Généralité sur Les champignons.....	3
I.1.1. Définition .....	3
I.1.2. Caractères généraux .....	3
I.1.3. Mode de vie .....	4
I.1.4. Classification et d'identification des champignons .....	5
I.1.5. Facteurs environnementaux.....	8
I.1.6. La Reproduction chez les champignons.....	9
I.2. Les mycorhizes .....	10
I.2.1. Généralité sur Les mycorhizes .....	10
I.2.2. Historique .....	11
I.2.3. Les types des mycorhizes .....	13
Quel que soit le type mycorhizien, le champignon reste confiné dans le cortex racinaire et ne franchit jamais la barrière endodermique (Figure 4).....	13
I.2.4. Les champignons mycorhiziens dans les agrosystèmes : leur rôle écologique.....	22
I.2.5. La colonisation champignons mycorhysiens arbusculaires (CMA) des racines .....	24
I.3. <i>Hedysarum coronarium</i> L. ....	26
I.3.1. La plante du genre <i>Hedysarum</i> L. ....	26

I.3.2. Classification scientifique .....	27
Chapitre II. Matériels et methode.....	29
II.1. Présentation des zones d'étude ( Msila ).....	29
II.1.1. Situation géographique.....	29
II.1.2. Les sites d'étude.....	29
II.1.3. Matériel végétale .....	30
II.2. Evaluation du taux de mycorhization des espèces végétales.....	30
II.2.1. Echantillonnage .....	30
II.2.2. Les étapes de préparation des échantillons du mycorhize.....	30
La préparation des échantillons dépend du type de mycorhizes et de la nature des échantillons auxquels on a affaire et ces étapes sont le lavage. La coloration des mycorhizes, le montage et l'observation. ....	30
II.2.3. Lavage .....	30
II.2.4. Coloration des racines .....	30
II.2.5. Eclaircissement et coloration des racines .....	31
II.2.6. Montage.....	31
II.2.7. Observation .....	31
II.2.8. Estimation de la mycorhization.....	33
Chapitre III. Résultats et discussion.....	35
III.1. Formes et structures microscopique des mycorhizes .....	35
III.2. Quantification de la mycorhization (fréquence et intensité de mycorhization).....	37
Conclusion.....	39
Références bibliographiques .....	40

## ملخص

يهدف هذا العمل إلى دراسة توزيع فطريات جذر *Hedysarum coronarium* L. في منطقة المسيلة. من أجل تنفيذ هذا العمل، قمنا بحساب وتقدير الكثافة الفطرية لجذور *H. coronarium*. أظهرت النتائج أن نسبة تكرار الفطريات الفطرية في جذور *H. coronarium* مرتفع للغاية وحوالي 88.89% للنبات. أظهرت النتائج المتحصل عليها أن النبات المدروس له علاقة بفطريات عالية التكرار وتوافر أشكال متعددة مثل خيوط الشجيرة والحوصلات.

يبدو من هذه الدراسة أن *H. coronarium* يقبل التكافل الداخلي للجذور والفطريات ويغطي الفطريات الفطرية الجذرية مع الحوصلات والأرباص. (MVA).

**الكلمات المفتاحية:** الفطريات الجذرية، البقوليات، المكوريزيا الداخلية الشجيرية والحوصلية، التعايش، الفطريات.

## Abstract

This work aims to study the distribution of root fungi of *Hedysarum coronarium* L. in the region of M'sila. In order to carry out this work, we calculated and estimated the fungal density of *H. coronarium* roots. The results showed that the roots of *H. coronarium* are mycorrhized and present mycelial hyphae, arbuscules and vesicles. The frequency of mycorrhization is very high and about 88.89% for the plant. The results obtained showed that the plant studied is related to high frequency fungi and the availability of multiple forms such as arbuscular hyphae and vesicles. It appears from this study that *H. coronarium* studied accepts an endomycorrhizal symbiosis and cover in their rhizosphere of mycorrhizal fungi with vesicles and arbuscules (MVA).

**Key words:** Mycorrhiza, *Hedysarum coronarium*, Endomycorrhiza with Arbuscules and Vesicles, Symbiosis, fungi.

## Résumé

Ce travail vise à étudier la répartition des champignons racinaires de *Hedysarum coronarium* L. dans la région de M'sila. Afin de réaliser ce travail, nous avons calculé et estimé la densité fongique des racines de *H. coronarium*. Les résultats ont montré que les racines de *H. coronarium* sont mycorhizées et présentent des hyphes mycéliens, des arbuscules et des vésicules. La fréquence de mycorhization de la plante est très élevée et elle est de l'ordre de 88.89%. Il ressort de cette étude que *H. coronarium* accepte une symbiose endomycorhizienne et recouvrent dans leur rhizosphère des champignons mycorhiziens à vésicules et arbuscules (MVA).

**Mots clé:** Mycorhize, *Hedysarum coronarium*, Endomycorhize à Arbuscules et à Vésicules, Symbiose, champignons.

## Liste des abréviations

Les Champignons mycorhiziens à arbuscules: CMA .....	15
<b>Les ectomycorhizes: ECM</b> .....	17
<b>Les endomycorhizes à vésicules et arbuscules: (EVA)</b> .....	13

## Liste des figures

<b>Figure 1.</b> Type de thalles des champignons (Hill, 2014).....	4
<b>Figure 2.</b> les principaux embranchements des champignons ( <b>Raven et al., 2011 ; Amari and Nakache 2021</b> ).....	8
<b>Figure 3.</b> Les types des champignons selon la température de développement ( <b>Boudih, 2011</b> )..	10
<b>Figure 4.</b> Les différents types de mycorhizes .....	13
<b>Figure 5.</b> Coupe descriptive d'une racine endomycorhizée. ....	15
<b>Figure 6.</b> Symbiose racinaire des endo et ectomycorhizes. (A gauche) une coupe transversale et (à droite), une coupe longitudinale d'une racine mycorhizée. ....	17
<b>Figure 7.</b> Pénétration de l'hyphe dans la cellule et formation des arbuscules . ....	18
<b>Figure 8.</b> Symbiose ectomycorhizienne. ....	19
<b>Figure 9.</b> comparaison entre endo et ectomycorhizes. ....	20
<b>Figure 10.</b> Schématisation de l'établissement de la symbiose mycorhizienne (A) et du cycle de vie des CMA ((B), modifié d'après Akiyama, 2007).....	25
<b>Figure 11.</b> la plante <i>Hedysarum coronarium</i> L.....	27
<b>Figure 12.</b> Classification scientifique de <i>H.coronarium</i> L. ....	27
<b>Figure 13.</b> Délimitation de la wilaya de M'Sila .....	29
<b>Figure 14.</b> les étapes de préparation des racines. ....	32
<b>Figure 15.</b> Echelle d'intensité de colonisation du cortex racinaire .....	34
<b>Figure 16.</b> Echelle d'évaluation de la présence arbusculaire .....	34
<b>Figure 17.</b> Résultat standard de la coloration des racine au bleu de triban .....	35
<b>Figure 18.</b> Les type des mycorhizes chez <i>Hedysarum coronarium</i> L. ....	36
<b>Figure 19.</b> Paramètres de mycorhysation de <i>Hedysarum coronarium</i> L. : Fréquence de mycorhization (F%), Intensité de la colonisation dans le système racinaire (M%), Intensité de la mycorhization des fragments mycorhizés (m%), la richesse arbusculaire de la partie mycorhizée (a%), la richesse arbusculaire du système racinaire (A%).....	37

## Listes des tableaux

<b>Tableau 1.</b> Les principaux radicaux par ordre d'importance décroissante (Rapior et Fons, 2006).	5
<b>Tableau 2.</b> Principaux groupes des champignons et leurs caractéristiques morphologiques.....	8
<b>Tableau 3.</b> Les types des champignons selon la température de développement ( <b>Boudih, 2011</b> )	9
<b>Tableau 4.</b> Principales structures et fonctions de l'AMF ( <b>Souza, 2015</b> ), ( <b>HAMRIT and DERRI 2020</b> ).....	21
<b>Tableau 5.</b> Bilan de l'impact des pratiques culturales sur les CMA, d'après Gosling et al., 2006 ; adapté et complété d'après le rapport de stage d'Océane Vakoume, 2014 (données non publiées) .....	24
<b>Tableau 6.</b> Les paramètres de la mycorhization calculés à l'aide du programme MycoCalc. ....	33



# Introduction

## **Introduction**

Les végétaux sont définis comme des organismes généralement chlorophylliens, fixés au sol, peu mobile et capable d'utiliser le CO<sub>2</sub> et les sels minéraux du sol pour se nourrir (**Louarn, 2013**). À une échelle microscopique, le sol constitue un environnement où interagissent directement ou indirectement de nombreux microorganismes, entre eux mais aussi avec les composantes abiotiques du sol (matière organique, matrice minérale, etc.) et avec les racines des plantes (**Duponnois et al., 2013**).

Les organismes du sol qui présentent une diversité taxonomique et fonctionnelle considérable (**Bertrand et al., 2019**). Dans ce travail, nous étudions la relation entre les plantes et les champignons. La croissance des plantes dépend des interactions qu'elles entretiennent avec le milieu environnant, notamment le sol et les microorganismes qu'il abrite.

Parmi ces microorganismes figurent les champignons mycorhiziens qui sont des symbiotes des racines de plantes (**Lounès-Hadj, 2013**). Ces champignons telluriques jouent un rôle important dans le fonctionnement des écosystèmes terrestres de par leur ubiquité et leur implication directe dans les processus essentiels se déroulant à l'interface sol-plante (**Smith et al., 1993**). Les champignons sont tributaires de la matière organique produite par d'autres êtres vivants. Ils se développent à partir de tissus morts ou aux dépens de tissus vivants (**Strullu et Gourret, 1980**). Le terme mycorhize est dérivé des mots grecs pour « champignon » et « racine ».

Les champignons mycorhiziens développent un vaste réseau d'hyphes dans le sol, qui peut relier des communautés végétales entières en créant un transfert horizontal efficace de nutriments. Les champignons mycorhiziens peuvent être divisés en deux groupes principaux : les endophytes aseptés comme Glomeromycètes, ou Asco- et Basidiomycètes aseptés (**Bonfante et Genre, 2010**). La symbiose mycorhizienne est caractéristique d'environ 90 % des plantes supérieures (**Kulikov et Filippov, 2001**). Les plantes terrestres sont capables d'établir des symbioses avec de nombreux micro-organismes. Au niveau des racines, les plantes peuvent s'associer avec des champignons mycorhiziens pour donner ce qu'on appelle des mycorhizes, Ces symbioses sont très répandues dans les différents écosystèmes terrestres, aussi bien dans les zones arides que dans les zones tempérées.

Les champignons mycorhiziens sous terre, nourrissent la plante autant qu'elle s'en nourrit. Ils la connectent à des ensembles de filaments présents dans les sols qui constituent leur organisme, le mycélium;(association symbiotique). Les mycéliums liés à une plante peuvent très

bien contacter d'autres racines, celles d'une même plante mais aussi de plusieurs individus de la même espèce ou d'espèces différentes, car la plupart de ces champignons ne sont pas spécifiques (**Paillart et Peyrière, 2019**). Les principaux objectifs de ce travail sont : la détermination des différentes formes et l'estimation de taux de mycorhization de l'espèce *Hedysarum coronarium* L.

Notre travail se compose des trois chapitres :

- ❖ **Le premier chapitre** : présente une revue générale sur les champignons mychorizienne
- ❖ **Le deuxième chapitre** : présente le matériel et les méthodes : présentation de la zone d'étude, et la méthodologie expérimentale utilisée.

**Le troisième chapitre** : la présentation des résultats obtenus, les interprétations, les discussions éventuelles et la conclusion.

# **Chapitre I :**

## **Synthèse Bibliographique**

## Chapitre I. Synthèse bibliographique.

### I.1. Généralité sur Les champignons

#### I.1.1. Définition

Les champignons, appelés aussi mycètes, sont des organismes eucaryotes uni- ou pluri cellulaires, incluant des espèces macroscopiques (macro mycètes) et d'autres microscopiques (Micromycètes) (Chabasse *et al.*, 2002), mais forment au contraire un groupe très hétérogène dont la caractéristique essentielle commune est la nutrition hétérotrophe par absorption, celle-ci pouvant prendre la forme du saprophytisme, du parasitisme ou de la symbiose (Abdelkader, 2012).

#### I.1.2. Caractères généraux

Les champignons comprennent plus de cent mille (100,000) espèces, mais ils sont associés dans des caractères communs, tels que, ils sont hétérotrophes n'ayant pas de chlorophylle. En plus, la cellule fongique qui comprend un noyau, divers organites : un réticulum endoplasmique, un appareil de Golgi, des mitochondries, des vacuoles ainsi qu'une enveloppe extérieure appelée la membrane plasmique. Aussi, les champignons sont constitués d'une paroi qui est composée de chitine, et de  $\alpha$ 1-3 et  $\beta$ 1-6 Glucane (pas la même structure que la paroi cellulaire des organismes végétaux) (Chollet, 2014).

Les champignons peuvent vivre sous deux formes : sous la forme de colonies de cellules isolées, appelées les levures, ou sous la forme de mycélium (un réseau de filaments ramifiés). Leurs modes de reproduction s'accomplissent en libérant des spores, produites soit par méiose (de manière sexuée), ou alors par mitose (de manière asexuée) (Chollet, 2014).

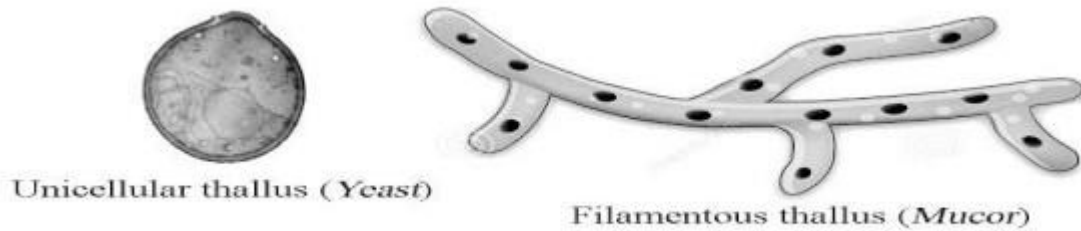


Figure 1. Type de thalles des champignons (Hill, 2014).

### I.1.3. Mode de vie

Les champignons sont des organismes hétérotrophes et leur nutrition dépende de la présence de matières organiques. Il existe quatre modes de vie permettent aux champignons de garantir leurs besoins nutritionnels : saprophytisme, symbiose commensalisme et parasitisme (**Sahbi et Meref, 2018**).

La quasi-totalité des mycètes vivent aux dépens de la matière organique en décomposition, ce sont des agents de recyclage de la matière minérale dans la nature, connus sous la nomination de « Saprophytes » (**Hamani et Boudaoud, 2018**).

#### I.1.3.1. Les champignons saprotrophes

(Ou saprophytes) sont les principaux acteurs de la décomposition de la matière organique en milieu naturel. Ce sont des acteurs essentiels dans le fonctionnement et l'équilibre des écosystèmes. La plupart des espèces de champignons cultivées dans le monde appartient à ce groupe (**Ndong et al., 2011**).

#### I.1.3.2. Les champignons symbiontes

Ils Bénéficient de l'association qu'ils forment avec un autre organisme, ex : Les lichens, résultats de l'association d'un champignon et d'une algue verte (**Ndong et al., 2011**).

#### I.1.3.3. Les champignons parasites

Dans des conditions particulières, beaucoup de micromycète parasitent des organismes végétaux ou animaux ou même d'autres mycètes (c'est le cas de l'espèce *Penicillium rugulosum* qui infecte la tête d'*Aspergillus niger*, en formant dessus, des phialides regroupés en pénicilles et le conduit finalement à la mort) (**Hamani et Boudaoud, 2018**), ils comptent de nombreuses espèces pathogènes responsables de dégâts importants pour l'agriculture, la foresterie, l'élevage et la santé humaine (**Ndong et al., 2011**).

#### I.1.4. Classification et d'identification des champignons

Ce paragraphe présente un canevas général de la classification des champignons.

Comme nous venons de le voir, le règne fongique présente différents taxons.

**Tableau 1.** Les principaux radicaux par ordre d'importance décroissante (Rapior et Fons, 2006).

<b>Taxon</b>	<b>Terminaison</b>
Division ou Embranchement	MYCOTA
Sub-division ou Sous-embranchement	MYCOTINA
Classe	MYCETES
Sous-classe	MYCETIDEAE
Ordre	ALES
Sous-ordre	INEAE
Famille	ACEAE
Sous-famille	OIDEAE

Les progrès dans la connaissance systématique des êtres vivants en général et des champignons en particulier, imposent quelques changements dans la classification. En effet, on distinguera les « faux champignons » et les « vrais champignons ».

##### I.1.4.1. Les « champignons-algues » ou Mastigomycota

Du grec : (mastigos = mouvement, mukês = champignon) (Bouchet et al., 2005) ou Chromista (Courtecuisse et Duhem, 2000)

Espèces à thalle coenocytique (ou siphonné), cellules non séparées par des cloisons, spores - flagellées (reproduction aquatique impérative).

Cette division correspond « grosso modo » aux Oomycètes et comprend certaines espèces de grande importance économique, dans le domaine phytopathologique.

##### I.1.4.2. Les « vrais champignons » ou Amastigomycota

(Bouchet et al., 2005) ou Eumycètes (Courtecuisse et Duhem, 2000)

Les « vrais champignons » comprennent trois divisions : Division des Zygomycota, Division des Ascomycota, Division des Basidiomycota

## A. Division des Zygomycota

Espèces à thalle coenocytique (ou siphonné), cellules non séparées par des cloisons (de nombreux noyaux cohabitent dans un même « siphon »), spores non flagellées.

Ces espèces sont de taille microscopique. On y recense :

- i. Les Mucorales, auxiliaires de l'industrie (chimique ou pharmaceutique), phytopathogènes et parfois parasites de l'homme (agents de zygomycoses).
- ii. Les Entomophthorales, parasites de plantes ou d'animaux, parfois agents de la lutte biologique contre des insectes réputés nuisibles (vecteurs de maladies parasitaires, phytophages, etc).

## B. Division des Ascomycota ou Ascomycètes

Espèces à thalle cloisonné et produisant des spores de reproduction sexuée (= ascospores) à l'intérieur de la cellule fertile nommée asque.

Les Ascomycètes colonisent tous les milieux. Ils sont saprophytes, symbiotiques ou parasites.

Cette division comprend de nombreuses espèces microscopiques (**Micromycètes**) parmi lesquels on trouve les Levures, les Penicillium et les Aspergillus, l'Ergot de seigle et également quelques "gros" champignons (Macromycètes) ; parmi ces derniers, on peut citer les Truffes et les Morilles c'est-à-dire des espèces très différentes par leur forme, leur taille et leur mode de vie.

L'intérêt pratique des Ascomycètes est à la mesure de leur nombre.

Ce sont des espèces très importantes aux intérêts multiples :

### i. Intérêts pharmaceutiques

De nombreuses espèces sont utilisées pour la fabrication d'antibiotiques (Penicillium) ou de médicaments (Claviceps purpurea = Ergot de Seigle, à l'origine de nombreux médicaments utilisés dans le traitement des accidents vasculaires cérébraux).

Les Levures sont utilisées comme agents de fermentation.

### ii. Intérêts alimentaires et industriels

Les Morilles et les Truffes comptent parmi les espèces comestibles les plus recherchées.

Les Levures sont utilisées en diététique (riches en vitamines B1, B2, B5, B6, B9, B12, PP, riches en Mg et en Zn, riches en protéines et en fibres, source de Fer).

### iii. Intérêt médical

Certains Ascomycètes sont des parasites redoutables de l'homme et des animaux (Teignes, Candidoses).

iiii. Intérêts économiques

Certains Ascomycètes sont des parasites redoutables des végétaux (Oïdium de la vigne et des arbres fruitiers, Tavelures).

**C. Division des Basidiomycota ou Basidiomycètes**

Espèces à thalle cloisonné et produisant des spores de reproduction sexuée (= basidiospores) à l'extérieur de la cellule fertile nommée baside. Celle-ci, de forme généralement clavée, porte les spores à l'extrémité de petites pointes appelées stérigmates.

De ce fait, les basidiospores présentent, après libération, une cicatrice de ce point d'attache nommée apicule.

La présence d'un apicule distingue avec certitude basidiospore d'ascospore.

i. Les Homobasidiomycètes représentent les champignons les plus évolués.

Ils forment la majorité de ce qu'on appelle les « gros champignons » en raison de leur sporophore de grande taille.

ii. Les « groupes de transition » réunissent des genres aux basides incomplètement cloisonnées longitudinalement (Calocera).

iii. Les Phragmobasidiomycètes représentent environ 500 espèces dont les basides sont encore cloisonnées.

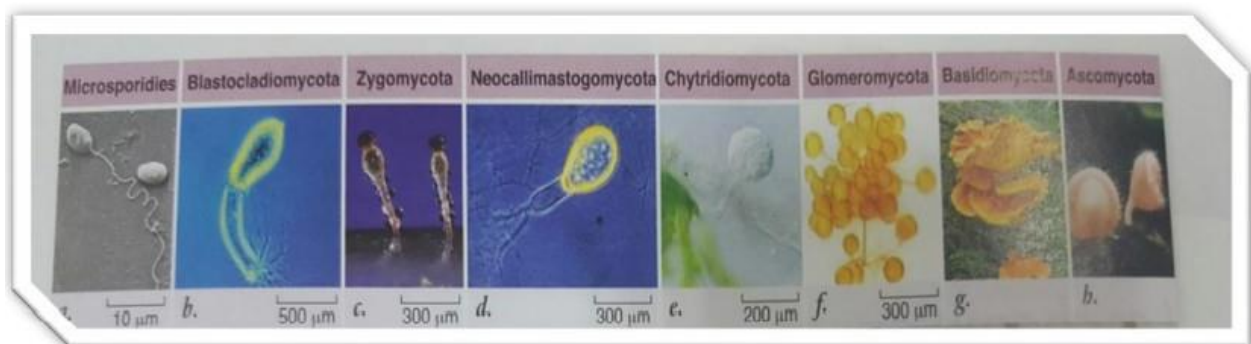
Cette classe regroupe deux ordres (Tremellales, famille des Tremellaceae : basides cloisonnées longitudinalement ; Auriculariales, famille des Auriculariaceae : basides cloisonnées transversalement).

iiii. Les Téléomycètes (grec : teleutos = fin, mukês = champignon) sont des parasites des végétaux.

Cette classe regroupe deux ordres (Urédinales, agents des rouilles ; Ustilaginales, agents des caries et des charbons).

**Tableau 2.** Principaux groupes des champignons et leurs caractéristiques morphologiques.

Classes	Morphologie	Forme Végétative	Reproduction Sexuelle	Reproduction Asexuelle
Oomycètes	Thalle à Mycélium	Mycélium Non Cloisonné	Les Sporocystes Produisent-les Zoospores ou Conidies	Oospores
Zygomycètes	Filamenteux	Mycélium Non Cloisonné	Par fusion Des Gamétocystes	Plus souvent par sporocystospores ou parfois par conidies exogènes.
Ascomycètes	Filamenteux	Mycélium Non Cloisonné	Formation des Ascospores Par les Asques	Production des Conidies
Basidiomycètes	Thalle à Mycélium ou Unicellulaire (Levure)	Mycélium Non Cloisonné	Formation Des Basidiospores Sur des Basides	Des spores épaisses, Solides
Hyxomycètes	Filamenteux	Forme de Plasmode	Zoospores	Zygotes
Archi mycètes	Filamenteux	Des cellules Ft Ramifications Différente	Zoospores	Différentes



**Figure 2.** les principaux embranchements des champignons (Raven et al., 2011 ; Amari and Nakache 2021).

### I.1.5. Facteurs environnementaux

Il y a plusieurs facteurs environnementaux comme le pH : la plupart des champignons préfèrent pousser en pH acide, et l'aération, la disponibilité d'eau, et la nutrition (les éléments

nutritif nécessaires sont les sels minéraux et certain vitamine, l'effet de la température (Requebert, 1997).

**Tableau 3.** Les types des champignons selon la température de développement (Boudih, 2011)

type de champignons	gamme de température	température optimale
mésophiles	0 50°C	15 30°C
thermophiles	20 50°C	35 40°C
Thermotholérants	0 50°C	15 40°C
psychrophiles	0 20°C	0 17°C

### I.1.6. La Reproduction chez les champignons

La reproduction est le processus biologique par lequel de nouveaux organismes individuels «descendants» sont produits à partir de leurs «parents». La reproduction est une caractéristique fondamentale de toute vie connue; chaque organisme individuel existe à la suite de la reproduction. Les méthodes de reproduction chez les champignons connues sont globalement regroupées en deux types principaux : sexuelle et asexuée (Ali, 2013; Hamza et Aloui, 2021).

#### I.1.6.1. Reproduction asexuée

La reproduction asexuée se fait sans fusion de gamètes. C'est un mode de reproduction commun à presque tous les champignons. La reproduction asexuée chez les champignons peut se faire par bourgeonnement, fission binaire, fragmentation, ou par formation de spores

##### ➤ Le bourgeonnement et la fission binaire

Sont les formes de reproduction asexuée les plus simples. Le bourgeonnement et la division inégale du cytoplasme, résultat en une cellule parent et une cellule fille, celles-ci étant plus petite que la cellule parent. La fission binaire par contre aboutit à deux cellules identiques

##### ➤ le fragment et la sporulation

La fragmentation est une forme de reproduction asexuée ou un nouvel organisme se développe à partir d'un fragment parent. La sporulation est la plus forme de reproduction

asexuée chez les champignons. Elle se fait à travers les spores asexuées, du cycle de vie des champignons (phase ana morphe) suite à une mitose (Clémence et Dongmo, 2009).

### I.1.6.2. Reproduction sexuée

Une spore sexuelle fongique résulte de la reproduction sexuée, qui se compose de trois phases :

- Plasmogamie** : Un noyau haploïde d'une cellule donneuse (+) pénètre dans le cytoplasme d'une cellule receveuse (-).
- Caryogamie** : noyaux (+) et (-) fusionnent pour former un noyau zygote diploïde.
- Méiose** : Le noyau diploïde donne naissance à des noyaux haploïdes (spores sexuées), dont certains recombinants génétiques.

Les spores sexuées produites par les champignons caractérisent les embranchements. En laboratoire, la plupart des champignons ne présentent que des spores asexuées. Par conséquent, l'identification clinique est basée sur l'examen microscopique des spores asexuées (Cummings, 2007).

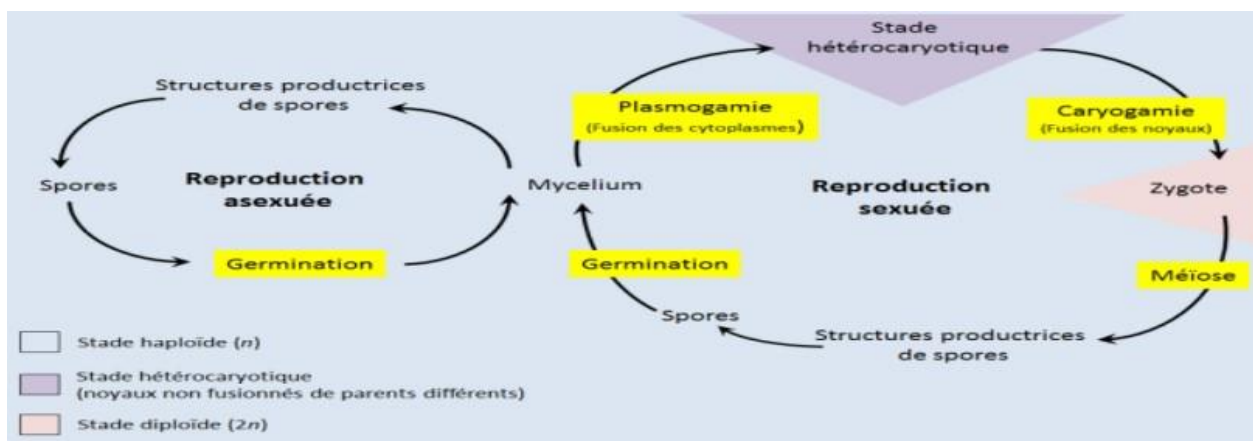


Figure 3. Les types des champignons selon la température de développement (Boudih, 2011)

## I.2. Les mycorhizes

### I.2.1. Généralité sur Les mycorhizes

Les mycorhizes (du grec myco = champignon et rhiza = racine) sont des « unions durables » résultant de l'association entre les racines des végétaux et certains champignons du sol. Chaque union est basée sur des échanges réciproques. Les mycorhizes constituent des partenaires essentiels dans la relation sol – plante – microorganisme. En effet, certaines espèces végétales ne peuvent croître normalement sans leur symbiote fongique dont elles sont fortement

dépendantes et avec lequel elles co-évoluent (**Lachance, 2012; Brundrett, 1991**) . Le nouvel organe mixte est formé de tissus de la plante hôte et du champignon mycorhizien et chaque partenaire optimise son développement grâce à cette symbiose. Les racines de plus de 80% des espèces de plantes vasculaires présentent ou sont susceptibles de présenter des symbioses mycorhiziennes (**Duponnois et al., 2008**) . La symbiose mycorhizienne est donc un phénomène général chez les plantes à l'exception de quelques familles comme les Brassicaceae, les Caryophyllaceae, les Cyperaceae, les Juncaceae, les Chenopodiaceae et les Amaranthaceae qui présentent très peu d'associations mycorhiziennes (**Strullu, 1986 ; Maede, 1954**) . La fonction du mycorhize est primordiale dans tout ou une partie du cycle de la plante hôte surtout mais non exclusivement pour la nutrition. Le champignon profite des ressources carbonées synthétisées par la plante via la photosynthèse et qui sont indispensables à son métabolisme, à son cycle de développement et à sa fructification. En retour, les hyphes fongiques améliorent la nutrition hydrique et minérale de la plante hôte grâce à l'augmentation du volume de sol prospecté et à la production de divers enzymes extracellulaires (phosphatase, phytase) susceptibles de mobiliser du phosphore à partir de composés complexes du sol (**Munns et al., 1981 ; Malaisse, 1973**) .

### **I.2.2. Historique**

La première démonstration de la nécessité de l'association des arbres forestiers avec des champignons mycorhiziens a été faite il y a déjà plus d'un siècle (**Frank, 1894**). L'objectif de la mycorhization contrôlée des arbres forestiers est d'associer, au stade de la pépinière, les jeunes plants avec des souches fongiques mycorhiziennes performantes. Après transfert de ces plants en forêt, les souches fongiques inoculées peuvent survivre et assurer ainsi une meilleure reprise ou une meilleure croissance des arbres. En pépinière forestière, les premiers essais de mycorhization contrôlée ont été réalisés aux alentours de 1920 en Australie par inoculation de semis de *Pinus radiata* à l'aide de carpophores de *Rhizopogon luteolus*. En Europe, le premier essai de mycorhization contrôlée a été réalisé par spores à la pépinière de Wareham Heath en Grande-Bretagne par Rayner et Levison sur *Épicéa de Sitka*. Le premier essai de production d'inoculum ectomycorhizien en culture pure sur milieu solide imprégné de solution nutritive a été réalisé en 1954 par Bokor. Cette technique a été utilisée par Moser en 1958 pour l'inoculation contrôlée de semis de *Pinus cembro* par *Boletus plorans*. À partir de 1970, cette méthode de mycorhization contrôlée a été développée à petite échelle aux États-Unis par Marx, puis à grande échelle à partir de 1982 (**Marx et al., 1982 ; Marx et al., 1984**) . En France, les premiers essais de mycorhization contrôlée en pépinière forestière ont été réalisés à la pépinière de Peyrat-le-Château (Haute-Vienne) en 1979 sur semis d'*Épicéa* et de Douglas (**Le Tacon et Valdenaire,**

**1980**). Les essais se sont ensuite diversifiés et ont concerné à la fois des essences introduites et des essences naturelles. On a pensé pendant longtemps que la mycorhization contrôlée, dans le but d'améliorer la croissance des arbres forestiers, devait être limitée aux zones dépourvues d'inoculum naturel (zones tropicales ou équatoriales pour les ectomycorhizes, déblais de mines ou de carrière, etc.). Or, s'il existe partout des champignons mycorhiziens, ils ne sont pas toujours efficaces. Mais certains, aussi bien dans le cas des endomycorhizes à vésicules et arbuscules que des ectomycorhizes, ont une efficacité remarquable. Il semble maintenant possible d'intervenir dans beaucoup de situations au moins au stade de la pépinière ou de la plantation, d'autant plus que les techniques actuelles, que ce soit en arboriculture ou en matière forestière, sont extrêmement défavorables à une bonne mycorhization (fumigation, utilisation de fongicides, niveaux de fertilité chimique beaucoup trop élevés). Le résultat en est souvent la production de plants ayant des difficultés de croissance après transplantation. De plus, on s'est aperçu récemment que certains champignons sont encore efficaces à niveau de fertilité relativement élevé et permettent une meilleure utilisation du phosphore apporté par fertilisation.

Il est donc envisageable d'améliorer la croissance des arbres forestiers par mycorhization contrôlée dans beaucoup de conditions écologiques. En France, les résultats les plus significatifs étaient a priori à attendre dans les conditions où la microflore naturelle ectomycorhizienne a été partiellement ou totalement détruite. Ce sont les sols cultivés, les sols abandonnés depuis peu par l'agriculture ou les landes. En réalité, d'excellents résultats ont été obtenus même lorsque l'inoculum naturel ectomycorhizien était abondant. Dans tous les sols forestiers naturels et dans de nombreux sols de pépinières, la croissance des arbres n'est possible que s'il existe un complexe mycorhizien fonctionnel. La reprise et le comportement des plants introduits en forêt dépendent pour beaucoup des symbiotes mycorhiziens qui leur sont associés. Au moment de la transplantation, les associés fongiques proviennent essentiellement de la pépinière d'origine. Il est donc nécessaire qu'un bon complexe mycorhizien s'installe pendant la phase d'élevage en pépinière et surtout que ce complexe ne soit pas détruit au moment de la transplantation.

### I.2.3. Les types des mycorhizes

Quel que soit le type mycorhizien, le champignon reste confiné dans le cortex racinaire et ne franchit jamais la barrière endodermique (Figure 4).

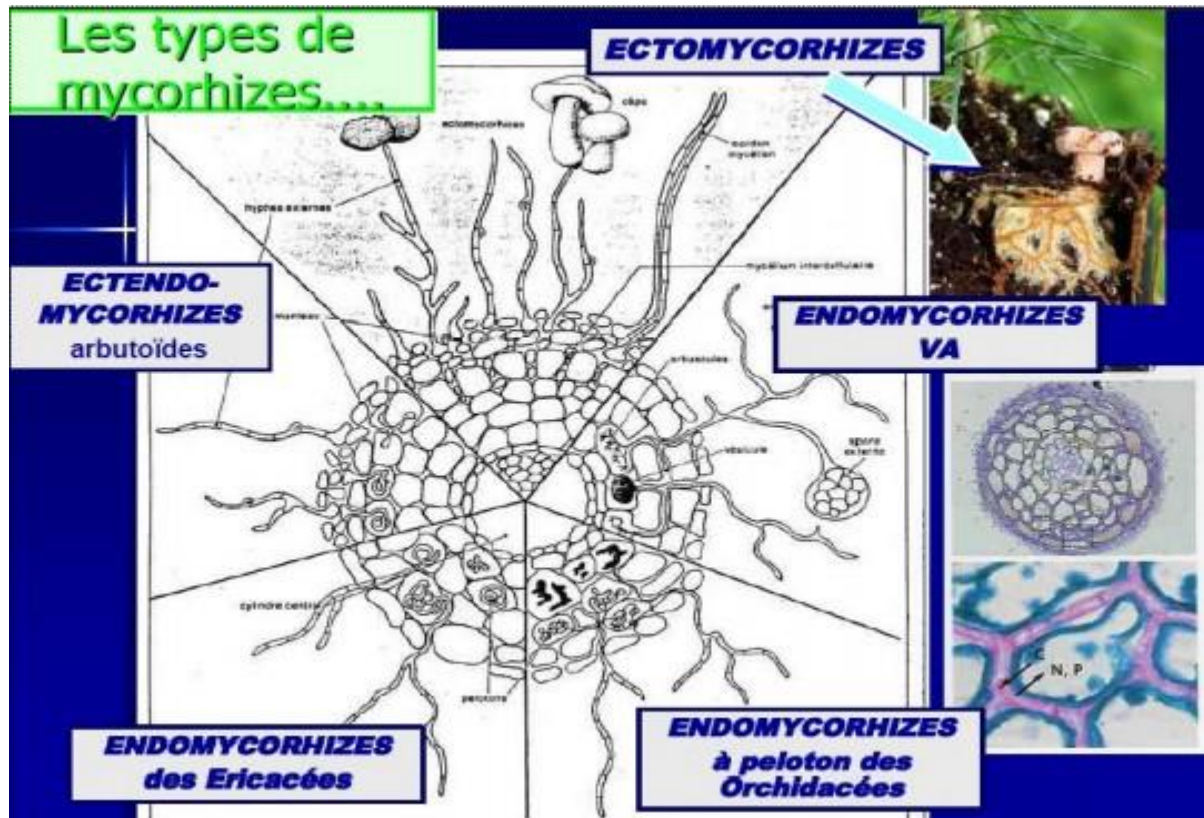


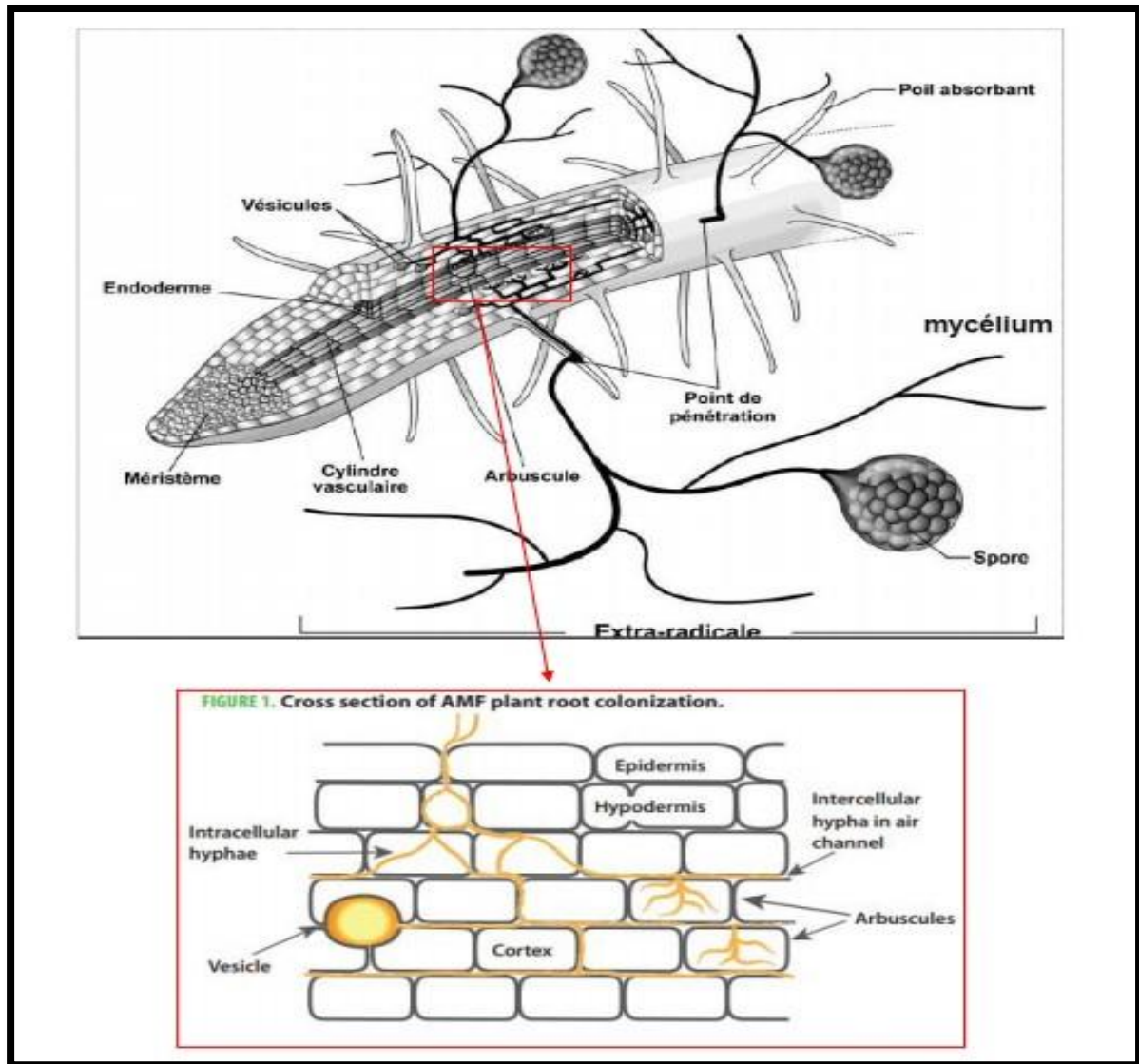
Figure 4. Les différents types de mycorhizes .

Source : J. GUINBERTEAU, INRA, 2017. Bordeaux - Unité de recherche MycSA. Mycologie & Sécurité des aliments. Mycorhization contrôlée : actualités & limite.

#### I.2.3.1. Les endomycorhizes à vésicules et arbuscules (VA)

Elles concernent environ 95% des taxons végétaux à mycorhizes et ce type est non visible à l'œil nu (Sandmann et al., 1990). Les champignons mycorhiziens arbusculaires colonisent environ 80 % des plantes vasculaires terrestres, c'est-à-dire plus de 400 000 espèces. Il existe cependant moins de 200 espèces de champignons endomycorhiziens. Ces champignons ne sont donc pas très spécifiques dans leurs relations de symbiose (Khasa et al., 1990). Ils sont associés avec les plantes herbacées et ligneuses (aussi appelés mycorhizes à vésicules et arbuscules), tirent leur nom des structures formées à l'intérieur des cellules rappelant un petit arbre (figure 5). Ils sont aussi uniques au point de vue génétique puisque leurs spores possèdent plusieurs noyaux génétiquement différents (Matumoto, 1996). Les symbiotes fongiques sont classés dans quatre ordres : Archéosporales (Salvioli et al., 2008) , Diversisporales (Salvioli et al., 2008), Glomerales (Pichot & Roche, 1972) et Paraglomerales (Vallerie, 1980) appartenant à la classe

des Glomeromycètes (**Trappnell, 1959**) et à l'Embranchement des Glomeromycota (**Vallerie, 1980**). Ils sont distingués par leurs caractères morphologiques et structuraux ou par analyse moléculaire. Le genre *Glomus* est généralement le plus représenté en termes d'espèces dans les sols des agrosystèmes en Afrique de l'Ouest, probablement à cause de sa capacité d'adaptation aux sols dégradés (**Bâ et al., 1996 ; Björkman, 1960**) . Ces champignons sont des symbiotes obligatoires non cultivables en l'absence de la plante hôte (biotrophie). Après la germination de la spore et la formation d'un tube germinatif, l'hyphe qui en résulte entre en contact avec la racine de la plante hôte et différencie un appressorium. À son tour, l'appressorium différencie un hyphe d'infection qui s'insinue entre les cellules épidermiques et corticales de la racine où des structures d'échange (arbuscules) et de réserve (vésicules) se développent (figure 5). Néanmoins, la formation de vésicules n'est pas observée chez tous les groupes développant ce type de symbiose. Des spores sont également différenciées dans le sol et dans les racines, et sont utilisées comme structure de référence pour l'identification morpho-anatomique des espèces. Ce sont des structures unicellulaires, de forme généralement globoïde, à paroi épaisse formée de plusieurs couches de différentes textures, reliées au réseau filamenteux par un hyphe suspenseur. L'infection par les endomycorhizes ne modifie pas la morphologie globale des racines.



**Figure 5.** Coupe descriptive d'une racine endomycorhizée.

Source : André FORTIN, 2000 (Diner botanique, Université Laval, Canada)

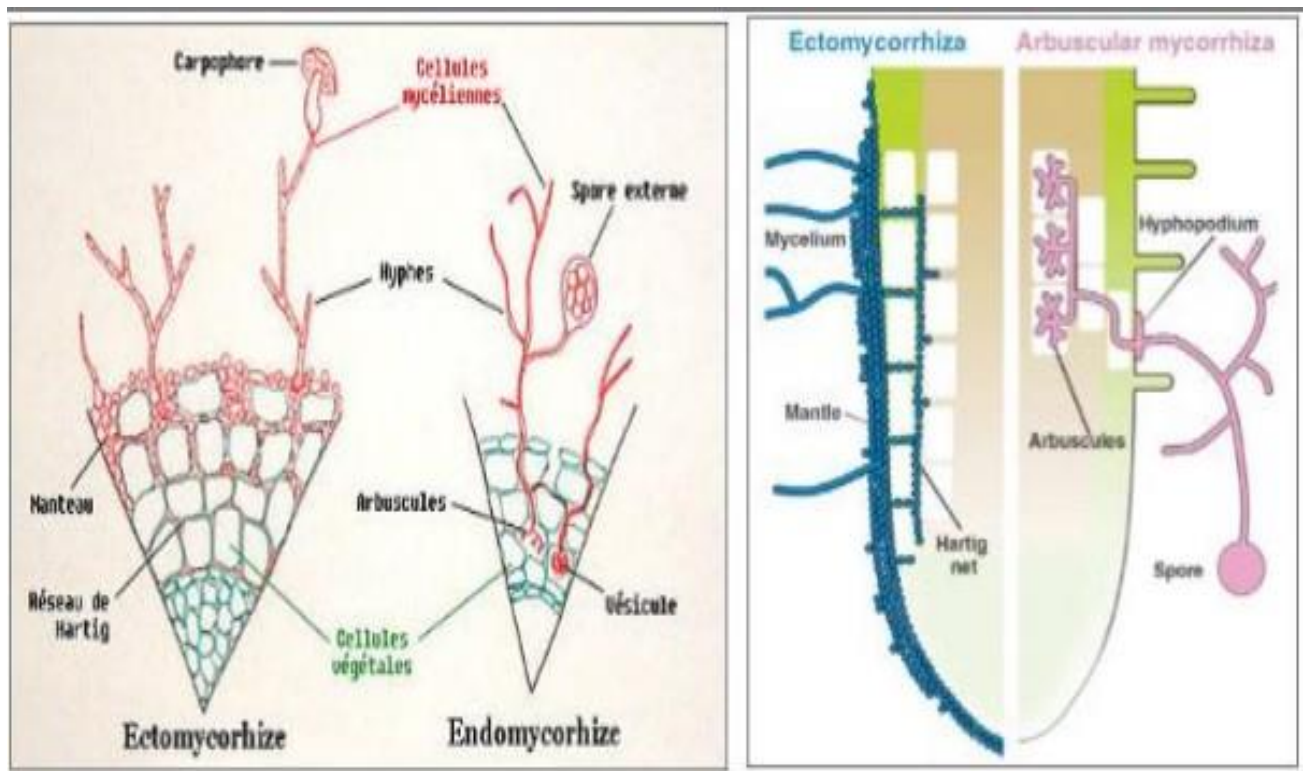
C'est le type mycorhizien le plus largement répandu. Les plantes endomycorhizées peuvent être des végétaux herbacés (par exemple la plupart de nos plantes cultivées : tabac, tomate, blé, maïs.) ou ligneux (Érable, Merisier, Frêne, If). Ces mycorhizes se trouvent aussi chez des Ptéridophytes y compris leurs prothalles (Lycopode) ou même chez certaines Hépatiques.

Dans ce cas, comme le végétal n'a pas de vraies racines et que la structure symbiotique est formée à l'intérieur du thalle, on parle de mycothalle. Bien que très répandues, ces mycorhizes sont formés par des champignons appartenant à la seule famille des Endogonacées. Les représentants de cette famille ont des hyphes qui ne possèdent pas de cloisons et nous mentionnerons particulièrement les 55-s Glomus, Gigaspora, Acaulospora. L'organisation de

l'endomycorhize est bien différente de celle d'une ectomycorhize (figure 6). Le champignon ne forme pas de manchon équivalent d'un manteau et des hyphes isolés pénètrent dans la racine en s'insinuant entre les cellules corticales (**Bakshi, 1966**). Ces hyphes intercellulaires progressent au niveau de la lamelle moyenne et, surtout, dans les méats où la résistance est moindre. Elles édifient un réseau lâche d'hyphes qui est bien moins structuré qu'un réseau de Hartig. Les champignons mycorhiziens à arbuscules (CMA) ne présentent pas de manteau fongique ni de modification morphologique. Le mycélium pénètre entre les cellules du cortex des racines ou franchit les parois de ces cellules en repoussant leur plasmalemme sans le traverser. Ces mycorhizes se caractérisent par la présence constante d'arbuscules intracellulaires qui sont un lieu d'échange entre la plante-hôte et le champignon. Le mycélium intramatriciel est connecté avec un réseau d'hyphes externes dont le développement est souvent considérable (**Troupa et Koné, 2003**).

À partir de ces hyphes, des ramifications perforent la paroi cellulaire et pénètrent à l'intérieur de la cellule. L'hyphe de pénétration se ramifie un grand nombre de fois pour réaliser une structure rappelant un petit arbre avec un tronc, des grosses branches et des ramifications de plus en plus fines. C'est l'arbuscule, structure caractéristique de ce type de mycorhize. Le grand hyphe intercellulaire a donné naissance à des arbuscules intracellulaires. Certains hyphes se dilatent à leur extrémité pour former d'énormes ampoules inter- ou intracellulaires : Ce sont les vésicules. Dans certains mycorhizes à vésicules et arbuscules et notamment les mycorhizes des végétaux ligneux, les arbuscules sont observés dans les cellules corticales profondes à proximité du cylindre central. Dans les cellules corticales périphériques envahies par le champignon, l'hyphe ne se ramifie pas et s'enroule sur elle-même, formant un peloton. Il a été montré que cette structure est différenciée dans des cellules dégénérantes et qu'elle n'est probablement pas fonctionnelle. La durée de vie d'un arbuscule est relativement brève et est évaluée à quelques dizaines d'heures. Après ce temps, les structures cytoplasmiques du champignon dégèrent et il ne persiste plus que des débris de parois dans la cellule-hôte vivante. Compte tenu du nombre considérable d'espèces endomycorhizées VA, il est évident que cette structure classique présente des variantes. Ainsi, le réseau intercellulaire peut ne pas se former et le champignon se propage d'une cellule à l'autre en perforant les parois ou bien l'arbuscule peut naître à partir d'un peloton (mycorhizes de certaines Liliacées). Contrairement aux ectomycorhizes, le champignon endomycorhizien ne forme jamais de « chapeau » et les hyphes ne forment pas de manchon autour des racines. 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 de matériel biologique qu'un végétal pour couvrir la même zone d'absorption. 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 association avec les bactéries. La figure 6 présente deux coupes (transversale et longitudinale) des racines mycorhizées par les endos et ectomycorhizes.

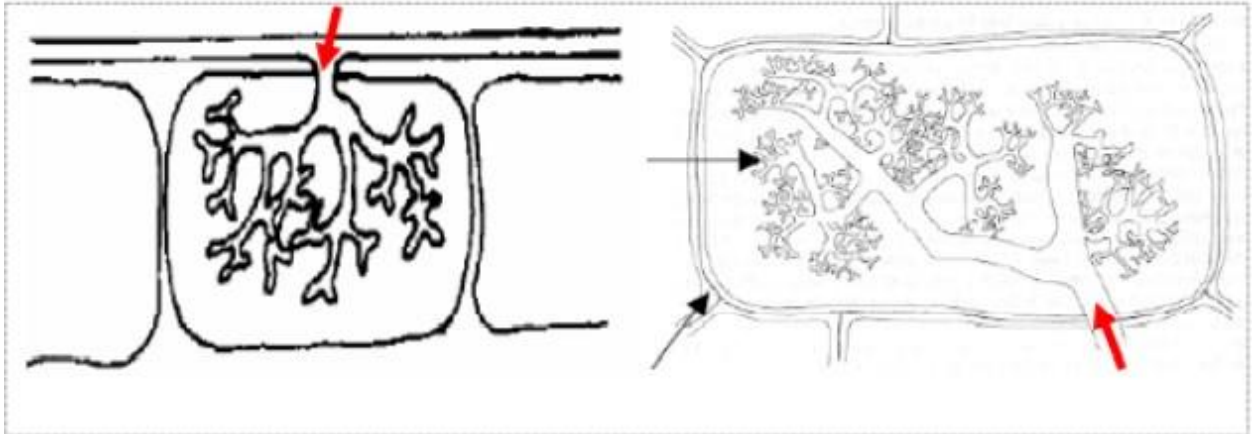


**Figure 6.** Symbiose racinaire des endos et ectomycorhizes. (A gauche) une coupe transversale et (à droite), une coupe longitudinale d'une racine mycorhizée.

Source: [www. Wikipedia.net](http://www.Wikipedia.net), Les champignons mycorhiziens

### I.2.3.2. Les endomycorhizes à pelotons intracellulaires

Chez ce type d'endomycorhizes, les hyphes forment des amas dans les cellules corticales et pénètrent à travers la paroi à l'intérieur des cellules du cortex racinaire (figure 7) en repoussant la membrane plasmique (Matumoto, 1996). Dans ce type de mycorhizes, le champignon pénètre dans les cellules de la racine mais forme très rarement un réseau intercellulaire. L'infection se propage directement d'une cellule à l'autre. Lorsqu'un hyphe pénètre dans une cellule du cortex racinaire, elle s'enroule sur elle-même pour former un peloton comme dans certaines cellules des mycorhizes VA. Toutefois, contrairement au type mycorhizien précédent, c'est le seul type de formation intracellulaire et elles sont établies dans des cellules actives.



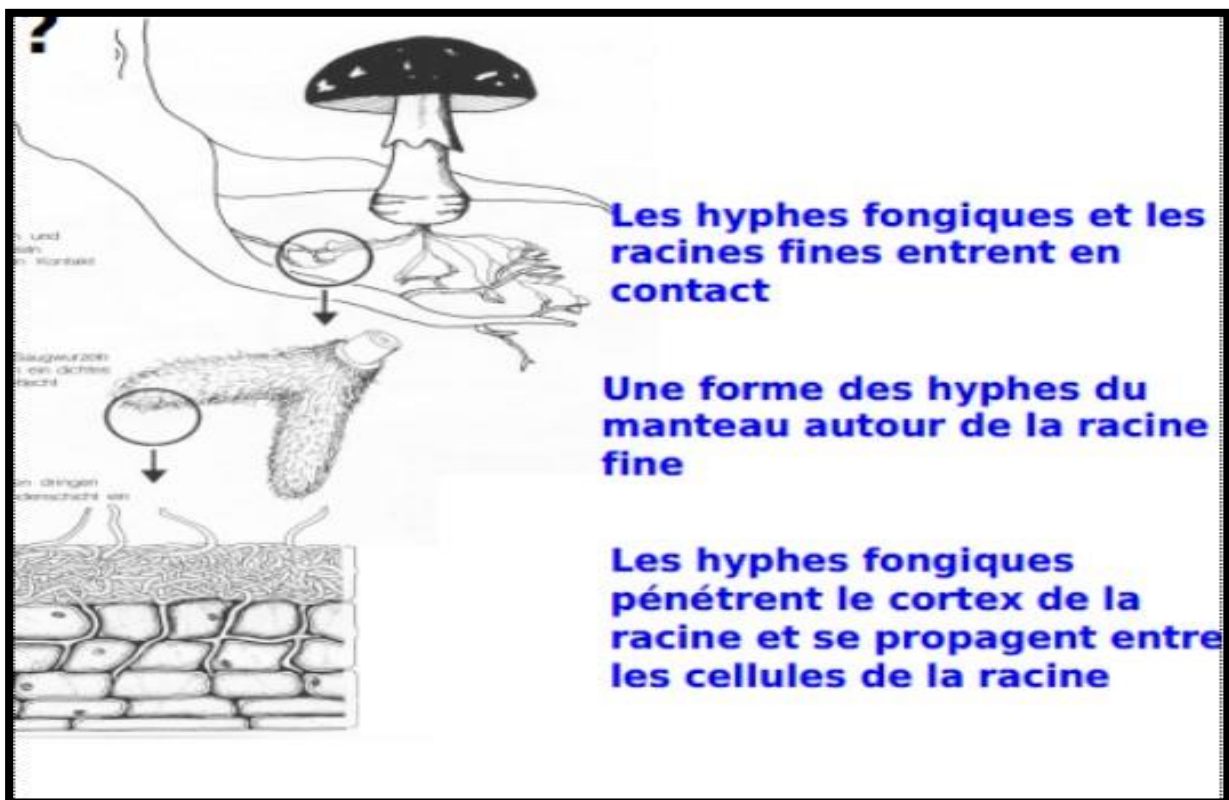
**Figure 7.** Pénétration de l'hyphe dans la cellule et formation des arbuscules .

Source : Morin-Savy S., 2007. Thèse de doctorat. Université de Bretagne Occidentale

### I.2.3.3. Les ectomycorhizes ECM

La symbiose ectomycorhizienne concerne 3 à 5% des plantes vasculaires et se rencontre principalement chez les dicotylédones. Dans ce cas, les partenaires fongiques sont des champignons supérieurs, Basidiomycètes et Ascomycètes, qui peuvent fructifier et une première identification peut être basée sur la morphologie des carpophores. Certains de ces champignons sont cultivables en l'absence de leur plante hôte (**Strulu, 1986**) . La symbiose ectomycorhizienne entraîne d'importantes modifications dans la morphologie racinaire : les poils absorbants disparaissent et un manteau d'hyphes, appelé « manteau fongique », entoure les racines nourricières. De ce manteau partent des hyphes qui s'insèrent entre les cellules corticales de la racine pour former le « réseau de Hartig ». Vers l'extérieur, des hyphes prolifèrent à partir du manteau fongique et colonisent le milieu environnant en formant le « réseau extra matriciel » (**Delwaule et al., 1987**). Dans les écosystèmes tropicaux, au sud du Sahara en particulier, les associations endomycorhiziennes sont majoritaires (**Cornet & Diem, 1982**) et le type ectomycorhizien se retrouve principalement chez les Caesalpinioideae, les Dipterocarpaceae, les Euphorbiaceae, les Fabaceae, les Proteaceae, les Gnetaceae, les Sapotaceae, les Sarcolaenaceae, etc. (**Thoen, 1993**). Des auteurs ont observé que les Acacias sahéliens (*Faidherbia albida*, *Acacia nilotica*, *Acacia raddiana*, *Acacia senegal* et *Acacia seyal*) ne formaient que des associations mycorhiziennes à arbuscules (**Barbosa et al., 2012 ; Bâ et al., 1990**) . Elles sont nommées « ecto » parce que ce champignon ne pénètre pas dans les cellules de l'hôte. Leur structure est complexe et comprend plusieurs zones. Le champignon forme un manchon dense autour de la racine, c'est le manteau. Puis les hyphes du champignon s'insinuent entre les cellules du cortex racinaire et édifient une sorte de réseau entre les cellules, c'est le réseau de Hartig. Ce réseau peut, suivant les partenaires en présence, être très développé et s'étendre jusqu'au cylindre

central, ou au contraire rester limité aux premières assises cellulaires. En général, la racine qui héberge le champignon est profondément transformée. Son allongement est réduit et elle présente la morphologie d'une racine courte. Ces mycorhizes sont surtout observés chez les végétaux ligneux. La plupart des arbres de nos forêts, aussi bien feuillus que conifères, sont ectomycorhizés. L'ectomycorhize naît de la rencontre entre les hyphes d'un champignon mycorhizien et des racines d'un arbre. L'ectomycorhize ne se forme qu'avec des arbres forestiers. Chez les ectomycorhizes, les hyphes s'infiltrent dans les racines de l'arbre, entourant les cellules sans y pénétrer, et forment, au pourtour de la racine, un amas d'hyphes qui s'appelle un manchon (figure 8). Les échanges symbiotiques entre les partenaires se font au niveau intercellulaire. Le manchon fait par les hyphes du champignon joue aussi un rôle protecteur contre des organismes pathogènes. De plus, plusieurs champignons ectomycorhiziens forment les « chapeaux » ou « carpophores » que l'on voit sur les sols et certains d'entre eux sont comestibles.



**Figure 8.** Symbiose ectomycorhizienne.

Source : Dr Jiirgen Kutscheidt, 2016 (Importance des mycorhizes lors de la plantation des grands arbres. Des mycorhizes pour le développement des arbres)

### I.2.3.4. . Les ectendomycorhizes

Ce sont des mycorhizes présentant à la fois des structures d'ectomycorhizes et des structures d'endomycorhizes. C'est ainsi que chez l'Éricacée *Arbutus unedo*, le champignon forme un manteau, un réseau de Hartig et des pelotons intracellulaires (Münzenberger et al., 1992). Chez les Éricacées, ce type de mycorhizes est qualifié de mycorhizes arbutoïdes. Parfois, les ectendomycorhizes montrent des organisations beaucoup plus insolites. C'est le cas des mycorhizes monotropoïdes (*Monotropa hypopitys*). Le champignon forme un manteau, un réseau de Hartig. À partir des hyphes de la base du manteau ou des hyphes du réseau de Hartig, une ramification en forme de coin très aigu perce la paroi cellulaire et représente la formation endomycorhizienne. Cette formation intracellulaire si particulière est qualifiée par les Anglo-Saxons de "cheville" (peg). L'hyphe ne se ramifie pas, mais la surface de contact avec l'hôte est accrue par le développement très important de digitations pariétales (Dexheimer, 1993). (Björkman, 1960) a montré que, par l'intermédiaire de ces mycorhizes si particuliers, les monotropes se comportent comme des parasites des racines d'arbres (Dexheimer, 1993).

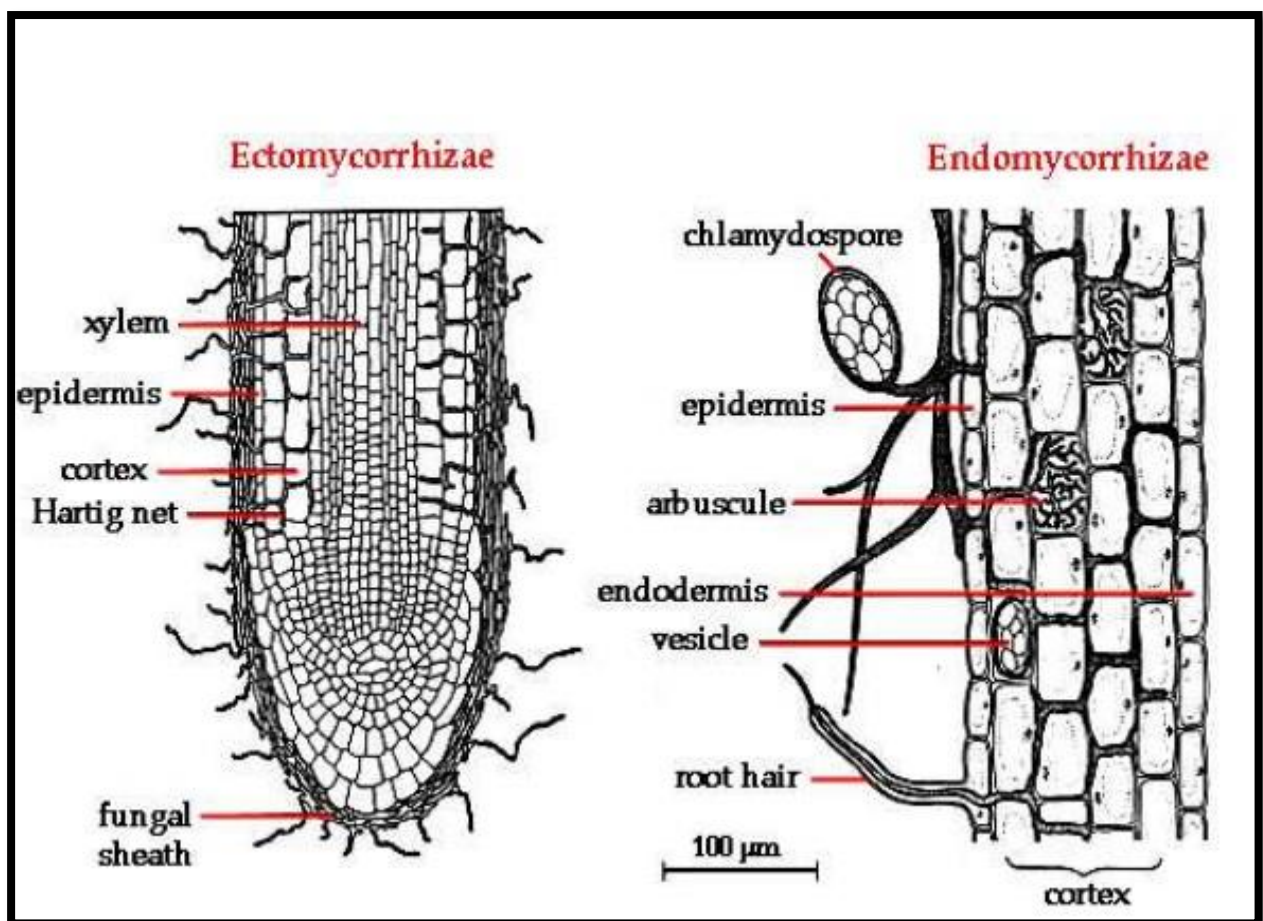


Figure 9.comparaison entre endo et ectomycorhizes.

**Tableau 4.** Principales structures et fonctions de l'AMF (Souza, 2015), (HAMRIT and DERRI 2020).

Structure	Fonction
Arbuscules (intracellulaires)	(1) Interaction avec la plante hôte.
	(2) Régulation biochimique et échanges de carbone, d'énergie et de nutriments.
	(3) Les structures varient en fonction des ordres existants (Archaeosporales, Diversisporales, Glomerales et Paraglomerales).
Vésicules (intraradiculaires) a	(1) Stockage de composés lipidiques riches en énergie pendant le développement des mycorhizes.
	(2) Responsable du maintien et de la croissance du champignon après l'arrêt de la fonction métabolique des racines.
Cellules auxiliaires (extraradiculaires) b	(1) Cellules fragiles responsables du stockage des lipides.
	(2) Les macromolécules fournissent le carbone nécessaire à la formation des spores lors de la sporulation.
Hyphe (intraradiculaire)	(3) Établir les "unités d'infection" dans les racines de la plante hôte.
Hyphe (extraradiculaire)	(1) Responsable de l'absorption des nutriments et de l'eau de la rhizosphère.
	(2) Fournit de nouveaux points d'entrée le long de la racine de la plante hôte.
	(3) Responsable de la production de nouvelles spores.
Spores	(1) Structures de survie et de résistance.
	(2) Responsable de la dispersion et de l'établissement des AMF.
	(3) Valeur taxonomique pour l'identification des espèces d'AMF.
Parois de spores	(1) Importantes pour la croissance, la survie et la dispersion des spores dans le sol.
	(2) Les couches extérieures sont responsables des interactions avec d'autres microorganismes.
Murs germinatifs	(1) Directement impliqués dans les événements de germination.
Structures germinatives	(1) Fournit la base structurelle permettant au tube germinatif de se développer et de traverser les parois des spores.

#### I.2.4. Les champignons mycorhiziens dans les agrosystèmes : leur rôle écologique

Le rôle majeur des mycorhizes est le prélèvement et le transport vers la plante des éléments nutritifs très peu mobiles dans le sol, principalement le phosphore (**Chen et al., 2007 ; Duponnois et al., 2008**) . En effet, selon le pH du sol, cet élément se retrouve en grande partie associé au fer, à l'aluminium ou au calcium sous des formes de phosphates difficilement disponibles pour les plantes (**Caris et al., 1998 ; Bâ et al., 1987**) . L'exploration d'un plus grand volume du sol et la possibilité de solubilisation des minéraux primaires par les mycorhizes devraient ainsi permettre une meilleure nutrition phosphatée des plantes (**Anino, 1992**) . Cette amélioration de l'acquisition des nutriments inorganiques par les mycorhizes concerne également N, K, Mg, Na, S, B, Br, Cl, Cu, Cr, Cs, Co, Fe, Mo, Mn, Ni, Si, Zn (**Duponnois et al., 2008 ; Burgess et al., 1994**) . Par ailleurs, il a été démontré que les associations mycorhiziennes pouvaient jouer un rôle significatif dans la décomposition et la minéralisation des matières organiques végétales et mobiliser les nutriments au bénéfice de la plante hôte (**Singh & Jones, 1976**). (**Anderson, 1967**) a même pensé que les mycorhizes joueraient un rôle fondamental dans la réduction de la malnutrition humaine du fait que de nombreux nutriments se trouvaient dans la biomasse des plantes mycorhizées (bio-fortification) et pourraient alimenter l'organisme humain. L'amélioration de la nutrition hydrique des plantes par l'intermédiaire des mycorhizes a aussi été notée via ce plus grand volume de sol exploré par les hyphes mycorhiziens (**Salvioli et al., 2008 ; Augé, 2004 ; Bâ et al. 2002**) . Des nombreux autres résultats indiquent par ailleurs, un effet bio-protecteur des mycorhizes : une réduction ou même une inhibition de l'effet négatif de certains agents phytoparasitaires (**Duponnois et al., 2008 ; Azcon-Aguilar, 2003**) et une meilleure survie des plantes mycorhizées sur les sols pollués par les éléments traces métalliques ou par les hydrocarbures aromatiques polycycliques (**Tisserant et al., 2012**) . De même, une nette amélioration de la structure du sol a souvent été notée en présence des mycorhizes. Le vaste réseau d'hyphes extra matriciels et la libération dans le sol par les hyphes mycorhiziens d'une glycoprotéine, la glomaline, entraîneraient une meilleure stabilisation du sol par la formation d'agrégats beaucoup plus stables (**Salvioli et al., 2008 ; Bâ et al., 1999**) .

Les associations mycorhiziennes jouent également un rôle clé dans le fonctionnement et la stabilité des écosystèmes terrestres en intervenant fortement dans les relations plante - plante. En effet, l'existence d'arbres adultes supportant déjà des structures mycorhiziennes a été décrite comme un moyen très efficace dans l'établissement des jeunes plants en favorisant notamment l'infection de ces jeunes plants par les champignons mycorhiziens, donc leur survie (**Chilvers, 1972**). En outre, les champignons mycorhiziens favorisent la coexistence entre plusieurs espèces végétales, améliorant ainsi la productivité et la biodiversité végétales dans ces écosystèmes

**(Burgess et al., 1994)** . Des auteurs ont même parlé d'une translocation de métabolites via un pont mycélien créé par le réseau d'hyphes connectant plusieurs plantes de la même espèce et/ou d'espèces différentes **(Read, 2011)**, avec le cas particulier de la myco-hétérotrophie où des plantes non chlorophylliennes (Orchidées, Ericacées) sont nourries par leurs congénères photosynthétiques via ce réseau mycélien **(Selosse & Le Tacon, 2006)**. Par ailleurs, les associations mycorhiziennes sont fortement impliquées dans les successions végétales : ainsi, sur certains sols pauvres aussi bien en éléments nutritifs qu'en propagules mycorhiziennes, les espèces végétales dépendant peu de cette symbiose. Par la suite, avec l'enrichissement du sol en structures mycorhiziennes, les espèces plus mycotrophes prennent la relève avec une forte corrélation positive entre la biodiversité fongique et végétale **(Gould et al., 1996)** . En revanche, il faut aussi noter que certaines espèces pionnières très mycotrophes s'installent en début de succession végétale sur des sols dégradés et favorisent par la suite le développement d'autres espèces végétales via un effet « plante nurse » **(AzconAguilar et al., 2003)** .

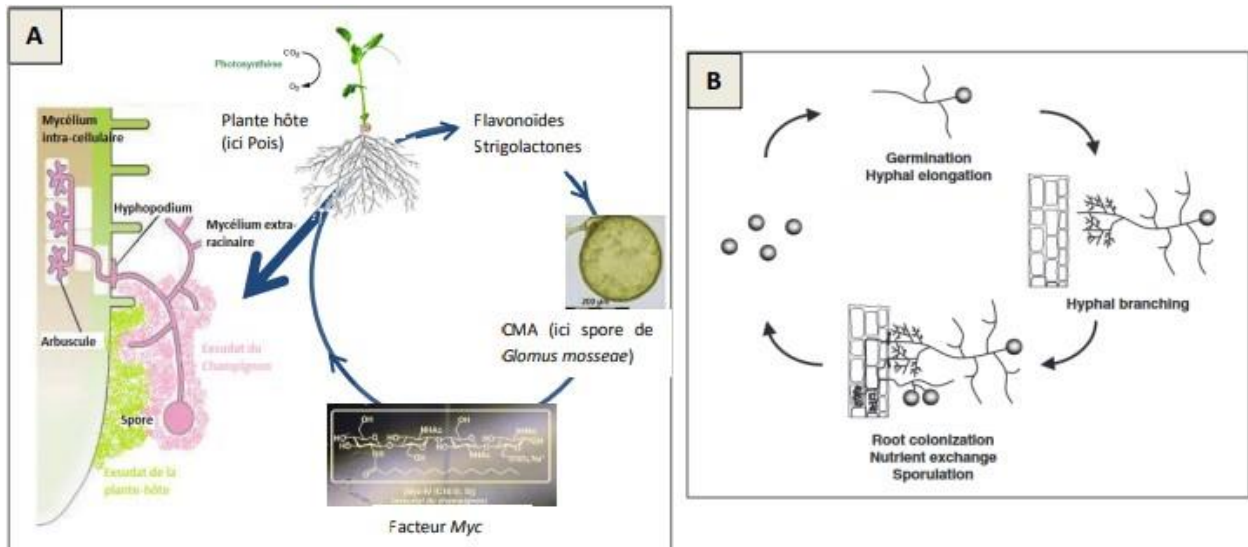
**Tableau 5.** Bilan de l'impact des pratiques culturales sur les CMA, d'après Gosling et al., 2006 ; adapté et complété d'après le rapport de stage d'Océane Vakoume, 2014 (données non publiées)

Pratiques agricoles	BILAN : Impacts sur le CMA
Apport de fertilisants minéraux	<p><b>*Fertilisants en Phosphore</b> : réduction de la colonisation fongique, de la densité et de la diversité des spores (Gosling et al., 2006).</p> <p><b>*Fertilisants azotés</b> (facilement solubles) : réduction de la colonisation et/ou la diversité des AMF (Gosling et al., 2006)</p>
Apport de d'amendements organiques	<p><b>*Sources organiques à minéralisation lentes</b> (fumier, compost, résidus de culture) : stimulation des CMA (Ryan et al. (1994) ; Alloush et Clark (2001), cités par Gosling et al, 2006).</p> <p><b>*Source organique riche en P</b> (ex : fumier de volaille) : possible impact négatif sur les CMA (Gosling et al, 2006)</p> <p><b>*Tout amendement organique</b> : effet non prédictif et non généralisable sur les CMA (Jordan et al. (2000) cité par Gosling et al., 2006)</p>
Apport d'amendements calco-magnésiens	<p><b>*Chaux</b> : augmentation de la densité de populations mycorhiziennes (Hamel et al. (1994) cité par Gosling et al., 2006) et modification dans les espèces dominantes (Sano et al. (2002) cité par Gosling et al., 2006)</p>
Apport de biocides	<p><b>*Tout biocide</b> : altération de la nature et de la quantité des exsudats racinaires et réduction de la colonisation et de la sporulation des CMA (Gosling et al., 2006)</p>
Travail du sol	<p><b>*Tout travail du sol</b> : destruction du réseau d'hyphes des CMA (O'Halloran et al. (1986) cité par Gosling et al., 2006), réduction et/ou retardement de la colonisation fongique, diminution du volume de sol exploré par les CMA et éventuelle réduction de l'absorption des nutriments pour la culture (Evans et Miller (1988) cité par Gosling et al., 2006) ; favorise des espèces de CMA colonisant à partir de spores déviant les ressources nutritives pour leur sporulation plutôt que pour la plante hôte (Johnson et al. (1992) cité par Gosling et al., 2006)</p> <p><b>*Non-labour</b> : améliore la colonisation mycorhizienne, la densité d'hyphes et le prélèvement de nutriment (Gosling et al., 2006)</p>
Pratiques culturales	<p><b>*Monoculture</b> : sélection d'espèces de CMA sporulant rapidement, déviant les ressources des plantes hôtes pour leur propre croissance et reproduction (Gosling et al., 2006).</p> <p><b>*Diversification dans les rotations culturales</b> : Amélioration du potentiel mycorhizogène des sols (Mäder et al., 2000) et de la diversité des CMA (Oehl et al., 2003)</p> <p><b>*Culture non mycotrophe</b> (culture principale ou interculture) : décroissance du nombre de fragments d'hyphes, et pour les cultures mycorhizées futures : réduction et/ou retard de la colonisation fongique, réduction de l'absorption des nutriments (Gosling et al., 2006)</p> <p><b>*Sol nu</b> : carences en P et Zn, réduction du nombre de propagules, de la colonisation par les CMA, de l'absorption des éléments minéraux (Gosling et al., 2006)</p>

### I.2.5. LA COLONISATION CHAMPIGNONS MYCORHYSIENS ARBUSCULAIRES (CMA) DES RACINES

L'établissement de la symbiose entre la plante et le CMA s'effectue via un échange de signaux moléculaires. La reconnaissance entre le champignon et la plante-hôte met en jeu les exsudats racinaires et fongiques (Figure 10.A) : les flavonoïdes et les strigolactones, substances chimiques émises par la plante-hôte, vont stimuler l'activité métabolique du champignon (Stevenin, 2011; Gavériaux, 2012). Elles vont induire chez le CMA l'expression du gène Myc puis de facteurs Myc. Ces facteurs Myc vont induire des déformations dans les cellules de l'hôte pour l'établissement de la symbiose, ainsi que la croissance des hyphes colonisant les racines (Stevenin, 2011). Une spore de champignon germe, le mycélium croît en direction de la racine,

et lorsque le champignon perçoit la présence d'une plante hôte, il manifeste une réaction typique de ramification intense des hyphes appelée « branching » (Figure 10.B)



**Figure 10.** Schématisation de l'établissement de la symbiose mycorhizienne (A) et du cycle de vie des CMA (B), modifié d'après Akiyama, 2007)

Les hyphes adhèrent ensuite aux parois externes des cellules de la racine, formant un hyphopodium, avant de les perforer en sécrétant des enzymes qui vont détruire la cellulose, les hémicelluloses et les pectines constituant ces dernières. Une fois à l'intérieur de la cellule, les hyphes se ramifient par dichotomie en donnant des hyphes ayant un diamètre de plus en plus petit ; à partir d'un hyphe initial de 10 micromètre ( $\mu\text{m}$ ) de diamètre, les dernières ramifications peuvent atteindre moins de  $1\mu\text{m}$  de diamètre. L'ensemble de ces ramifications prend une forme de petit arbre : les arbuscules, lieux des échanges symbiotiques, qui donnent le nom à ces champignons (Gavériaux, 2012; Garbaye, 2013). Les arbuscules sont des structures spécialisées dans le transfert de l'eau et des éléments nutritifs entre le champignon et la plante; pour le phosphore le transfert s'effectue sous forme d'ions orthophosphates via des transporteurs spécialisés insérés dans les membranes cellulaires à l'interface entre la plante et le champignon. Les sucres provenant de la plante sont conduits en sens opposé par des transporteurs d'hexoses qui sont d'autres canaux spécialisés (Karandashov et Bucher, 2005 ; Garbaye, 2013). Après différenciation des structures intra-racinaires, le champignon produit des spores à partir de son mycélium extra-racinaire (Akiyama et al., 2007) . Tous ces mécanismes de communication moléculaires sont encore peu connus mais la recherche progresse régulièrement grâce notamment aux progrès de la génomique (Garbaye, 2013).

### **I.3. *Hedysarum coronarium* L.**

#### **I.3.1. Les plantes du genre *Hedysarum* L.**

Le genre *Hedysarum* L. est un groupe d'espèces fourragères spontanées appartenant à la famille des Fabaceae, il renferme des espèces annuelles ou pérennes, diploïdes ou tétraploïdes, autogames ou allogames. Ce genre regroupe diverses espèces qui se différencient entre autres par la morphologie, le mode de reproduction, le cycle biologique, les aires de répartition ainsi que les caractéristiques bioclimatiques (**Abdellaoui, 2014**).

Les plantes de ce genre sont d'une manière générale constituée d'un appareil souterrain robuste portant de nombreuses nodosités fixatrices d'azote et d'un système aérien à rameaux dimorphes : tige principale « orthotrope » et ramification latérales « plagiotropes ». Selon Quezel et Santa (1962), le genre *Hedysarum* L (sainfoin), se caractérise par : calice en cloche, à 5 dents égales ou inégale. Pétales à onglet très court. Carène obliquement tronquée ou arquée vers l'extrémité. Etamines diadelphes (9- 1), à tube fendu en dessus. Gousse aplatie, divisée en articles monospermes ovales, orbiculaires ou quadrangulaires, se séparant à maturité. Feuilles imparipennées à deux stipules latérales.

L'aire de distribution du genre *Hedysarum* est l'Europe tempérée, les régions méditerranéennes de l'Afrique du nord (**Abdellaoui, 2014**). En Algérie ce genre comporte dix espèces, parmi lesquelles sont des endémiques très localisés, comme *Hedysarum perrauderianum* et *H. naudinianum* qui ne se trouve qu'en Algérie (**Quezel et Santa, 1962; Torche, 2014**), l'exploitation de *Hedysarum*, en Algérie, en tant que plante de pâturage, est restée très limitée ; alors que dans les autres pays, tels que l'Italie et l'Espagne, des programmes d'amélioration conduisent à la sélection de certaines variétés. Ces espèces d'intérêt agronomique, grâce à leur qualité fourragère et leur capacité à améliorer la fertilité des sols par fixation de l'azote atmosphérique, peuvent être exploitées dans la valorisation des régions dégradées, surtout dans les zones arides et semi-arides (**Sebihi, 2008**).



Figure 11. La plante de *Hedysarum coronarium* L.

### I.3.2. Classification scientifique

Classification	
Dominio	Eukaryota
Regno	Plantae
Divisione	Magnoliophyta
Ordine	Fabales
Famiglia	Fabaceae
Sottofamiglia	Faboideae
Tribu	Hédysareae
Genere	Hédysarum
Specie	H. coronarium

Figure 12. Classification scientifique de *H.coronarium* L.

- **Espèce:** *Hedysarum coronarium* L. (Tropicos.org. Missouri Botanical Garden., consulté le 31 mars 2019)

# Chapitre II

## Matériel et méthodes

## Chapitre II. Matériels et méthode

### II.1. Présentation des zones d'étude ( Msila )

#### II.1.1. Situation géographique

La wilaya de M'Sila est située à 250 Km au sud-est d'Alger. Elle est limitée au Nord par les wilayas de Bouira, Borj-Bou-Arrierij et Sétif, à l'Est par les wilayas de Batna et Biskra, au Sud par les wilayas de Biskra et Djelfa, et à l'Ouest par les wilayas de Djelfa et Médéa. La wilaya est constituée de 47 communes regroupées en 15 daïras. Sa superficie totale est de 18 175 Km<sup>2</sup>, soit 0,76 % du territoire national.

#### II.1.2. Les sites d'étude

La récolte des racines hédysarum coronarium a été effectué sur un transect nord de la M'SILA (pole -ouled bdaira), la station du nord de pole et ouled bdaira (m' sila) est caractérisée par un climat semi-aride et la récolte des racines ont été faire à différentes altitudes (Figure 13).

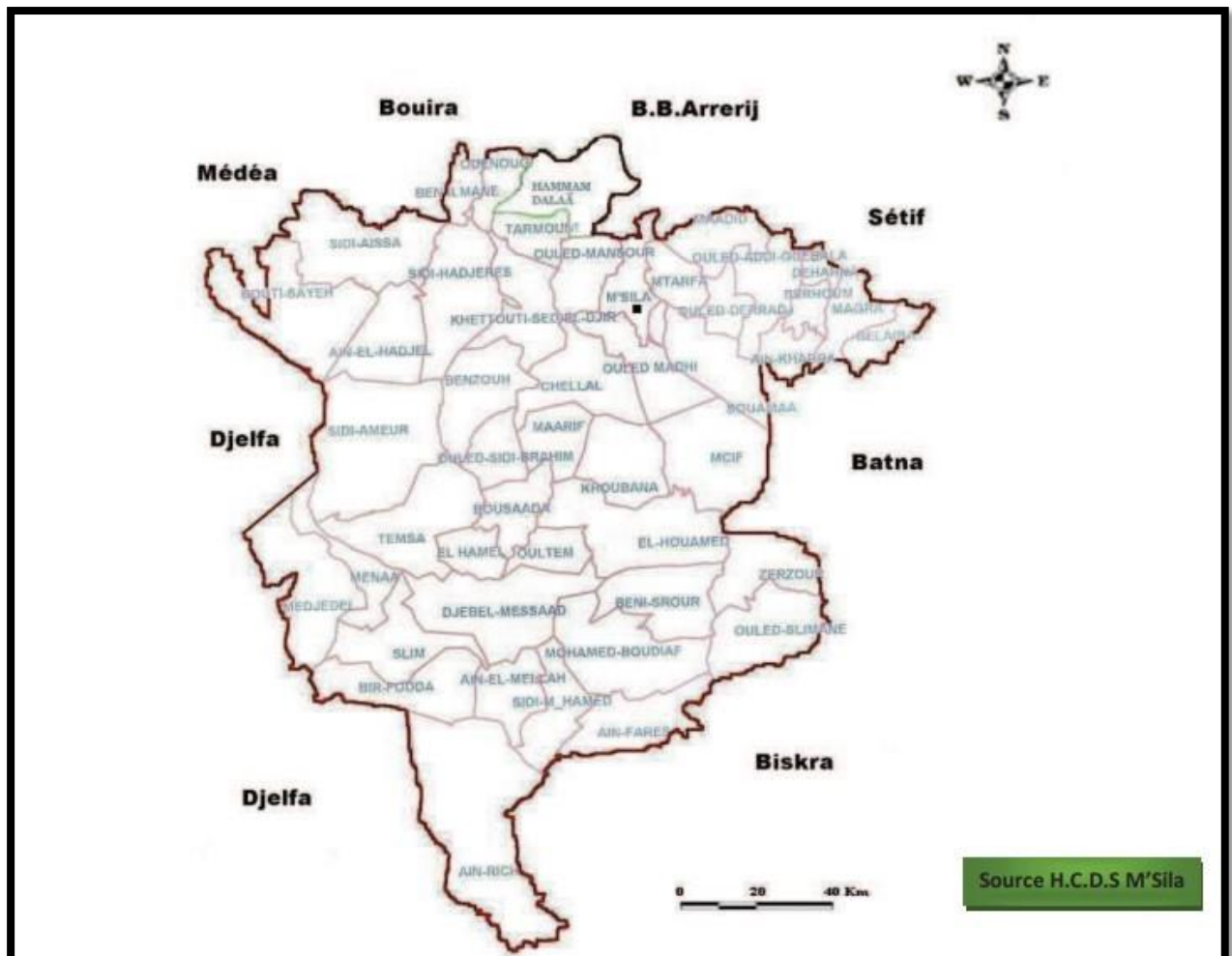


Figure 13. Délimitation de la wilaya de M'Sila

### II.1.3. Matériel végétale

Les espèces des Fabaceae étudiées sont : *Hedysarum coronarium* L., ont été collectées de la forêt campus universitaire de la wilaya de M'sila.

## II.2. Evaluation du taux de mycorhization des espèces végétales

### II.2.1. Echantillonnage

L'échantillonnage a été réalisée de façon à obtenir le maximum des racines fines lors du prélèvement des racines à l'espèce choisie. Pour ce faire, des plantes isolées ou présentant des racines bien distinctes de celles qui les entourent. De plus, il est important de suivre les racines à partir de la base de la plante avant de les prélever. Par ailleurs, seules les racines très fines, plus susceptibles d'être mycorhizées et plus facilement observables au microscope sont prélevées.

Chaque échantillon des espèces est prélevé par la méthode d'échantillonnage aléatoire la phase la plus critique de quantification est la préparation des racines pour examen. (BOUDIAF et CHATRA, 2012).

### II.2.2. Les étapes de préparation des échantillons du mycorhize

La préparation des échantillons dépend du type de mycorhizes et de la nature des échantillons et les étapes sont le lavage, la coloration des mycorhizes, le montage et l'observation.

### II.2.3. Lavage

L'expérience montre que plus les échantillons sont propres plus l'évaluation est rapide et précise. Pour cela les racines sont débarrassées des particules de terre au moyen d'un rinçage abondant à l'eau courante dans un bécet. S'il reste des débris de terre autour des racines. Elles sont trempées dans une solution d'alcool 70 % (pourcentage) qui entraînera la dispersion des particules terreuses (BRUNDRETT et al., 1994). Ensuite, seules les petites racines relativement claires et peu sclérifiées sélectionnées.

### II.2.4. Coloration des racines

Dans ce travail on a utilisées méthodes de coloration :

- Coloration par le Bleu de trypane (Annexe 1).

### II.2.5. Eclaircissement et coloration des racines

La colonisation mycorhizienne du système racinaire est évaluée après coloration au Bleu Trépan 0.5% selon la méthode de (PHILLIPS et HAYMANN, 1970)

1. Retirer les racines et laver-les bien à l'eau du robinet, couper-les à 1- 2 cm (racines fin) et ajouter de la solution d'Alcool à 70%.
2. Mettre les racines dans un tube à essai de KOH 10%.
3. Chauffer au bain-marie à 90° c pendant 30 minute (10-15 min si les racines sont fragiles) : pour détruire le contenu de la cellule végétale et changé la couleur des tamis dans les racines ligneuses, la solution devient alors < rouge-brun >
4. Ajouter le KOH, filtrez les racines a traverse un tamis puis rincez par l'Acide Chlorohydrique pour neutraliser.
5. Colorer les racines par le coton bleu (bleu de trépane)
6. Déposer les racines dans un bain-marie pendant 10-15 min, puis filtrez à nouveaux à travers un tamis et rincez à l'eau distillée
7. Observation par microscope

### II.2.6. Montage

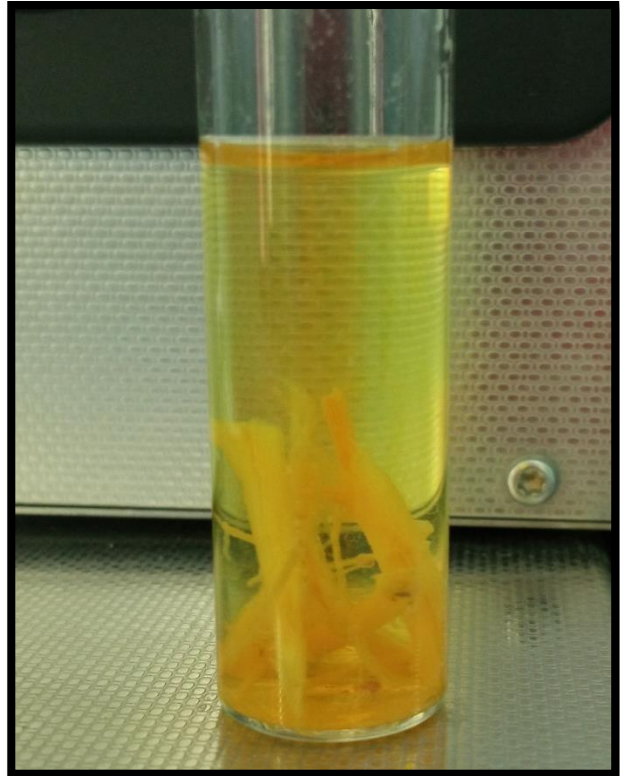
On prélevé des segments de racines de quelques centimètres seulement choisis au hasard. Pour la quantification des endomycorhizes, il nécessite 30 fragments racinaires d'une longueur de la 2 Cm. Ces segments sont montes parallèlement par groupes de 10 a 15 entre lame et lamelle (KROMANIK et MCGRAW, 1982). Les racines restantes sont conservées dans de l'eau ou dans le glycérol.

### II.2.7. Observation

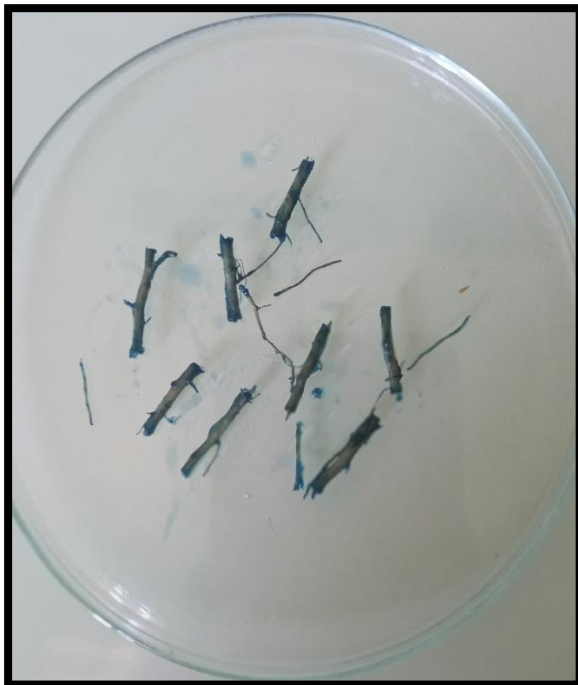
Les lames sont observées au microscope, chaque fragment etant soigneusement verifie sur toute sa longueur, aux grossissements de X40.



1-Lavage des fragments des racines



2-Met des racine dans un bain marie



3-Coloration des racines

Figure 14. les étapes de préparation des racines.

### II.2.8. Estimation de la mycorhization

Afin d'estimer la colonisation par les CMA nous avons utilisé la méthode de **Trouvelot et al. (1986)**. Après avoir coloré les racines, nous les avons découpées en fragments de 1 cm environ, puis nous les avons montées parallèlement les uns aux autres entre lame et lamelle dans du lactoglycérole. Nous avons pris trente fragments racinaires pour chaque plante que nous avons ensuite distribué sur 5 lames (6 fragments par lame).

Les lames sont ensuite observées au microscope photonique au grossissement x10 puis x 40. L'estimation de la colonisation endomycorhizienne est exprimée dans une grille d'évaluation. Cette grille est remplie selon deux échelles :

- une première échelle : elle se compose cinq (05) classes notées de 0 à 5. Chaque classe traduit le degré d'intensité de la colonisation du cortex racinaire de chaque fragment racinaire observé (Figure 15).

- La deuxième échelle permet d'évaluer la présence des arbuscules et des vésicules. Cette échelle comporte quatre (04) classes allant d'A0 à A3 qui indiquent leur fréquence (Figure 16).

La méthode de **Trouvelot et al. (1986)** permet de calculer trois paramètres de l'infection mycorhizienne (pourcentage du nombre de fragments racinaires endomycorhizés) (tableau 6) et (Annexe 2).

**Tableau 6.** Les paramètres de la mycorhization calculés à l'aide du programme Mycocalc.

Paramètres (%)	Description
F	Fréquence de la colonisation mycorhizienne (% du nombre de fragments racinaires mycorhizés)
M	Intensité de la colonisation du cortex racinaire (proportion du cortex colonisé estimée par rapport au système racinaire entier)
m	Intensité de la colonisation développée dans la partie mycorhizée du système racinaire (proportion du cortex colonisé dans la partie mycorhizée du système racinaire)
A	Teneur arbusculaire de la colonisation ramenée au système racinaire entier (proportion du système racinaire renfermant des arbuscules, exprimée en %).
a	Teneur arbusculaire de la colonisation dans la partie mycorhizée du système racinaire (proportion colonisée renfermant des arbuscules, %).

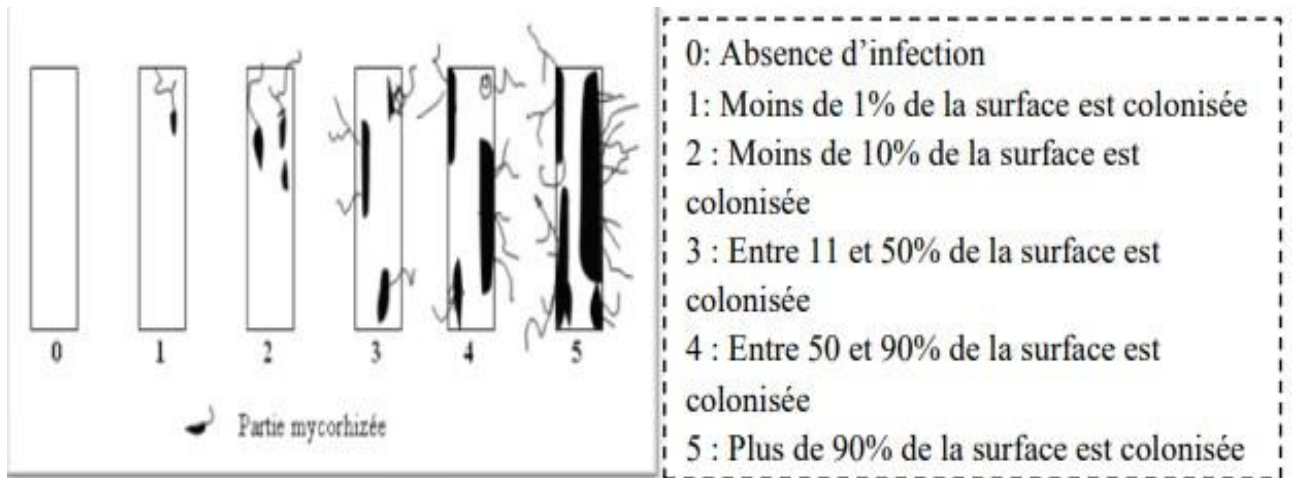


Figure 15. Echelle d'intensité de colonisation du cortex racinaire

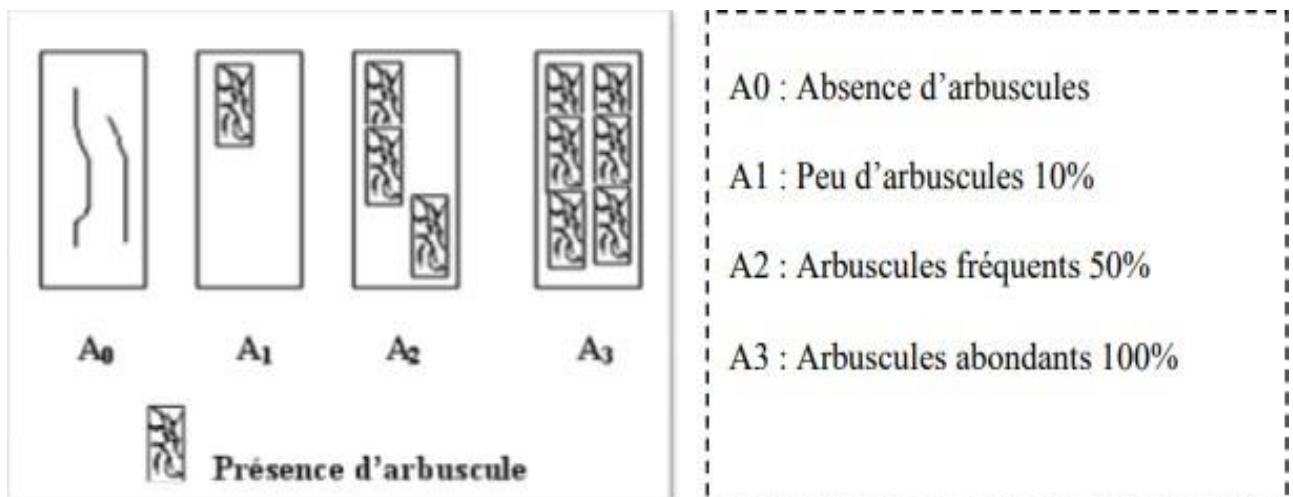


Figure 16. Echelle d'évaluation de la présence arbusculaire

# Chapitre III

## RESULTATS ET DISCUSSION

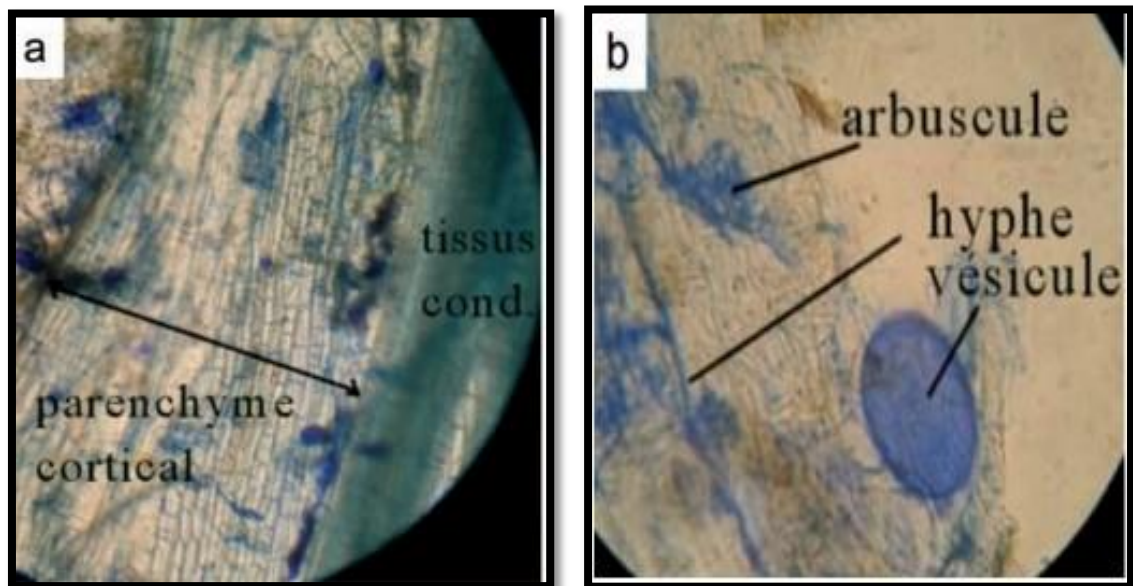
## Chapitre III. Résultats et discussion

### III.2. Formes et structures microscopique des mycorhizes

Le bleu coton marque le champignon mycorhizien, présent dans tout le parenchyme cortical, sans jamais entrer dans le cylindre central. On distingue (Fig. 17) des arbuscules à l'intérieur de certaines cellules racinaires (structure d'échange entre p et des vésicules entre les cellules (souvent, une goutte lipidique dedans : c'est une structure de réserve pour le champignon). On voit parfois aussi des hyphes externes, qui ne sont jamais cloisonnés. Il s'agit donc d'une endomycorhize à arbuscules.

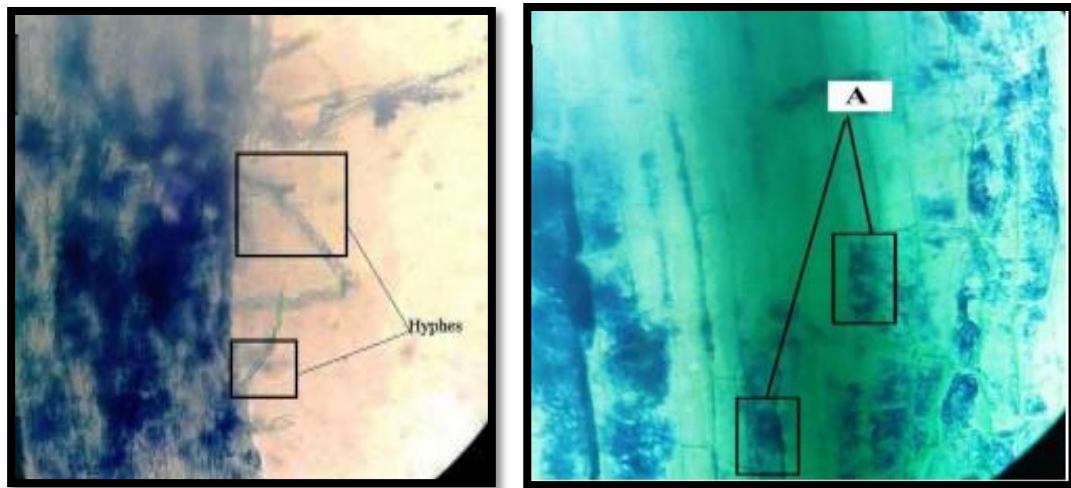
Si les arbuscules paraissent nuageux (à la limite, une vague couleur bleue dans la cellule), c'est qu'ils sont trop lysés : diminuer le temps de décoloration. Une coloration directe peut être essayée sur les racines très clair ( **DEBBI et GUERROUCHE, 2019**).

Les observations microscopiques montrent qu'il existe des différents formes de champignons dans les racines de *Hedysarum coronarium* L., ils sont de type endomycorhizes, caractérisés par la présence des arbuscules, des vésicules et des hyphes figure (17 et 18).



**Figure 17.**Résultat standard de la coloration des racines au bleu de tripan

- a) vue d'ensemble
- b) détail avec arbuscules et vésicule

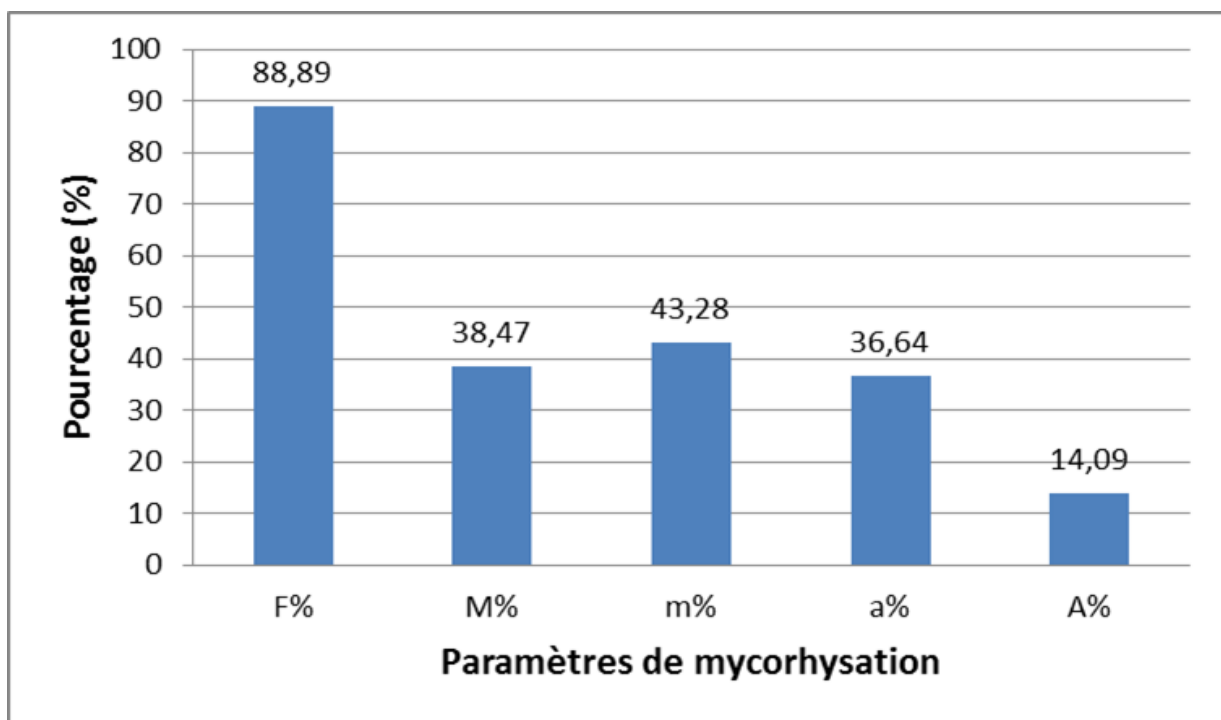


**Figure 18.** Les type des mycorhizes chez *Hedysarum coronarium* L.

### III.1. Quantification de la mycorhization (fréquence et intensité de mycorhization)

La fréquence de mycorhization (F%) élevée de *Hedysarum coronarium* L. 88.89 %, confirme la dépendance de cette espèce vis-à-vis des champignons mycorhiziens arbusculaires (CMA) (Figure 19). Il faut souligner que toutes les racines de la plante sont endomycorhizées. Le taux de mycorhization est un indicateur de la présence de champignons mycorhiziens à arbuscules dans les racines de plantes.

L'intensité de mycorhization (M%) qui est la proportion du système racinaire infectée est élevée pour les racines de *Hedysarum coronarium* L. (38.47%). D'autre part l'intensité de mycorhization des fragments mycorhizés (m%) et l'intensité arbusculaire de la partie mycorhizée (a%) sont de (43.28%) et de (36.64%) respectivement. Cependant, les résultats montrent que l'intensité arbusculaire dans le système racinaire (A%) est faible avec une valeur de (14.09%). Ces résultats, confirment l'ineffectivité et l'abondance des CMA de *Hedysarum coronarium* L. comme conclusion, les résultats montrent que la plante présente des potentialités mycorhizogènes importantes.



**Figure 19.** Paramètres de mycorhisation de *Hedysarum coronarium* L. : Fréquence de mycorhization (F%), Intensité de la colonisation dans le système racinaire (M%), Intensité de la mycorhization des fragments mycorhizés (m%), la richesse arbusculaire de la partie mycorhizée (a%), la richesse arbusculaire du système racinaire (A%).

# **CONCLUSION**

## Conclusion

Au terme de cette étude, il nous semble important d'évoquer les principaux résultats auxquels nous sommes parvenus.

L'objectif global de cette étude a été de mettre en évidence la présence des champignons mycorhiziens chez *Hedysarum coronarium* L. dans région de M'sila, 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 la plante est mycorhizée avec un taux élevée où 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. donc le rôle prépondérant des ces champignons qui est l'amélioration de la nutrition de la plante de *Hedysarum coronarium* L..

Les résultats obtenus des examens microscopiques des fragments racinaires de *Hedysarum coronarium* L. ont révélés la présence des mycorhizes arbusculaires à une fréquence de mycorhization (colonisation de système racinaire) et une intensité de mycothization très importante, avec une intensité absolue et une intensité relative. Les résultats ont montré que les racines de *H. coronarium* sont mycorhizées par des différents formes et qui sont des hyphes mycéliens, des arbuscules et des vésicules.

Enfin, cette étude nécessite un suivi par plusieurs travaux de recherche. Il est donc souhaitable de chercher les conditions optimales de leur multiplication dans le sol sur des plantes locales à forte capacité de mycorhization, comme *Hedysarum coronarium* L..

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

## Références bibliographiques

1. **Abdelkader, F. (2012).** Etude comparative de l'infection des sols par quelques champignons pathogènes en conditions de semis direct et de travail conventionnel. Mémoire de Magister. Université de Sétif 1-Ferhat Abbas, Sétif. 89P.
2. **Abdellaoui, Z. (2014).** Contribution à l'étude de la germination et des premiers stades de développement de *Hedysarum* sp. Mémoire de Magister. Tizi-Ouzou : Université Mouloud Mammeri. 95P.
3. **Amari, M et Nakache, C. (2021).** Les champignons mycorrhiziens et les écosystèmes Forestiers. Mémoire de Master. UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA. 28 P..
4. **ANDERSON, (1967).** Nucleic acids, derivatives, and organic phosphates. In: Soil Biochemistry, vol 33, n° 7 : 16-21.
5. **ANINO, E.O., (1992).** Natural ecto-mycorrhiza of *Acacia mangium*. Nitrogen Fixing Tree Res. Reports 10, 96P.
6. **Asai, T. (1934).** Über das Vorkommen und die Bedeutung der Wurzelpilze in den Landpflanzen. Japanese Journal of Botany, 7 : 107-150.
7. **AUGÉ R.M. (2004).** Arbuscular mycorrhizae and soil/plant water relations. CANADIAN JOURNAL OF SOIL SCIENCE, Volume 84, Number 4: 373-381.
8. **Azcon-Aguilar, C., Barea, J, M. (2003).** Arbuscular mycorrhizas and biological control of soil-borne plant pathogens – An overview of the mechanisms involved. Mycorrhiza 6: 457-464.
9. **BÂ A. M. (1990).** Contribution à l'étude de la symbiose ectomycorhizienne chez deux essences forestières d'Afrique intertropicale *Afzelia africana* Sm. et *Uapaca guineensis* Müll. Arg. Dakar : Thèse 3ème cycle ORSTOM, Montpellier, France..193 P.
10. **BÂ A.M., Dalpé Y, Guissou T (1996).** Les Glomales d'*Acacia holosericea* et d'*Acacia mangium*. Bois et Forêt des Tropiques. 250 : 5-18.
11. **BÂ A.M., Sanon, K.B. & Duponnois, R. (2002).** Influence of ectomycorrhizal inoculation on *Afzelia quanzensis* Welw. Seedlings in a nutrient-deficient soil. Forest Ecology & Management, 161: 215-219.
12. **BÂ A.M., Sanon, K.B., Duponnois, R. & Dexheimer, J. (1999).** Growth responses of *Afzelia Africana* Sm. seedlings to ectomycorrhizal inoculation in nutrient- deficient soil. Mycorrhiza, 9: 91-95.
13. **BAKSHI B.K. (1966).** Mycorrhiza in eucalyptus in India. Indian Forester, 92 : 19-20.
14. **BARBOSA R.I., SILVA DOS SANTOS J.R., SOUZA DE CUNHA M., PIMENTEL T.P., FEARNside P.M. (2012)** Root biomass, root: shoot ratio and belowground

- carbon stocks in the open savannahs of Roraima, Brazilian Amazonia. *Australian Journal of Botany*, 60 :405-416.
15. **Bertrand, I., Sauvadet, M., Guillot, E., D'hervilly, C., Plassard, C., Taschen, E., Marsden, C. Hedde, M. (2019).** Relations entre modes de gestion des agroécosystèmes et biodiversité fonctionnelle des sols. *Innovations Agronomiques*, 75: 107 - 124.
16. **BJÖRKMAN E., (1960).** *Monotropa hypopitys* L. - An epiparasite on tree roots. — *Physiol. Plant.*, vol. 13, 1960 . 308-327
17. **Bonfante, P., Genre, A. (2010).** Mechanisms underlying beneficial plant–fungus interactions in mycorrhizal symbiosis. *Nat Commun* 1, 48:1-11
18. **Bouchet P., Guignard J.L., Pouchus Y.F., Villard J. (2005).** Les champignons. Mycologie fondamentale et appliquée. Ed. Masson. 2<sup>ème</sup> édition. 191P.
19. **Boudiaf, F et Chatra, F. (2012).** Etude de la relation symbiotique d'orchidées avec les mycorhizes dans les deux régions Béjaia et M'sila (morphologie et identification) , UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA. 80P.
20. **Boudih, S.(2011).** identification des moisissures et de leur métabolites secondaires colonisant des supports papiers. Evaluation de la toxicité sur des cellules épithéliales respiratoires in vitro, Thèse de doctorat, Université Paris-Est, 2011. France. 150P.
21. **Brundrett, M., (1991).** Mycorrhizas in natural ecosystems. *Advances in Ecological Research* 21: 171-313.
22. **Brundrett, M.C., Melville, L., Peterson, A. (1994).** practical methods in mycorrhize research, Mycologue Publications Editions, *Workshop organized in conjunction with the 9th North American conference on mycorrhizae and the University of Guelph*. 123P.
23. **Burgess, T., Dell, B., Malajczuk, N. (1994).** Variation in mycorrhizal development and growth stimulation by 20 *Pisolithus* isolates inoculated onto *Eucalyptus grandis*. *New Phytologist*, 127: 731-739.
24. **Caris, C., Hordt, W., Hawkins, H-J., Romheld, V., George, E. (1998) .** Studies of iron transport by arbuscular mycorrhizal hyphae from soil to peanut and sorghum plants. *Mycorrhiza* 8: 35-39.
25. **Chabasse, D., Bouchara, J. P., De Gentile, L., Brun, S., Cimon, B., Penn, P. (2002).** Les moisissures d'intérêt médical. Cahier de formation, 25P.
26. **Chen, D.M., Bastias, B.A., Taylor, A.F.S. & Cairney, J.W.G. ( 2007) .** Identification of laccase-like genes in ectomycorrhizal basidiomycetes and transcriptional regulation by nitrogen in *Piloderma byssinum*. *New Phytologist*, 157: 547-554.

27. **Chilvers G.A. (1972)** . Host range of some eucalypt mycorrhizal fungi. Australian Journal of Botany, 21: 103-111.
28. **Chollet, L. (2014)**. Identification des dermatophytes en cultures sur la base de leurs critères macroscopiques et microscopiques .Mémoire de Maitrise en médecine .Université de Loussane.30 P.
29. **Clémence, R. & Dongmo, M. (2009)**. Evaluation de l'activité antidermatophytique des extraits au methanol et fraction d acalyphamanniana. Université de Dshang-Master en biochimie. 34 P.
30. **CORNET F. ET DIEM H.G. (1982)**. Etude comparative de l'efficacité des souches de Rhizobium d'Acacia isolées de sols du Sénégal et effet de la double symbiose RhizobiumGlomus mosseae sur lcroissance d'Acacia holosericea et A. raddiana. Revue Bois et Forêts des Tropiques, 198 : 3-15.
31. **Courtecuisse R. et Duhem B., 2000** – Guide des champignons de France et d'Europe. Ed. Delachaux et Niestlé. 476P.
32. **Cummings, B., (2007)**. Microbiology. with Diseases by Taxonomy.(2 nd, Pearson San Francisco, CA, USA. 532P.
33. **Debbi, A. and I. GUERROUCHE. (2019)**. Contribution à l'étude des statuts mycorhiziens de quelques plantes de Fabaceae de la région de M'sila (Algérie), Mémoire de Master, Université Mohamed BOUDIAF de M'Sila.30P.
34. **Delwaulle, J.C., Diangawa, D., Garbaye, J. (1987)**. Augmentation de la production du Spinaibes dans la région côtière du Congo pour introduction du champignon ectomycorhizien Pisolithius tinctorius. Revue forestière française, 39, 1, 409-417.
35. **Dexheimer, J., Gerard, J. (1993)**. Application de quelques techniques cytochimiques à l'étude des interfaces des ectendomycorhizes de Monotrope (*Monotropa hypopitys* L.). Acta Bot. Gallica, vol. 140, 459-472.
36. **Duponnois, R., BÂ A .M., Prin, Y., Baudoin, E., Gallana, A. AND Dreyfus, B. (2010)**. Les champignons mycorhiziens : une composante majeure dans les processus biologiques régissant la stabilité et la productivité des écosystèmes forestiers tropicaux.Laboratoire des Symbioses Tropicales et Méditerranéennes (LSTM). Campus International de Baillarguet. Montpellier.France.439 P.
37. **Duponnois, R., Hafidi, M., Ndoye, I., Ramanankierana, H., Bà, A. M. (2013)**. Des champignons symbiotiques contre la désertification : écosystèmes méditerranéens, tropicaux et insulaires, instutut de recherche pour le development Mareille .511P.
38. **Frank A.B., (1980)**. Die Bedeutung der Mykorrhiza-Pilze für die gemeine Kiefer. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, n° 16, 1862-1890.
39. **Gavériaux J.P., (2012)**. Les Glomeromycota Mycorhizes VAM et *Geosophon pyriformis* (Kützing) Wettstein, *Bull. Soc. Mycol. Nord Fr.*, n°92, 1-17.

40. **Gould, A.B., Hendrix, J.W., ET Ferriss, R.S. (1996).** Relationship of mycorrhizal activity to time following reclamation of surface mine land in western Kentucky. I. Propagule and spore. *Canadian Journal of botany*.74(2), 247-261.
41. **Hamani, M., Boudaoud, D. (2018).** Effet antifongique des extraits aqueux et éthanoliques des feuilles et des noyaux de *Persea americana* . MEMOIRE DE MASTER. Université AKLI MOHAND OULHADJ, BOUIRA. 58P.
42. **Hamrit, H., and H, Derri. (2020).** Champignons mycorhiziens chez les plantes: structures et rôles, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA. Mémoire de Master.57P.
43. **Hamza, N ., Aloui ,H. (2021) .** L'activité antimicrobienne des champignons d'origine tellurique.Mémoire de Maser. Université Larbi Ben M'hidi Oum el-Bouaghi.P 35 .
44. **Hill, m., (2014).** Biologie. Childhood maltreatment, emotional dysregulation, and psychiatric comorbidities." *Harvard review of psychiatry\_3* éd. paris: bibliotheque nationale. 22(3): 149P.
45. **Karandashov, V., et Bucher, M. (2005).** Symbiotic phosphate transport in arbuscular mycorrhizas. *Trends in Plant Science*, 10, n°1 .22-29.
46. **KHASA, (1990).** Symbioses racinaires chez quelques essences forestières importées au Zaïre., station de recherches, agriculture Canada, Sainte Foy. N° 382. 27 - 33.
47. **Kormanik P.P & Mc graw A.C. (1987).** Quantification of Vesicular-Arbuscular Mycorrhizae in plant roots. *In methods and principals of Mycchorizal Research*, Schenck N.C., editor, APS Press,37 . 59P.
48. **Kulikov, P. V. and Filippov, E. G. (2001).** Specific Features of Mycorrhizal Symbiosis Formation in the Ontogeny of Orchids of the Temperate Zone. *Russian Journal of Ecology*, 32 (6): 408-412.
49. **Lachance, (2012).** Les Mycorhizes en étroite relation avec les racines des plantes. *Cultures en santé supérieure*. 11 P.
50. **Letacon, F., Valdenaire, J.-M.(1980).** La Mycorhization contrôlée en pépinière, premiers résultats obtenus à la pépinière du Fonds forestier national de Peyrat-le-Château sur épicéa et Douglas. — *Revue forestière française*, vol. XXXII, n° 3. 281-292.
51. **Louarn, J. (2013).** Exploitation des champignons mycorhiziens à arbuscules pour la protection du tournesol contre *Orobanche cumana*. Thèse de doctorat. Université Toulouse 3 Paul Sabatier (UT3 Paul Sabatier), Toulouse, France. 285P.
52. **Lounès-Hadj A.S. (2013).** La Mycorhize a arbuscules : quels bénéfices pour l'homme et son environnement dans un contexte de développement durable? *Revue des Sciences et de la Technologie*, 26. 6-19.

53. **Maeda, M. (1954).** The meaning of mycorrhiza in regard to systematic botany. Kumamoto Journal of Science Ser. B., 3, 57–84.
54. **Malaisse, F. (1973).** L'homme dans la forêt clair zambézienne. Contribution à l'étude de l'écosystème forêt claire (Miombo). African Economic history, N° 7 ,38- 64.
55. **Marx, D.H., Jark, K., Ruehile, J.L., Bell ,W. (1984).**Development of *Pisolithus tinctorius* ectomycorrhizae on pine seedlings using basidiospores-encapsulated seeds. *Forest Science*, vol. 30, n° 4, 897-907.
56. **Marx, D.H., Ruehle, J.L., Kenney, D.S., Cordell, C.E., Riffle, J.W., MOLINA (R.J.), Pawuk, W.H., Navratil, S., Tinus, R.W., Goodwin, O.C.(1982).** Commercial vegetative inoculum of *Pisolithus tinctorius* and inoculation techniques for development of ectomycorrhizae on container-grown tree seedlings. — *Forest Science*, vol. 28, n° 2 . 373-400.
57. **Matumoto, P. (1996).** Rôle des phosphatases dans l'utilisation du phosphore organique par les champignons ectomycorhiziens et leurs associations avec le Pin laricio de Corse. Influence des surfaces adsorbantes sur l'activité des phosphatases. Thèse doctorat, Montpellier : École Nationale Supérieure Agronomique. 235 P.
58. **Munns, D.N., Hohenber, J.S., Richetti, T.L., Lauter, D.J., (1981).** Soil acidity tolerance of symbiotic and nitrogen fertilized soybeans. *Agron. J.* 73: 407 - 410.
59. **MÜNZENBERBER, B., KOTTKE, I., OBERWINKLER, F. (1992) .** Ultrastructural investigations of *Arbutus unedo*-*Laccaria amethystea* mycorrhiza synthesized in vitro. — *Trees*, vol. 7. 40-47.
60. **Ndong, H. E., Degreef, J., De Kesel, A. (2011).** Champignons comestibles des forêts denses d'Afrique centrale. Taxonomie et identification. ABC Taxa, 10P.
61. **Philips, J., Hayman, D. S. (1970).** Improved procedure for declaring and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions British Mycol. Society*, 55 (I): 158-161.
62. **Pichot, J., Roche, P., (1972).** Phosphore dans les sols tropicaux. Communication au Séminaire sur la Fertilité des sols, Ibadan, 939-965.
63. **Quezel, P. Santa, S., (1962).** Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. CNRS. Tome1. 462 - 541.
64. **Rapior, S., Fons, F. (2006).** La classification des champignons. In *Annales de la Société d'Horticulture et d'Histoire Naturelle de l'Hérault* Vol. 146, No. 4, pp. 81-86.
65. **Raven P. H., Johnson G. J., Mason K. A., Losos J. B., Singer S. S., (2011),** *Biologie*. 2ème édition. Ed. De Boeck, Bruxelles, 1406 P.
66. **READ, D.J., (2011).** "The dawn of symbiosis between plants and fungi." *Biology letters* 7(4): 574-577.

67. **Requebert. (1997).** Les moisissures nature, Les mécanismes de la résistance et la tolérance aux métaux lourds développés par les moisissures, université de jijel.
68. **Sahbi, I., Maref, R. (2018).** Contribution à l'isolement et l'identification des champignons filamenteux à partir de deux sols salin et agricole. Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de MASTER. Université LARBI BEN M'HIDI, Oum el bouaghi. 41P.
69. **Sahraoui, A. (2013).** "La Mycorhize à arbuscules: quels bénéfices pour l'homme et son environnement dans un contexte de développement durable?" Synthèse: Revue des Sciences et de la Technologie (26): 06-19.
70. **Salvioli, A., Novero, M., Lacourt, I., Bonfante, P. (2008).** The impact of mycorrhizal symbiosis on tomato fruit quality. 16th IFOAM Organic World Congress, Modena, Italy, June 16-20.
71. **Sandmann, G., Woods, W.S., Tuveson, R.W. (1990).** Identification of carotenoids in *Erwinia herbicola* and in a transformed *Escherichia coli* strain. FEMS Microbiol. Lett. (71), 77-82.
72. **Sellahi, F. Z. (2008).** "Les Bactéries nodulant les Légumineuses (BNL)." Thèse de Magister. Constantine : Université Mentouri. 121P.
73. **Selosse, M.A., Francois, L., Tacon, F. (2006).** La stratégie de la symbiose : science et avenir, N° (633): 72-73.
74. **Singh, B.B., Jones, J.P. (1976).** Effect of liming on phosphate sorption by acid soils. J. Soil Sci. (41): 165-175.
75. **Smith S.E., Gianinazzi-Pearson V., Koide R. & Cairney J.W.G. (1993).** "Nutrient transport in mycorrhizas: structure, physiology and consequences for efficiency of the symbiosis." *Plant and Soil* 159(1): 103-113.
76. **Souza, T. (2015).** *Handbook of arbuscular mycorrhizal fungi*. Cham: Springer, 153P.
77. **Stevenin A., (2011).** Symbiose mycorhizienne : développement de nouvelles méthodes pour la synthèse de glycoconjugués bioactifs. Thèse, Université Paris Sud - Paris XI, 329P.
78. **Strullu, D. J., Gourret, J. P. (1980).** Données ultrastructurales sur l'intégration cellulaire de quelques parasites ou symbiotes de plantes. II. Champignons mycorhiziens. Bulletin de la Société Botanique de France. Actualités Botaniques, 127(1): 97-106.
79. **Strullu, D.-G. (1986).** "Vers un modèle unifié de fonctionnement des symbioses mycorhiziennes." *Physiologie végétale* 24(2) : 219-225.
80. **Thoen, D. (1993).** Looking for ectomycorrhizal trees and ectomycorrhizal fungi in tropical Africa. BRITISH MYCOLOGICAL SOCIETY SYMPOSIUM SERIES, Cambridge University Press. 193P.
81. **Tisserant, E., Kohler, A., Dozolme-seddas, P., Balestrini, R., Benabdellah, K., Colard, A., Croll, D., Dasilva, C., Gomez, S.K., Koul, R., (2012).** The transcriptome of

- the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* (DAOM 197198) reveals functional tradeoffs in an obligate 1. symbiont. *The New phytologist* (193): 755–69.
82. **Torche, Asma., (2014).** Caractérisation des souches bactériennes isolées à partir des nodules de quelques légumineuses endémiques de l'Algérie et détermination du polymorphisme génétique. Thèse de doctorat : Biochimie et Microbiologie Appliquée. Constantine : Université Mentouri. 142P.
83. **Trapnell, C. G. (1959).** "Ecological results of woodland and burning experiments in Northern Rhodesia." *The Journal of Ecology* : 129-168.
84. **Troupas, G.F., ET Kone M.H. (2003).** Recensement National de l'Agriculture 2001et sécurité alimentaire. Rapport de consultant FAO, EU Minagra, Abidjan/Côte d'Ivoire. 40P.
85. **Trouvelot, A., Kough, J., Gianinazzi-Pearson, V. (1986).** Mesure du taux de mycorhization VA d'un système racinaire. Recherche de méthodes d'estimation ayant une signification fonctionnelle. In : *physiology and genetics aspects of mycorrhizae*. Gianinazzi-Pearson V et Gianinazzi S (Eds), 1st ESM, INRA Press, Paris. 217-221.
86. **Vallerie, M., Chevignard, T., Fardeau, J., Doubeau-piasco, S., Feller, C., Turnne, J. (1986).** "Effets du remodelage parcellaire sur la fixation des phosphates en divers types de sols des Antilles. Cours donné à l'Ecole Supérieure d'Agriculture, ORSTOM, Paris. *Agronomie* 6(2): 149-156.

# ANNEXES

## Annexes1

### Réactifs pour la coloration des racines

#### Bleu de Trypan

Acidelactique.....	333ml
Glycérol.....	333ml
Bleu Trypan.....	0.05g
Eau distillée.....	333ml

#### Potasse hydroxide

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

#### Solutiondeconservation

Glycérol.....	500ml
H <sub>2</sub> O.....	450ml
HCl (1%) .....	50ml

Annexe 2

Grille d'évaluation de l'infection

	0	1				2				3				4				5			
		A1	A2	A1	A0	A2	A2	A1	A0	A2	A2	A1	A0	A2	A2	A1	A0	A2	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																					
<b>Tot</b>																					

**Annexe 3**

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

**F fréquence de mycorhization :**

$$F\% = (n/N) \times 100$$

N : nombre de fragments observés

n : nombre de fragments mycorhizés

**M intensité de mycorhization :**

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

$$\text{Fragments mycorhizés : } m\% = M \times N/n = M \times 100/F$$

$n_1, n_2, n_3, n_4, n_5$  sont les nombres de fragments notés de 1 à 5 respectivement.

**A intensité arbusculaire :**

$$\text{Partie mycorhizée } A\% = (100m_{A3} + 50 m_{A2} + 10 m_{A1})/100$$

$m_{A3}, m_{A2}$  et  $m_{A1}$  représentent le % de mycorhization de qualité arbusculaire donnée

$$\text{Respectivement pour chaque classe } A_1, A_2 \text{ et } A_3 \text{ selon : } m_A = ((95n_{5A} + 70 n_{4A} + 30 n_{3A} + 5n_{2A} + n_{1A1})/N) \times 100/m$$