

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DES SCIENCE BIOLOGIQUES ET DES SCIENCES AGRONOMIQUES  
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE

**Projet de Fin d'Etudes**  
**En Vue de l'obtention du Diplôme de Master**

Domaine : **Sciences de la Nature et de la Vie**

Filière : **Sciences Biologiques**

Spécialité : **Biodiversité et Physiologie Végétale**

*Présenté par*  
**ZAATRI Thinhinane**  
**TAGZIRT Lamia**

Thème

**Etude des Mycorhizes De *Ceratonia siliqua* dans la région de  
Tizi-ouzou.**

*Mémoire soutenu publiquement le 10/07/2023 devant le jury composé de :*

**Mr NAIT MOULOUD M.**  
MCB, UMMTO, Président

**Mme TALEB-TOUDERT K.**  
MCA, UMMTO, Promotrice

**Mr MEDJEBEUR Dj.**  
MCB, UMMTO, Examineur

**2022/2023**

# Remerciement

En premier lieu, nous remercions notre DIEU, pour nous avoir donné la force , la patience et la santé pour la volonté pour accomplir ce travail.

Nous remercions Dr. Taleb Karima qui a bien voulu accepter la charge de diriger ce mémoire ; avec une grande rigoureuse scientifique, sa disponibilité, ses précieux conseils, la confiance qu'elle nous a accordé et pour son suivi régulier à l'élaboration de ce travail ; sans oublier l'ensemble de nos professeurs qui nous ont accompagné tout au long de notre cursus universitaire.

Nous remercions très sincèrement les membres de jury Mr Nait Mouloud Mouhamed et Mr Medjebeur Djamel d'avoir accepté de juger notre modeste travail.

Nos vifs remerciements vont aux responsables de laboratoires : Mme Tinkicht, Mme Tibiche et Mme Kaderi pour l'aide considérable qu'elles nous ont apportées, leurs gentillesse et serviabilités. Et à toute personne qui a participé de près ou de loin pour l'accomplissement de ce modeste travail.

# Dédicace

\*À l'homme de ma vie mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, que dieu te garde *papa*

\*À la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur, *maman* que j'adore.

\*À mon tendre chère marie, qui m'a aidé et ma soutenu à travers toutes les chances et tous les moyenne. *Sofiane* que j'aime beaucoup.

\*À la famille de mon marie *Zaarour* qui m'a soutenue à tout moment, exceptionnellement ma belle sœur *Yasmine*

\*À mes chère frère *Mchamed, Kamel et Mouloud*, et leurs enfant *Rayane et Anàs*.

\*À mes très chères sœurs et leurs enfants, exceptionnellement mes nièces *Kenza, Mina et Nawal*.

\*À ma très chère amie et binôme *Thinhinane*, merci pour les bons moments que nous avons passé ensemble et pour ton soutien. Un grand merci pour ta famille (*Zaatri*)

\*À tous les enseignants qui m'ont suivie tout au long de mes études.



# Dédicace

*Je dédie ce travail :*

*Au pilier de ma vie, ma source de Force et de Rassurance, mon cher  
PAPA*

*A la lumière de ma vie, ma source d'Amour et d'Affection, ma chère  
MAMAN*

*A mes deux Fleurs Cylia et Inasse, ma source de Joie et de Bonheur*

*A mes chères Thileli, Djaouida et Ryma*

*A toute ma famille : mes tantes oncles, grands-mères et Cousins*

*A mes petits : Caline, Ziniw, Pitouche et Toutahens*

*A toutes mes amis : Lydia, Imane, Leticia, Ikram, Fati, Samia, Lydia*

*A ma binôme Lamia*

*A tout mes collègues*

## Liste des figures

---

<b>Figure 01</b> : Photographie d'une plante de caroubier <i>Ceratonia siliqua</i> (photo originelle ,2023)	3
<b>Figure 02</b> : Morphologie de quelque partie de caroubier (Hanana & Harmouni, 2012)	4
<b>Figure03</b> :Centre d'origine et distribution du caroubier dans le monde (Batle et Tous, 1997)	5
<b>Figure 04</b> : schéma représentatif dans huit types des mycorhize ( Garbay ,2013)	8
<b>Figure 05</b> : Schématisation de l'établissement de la symbiose mycorhizienne (A) et de cycle de vie des CMA ( B),modifié d'après Akiyama,2007)	11
<b>Figure 06</b> : Représentation schématique des trois types d'organisation des champignons endomycorhiziens dans les cellules du cortex ( Garbay )	12
<b>Figure 07</b> : Village Menaam (photo originelle,2023)	15
<b>Figure 08</b> : Le caroubier au laboratoire (photo originelle ,2023)	16
<b>Figure 09</b> : Dépouillement et lavage des racines du caroubier (photo originelle,2023)	17
<b>Figure 10</b> : Coupe transversales de la racine de <i>Ceratonia siliqua</i> au microscope optique grossissement 40*10	20
<b>Figure 11</b> : Structure anatomique de champignon endomycorhiziens associé au caroubier	21
<b>Figure 12</b> : Mesure de la longueur racinaire	22
<b>Figure 13</b> : Diversité de champignons endomycorhiziens dans la rhizosphère de <i>Ceratonia siliqua</i> (photo originelle ,2023)	22
<b>Figure 14 (Planche I, II, III &amp; IV)</b> : Spore de CMA, dans la rhizosphère de <i>Ceratonia siliqua</i> (grossissement 40*10)	23-27
<b>Figure 15</b> : Les différentes étapes de la granulométrie	Annexe
<b>Figure 16</b> : Triangle de texture de l'U.S.D.A (1986)	Annexe
<b>Figure 17</b> : PH-mètre	Annexe
<b>Figure 18</b> : un conductimètre	Annexe
<b>Figure 19</b> : matériels de la combustion des échantillons	Annexe
<b>Figure 20</b> : Traitement des racines identification du champignon mycorhizien	Annexe
<b>Figure 21</b> : Isolement des spores	Annexe

## Liste des tableaux

---

<b>Tableau 01</b> : Composition chimique de quelque partie de <i>Ceratonia siliqua</i>	6
<b>Tableau 02</b> : tableau récapitulatif des caractéristiques morphologiques des huit types de symbiose mycorhizienne (Garbay, 2013)	9
<b>Tableau 03</b> : Caractéristiques physico-chimiques du sol	19
<b>Tableau 04</b> : Principales caractéristiques morphologiques des différents types de spores et essai identification	27-34
<b>Tableau 05</b> : Calcul des pourcentages de chaque particule de sol	Annexe
<b>Tableau 06</b> : Echelle de conductivité électrique d'extrait du sol 1\5 (AUBER ,1978)	Annexe
<b>Tableau 07</b> : calcule de la quantité de carbone organique	Annexe

## Liste des Abréviations

---

**CMA** : champignon mycorhizien arbusculaire

**ECM** : ectomycorhizes

**VAM** : mycorhize à vésicule et arbuscule

**Mg** : magnésium

**P** : phosphore

**K** : potassium

**Ca** : calcium

**AIA** : acide indole 3 acétique

# SOMMAIRE

Introduction .....	1
Chapitre I : synthèse bibliographique .....	
I- Le caroubier .....	3
I-1-Description Botanique .....	3
I-2-Position systématique .....	4
I-3-Habitat et répartition géographique .....	5
I-3-1-distribution du caroubier dans le monde .....	5
I-3-2-Distribution en Algérie .....	5
I-4-Données phytochimiques .....	5
I-5-Données pharmacologiques .....	6
I-6- Les utilisations .....	7
II- Les mycorhizes .....	8
1-Définition .....	8
2-Différents types de mycorhizes .....	8
2-2-1-Champignons endomycoriziens arbusculaire (CMA) .....	10
a-Colonisation des racines par les CMA .....	10
b-Morphologie des endomycorhizes.....	11
3-Facteurs de l'expression de la symbiose mycorhizienne .....	12
3-1-Dépendance mycorhizienne des plantes .....	12
3-2-Potentiel mycorhizogène du sol .....	12
4-Avantages de l'association mycorhizienne .....	13
4-1-Amélioration de la croissance et de la nutrition des plantes	13
a-Absorption des éléments minéraux.....	13
b-Amélioration de la nutrition phosphatée.....	13
4-2-Effets sur la structure du sol.....	14
4-3- Protection contre les stress abiotiques et biotiques .....	14
a-Contre les stress abiotiques.....	14

<b>b-Contre les stress biotiques.....</b>	<b>14</b>
<b>Chapitre II : Matériel et méthodes.....</b>	<b></b>
<b>1-Localisation de la zone d'étude .....</b>	<b>15</b>
<b>2-Echantillonnage .....</b>	<b>15</b>
<b>3-Etude de quelques paramètres physico-chimiques du sol .....</b>	<b>16</b>
<b>4-Etude histologique de la racine de <i>Ceratonia siliqua</i>.....</b>	<b>16</b>
<b>5-Etude des mycorhizes du caroubier.....</b>	<b>17</b>
<b>5-1- Détermination du type mycorhizien du caroubier .....</b>	<b>17</b>
<b>5-2- Evaluation du taux de mycorhization du caroubier .....</b>	<b>17</b>
<b>5-3- Isolement de quelque spore de champignons mycorhiziens associées au caroubier .....</b>	<b>18</b>
<b>Chapitre III : Résultats et discussion.....</b>	<b>19</b>
<b>Résultats .....</b>	<b>19</b>
<b>1-Caractéristiques physico-chimiques du sol.....</b>	<b>19</b>
<b>2-Etude histologique de la racine de <i>ceratonia siliqua</i>.....</b>	<b>19</b>
<b>3-Les <i>mycorhizes du caroubier</i> .....</b>	<b>20</b>
<b>4- Détermination du taux de mycorhization.....</b>	<b>22</b>
<b>Discussion.....</b>	<b>34</b>
<b>Conclusion .....</b>	<b>37</b>
<b>Références bibliographiques .....</b>	<b></b>
<b>Annexes .....</b>	<b></b>
<b>Résumé .....</b>	<b></b>

# Introduction

### Introduction

Depuis la nuit des temps, l'homme a toujours cherché à se servir des plantes non seulement pour s'alimenter mais aussi pour se soigner. Les substances naturelles issues des végétaux ont des intérêts multiples mis à profit dans l'industrie (Zegeur et Bissar, 2020)

Le caroubier est une plante méditerranéenne, cultivée depuis l'antiquité dans cette région pour la restauration des zones arides dégradées et pour la consommation humaine et animale (Amira *et al.*, 2022). C'est une espèce agro-sylvo-pastorale (El asri *et al.*, 2014) qui se caractérise par sa plasticité, sa rusticité et sa bonne adaptation aux sols pauvres et fertiles (Dalli *et al.*, 2020). Cet arbre largement connu comme l'or noir de plusieurs régions méditerranéennes en raison de ses produits bénéfiques pour l'homme (Boutasknit *et al.*, 2020); il est non seulement utilisé en médecine populaire de nombreux pays tels que la Grèce, le Maroc et l'Algérie (Amira *et al.*, 2022) mais aussi dans l'alimentation, la cosmétique, la production des textiles et béton et ses graines uniformes étaient une unité de poids chez les bijoutiers d'où vient le mot connu : le carat (Batlle et Tous, 1997).

Au monde, la production estimée de caroube est d'environ 310 000 tonnes par an. Il est aussi cultivé en Algérie dans plusieurs régions comme Tlemcen et Mascara ce qui a fait que ce pays est classé 8<sup>ème</sup> rang de production de caroube avec 4000 tonnes par an (Dalli *et al.*, 2020).

Comme la plupart des Fabacées (Dalli *et al.*, 2020), le caroubier forme toujours des associations avec des champignons mycorhiziens, quelque soit son âge, le site de croissance de la plante ou le type de sol occupé par cette dernière (El asri *et al.*, 2014). La symbiose mycorhizienne permet l'échange bénéfique mutuel de nutriments entre champignon et sa plante hôte. Ce dernier améliore la croissance de sa partenaire, lui fournit différents minéraux et améliore la qualité de son sol. (Zouari et El Mtili, 2020).

De nombreuses études se sont intéressées essentiellement aux relations entre le champignon endomycorhizien et la plante de caroubier. Boutasknit *et al.*, (2020) ont signalé la présence de CMA, dans la rhizosphère de *C.siliqua*. L'AMF améliore la nutrition minérale de cette dernière principalement en P (Ouahmane *et al.*, 2012). Dans les conditions de stress les plantes mycorhizées de caroubier présentaient des performances accrues en termes de croissance, de production de biomasse, d'acquisition d'eau et de nutriments et d'atténuation de stress oxydatif par rapport aux plantes non mycorhizées (Essahibi *et al.*, 2018).

L'objectif de cette étude consiste à mettre en évidence la diversité et la structuration des

## Introduction

---

communautés de champignons mycorhiziens arbusculaires associés à *Ceratonia siliqua* dans une région de Kabylie de la wilaya de Tizi-Ouzou.

Dans ce présent travail, nous aborderons en première partie, une synthèse bibliographique composée de deux chapitres :

- ✓ Le premier est consacré à la présentation du caroubier, son importance socio-économique et son utilisation
- ✓ Le deuxième comporte une étude exhaustive des mycorhizes particulièrement sur les champignons endomycorhiziens arbusculaires, leurs morphologies et les bénéfices qu'ils apportent à leurs plantes hôte.

Une deuxième partie abordera la partie expérimentale ; dans laquelle nous étudierons l'association mycorhizienne de *Ceratonia siliqua*, la diversité des champignons mycorhiziens associés aux racines de cette plante et l'étude de ses tissus. Nous clôturons cette partie par des résultats et une discussion présentées par anciennes recherches.

Notre travail sera clos par une conclusion et perspectives d'étude.

Chapitre I  
Synthèse  
bibliographique

## I- Le caroubier

### I-1-Description Botanique

*Ceratonia siliqua* (Fig1) est une plante de la région méditerranéenne, cultivé depuis l'antiquité. C'est une légumineuse tolérante au gel jusqu'à  $-7^{\circ}\text{C}$  (Yahia hadi *et al*,2017) mais aussi une plante résistante à la limitation d'eau en raison de ses nombreux mécanismes d'adaptation (Boutasknit *et al*,2020). Cette plante se caractérise par sa plasticité, sa rusticité et sa bonne adaptation aux sols pauvres et infertiles (Dalli *et al*,2020).

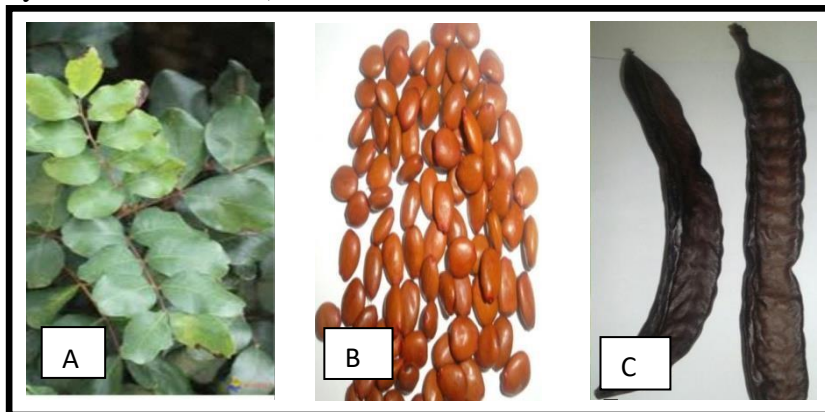


**Figure 1** : La plante du caroubier *Ceratonia siliqua* (photo originelle, 2023)

Le caroubier (Fig 1) se présente sous la forme d'un arbuste ou d'un arbre sclérophylle à feuilles persistantes atteignant 10 m à 15 m de haut, avec une large cime semi-sphérique et un tronc épais avec une écorce rugueuse brune et des branches robustes. Les feuilles mesurent de 10 à 20 cm de long, alternes, pennées, avec ou sans foliole terminale. Les folioles mesurent 3 à 7 cm de long, ovales à elliptiques, en 4 à 10 paires normalement opposées, coriaces, vert foncé et brillantes dessus, vert pâle dessous et finement veinées avec des marges légèrement ondulées, et de minuscules stipules. Les feuilles sont sclérophylles et ont un épiderme supérieur monocouche très épais, dont les cellules contiennent des composés phénoliques dans les grandes vacuoles, et les stomates ne sont présents que dans l'épiderme inférieur et disposés en grappes. *Ceratonia siliqua* ne perd pas ses feuilles à l'automne mais seulement en juillet tous les deux ans, et il ne renouvelle que partiellement ses feuilles au printemps. C'est une espèce dioïque avec quelques formes hermaphrodites; ainsi les fleurs mâles, femelles et hermaphrodites sont généralement portées sur des arbres différents.

Les fleurs sont petites et nombreuses, de 6 à 12 mm de long, disposées en spirale le long de l'axe

de l'inflorescence en grappes. Elles sont vertes teintées de rouge et présentent une symétrie pentamère avec un calice mais pas de corolle placée sur un pédicelle court. Le calice est en forme de disque, vert rougeâtre et porte des nectaires, la pollinisation se fait par vent et insectes. C'est le seul arbre méditerranéen avec la principale saison de floraison en automne (septembre-novembre), semblable à de nombreuses plantes véritablement tropicales. Le fruit est une gousse indéhiscente, allongée, comprimée, droite ou courbée, épaissie au niveau des sutures, de 10-30 cm de long, 1,5-3,5 cm de large et d'environ 1 cm d'épaisseur à apex obtus ou subaigu, il met une année entière à se développer et à murir. Les gousses sont brunes avec une surface ridée et sont coriaces à maturité. La pulpe comprend une couche externe coriace (péricarpe) et une région interne plus douce (mésocarpe). Les graines sont présentes dans la gousse transversalement, séparées par le mésocarpe. Elles sont très dures et nombreuses, ovales-oblongues comprimées, de 8-10 mm de long, 7-8 mm de large et 3-5 mm d'épaisseur. (Batlle et Tous, 1997; Yahya Hadi *et al*, 2017)



**Figure 2** : Morphologie de quelques parties du caroubier (A :les feuilles ; B :les graines ; C :lagousse) (Hanana & Hamrouni, 2014)

### I-2-Position systématique

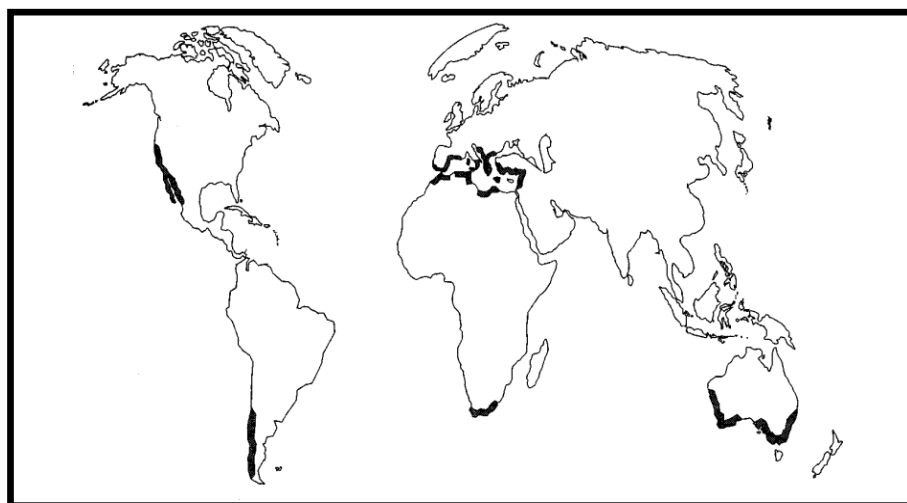
D'après Cronquist (1981) le caroubier est classé comme suite :

- Règne : Végétal.
- Sous-règne : Viridiplantae.
- Embranchement : Embryophytes.
- Sous-embranchement : Tracheophyta.
- Classe : Magnoliopsida.
- Sous-classe : Rosidae.
- Ordre : Fabales.
- Famille : Fabaceae.
- Genre : *Ceratonia* L.
- Espèce : *Ceratonia siliqua* L.

### I-3-Habitat et répartition géographique

#### I-3-1-distribution du caroubier dans le monde

Le caroubier est distribué dans toute la région méditerranéenne, il se trouve en Afrique du nord (Maroc, Algérie, Tunisie, Lybie, Egypte), Europe méridionale et péninsule ibérique (France, Espagne, Portugal, Italie, Grèce). Il est également introduit avec succès dans des pays ayant un climat méditerranéen tel que l'Amérique du nord et du sud, en Australie et Iran. (Batlle et Tous, 1997)



**Figure 3 :** Centres d'origine et distribution du caroubier dans le monde (Batlle et Tous,1997).

#### I-3-2-Distribution en Algérie

En Algérie le caroubier est localisé dans les zones semi-arides, subhumides et humides. Il est cultivé dans l'Atlas saharien. (Quezel et Santa, 1962 ; Rebour, 1968)

#### I-4-Données phytochimiques

Le caroubier est très riche en différents composés dont les principaux sont résumés, dans le tableau 1 :

**Tableau 1** : Composition chimique de quelques parties de *Ceratonia siliqua*

Feuilles	Acide gallique, kaempférol, acide tannique, hydrate, polydatine, quercétine, rutine, biocanine, myricétine, naringénine, génistéine, catéchine, taxifoline épigallocatechine-3-gallate, épicatechine-3-gallate. (Biner <i>et al.</i> 2007)
Gousses	Sucres (saccharose, fructose, glucose, xylose), catéchine, épicatechingallate, épigallocatechingallate, épigallocatechine, quercétine, hydroxytyrosol, acide tannique, acide gallique, acide protocatechuique, acide gentisique, acide syringique, acide p-coumarique, m-coumarique Acide, acide synaptique, acide benzoïque, théophylline Lésion gastrique (Biner <i>et al.</i> 2007)
Pulpe	Glucides (saccharose, glucose, fructose), Pinitol, Tanins condensés, fibres, minéraux (Ca, K,P,Mg),protéines, composés phénoliques(acide syringique, la catéchine, le kaempférol...)(Amira <i>et al.</i> 2022 ; Batlle et Tous, 1997 )

### I-5-Données pharmacologiques

- ✓ Effet antioxydant :

La pulpe et l'extrait de gousse peuvent être utilisés comme produit naturel à effets antioxydant-sédatif grâce à leurs richesses en flavonoïdes, quercétine et d'autre polyphénols

- ✓ Effet antiprolifératif anti-tumorale :

La présence d'acide gallique, d'épigallo-catéchine-3gallate et d'épicatéchine-3-gallate dans la gousse du caroube lui confère un pouvoir antiprolifératif liés aux cellules cancéreuse lui confère une activité anticancéreuse

- ✓ Effet antidépresseurs :

L'extrait de gousse de caroube à un effet antidépresseur (Yahya Hadi *et al*, 2017)

- ✓ Effet anti diarrhéique :

L'extrait de gousse de caroube est riche en fibres alimentaires. Il peut soigné plusieurs maladie gastro-intestinales tell que l'ulcère gastrique chronique.

- ✓ Autres effets :

Effet anti-inflammatoire, effet antibactérien (Amira *et al*, 2022)

### **I-6- Les utilisations**

Malgré l'importance nutritionnelle que présente cette plante, elle reste néanmoins sous-exploitée et elle est généralement destinée à l'alimentation animale (Amira *et al*, 2022). Les produits à base de caroube sont récemment devenus un aliment humain grâce à leur richesse en composés bioactifs (Boutasknit, 2020)

Les graines du caroube sont traitées industriellement pour produire un additif naturel (E410) employé comme aromatisant, stabilisant et épaississant dans les produits alimentaires (Amira *et al*, 2022).

La pulpe en poudre est utilisée comme substitut du cacao. Le cacao de caroube a un avantage sur le chocolat : il contient moins de calories et pas de caféine ni de théobromine (molécule proche de la caféine).

La gomme du caroube sèche et pure est utilisée comme ingrédient alimentaire pour la production du fromage et des produits cosmétiques et pharmaceutiques. Elle est très riche en polysaccharides.

Le bois de cette « plante » est dur et utilisé pour la production de charbon à combustion lente (Dalli *et al*, 2020).

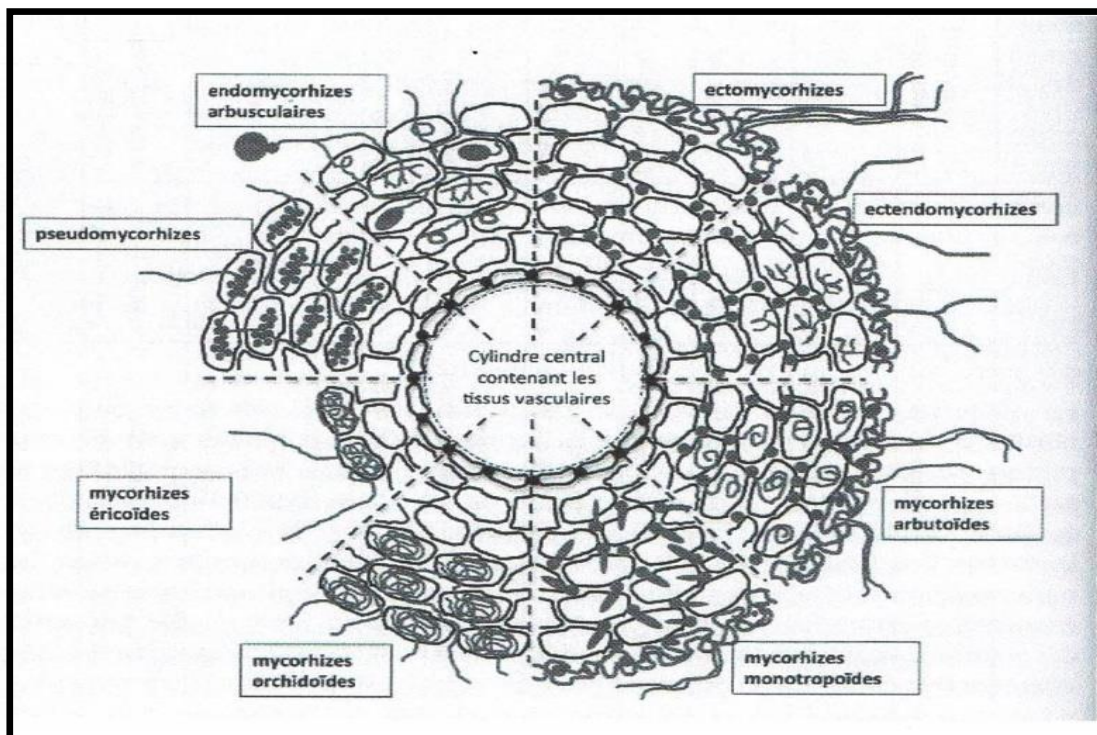
## II- Les mycorhizes

### II-1-Définition

Les mycorhizes (du grec « *mykès* » qui signifie *champignon* et « *rhiza* » qui signifie *racine*) est un terme qui reflète l'organe issu de la relation entre racine et champignon. C'est une symbiose mutualiste caractérisée par la réciprocité dans les échanges entre champignon et plante. 90% des plantes terrestre sont mycorhizées (Duhoux et Nicole, 2004). La plante profite du champignon pour améliorer sa nutrition minérale tandis que ce végétale hétérotrophe bénéficie du métabolisme du carbone issu de la photosynthèse (Selousse et Le Tacon, 1998).

### II-2-Types de mycorhizes

Harely et Harely (1987) ont distingué trois grands types de mycorhizes : les endomycorhizes, les ectomycorhizes et les ectoendomycorhizes. Dechamplain (2002) a classé les mycorhizes selon la morphologie, la structure et l'écologie de ces dernières dont on distingue 7 types : les ectomycorhizes (ECM), les mycorhizes à arbuscules et vésicules (VAM), les ectoendomycorhizes, les arbutoides, les monotropoides, les éricoïdes et les orchidoïdes. Une autre classification a été faite par Garbay (2013) distingue huit types. Cette dernière est illustrée par le tableau 2 et la figure 4.



**Figure 4** : schéma représentatif des huit types des mycorhizes (Garbay, 2013)

Tableau 2 : Tableau récapitulatif des caractéristiques morphologiques des huit types de symbioses mycorhiziennes (Garbay ,2023).

Type de symbiose mycorhizienne	Groupes de plantes concernés	Groupe de champignons	Présence d'un manteau fongique	Morphologie du mycélium externe	Présence d'un réseau de Hartig	Colonisation intracellulaire
<b>Ectomycorhizes</b>	Certaines Gymnospermes et Angiospermes	Ascomycètes et Basidiomycètes	Oui	Très divers : filaments isolés, mèches, cordons, rhizomorphes	Oui	Non
<b>Ectendomycorhizes</b>	Certaines Pinacées (Gymnospermes)	Ascomycètes	Facultatif	Filaments isolés	Oui	Oui (filaments ramifiés)
<b>Mycorhizes arbutoïdes</b>	Ericacées (tribus des Arbutoideae et Pyroloideae)	Basidiomycètes	Facultatif	Filament isolés ou mèches	Oui	Oui (spires)
<b>Mycorhizes monotropoïdes</b>	Ericacées (tribus des Basidiomycètes Monotropeoideae)	Basidiomycètes	Oui	Filament isolés ou mèches	Oui	Oui (doigts)
<b>Mycorhizes orchidoïdes</b>	Toutes les orchidées	Basidiomycètes	Non	Filament isolés	Non	Oui (peletons)
<b>Mycorhizes éricoïdes</b>	Autres Ericacées et certaines Bryophytes	Ascomycètes	Non	Filament isolés	Non	Oui (peletons)
<b>Pseudo mycorhizes à endophytes brun cloisonné</b>	Tous les groupes de plantes terrestre	ascomycètes	Non	Filament isolés	Non	Oui
<b>Endomycorhizes arbusculaires</b>	Presque tous les groupes de plantes terrestres	Gloméromycètes	Non	Filaments isolés	Non	Oui (arbusculaire, spire, vésicules )

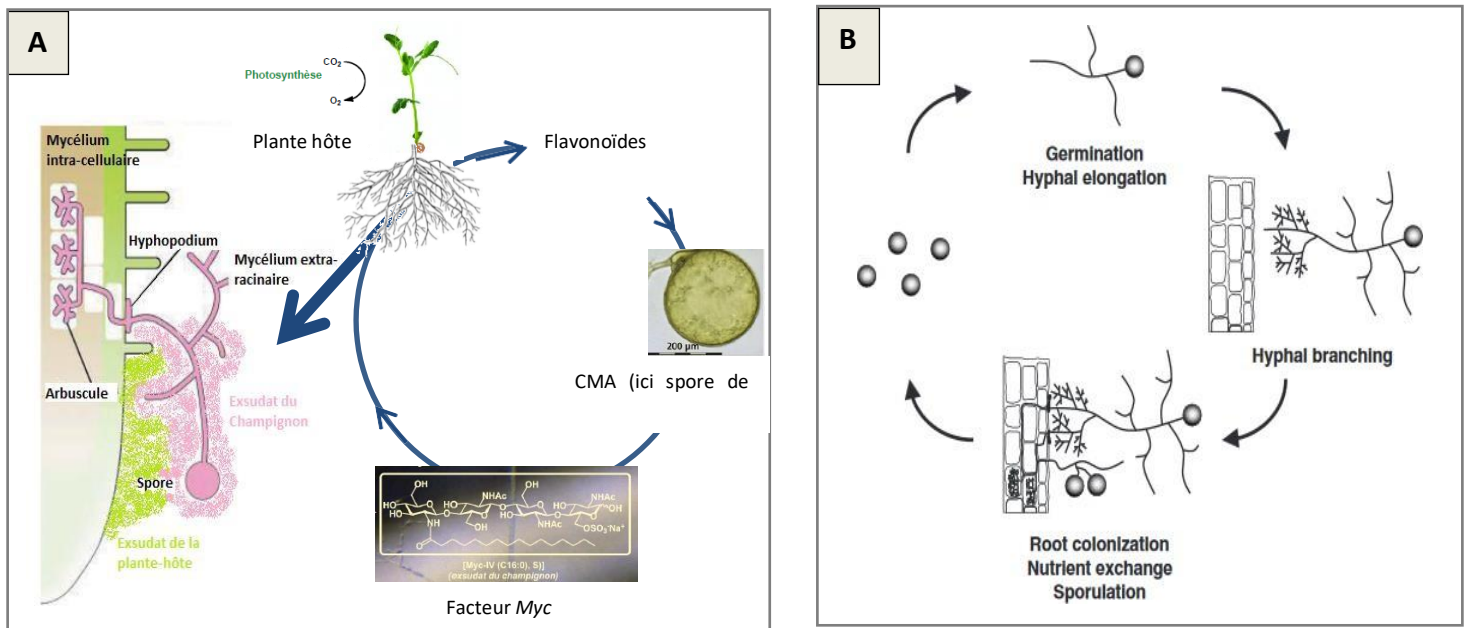
### II-2-2-1-Champignons endomycoriziens arbusculaire (CMA)

Les CMA sont d'importants micro-organismes du sol dans les écosystèmes naturels. Ils colonisent 90% des racines de plantes vasculaires terrestres et cela peut engendrer un bénéfice mutuel (Dalli *et al*,2020). Les Basidiomycètes, les Ascomycètes et les Gloméromycètes sont les trois seuls groupes de champignons connus qui ont la possibilité de mettre en place des symbioses *via* leur association avec les racines des plantes pour former des mycorhizes (Garbaye, 2013)

#### a-Colonisation des racines par les CMA

La symbiose entre la plante et le champignon mycorhizien arbusculaire (CMA) se forme grâce à un échange de signaux moléculaires, notamment les exsudats racinaires tels que les flavonoïdes et les strigolactones. Ces substances provoquent chez le CMA l'activation du gène *Myc* et la production de facteurs *Myc*, ce qui entraîne des altérations dans les cellules de l'hôte pour établir la symbiose, ainsi que la croissance des hyphes qui colonisent les racines. Lorsqu'une spore de champignon germe, le mycélium se développe en direction de la racine, et dès que le champignon détecte la présence d'une plante hôte, il se produit une réaction caractéristique de ramification intense des hyphes, connue sous le nom de "branching" (Akiyama *et al*, 2007) (voir **Fig 5,A**)

Les hyphes se fixent ensuite aux parois externes des cellules racinaires, formant un hyphopodium, puis les traversent en sécrétant des enzymes qui décomposent la cellulose, les hémicelluloses et les pectines constituant ces parois. Une fois à l'intérieur de la cellule, les hyphes se ramifient par dichotomie, produisant des hyphes de plus en plus fins. À partir d'un hyphopodium initial d'un diamètre de 10 µm, les ramifications les plus récentes peuvent atteindre moins de 1 µm de diamètre. Cette structure ramifiée ressemble à un petit arbre et est appelée arbuscule, où se déroulent les échanges symbiotiques. C'est d'ailleurs cette caractéristique qui donne leur nom à ces champignons. (Gavériaux, 2012 ; Garbaye, 2013). Après différenciation des structures intra-racinaires, le champignon produit des spores à partir de son mycélium extra-racinaire (Akiyama *et al*, 2007) (voir **Fig 5,B**)



**Figure 5 :** Schématisation de l'établissement de la symbiose mycorhizienne (A) et du cycle de vie des CMA ((B), modifié d'après Akiyama, 2007)

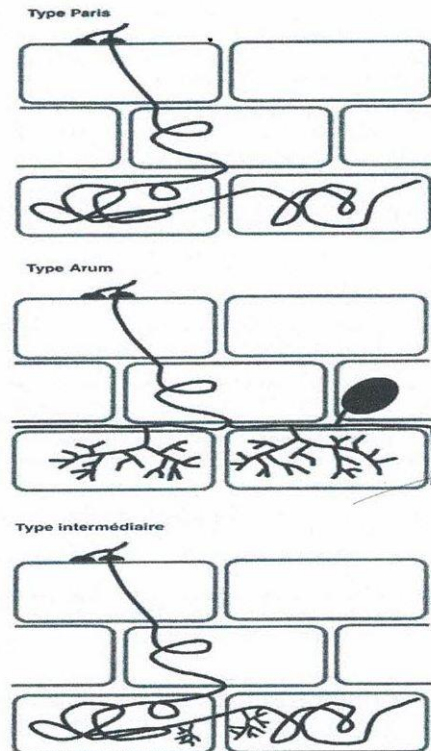
### b-Morphologie des endomycorhizes

Trois classifications ont été élaborées pour décrire l'organisation des champignons endomycorhiziens arbusculaires en fonction de leurs caractéristiques morphologiques et écologiques :

**Le type Arum :** le filament mycélien se ramifie et se propage rapidement dans la direction longitudinale de la racine, en progressant entre les couches cellulaires. Il émet des branches latérales qui pénètrent dans les cellules en traversant leur paroi cellulosique. À l'intérieur des cellules, les branches se ramifient de manière complexe, repoussant et invaginant la membrane cellulaire, ce qui conduit à la formation d'arbuscules. Ce type est caractérisé par la présence des vésicules dans les cellules corticales de la plante.

**Le type Paris :** c'est le plus courant. Le filament mycélien ne se déplace pas entre les cellules, mais passe directement d'une cellule à l'autre en traversant les parois cellulaires. À l'intérieur de chaque cellule, le filament s'enroule sur lui-même, formant plusieurs spires.

**Le type intermédiaire** se réfère à un groupe de champignons endomycorhiziens qui présentent des caractéristiques morphologiques et écologiques intermédiaires entre les types Arum et Paris (Gabray, 2013) (Fig 6)



**Figure 6 :** Représentation schématique des trois types d'organisations des champignons endomycorhiziens dans les cellules corticales. Les parois des trois d'assises de cellules du cortex sont présentées en gris, le champignon est présenté par un trait gras noir. (Garbay,2013)

### II-3-Facteurs de l'expression de la symbiose mycorhizienne

#### II-3-1-Dépendance mycorhizienne des plantes

La dépendance mycorhizienne correspond à la capacité de satisfaction des besoins en phosphore de la plante lorsque son système racinaire ou son sol est incapable d'y subvenir. C'est ce qui fait que quand la plante possède un système racinaire moins pourvu en poils absorbant elle dépend plus de la symbiose mycorhizienne (Strullu, 1991).

#### II-3-2-Potentiel mycorhizogène du sol

Il correspond à l'influence du sol sur la croissance des champignons mycorhizien. Ceci dépend des conditions édaphiques tel que la température, l'humidité, le PH du sol et des pratiques culturales dans ce dernier (Strullu, 1991).

## **II-4-Avantages de l'association mycorhizienne**

L'association avec un champignon mycorhizien permet une meilleure nutrition des plantes (principalement le phosphore), notamment dans les milieux arides et semi-arides, les protège contre les agents pathogènes, influence l'agrégation du sol (Talbi *et al*, 2015) et confère aux plantes une résistance au stress et aux conditions défavorables (Dalli *et al*, 2020).

### **II-4-1-Amélioration de la croissance et de la nutrition des plantes**

L'association endomycorhizienne aide la plante de différentes manières

#### **a-Absorption des éléments minéraux**

La colonisation par CMA est largement considérée comme stimulant de l'absorption de minéraux par les plantes, elle induit à une accumulation plus élevée de tous les nutriments (P, K, Ca) par rapport aux plantes non mycorhizées (Boutasknit *et al*, 2020). Grâce à des transporteurs et des enzymes spécifiques, les CMA extraient plus efficacement les nutriments du sol que la plante, et sur un volume de sol beaucoup plus important. Ceux-ci sont acheminés vers la plante par le réseau mycélien et pénètrent ainsi dans les tissus par le système vasculaire xylémien au niveau de l'interface constituée par la mycorhize. Elle facilite aussi l'apport en oligoéléments et renforce les dispositifs de défense de la plante tout en concourant à ses qualités nutritives (Hirissou, 2020).

#### **b-Amélioration de la nutrition phosphatée**

Le nutriment majeur, dont la fourniture est assurée exclusivement par la symbiose mycorhizienne est le phosphore qui est un élément essentiel pour la survie des plantes : c'est l'un des constituants des membranes plasmiques, de l'ADN et l'ARN et du métabolisme cellulaire.

Malgré son importance, le phosphore est peu disponible pour les plantes (il a une faible mobilité et fait de fortes liaisons avec les argiles et le calcaire des sols basiques et il ne peut être absorbé que sous forme d'orthophosphates).

L'association avec champignon endomycorhizien est le seul moyen qui possède la capacité d'extraire le phosphore du sol grâce à des enzymes, acide organique, libération de proton et des transporteurs spécifiques. Le réseau mycélien protège la racine contre l'épuisement rapide d'appropriation en phosphore (Hirissou, 2020).

#### **II-4-2-Effets sur la structure du sol**

Les CMA forment un réseau de filaments mycéliens pouvant atteindre 30m par gramme de sol. (Hirssou, 2020). Il améliore ainsi l'agrégation et la stabilité du sol (Talbi *et al*, 2015). En effet, les filaments mycéliens lient ensemble les particules minérales et organiques pour former des micro-agrégats stables entre lesquels s'établit une porosité permettant la rétention de l'eau et la circulation des gaz (Hirssou, 2020).

#### **II-4-3- Protection contre les stress abiotiques et biotiques**

##### **a-Contre les stress abiotiques**

Actuellement la sécheresse est l'état environnemental le plus fréquent dans les écosystèmes méditerranéens arides et semi-arides, par conséquent, l'exposition des plantes au stress hydrique est considérée comme le stress environnemental le plus dévastateur affectant négativement de nombreux paramètres physiologiques et biochimiques, réduisant leurs croissances et productivité et influençant leurs développements. Dans ces conditions, les plantes modifient leurs relations hydriques en synthétisant des solutés compatibles tels que les sucres, la proline et d'autres afin de maintenir la pression de turgescence et les fonctions cellulaires pour le maintien des fonctions métaboliques. C'est un ajustement osmotique qui soulage cette situation de stress. La symbiose mycorhizienne protège les plantes hôtes contre les effets néfastes du déficit hydrique en augmentant la conductance stomatique et la photosynthèse de ces plantes et en améliorant la protection des tissus végétaux contre les dommages oxydatifs par mécanismes biochimiques telle que l'augmentation de la teneur en sucres notamment les osmolites et les systèmes antioxydants (Boutasknit *et al*, 2020).

##### **b-Contre les stress biotiques**

Les mycorhizes sont des agents de lutte biologique contre l'attaque des agents pathogènes racinaires. Cette protection permet de diminuer ou supprimer l'action des pathogènes. Elle se traduit au niveau cellulaire par différents mécanismes comme la compétition directe pour les sites de colonisation racinaire et la fourniture de carbone, l'accroissement du volume des racines fines par la synthèse de l'AIA par le champignon qui amène à une augmentation des exsudats racinaires qui vont stimuler la microflore concurrente des pathogènes et le déclenchement d'une résistance systémique de la plante induite par les mycorhizes qui la prépare à se défendre par synthèse de molécules chimiques (Hirssou, 2020).

# Chapitre II

## matériel et

## méthodes

### 1 .Localisation de la zone d'étude

Les échantillons de sol et de racines du caroubier ont été récoltés au village Menaam situé à environ 15km de la wilaya de Tizi-ouzou. C'est un village qui se trouve au nord de la commune d'Ait Aissa mimoune dans la daïra de Ouaguenoune. Il est de 420m d'altitude. (Fig 7)



**Figure 7 :** village Menaam (photo originale, 2023)

### 2. Echantillonnage

Au niveau de la rhizosphère du caroubier nous avons effectué des prélèvements du système racinaire d'arbre âgé de 8ans. Ces derniers ont été réalisés le 25mai 2023.

Les méthodes de collecte du matériel et les techniques d'étude des échantillons au laboratoire sont conforme à celles préconisées par Boullard (1968). Les racines ont été prélevées en des points différents de l'arbre. Il faut procéder en premier lieu à un décapage du sol, puis à la récolte proprement dite. Pour ce faire, nous avons commencé par isoler la motte renfermant le système racinaire puis récupéré l'arbre de *Ceratonia siliqua* avec toute la portion de sol qui l'entoure. Au laboratoire l'isolement des racines fines a été fait pour l'étude des mycorhizes de ces dernières. (Fig 8)



**Figure 8 :** Image du caroubier au laboratoire (photo originale, 2023)

### **3. Etude de quelques paramètres physico-chimiques du sol**

En fonction des moyens disponibles dans notre faculté, nous avons opté pour les analyses suivantes.

- a. Granulométrie et étude de type du sol**
- b. Détermination du pH du sol**
- c. L'humidité du sol**
- d. Mesure de la conductivité électrique du sol**
- e. Dosage de la quantité du carbone organique dans le sol**

Les détails techniques de ces analyses sont consignés en annexe 1.

### **4. Etude histologique de la racine de *Ceratonia siliqua***

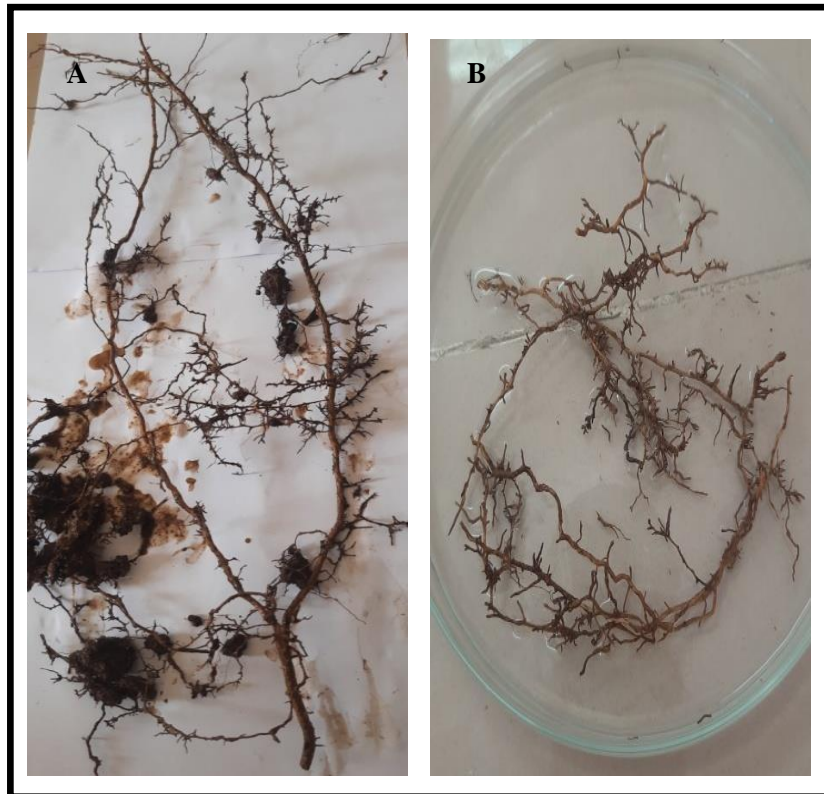
L'étude histologique de la plante du caroubier a porté sur la réalisation de coupes anatomiques au niveau des racines non mycorhizées selon la technique de Deyson (1954). La méthode est présentée en annexe 2 .

## 5. Etude des mycorhizes du caroubier

### 5.1. Détermination du type mycorhizien du caroubier

Les racines fines ont été isolées pour l'étude des mycorhizes. L'étude de ces dernières est réalisée par la méthode d'écrasement.

Après avoir récupéré les racines de *Ceratonia siliqua*, un dépouillement puis un lavage de ces dernières ont été réalisés. (Fig 9)



**Figure 9 :** Dépouillement et lavage des racines du caroubier (A : dépouillement, B : lavage) (photo originelle, 2023)

Les racines prélevées sont ensuite traités par la méthode de Guizon et Selosse(2010).  
Annexe3.

### 5.2. Evaluation du taux de mycorhization du caroubier

Le taux d'endomycorhization est évalué par le calcul de la longueur racinaire par la méthode de Grid Line de Giovannetti et Mosse (1980) qui consiste à réaliser des grilles (2\* 2 cm) sur des lames. Sur ces dernières, les racines sont dispersées au hasard. Après observation au microscope optique, un calcul du nombre d'intersections a été effectué. Le calcul de la longueur racinaire est fait selon la formule suivante:

Longueur racinaire = nombre d'intersections \* 11/14 \* taille de la grille  
(11/14 est une constante ; la taille de la grille est la longueur d'un côté d'un seul cadran)

### **5.3. Isolement de quelques spores de champignons mycorhiziens associés au caroubier**

La méthode utilisée pour isoler des spores d'endomycorhize de *Ceratonia siliqua* est celle du tamisage humide de Gerdeman et Nicolson (1963) présenté en annexe 4.

# Chapitre III

## Résultats et discussion

## Résultats

### 1. Caractéristiques physico-chimiques du sol

La caractérisation physico-chimique du sol étudié (tableau 3) montre que *Ceratonia siliqua* est une espèce qui repose sur un substrat légèrement alcalin (PH=7,63), formé essentiellement de 9,38% d'argiles, 36,2% de Limons et 54,42% de sable ce qui fait que selon le triangle de l'U.S.D.A(1986) (Annexe 1), la texture du sol étudié est limono-sabloneuse.

D'après le résultat obtenu (tableau 3), la valeur de la conductivité électrique pour le sol étudié est égale à 154,9 $\mu$ s/cm (CE < 0,6ds/cm selon l'échelle d'Aubert (1978)). Le sol analysé peut être classé parmi les sols non salés mais il est aussi pauvre en eau avec un taux d'humidité de 3,45%. Par ailleurs, il est riche en matières organiques ; avec 4,509g de carbone organique dans 10g de sol ; ce qui fait que notre sol est fertile. (Annexe 1)

Les caractéristiques physico-chimiques du sol étudié sont groupées dans le tableau 3.

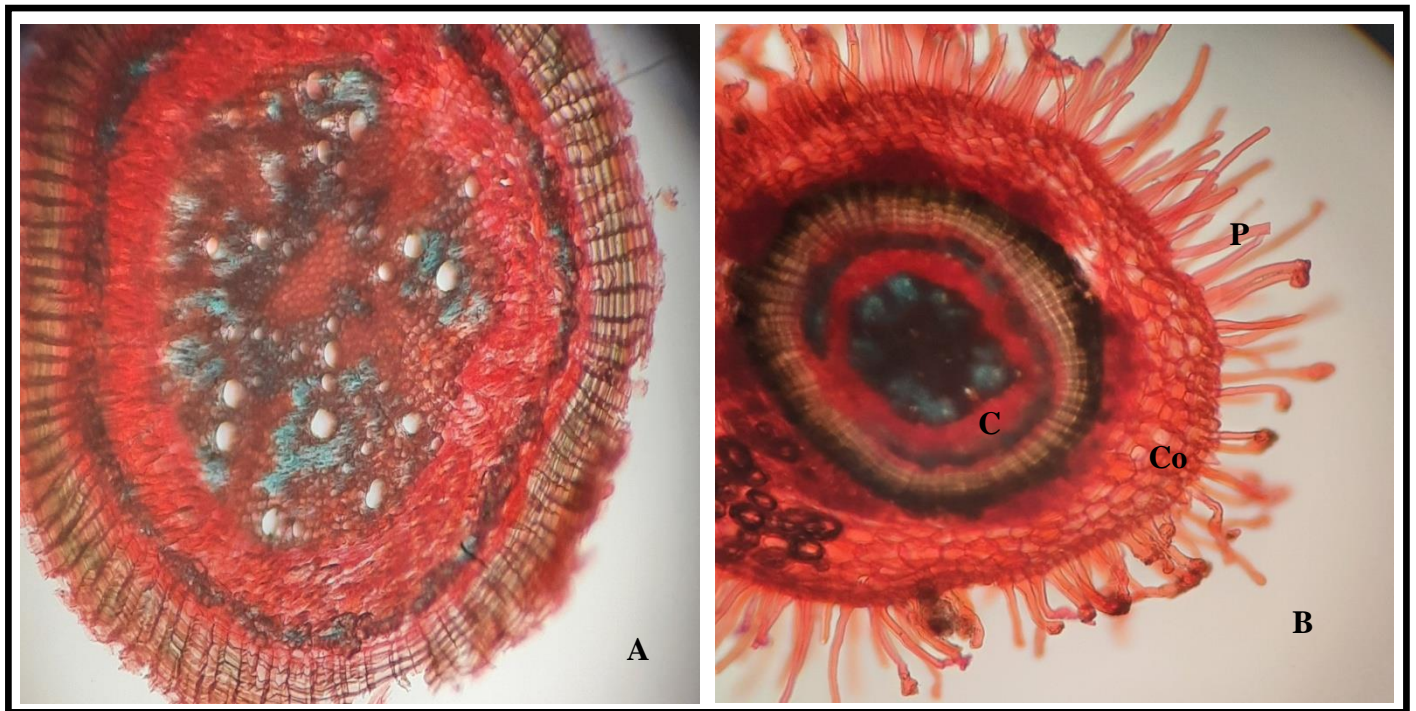
**Tableau 3:** Caractéristiques physico-chimiques du sol

Argile	Limons fins	Limons grossiers	Sables fins	Sables grossiers
9,38%	31,92%	4,28%	10,57%	43,85%
PH	L'humidité	Conductivité électrique		Carbone organique
7,63	3,45%	154,9 $\mu$ s/cm		4,509g /10g de sol

### 2. Etude histologique de la racine de *ceratonia siliqua*

Les coupes transversales réalisées au niveau de racines jeunes et âgées de *C.siliqua* montrent :

L'existence d'un cortex, appelé aussi écorce formé de grandes cellules (dont certaines sont allongées pour former les poils absorbants chez les jeunes racines). En évoluant vers le centre de la racine, apparaît l'endoderme entourant le péricycle entourant les tissus conducteurs. (Fig 11)



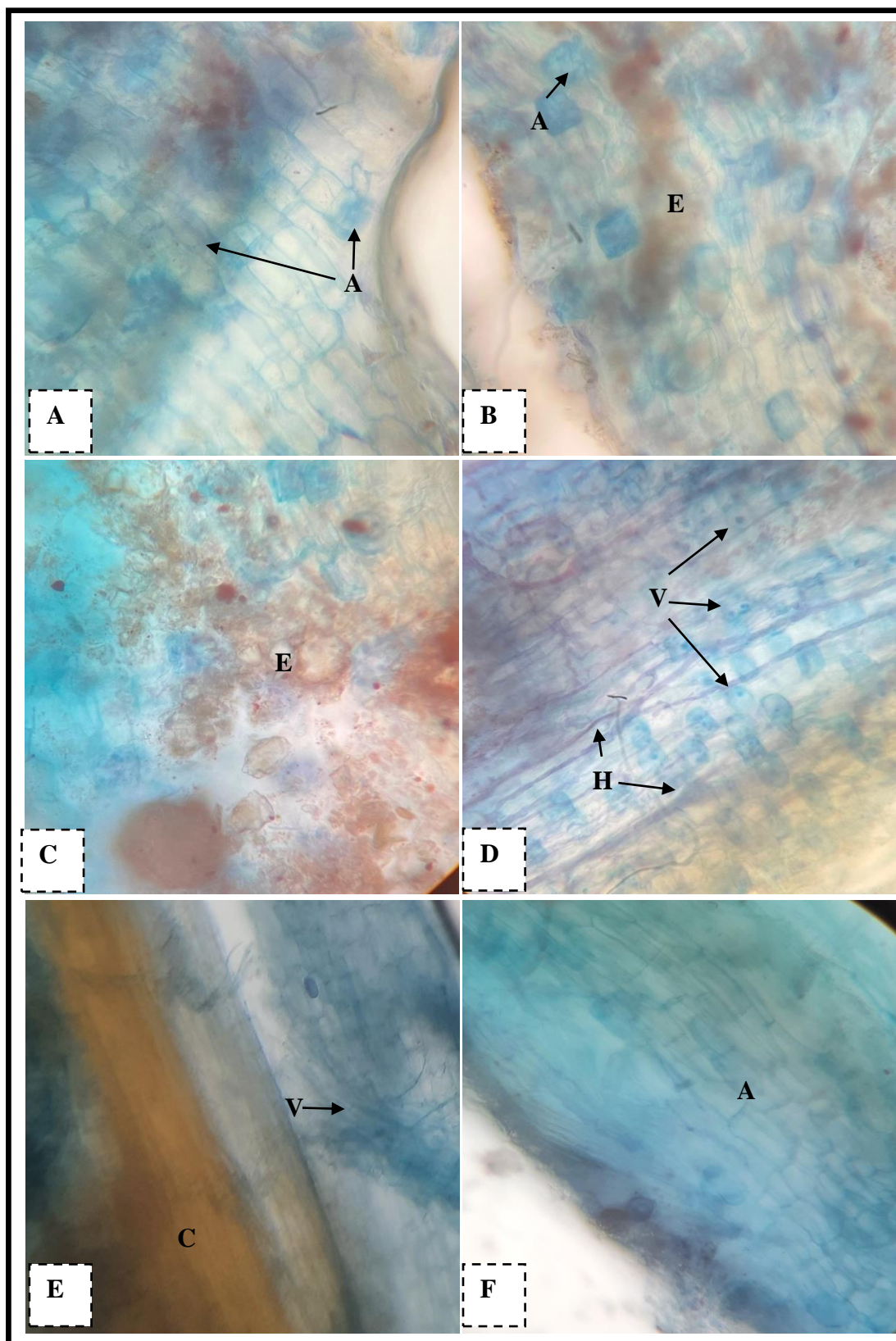
**Figure 10: Coupes transversales de la racine de *Ceratonia siliqua* au microscope optique agrandissement 40\*10 (A : racine âgée ; B : racine jeune [P : poiles absorbants, C :cylindre centrale, Co : cortex ])**

### **3.Les mycorhizes du caroubier**

L'observation des racines de *Ceratonia siliqua* colorées au bleu de trypan montre que les racines de cette espèce forment une symbiose avec des champignons endomycorhiziens dont on a distingué la présence de colonisation par CMA. Toutes les racines observées étaient mycorhizées ce qui indique un taux de mycorhization important de l'ordre de 100%.

Toutes les structures endomycorhiziennes (vésicules, structures arbusculaires et hyphes) sont présente. Selon la morphologie de la mycorhize, le type intermédiaire est le plus rencontré, dans tous les échantillons observés. Les vésicules ont généralement une forme régulière ovale ou ronde (fig 11D,E) et les hyphes mycéliennes sont linéaires (Fig 11D)

La présence d'endophytes a été observée dans plusieurs échantillons de racines (couleur brune). (Fig11A,B,C,D)

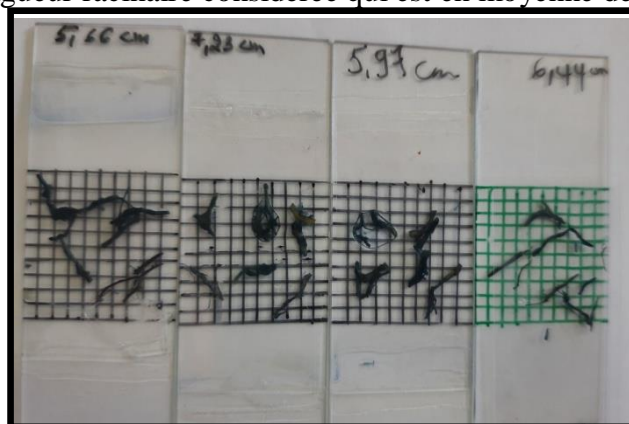


**Figure11** : structure anatomique de champignon endomycorhizien associé au caroubier (A : arbuscule, V : vésicule, E : endophyte, H : hyphe, C : cylindre central) Agrandissement 40\*10

#### 4. Détermination du taux de mycorhization

Selon la méthode de grid line, la longueur racinaire dépend du nombre d'intersections dans la grille.

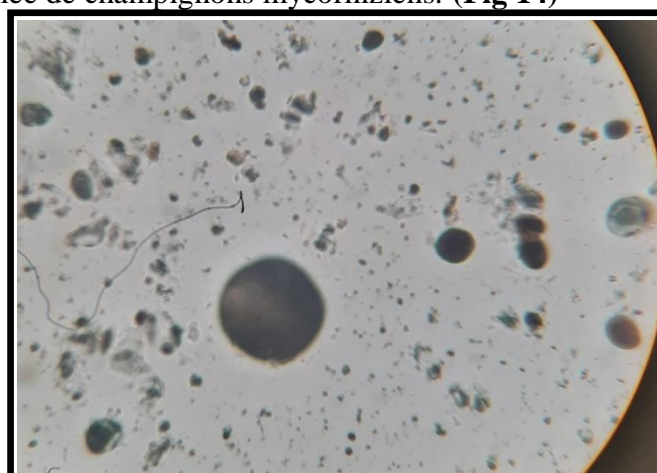
Le nombre d'intersections est compris entre 36 et 46 par lame. Après application de la formule de calcul de longueurs racinaires les résultats ont montré un taux de mycorhization de 100% soit toute la longueur racinaire considérée qui est en moyenne de 6,3cm.



**Figure 12 :** Mesure de la longueur racinaire (méthode de Grid Line au M.O au G40\*10)

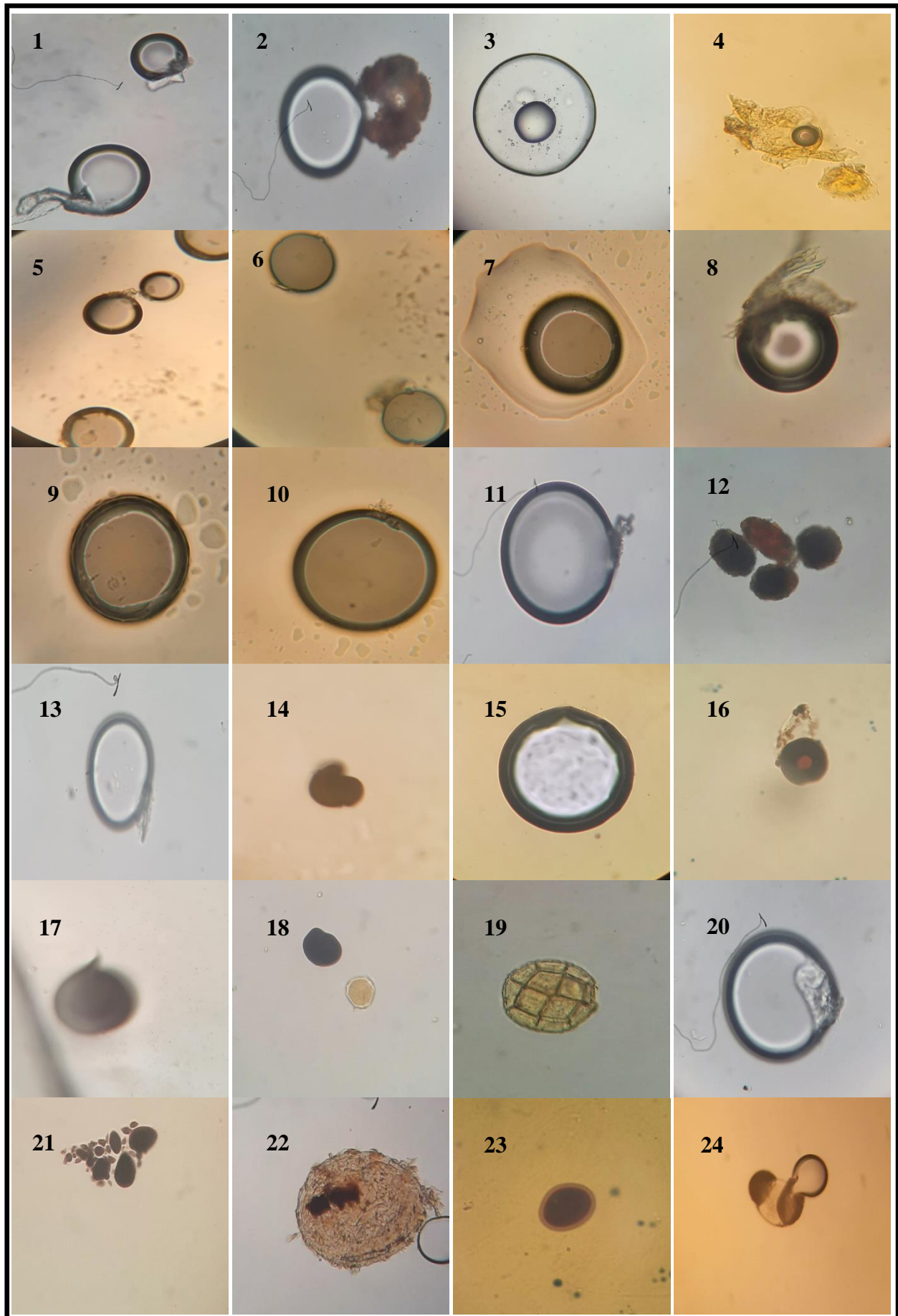
#### 5. Isolement de spores de champignons endomycorhiziens associées à la rhizosphère du caroubier

L'analyse du sol rhizosphérique du caroubier par tamisage humide a montré l'existence d'une communauté diversifiée de champignons mycorhiziens. (Fig 14)

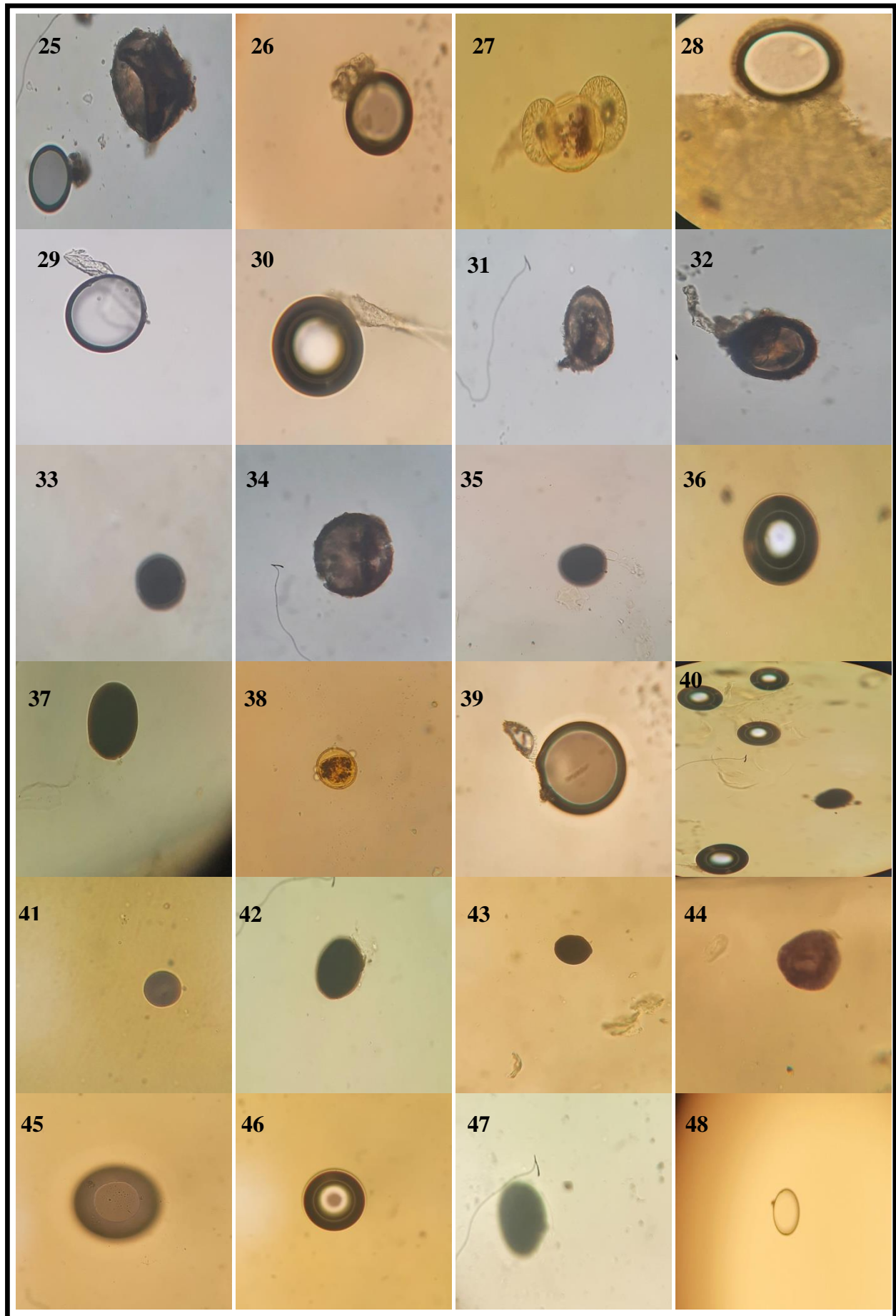


**Figure 13 :** Diversité de champignons endomycorhiziens dans la rhizosphère de *ceratonia siliqua* (photo originelle, 2023)

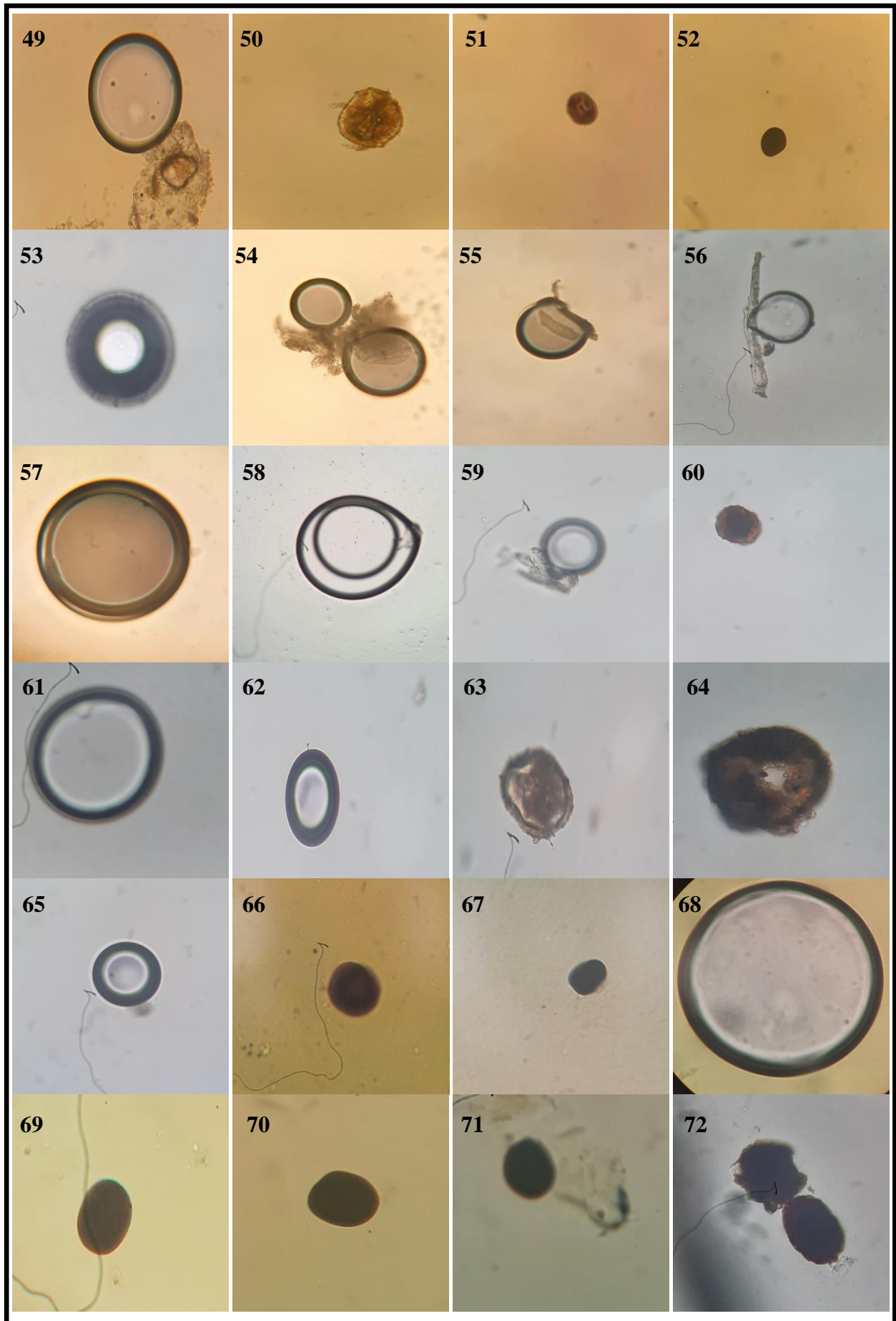
On a répertorié près de 100 morphotypes de spores de champignons endomycorhiziens. Les caractéristiques morphologiques et l'identification sont groupées dans le tableau 4. Cette dernière a été faite selon la clé de détermination établie par Schenck & Perez (1990). Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous et les planche I, II, III & IV.



**Planche I** : Spores de CMA, dans la rhizosphère de *Ceratonia siliqua* (grossissement 40\*10)



**Planche II** : Spores de CMA, dans la rhizosphère de *Ceratonia siliqua* (grossissement 40\*10)



**Planche III:** Spores de CMA, dans la rhizosphère de *Ceratonia siliqua* (grossissement 40\*10)

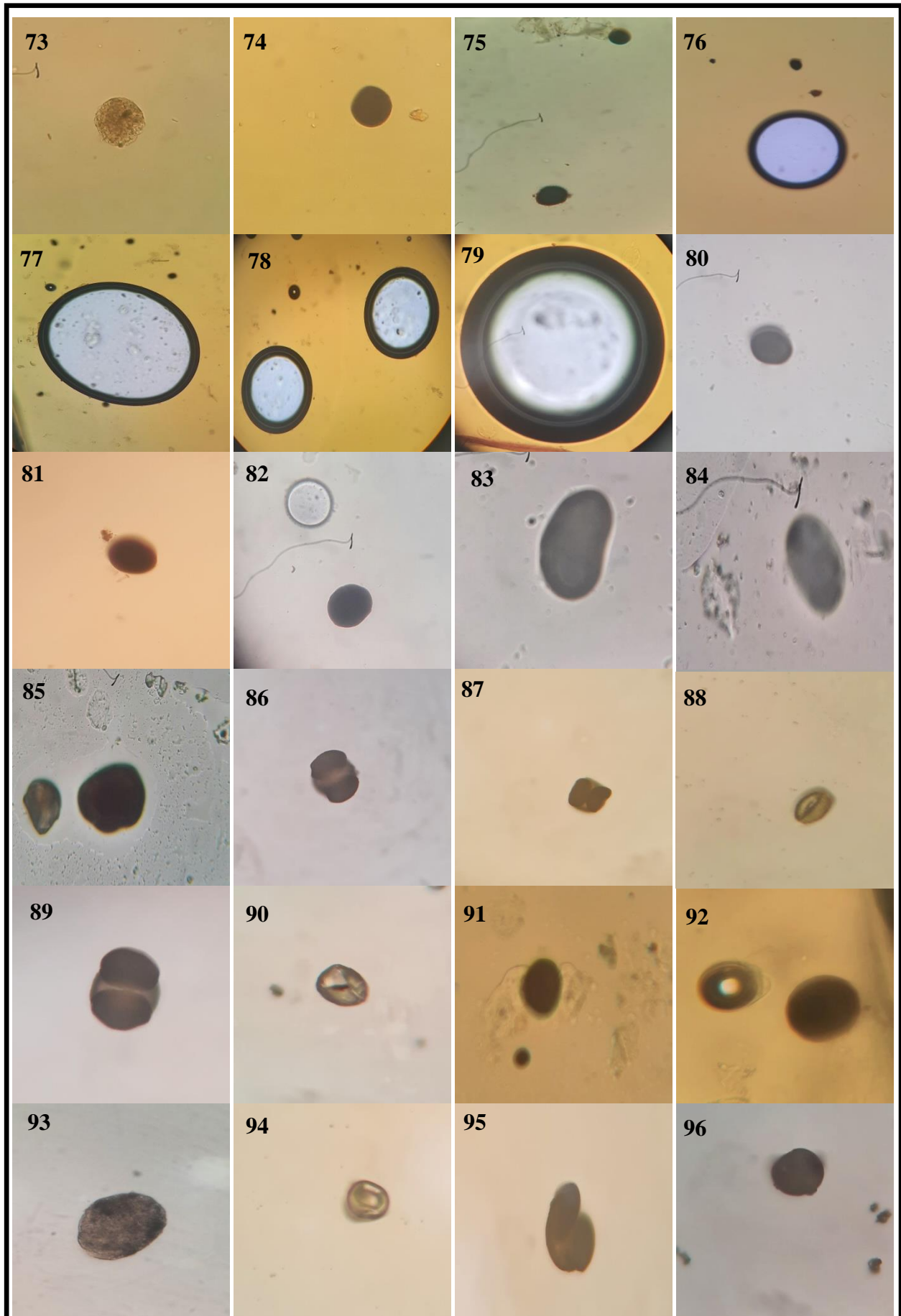
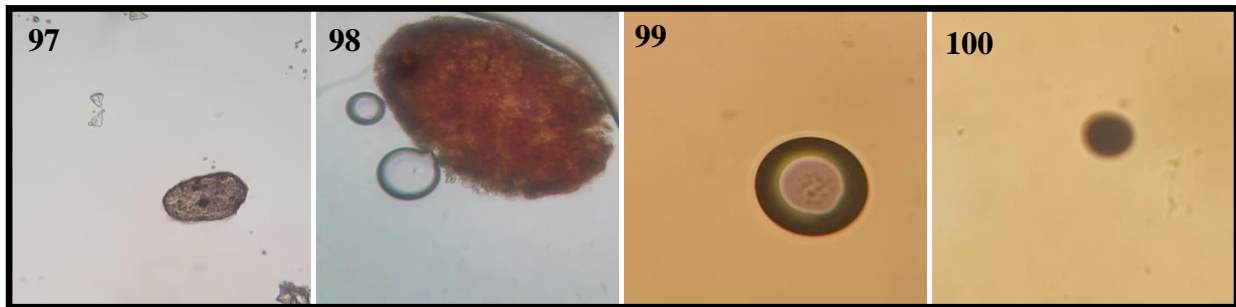


Planche VI : Spores de CMA, dans la rhizosphère de *Ceratonia siliqua* (grossissement 40\*10)



**Planche VI (suite) :** Spores de CMA, dans la rhizosphère de *Ceratonia siliqua* (grossissement 40\*10)

**Tableau 4 :** Principales caractéristiques morphologiques des différents types de spores et essai identification

Numéro	Forme de la spore	Couleur	Surface de la paroi	Autre caractère	Nom du genre ou espèce
<b>Planche I</b>					
1	Globuleuse	Noirâtre	Lisse	Hyphe subordonnée enflés avec bouclier de germination	<i>Scutellospora sp</i>
2	Ovale	Blanche	Lisse	Présence de sac sporifère	<i>Entrophospora sp</i>
3	Globuleuse	Blanche	Lisse	--	<i>Gigaspora sp</i>
4	Globuleuse	Noirâtre	Lisse	La spore est à l'intérieur du sac sporifère	<i>Entrophospora sp</i>
5	Globuleuse	Noirâtre	Lisse	Présence du bouclier de germination	<i>Scutellospora sp</i>
6	Globuleuse	Noirâtre	Lisse	Hyphe subordonnée enflée	<i>Gigaspora sp</i>
7	Ronde	Noirâtre	Lisse	La spore se trouve à l'intérieure du	<i>Entrophospora sp</i>

Tableau 4(suite)

				sac sporifère	
8	Ronde	Blanche	Lisse	Hyphe subordonnée enflés avec bouclier de germination	<i>Scutellospora sp</i>
9	Globuleuse	Noirâtre	Lisse		<i>Glomus sp</i>
10	Globuleuse	Noirâtre	Lisse	Couche 1 de la paroi est hyaline, la 2 <sup>ème</sup> est stratifiée foncée ; l'hyphe d'attache est rétrécie	<i>Glomus constrictum</i>
11	Globuleuse	Noirâtre	Lisse	Paroi coloré en violet avec du Meltzer	<i>Glomus sp</i>
12	4 Spores ovales	Marron foncée	Ornementation	Les spores sont en grappe	<i>Glomus sp</i>
13	Ovale	Blanche	Lisse	Forme un gonflement hyphais, paroi épaisse	<i>Glomus sp</i>
14	Ovale	Noire	---	Formation à l'intérieur du sac sporifère	<i>Entrophospora sp</i>
15	Globulaire	Blanche	Lisse	Plusieurs couche de paroi (paroi externe épaisse et paroi interne	<i>Enrophospora sp</i> <i>ou Acaulospora sp</i>

Tableau 4(suite)

				fine)	
16	Globulaire	Marron	Lisse	Hyphe d'attache	<i>Glomus sp</i>
17	Ronde	Noire	Lisse	Hyphe subordonnée enflés	<i>Scutellospora sp</i>
18	B : Globuleuse	Jaune	Ornementation réticulée polygonale	----	<i>Acaulospora biticulata</i>
19	Globuleuse	Jaune	Ornementation	-----	<i>Acaulospora biticulata</i>
20	Globuleuse	Noirâtre	Lisse	Paroi interne coloré violet, présence de bouclier de germination	<i>Scutellospora</i>
21	Plusieurs spores Ovale	Marron foncé	Lisse	Les spores sont en grappe	<i>Glomus sp</i>
22	Globuleuse	Jaune brun	Ornementation	Paroi composé de 3 couches (la 1 <sup>ère</sup> est mucilagineuse, la 2 <sup>ème</sup> est lisse hyaline, la 3 <sup>ème</sup> est stratifiée) L'hyphe d'attache a une forme d'entonnoir	<i>Glomus mousseae</i>
23	Ovale	Marron	Lisse	Paroi coloré en rouge avec du Meltzer	<i>Glomus sp</i>
24	Ronde	Noirâtre	Lisse	A l'intérieur	<i>Entrophospora sp</i>

Tableau 4(suite)

				du sac sporifère	
Planche II					
25	Globulaire	Noirâtre	Lisse	Présence d'hyphe d'attache	<i>Glomus constrictum</i>
26	Globulaire	Noirâtre	Lisse	Paroi externe coloré violet Plusieurs couches de paroi	<i>Acaulospora sp</i>
27	A et C : Globuleuse B : Ovale	A et C : jaune brun B : jaune	A et C : ornementation B : Lisse	-----	<i>A et C : acaulospora ou entrophospora B : acaulospora sp</i>
28	Ronde	Blanche	Lisse	A l'intérieur du sac sporifère et présence de globule lipidique	<i>Entrophospora sp</i>
29	Ovale	Noirâtre	Lisse	-----	<i>Non identifié</i>
30	Globulaire	Blanche	Lisse	Plusieurs couches de parois (couleur foncée)	<i>Non identifié</i>
31	Globulaire	Marron claire	Granulaire	Présence d'hyphe d'attache	<i>Glomus sp</i>
32	Globulaire	Marron	Granulaire	-----	<i>Glomus sp</i>
33	Globulaire	Noire	Lisse	-----	<i>Glomus nigra</i>
34	Globulaire	Marron foncé	Granulaire	-----	<i>Glomus sp</i>

Tableau 4(suite)

35	Globulaire	Noire	Lisse	-----	<i>Glomus nigra</i>
36	Globulaire	Blanche	Lisse	Paroi foncé multistratifié	<i>Glomus sp</i>
37	Ovale	Marron foncé	Lisse	-----	<i>Glomus sp</i>
38	Globulaire	Jaune	Granulaire	-----	<i>Acaulospora sp</i>
39	Globulaire		Lisse	Plusieurs couches de paroi	<i>Glomus sp</i>
40	4 spores globulaires	Blanches	Lisses	Paroi foncé multistratifié	<i>Glomus sp</i>
41	Globulaire	Noire	Lisse	-----	<i>Glomus nigra</i>
42	Ovale	Marron foncé	Lisse		<i>Scutellospora sp</i>
43	Globuleuse	Noire	Lisse		<i>Glomus nigra</i>
44	Ovale		Ornementée		Non identifié
45	Globulaire	Non identifié	Lisse		Non identifié
46	Globulaire	Blanche	Lisse	Plusieurs couches de paroi colorées	Non identifié
47	Ovale	Noire	Lisse	-----	Non identifié
48	Globulaire	Blanche	Lisse	-----	Non identifié
<b>Planche III</b>					
49	Globulaire	Noirâtre	Lisse	-----	Non identifié
50	Ovale	Jaune foncé	Ornementée	-----	Non identifié
51	Ovale	Marron	Ornementée	-----	Non identifié
52	Globuleuse	Noire	Lisse	-----	<i>Glomus nigra</i>
53	Globulaire		Ornementée	Paroi interne coloré en violet	Non identifié

Tableau 4(suite)

54	Globulaire	Noirâtre	Lisse	-----	Non identifié
55	Ovale	Noirâtre	Lisse	-----	Non identifié
56	Ovale	Noirâtre	Lisse	-----	Non identifié
57	Globulaire	Noirâtre	Lisse	-----	Non identifié
58	Ovale	Blanche	Lisse	-----	Non identifié
59	Globulaire	Noirâtre	Lisse	-----	Non identifié
60	Ovale	Marron	Ornementée	-----	Non identifié
61	Ovale	Noirâtre	Lisse	-----	Non identifié
62	Globulaire	Noirâtre	Lisse	-----	Non identifié
63	Ovale	Marron	Ornementée	-----	Non identifié
64	Ovale	Marron	Ornementée	-----	Non identifié
65	Globuleuse		Lisse	-----	Non identifié
66	Globuleuse	Noire	Lisse	-----	<i>Glomus nigra</i>
67	Ovale	Noire	Lisse	-----	Non identifié
68	Globuleuse	Noirâtre	Lisse	-----	Non identifié
69	Ovale	Marron foncé	Lisse	-----	Non identifié
70	Ovale	Noire	Lisse	-----	Non identifié
71	Ovale	Noire	Lisse	-----	Non identifié
72	Ovale	Marron foncé	Ornementée	-----	Non identifié
<b>Planche IV</b>					
73	Globuleuse	Jaune brun	Ornementée	-----	Non identifié
74	Globuleuse	Noire	Lisse	-----	<i>Glomus nigra</i>
75	Ovale	Noire	Lisse		Non identifié
76	Ovale	Blanche	Lisse	Présence de gouttelettes lipidiques	Non identifié
77	Ovale	Blanche	Lisse	Présence de gouttelettes lipidiques	Non identifié

Tableau 4(suite)

78	Globuleuse	Blanche	Lisse	présence de gouttelettes lipidiques	Non identifié
79	Globuleuse	Blanche	Lisse	présence de gouttelettes lipidiques	Non identifié
80	Ovale	Noire	Lisse		Non identifié
81	Ovale	Noire	Lisse	La paroi est colorée en violet	Non identifié
82	A : Globuleuse B : Ovale	A:blanche B : noire	A: ornementée B : lisse	A : présence de gouttelettes lipidique B : la paroi est colorée en violet	Non identifié
83	Ovale	Noire	Lisse	-----	Non identifié
84	Ovale	Noire	Lisse	-----	Non identifié
85	Ovale	Marron foncé	Lisse	-----	Non identifié
86	Ovale	Noire	Lisse	-----	Non identifié
87	Ovale	Noire	Lisse	-----	Non identifié
88	Ovale		Lisse	-----	Non identifié
89	Ovales	Noire	Lisse	-----	Non identifié
90	Ovale		Lisse	-----	Non identifié
91	Ovale	Noire	Lisse	-----	Non identifié
92	Globuleuse	A : blanche B: noire	Lisse	-----	A : non identifié B : <i>Glomus nigra</i>
93	Ovale	Noire	Ornementée	-----	Non identifié
94	Ovale		Lisse	-----	Non identifié
95	Ovale		Lisse	-----	Non identifié
96	Ovale	Noire	Lisse	Présence	<i>Glomus sp</i>

Tableau 4(suite)

				d'hyphe d'attache	
97	Ovale	Noire	Ornementée	-----	Non identifié
98	Ovale	Marron claire	Granulaire	-----	Non identifié
99	Globuleuse	Noirâtre	Lisse	-----	Non identifié
100	Globuleuse	Noire	Lisse	-----	<i>Glomus nigra</i>

### Discussion

*Ceratonia siliqua* est considérée comme une espèce représentative des espèces végétales fortement mycorhizées (Ouahmane *et al.*, 2012).

Dans cette étude, il a été bien démontré que cette espèce établit des associations avec un champignon endomycorhizien arbusculaire de type intermédiaire. Ces résultats sont en accord avec des études antérieures dans lesquelles il a été montré que les CMA colonisent les racines du caroubier par une observation de différentes structures à l'intérieur du cortex racinaire tels que les vésicules à forme régulière et parfois irrégulière, les arbuscules et les hyphes mycéliens internes et externes essentiellement linéaires (El asri *et al.*, 2014). Ces structures endomycorhiziennes ont été remarquées par Dalli *et al.*, (2020). Ces auteurs ont constaté que le caroubier est mycotrophe c'est-à-dire que la fréquence mycorhizienne chez cette espèce est très élevée (90%) (Dalli *et al.*, 2020 ; El asri *et al.*, 2014). Outamamat *et al.*, (2022)<sup>b</sup> ont constaté que *ceratonia siliqua* a une très grande réceptivité de colonisation mycorhizienne.

Les taux de mycorhization varient en fonction des sites et des saisons. L'expression de la symbiose mycorhizienne selon Strullu (1991) est liée à la dépendance de la plante et à sa capacité de satisfaire ses besoins. Cette variable a une relation avec plusieurs paramètres tels que la quantité de phosphore présente dans le sol, la matière organique (richesse du sol en carbone et azote organiques), le pH du sol et le taux d'humidité (Dalli *et al.*, 2020). Il est à noter qu'il y a une relation de corrélation négative entre la concentration du sol en phosphore et le taux de mycorhization des racines du caroube ; une faible teneur en P peut induire à des niveaux élevés de colonisation racinaire et vice-versa. D'ailleurs, En condition de carence en phosphore *Ceratonia siliqua* établit des symbioses mycorhiziennes de fortes intensités (Essahibi *et al.*, 2019).

Il est bien connu que les CMA améliorent l'absorption des nutriments en particulier le phosphore (Hirssou, 2020) qui est un élément minéral nécessaire à la vie et au développement des plantes (utilisé dans plusieurs processus tels que le métabolisme cellulaire) (Essahibi *et al.*, 2019). Dans notre cas, la forte intensité de mycorhization pourrait être liée à la pauvreté du sol en cet élément. Dans le même ordre d'idée, plusieurs auteurs (Ouahmane *et al.*, 2012 ; Manaut *et al.*, 2015 ; Dalli *et al.*, 2020 ; Boutasknit *et al.*, 2020 ; Outamamat *et al.*, 2022<sup>b</sup>) ont rapporté que l'AMF a un impact sur l'absorption des éléments nutritifs ; une augmentation en teneur de P et K était marquée chez les espèces mycorhizées par rapport au non mycorhizées . Ceci induit une amélioration de la croissance des plants de caroubier. En effet, l'interaction entre *Ceratonia siliqua* et son champignon endomycorhizien lui confère une résistance contre les stress biotique et abiotique (Outamamat *et al.*, 2022<sup>a</sup>). Vu les conditions climatiques actuelles, la sécheresse est l'un des stress les plus fréquents et les plus sévères affectant négativement la croissance et le développement des plantes. La tolérance au déficit hydrique des caroubes est basée sur plusieurs mécanismes morphologiques et physiologiques ; parmi ces mécanismes l'association avec les CMA. Cette symbiose induit la synthèse d'osmolites tels que les sucres, la proline, les acides aminés afin de maintenir la pression de turgescence. La récupération des fonctions métaboliques est facilitée par l'ajustement osmotique (Boutasknit *et al.*, 2020). Ces résultats corroborent d'autres études menées par Outamamat *et al.*, (2022)<sup>a</sup>, qui ont signalé que la sécheresse affecte faiblement les plants du caroubier en symbiose mycorhizienne. Le stress oxydatif est aussi l'un des stress les plus dévastateurs qui touche les plantes en conditions environnementales défavorables. Il peut être un résultat d'un autre stress abiotique ou d'une carence en phosphore due à l'accumulation d'espèces réactives de l'oxygène (ROS) entraînant une altération des membranes (Essahibi *et al.*, 2019). La symbiose mycorhizienne améliore les performances des plantes en période de stress et protège les tissus végétaux contre les dommages oxydatifs (Boutasknit *et al.*, 2020).

L'analyse du sol rhizosphérique du caroubier a montré l'existence d'une communauté diversifiée et très étendue des champignons mycorhiziens. Ces résultats sont en accord avec des études antérieures où il a été signalé que le sol du caroubier est très riche en espèces mycorhiziennes (EL ASRI *et al.*, 2014). Nous avons isolé 100 spores dans 20g de sol. Ces résultats corroborent celui de Dalli *et al.* (2020) qui ont noté la présence de 641 spores/100g de sol et d'une affectivité élevée de 94% du caroubier en zone semi-aride, dans l'ouest Algérien. Les espèces des AM isolées du sol de caroubier appartiennent aux Glomerales connus par les genre *Glomus*, *Acaulospora*, *scutellospora*, *Gigaspora* et *Entrophospora* (Ouahmane *et al.*, 2012 ; Manaut *et al.*, 2015 ; Talbi *et al.*, 2015). Chez

*Ceratonia siliqua* les spores du genre *Glomus* sont les plus abondantes (Ouahmane *et al.*, 2012 ; EL ASRI *et al.*, 2014 ; Manaut *et al.*, 2015 ; Talbi *et al.*, 2015). Pour certain auteurs, la dominance du genre *Glomus* est due à sa capacité à produire plus de spores en un temps plus court que d'autre genres tels que *Gigaspora* et *Scutellospora*, pour d'autres elle est due à son adaptation à la sécheresse et à la salinité (EL ASRI *et al.*, 2014). Il faut savoir que la distribution des espèces de CMA, dans le sol du caroubier dépend aussi de la température, l'humidité, le pH de sol, la matière organique et les propriétés physico-chimiques de ce dernier. Elle dépend aussi du type de milieu, La richesse en AMF dans les forêts naturelles est plus élevées que dans les champs agricoles (Talbi *et al.*, 2015). Dans notre étude, l'échantillon est prélevé dans un sol forestier, alcalin et très riche en matière organique. C'est ce qui a fait qu'il est riche en spores de champignon endomycorhizien. Grâce à cette diversité, le caroubier est devenu une espèce clé dans le reboisement et la restauration d'écosystèmes dégradés (EL ASRI *et al.*, 2014) surtout dans la réhabilitation des zones marginales du bassin méditerranéen (Boutasknit *et al.*, 2020).

Plusieurs programmes d'inoculation de caroubier par les CMA ont été réalisés, comme les travaux faits par Manaut *et al.*, (2015) et Essahibi *et al.*, (2019). Ils suggèrent que l'établissement de cet inoculum, qui a un impact bien remarquable sur la tolérance de *Ceratonia siliqua* au stress hydrique, peut également avoir un impact sur la diversité fonctionnelle de la microflore du sol en facilitant l'installation et le développement de microorganismes du sol capables de cataboliser les composés organiques dont il résulte un biofertilisant et bioprotecteur des plantes (Manaut *et al.*, 2015 et Essahibi *et al.*, 2019). Une expérience menée par Jadrane *et al.*, (2020) en inoculant de jeunes plants de *C. siliqua* avec des racines de maïs mycorhizées a montré des résultats probants en conditions de stress hydrique en minimisant l'impact de ce dernier sur *C. siliqua* et en améliorant ses capacités adaptatives à la sécheresse.

Enfin, nous avons noté une présence d'endophytes. Ces résultats sont cohérents avec de nombreuses études (EL ASRI *et al.*, 2014 ; Dalli *et al.*, 2020) qui ont signalé que le caroubier abrite des endophytes, dans son système racinaire. Les champignons endophytiques appelés DES, confèrent à *C. siliqua* une résistance contre le stress hydrique (Khassali, 2021).

Conclusion

## Conclusion

---

Le caroubier est une Fabacée typiquement méditerranéenne à grande valeur écologique, économique et nutritionnel. Cette espèce fait partie des plantes vasculaires capables d'établir des associations mycorhiziennes et dépend fortement de leurs fonctionnalités pour croître et produire sous de fortes contraintes environnementales. (Essahibi *et al.*, 2019)

Ce travail a visé à déterminer la structure du champignon endomycorhizien qui colonise la racine de *Ceratonia siliqua*, dans un site d'étude localisé dans la région de Menaam de la wilaya de Tizi-ouzou. L'étude des paramètres physico-chimiques du sol (granulométrie, pH, humidité, conductivité électrique et carbone organique) a montré que cet arbre se développe dans un sol limono-sableux, alcalin, riche en carbone, non salé et pauvre en eau.

Tous les fragments de racines observés sont densément endomycorhizés par un champignon de type intermédiaire. Nous avons remarqué la présence de toutes les structures endomycorhiziennes : vésicules, arbuscules et hyphes fongiques ce qui fait que *Ceratonia siliqua* est un plan mycotrophe avec un taux de mycorhization de 100%.

Nous avons aussi isolé différents morphotypes de spores de CMA. En effet, la rhizosphère de *Ceratonia siliqua* héberge une communauté diversifiée de champignons arbusculaires appartenant au Glomerales (au genre *Glomus*, *Acaulospora*, *Scutellospora*, *Entrophospora* et *Gigaspora*). Le genre *Glomus* est le plus abondant.

En perspective, il sera intéressant de :

- Elargir la zone d'étude.
- Considérer des plants de caroubier à différents âge (jeune, adulte...).
- Déterminer des profils génétiques des différents champignons endomycorhiziens.
- S'intéresser à d'autres associations symbiotiques comme la fixation d'azote et les endophytes.
- Orienter les études vers la multiplication de cette espèce (*Ceratonia siliqua*) qu'est un fertilisant biologique des sols, moins couteux et peut être sélectionnée et utilisée dans le reboisement, la restauration d'écosystèmes dégradées et l'amélioration de la vigueur de cette plante particulièrement au stress hydrique.

# Références bibliographiques

## Références bibliographiques

---

- Abourouh, M. (2012)** Inoculation de *Ceratonia siliqua* L. avec un mélange de champignons mycorhiziens arbusculaires indigènes améliore l'établissement des semis dans des conditions de serre. *African Journal of Biotechnology* .11(98), pp. 16422-16426
- Yahya Hadi, M., Hadi Akiyama, K. (2007)** Chemical identification and functional analysis of apocarotenoids involved in the development of arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Bioscience biotechnology and biochemistry*. 71(6). pp 1405- 1414
- Amira, R., Ben Mansour, R., Megdiche, w., Ksouri, R. , Attia, Kh., Moujahed, N., Ben Ismail ,H. (2022)** Variability of phenolic compounds and antioxidant activities of ten *Ceratonia siliqua* L. provenances. *Biochemical Systematics and Ecology*.104. pp1-9
- Battle, I., Tous, J. (1997)** Carob tree. *Ceratonia siliqua* L. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 17. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben/International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy. pp79
- Biner, B., Gubbuk, H., Karhan, M., Aksu, M., Pekmezci, M. (2007)** Sugar profiles of the pods of cultivated and wild types of carob bean (*Ceratonia siliqua* L.) in Turkey. *Food Chem*. 100(4). pp1453-5
- Boutasknit, A ., Baslam, M ., Ait-El-Mokhtar , M ., Anli, M ., Ben-Laouane, R ., Douira , A., El Modafar, C ., Mitsui ,T ., Wahbi, S ., Meddich, A . (2020)** Les champignons mycorhiziens arbusculaires interviennent dans la tolérance à la sécheresse et la récupération dans deux écotypes contrastés de caroube (*Ceratonia siliqua* L.) en régulant les stomates, les relations hydriques et les ajustements (in)organiques. *Plantes*.9(80).pp1-19
- Dalli, Y., Yahia, N., Bekki, A. (2020)** Diversity of arbuscular Mycorrhizal Fungi associated with carob trees (*Ceratonia Siliqua* L.) in western Algeria. *Biotechnologie des cellules végétales et biologie moléculaire*.21 (17&18).pp180-193
- Dechamplain .N., Gosselin.L.(2002)** Les champignons Mycorhiziens : PISTSE Université laval .pp12
- Duhoux, E., Nicole, M. (2004)** Association et Interaction Chez Les Plantes. Ed DUNOD. Pp54

## Références bibliographiques

---

**EL ASRI, A., TALBI, Z., AIT AGUIL, F., CHLIYEH, M., SGHIR, F., TOUATI, J., OUAZZANI TOUHAMI, A., BENKIRANE, R., DOUIRA ,A. (2014)** Arbuscular Mycorrhizal Fungi Associated with Rhizosphere of Carob Tree (*Ceratonia siliqua* L.) in Morocco .International Journal of Pure & Applied Bioscience.2(3).pp286-297

**Essahibi. E., Benhiba. L., Ait Babram. M., Ghoulam. C., Qaddoury. A. (2019)** Influence of arbuscular mycorrhizal fungi on the functional mechanisms associated with drought tolerance in carob (*Ceratonia siliqua* L.).Trees. 32. pp87-97

**Jadrane .I., Al Feddy.M.N., Dounas.H., Kouisni.L., Aziz.F., Ouahmane.L. (2020)** Inoculation with selected indigenous mycorrhizal complex improves *Ceratonia siliqua*'s growth and response to drought stress. Saudi Journal of Biological Science. pp1-8

**Hanana. M., Hamrouni .L . (2014)** Notes ethnobotaniques et pharmacologiques sur *Ceratonia siliqua* (L.)

**Hameed, I., Adnan Ibraheam, I.(2017)***Ceratonia Siliqua* :Characterization,Pharmaceutical Products and analysis of bioactive compounds :a review.research journal of pharmacy and technology.10(10).pp1827-1831

**Hirissou. F. (2020)** Les mycorrhizes Des alliés dans l'alimentation et la protection des plantes. AGRONOMIE .pp 1-12

**Manaut. N., Sanguin .H., Ouahmane ; L., Bressan. M., Thioulouse. J., Baudoin . E., Galiana .A., Hafidi. M., Prin Y., Duponnois .R. (2015)** Potentialities of ecological engineering strategy based on native arbuscular mycorrhizal community for improving afforestation programs with carob trees in degraded environments. Ecological Engineering. 79. pp113-119

**Garbay , J (2013)** La symbiose Mycorrhizienne Une Association Entre Les Plantes et Les Champignons. Ed Quae.pp48-62

**Ghédira, K., Goetz, P. (2019)** Caroubier : *Ceratonia siliqua* (L.) (Fabaceae). Phytothérapie. 17(5).pp90-286

**Khassali.H. (2021)** Evaluation et Gestion des Potentiakités Microbiennes du Sol pour l'amélioration de la Tolérance du Caroubier aux Contraintes Hydrique. Bois et Forêts de Tropiques. 350(4). pp87-88

## Références bibliographiques

---

**Ouahmane, L., Ndoye, I., Morino, A., Ferradous, A., Sfairi, Y., Al Faddy, M.N., Abourouh.M. (2012)** Inoculation of *Ceratonia siliqua* L. with native arbuscular mycorrhizal fungi mixture improves seedling establishment under greenhouse conditions. *African Journal of Biotechnology*. 11(98). pp 16422-16426

<sup>a</sup> **Outamamat . E., Dounas. H., Bouamari. R., Ouahmane .L . (2022)** Application of Arbuscular Mycorrhizal Fungi Isolates from Semi-arid Mediterranean Ecosystems as Biofertilizers in Argan Tree Development. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 22. pp944–955

<sup>b</sup> **:Outamamat . E., Dounas. H., Aziz. F., Barguaz. A ., Duponnois .R., Ouahmane . L. ( 2022)** The first use of morphologically isolated arbuscular mycorrhizal fungi single-species from Moroccan ecosystems to improve growth, nutrients uptake and photosynthesis in *Ceratonia siliqua* seedlings under nursery conditions . *Saudi Journal of Biological Sciences*. 29(4) .pp 2121-2130

**Quezel .P., Santa. S., (1962)** Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques Méridionales (tome 1). Edition du centre national de la recherche scientifique, Paris.pp 557

**Rebour .H., (1968)** fruits Méditerranéen, la maison rustique Paris. 330pp.

**Selousse .,Le Tacon.(1998)** The land flora: a phototroph–fungus partnership?. *TREE*.13. pp15-20

**Strullu.D.G .(1991)** Les mycorhizes des arbres et plantes cultivées. Collection Tec. & Doc., Lavoisier, Paris .pp250 p

**Talbi, Z. , EL ASRI,A. , TOUATI,J. , CHLIYEH,M. , AIT AGUIL,F., Selmaoui, K. , SGHIR, F. , OUAZZANI TOUHAMI, A.,BENKIRANE,R ., DOUIRA,A . (2015)** Morphological characterization and diversity of endomycorrhizae in the rhizosphere of Carob tree (*Ceratonia siliqua*) in Morocco.*Biolife*.3(1).pp196-211

**Yahya Hadi.M., Hadi Hamid.I., Adnan Ibraheam.I. (2017)** *Ceratonia siliqua*: Characterization, Pharmaceutical Products and Analysis of Bioactive Compounds: A Review. *Research Journal of Pharmacy and Technology*. 10(10). pp1827-1831

**Zouari, N., El Mtili, N. (2020)** Effects of ectomycorrhizal fungal inoculation on growth and rooting of carob tree (*Ceratonia siliqua* L.). *South african journal of botany*.135.pp181-187

# Annexes

### Annexe 1 : Étude de la structure du sol

#### a. Granulométrie

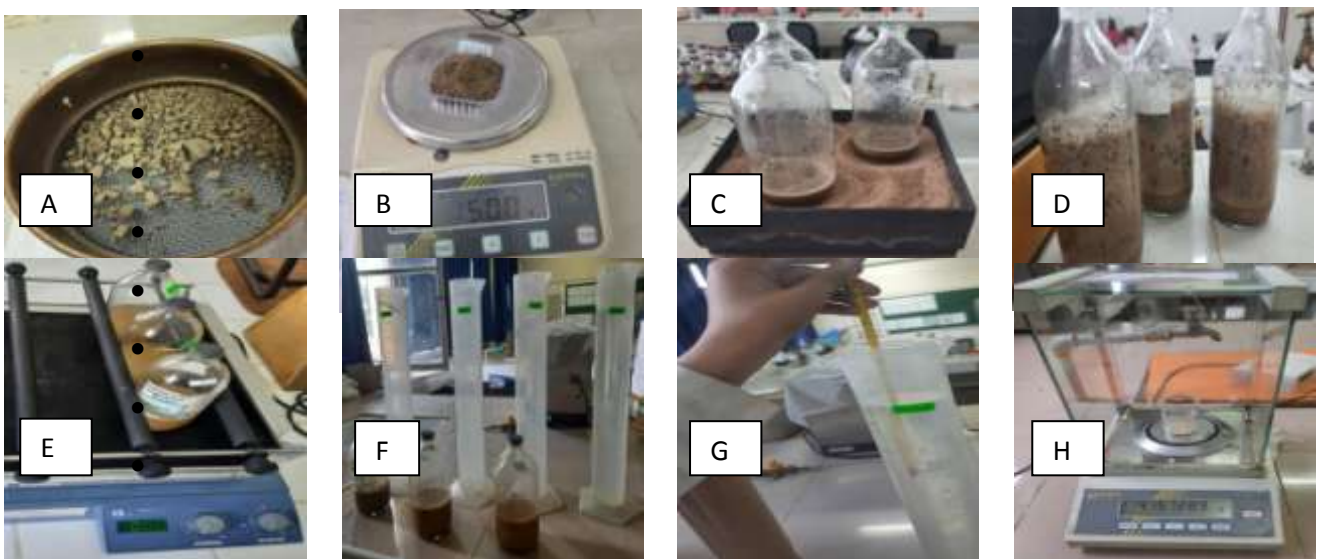
Afin de déterminer le type du sol d'où on a prélevé notre échantillon, on a effectué une étude granulométrique pour ce sol qui a pour but de caractériser la distribution de la taille des particules contenues dans cette terre et de déterminer sa texture. Après séchage à l'air libre pendant 4 jours, la première étape consiste à éliminer tout éléments grossier supérieur à 2mm (cailloux et graviers) à l'aide d'un tamis afin de récupérer la terre fine inférieure à 2mm. Puis on a détruit la matière organique à l'aide de l'eau oxygénée pour séparer les particules de sol et on l'a laissé au repos pour permettre la sédimentation des particules de sol. Cette analyse est faite selon le protocole de la pipette de Robinson ; 3 répétitions ont été réalisées.

#### Mode opératoire utilisé

- Séchage du sol à l'air libre pendant 4 jours
- Tamisage du sol à l'aide d'un tamis de 2 mm pour éliminer les éléments grossier
- Pesée 15g de sol pour chaque essai (on a effectué 3 essais)
- Dans des flacons de 500 ml, la prise d'essai est introduite en ajoutons 50ml d'eau oxygénée (20V) et laissé reposer 1 nuit
- Porter au bain de sable en ajoutons chaque 1h 10ml d' $H_2 O_2$  et laisser évaporer en évitons l'ébullition jusqu'à disparition de la mousse (élimination totale de la matière organique) ; cette étape est réalisée 12 fois en raison de la richesse du sol étudié en matière organique
- Après disparition de la mousse laisser l' $H_2 O_2$  s'évaporer afin de minimiser sa quantité
- Préparer une solution d'hexamétaphosphate de sodium (50g dans un litre d'eau distillé)
- Ajouter dans chaque flacon 40ml de cette solution
- Agiter pendant 4h à l'aide d'un agitateur mécanique
- Transverser la suspension dans une éprouvette d'un litre et compléter au volume avec de l'eau distillée
- Préparer une solution témoin dans une éprouvette en ajoutons 960ml d'eau distillé à 40ml de la solution d'hexamétaphosphate
- Placer un thermomètre dans l'éprouvette du témoin et mesurer la température

## Annexes

- Après cette 1<sup>ère</sup> mesure ( $T^{\circ}=19^{\circ}\text{C}$ ) agiter chaque éprouvette puis attendre 4,55min et prélever (P1) à l'aide d'une pipette Robinson de 20ml à 10cm de profondeur
- Verser le contenu de la pipette dans un bécher séché et pesé vide. Ce contenu (P1) présente le prélèvement Argiles et Limons fins
- Après 24h, mesurer encore la température du témoin ( $T^{\circ}=17^{\circ}\text{C}$ ), agiter les éprouvettes et laisser sédimenter 6h
- Prélever à une profondeur de 7cm P2(les argiles) et verser le contenu dans un bécher séché et pesé vide
- Prélever 20ml de la solution témoin(P3) après agitation et verser dans un bécher sec
- Superposer 2 tamis (200 $\mu\text{m}$  et 50 $\mu\text{m}$ )
- Faire passer le contenu des allonges (éprouvettes) à travers les tamis et rincer bien
- Récupérer le contenu de chaque tamis dans des bécher secs (le contenu du tamis 50 $\mu\text{m}$  présente le prélèvement des sables fins (P4) et le contenu du tamis 200 $\mu\text{m}$  présente le prélèvement des sables grossier (P5))
- Faire sécher le contenu de tout les bécher à l'étuve à 105 $^{\circ}\text{C}$  pendant 24h jusqu'à la dessiccation totale
- Laisser refroidir et peser
- Calculer les pourcentage d'Argiles, Sables fins et grossier et Limons fins puis soustraire la somme des résultats trouver de 100% afin de trouver le pourcentage des Limons grossiers
- Présenter les résultats sur le triangle de texture de l'U.S.D.A(1986)



**Figure 15:** Les différentes étapes de la granulométrie (A :tamisage à 2mm ;B :pesé 15g ;C :bain de sable ;D :dégradation de la matière organique ;E :agitation ;F :transfert des suspensions dans des éprouvettes ;G :mesure de  $T^{\circ}$  ;H :pesé des poids après séchage)

## Annexes

**Tableau 5 :** Calcul des pourcentages de chaque particule de sol

P (prise d'essai)	15g		
P1(poids d'argiles + limons fins + hexasphosphate)	P0=41,82353g		P1=0,102787g
	P1=41,92213g	P1=0,0986g	
	P0=36,07465g		
	P1=36,1869g	P1=0,11225g	P1=0,102787g
	P0=41,900551g		
	P1=42,00302g	P1=0,09751g	
P2(poids d'argiles + hexasphosphate)	P0=41,67884g		P2=0,02408g
	P1=41,70675g	P2=0,02791g	
	P0=36,95674g		
	P1=36,9735g	P2=0,01676g	P2=0,02408g
	P0=41,54431g		
	P1=41,57188g	P2=0,02757g	
P3(poids d'examéta-phosphate)	P0=39,74535g		P3=0,00095g
	P1=39,7463g		
P4(poids de sables fins)	P0=119,5525g		P4=1,2802g
	P1=120,8327g	P4=1,2802g	
	P0=118,0736g		P4=1,30317g
	P1=119,3881g	P4=1,3145g	
	P0=101,0110g		

## Annexes

	P1=102,3258g	P4=1,3148g	
P5 (poids de sables grossier)	P0=102,6316g P1=108,0167	P5=5,3851 g	P5=5,4061g
	P0=104,2112 P1=109,6584	P5=5,4472g	
U	Volume de pipette de Robinson 20ml		
V	Volume de la suspension 1000ml		

- $$\%d'argiles = \frac{(P2-P3).V.100}{\left[P-\left(\frac{P}{100}\right).(Mo+H)\right].U}$$

$$\%d'argiles = 9,38\%$$

- $$\% \text{ Limons fins} = \frac{(P1-P2).V.100}{\left[P-\left(\frac{P}{100}\right).(Mo+H)\right].U}$$

$$\% \text{ Limons fins} = 31,92\%$$

- $$\% \text{ Sables fins} = \frac{P4.100}{\left[P-\left(\frac{P}{100}\right).(Mo+H)\right]}$$

$$\% \text{ sables fins} = 10,57\%$$

- $$\% \text{ Sables grossier} = \frac{P5.100}{\left[P-\left(\frac{P}{100}\right).(Mo+H)\right]}$$

$$\% \text{ Sables grossier} = 43,85\%$$

- $$\% \text{ Limons grossier} = 100 - (\%d'argiles + \% \text{ des sables fins} + \% \text{ Limons fins})$$

$$\% \text{ Limons grossier} = 4,28\%$$

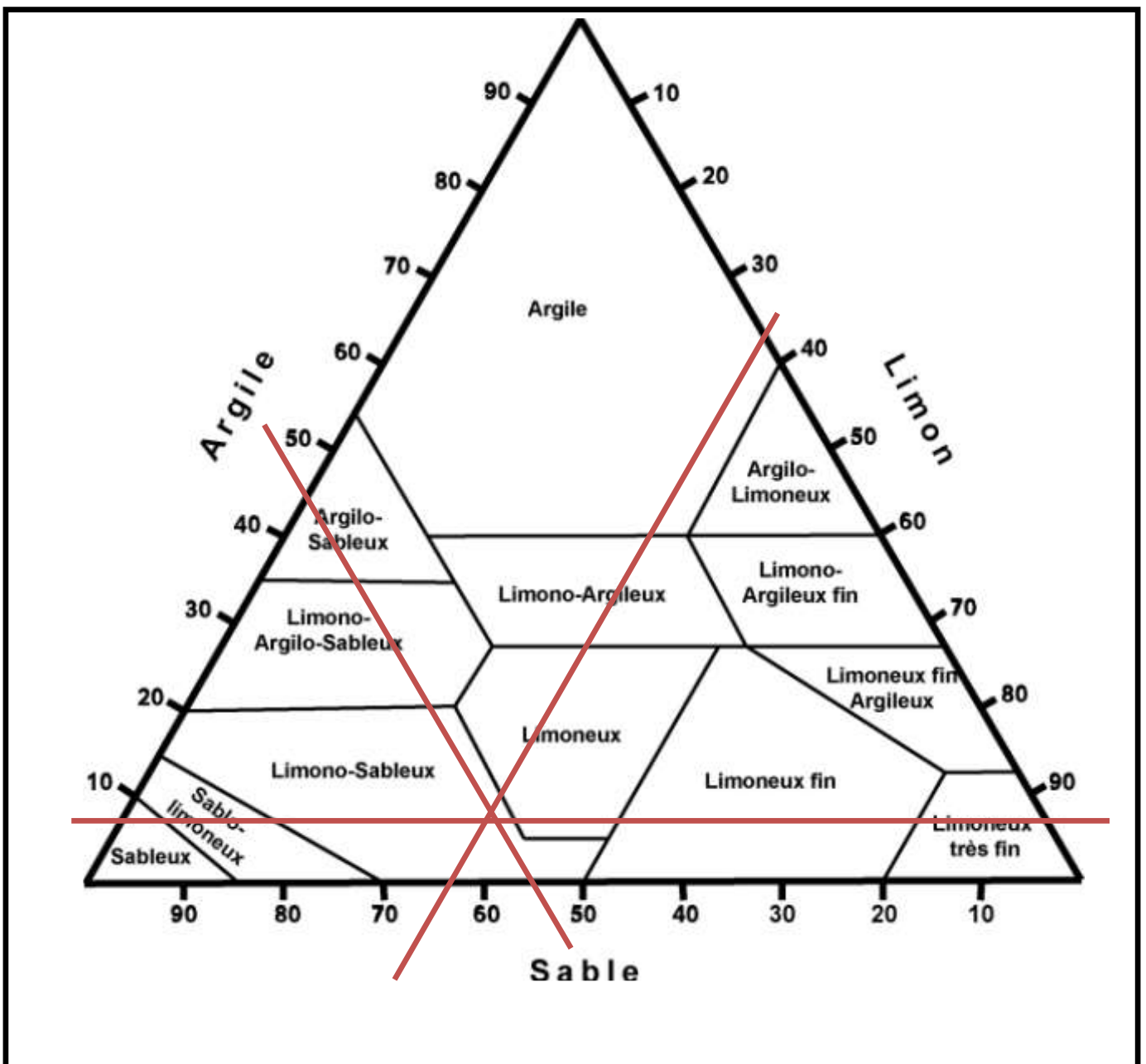


Figure 16: Triangle de texture de l'U.S.D.A. (1986)

### b. Détermination du pH du sol

Le pH du sol est défini par sa concentration en ions  $H^+$  qui détermine l'acidité ou l'alcalinité de ce dernier. C'est une variable primordiale pour l'étude des propriétés chimiques du sol. Le pH affecte la disponibilité des nutriments en contrôlant la solubilité des éléments minéraux. Ce potentiel hydrogène dépend aussi du complexe argilo-humique du sol. (Soltner, 2004 ; Kabata-Pendias, 2011 ; Clément, Françoise .2003)

Dans ce travail, on l'a mesuré en suivant ces étapes :

- Tamisage du sol a 2mm

- Pesée de 10g du sol tamisé (3fois pour 3 répétition)
- Mettre dans un flacon puis ajouter 25ml d'eau distillé
- Agiter pendant 10min
- Laisser reposer 2h puis mesurer le PH à l'aide d'un PH-mètre



**Figure 17:** PH-mètre

### **c. l'humidité du sol**

L'humidité du sol présente la quantité d'eau qu'il contient. Le calcul de cette variable a été réalisé après avoir pesé 10g de sol et versé dans des creusets pesés déjà vide et mis à l'étuve à 105°C pendant 4h.

### **d. Mesure de la conductivité électrique du sol**

La conductance électrique est la capacité d'un corps à laisser passer le courant électrique, cette mesure dépend de la concentration des ions présents et de leur vitesse de migration sous l'influence de la force électromotrice appliquée dans le sol

Pour déterminer cette mesure, on a réalisé le protocole suivant :

- Peser 20g de sol tamisé au travers d'un crible de 2mm ;
- Porter dans un bécher de 250ml et ajouter 100ml d'eau distillée ;
- Agiter pendant 2min avec agitateur magnétique ;
- Laisser reposer 30min ;
- Mesurer la conductivité électrique avec un conductimètre en introduisant l'électrode dans la solution (3répétition)
- Calculé la CE (moyenne des trois essais)



Figure 18 : un conductimètre

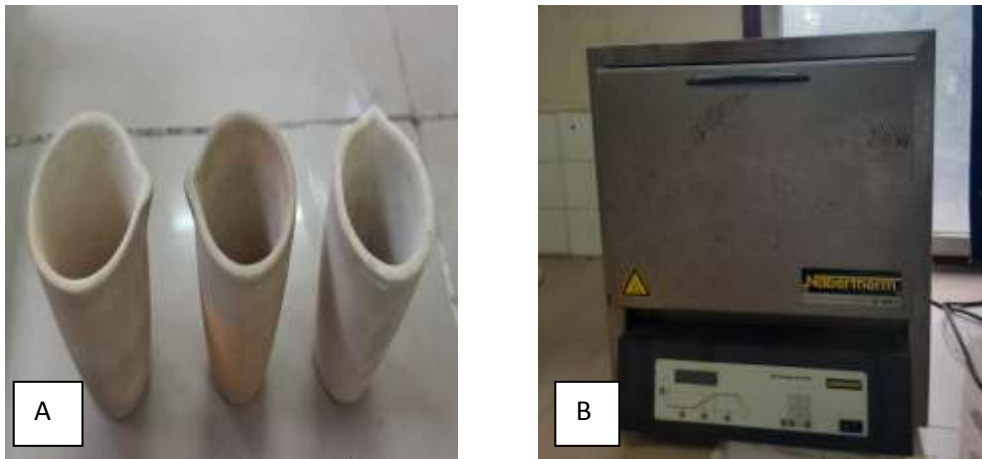
Échelle de conductivité électrique d'extrait du sol 1/5 (AUBERT, 1978)

CE ds/cm	Sol
CE < 0,6	Non salé
0,6 < CE < 1,2	Peu salé
1,2 < CE < 2,4	Salé
2,4 < CE < 6	Très salé
CE > 6	Extrêmement salé

**e. Dosage de la quantité du carbone organique dans le sol**

Pour mesurer la matière organique, nous avons utilisé le protocole de perte au feu décrit par Mathieu et Pieltain (2003). Le protocole est le suivant :

- Tamisage du sol à 2mm pour éliminer les cailloux puis pesé 10g (trois fois pour 3 répétitions)
- Séché pendant 4h à l'étuve à 105°C pour éliminer l'humidité et pesé le poids d'échantillon+creusets
- Chauffé les creusets dans un four à 550°C pendant 16h pour brûler le carbone
- Pesé puis calculé la quantité du carbone en soustrayant la masse du creuset+échantillon avant combustion de la masse du creuset+ la cendre puis multiplié par le facteur de conversion selon le type du sol



**Figure 19** : matériels de la combustion des échantillons (A : creusets ;B :four)

Calcul de la quantité de carbone organique :

Répétition 1	Répétition 2	Répétition 3
P0=62,5065g	P0=68,2772g	P0=67,3137
P0+E1=71,9930g	P0+E2=77,1774g	P0+E3=77,2235
P1=69,2822g	P1=75,9545g	P1=75,9146g
P=2,7108g	P=1,2229g	P=1,3089g

$$\square = 1,747533g$$

$$\text{Quantité de carbone organique} = \square (1,72) (1,50)$$

$$\text{Quantité de carbone organique} = 4,509g / 10g \text{ de sol}$$

(les facteurs de conversion sont : 1,72 pour les sols limoneux ; 1,50 pour les sols sableux ; 1,58 pour les sols argileux, la texture de notre sol : limoneux-sableux)

### **Annexe 02 : Etude histologique de la racine de *ceratonia siliqua***

Réalisation de coupe anatomique

Les racines récoltées sont prise entre deux morceaux de polystyrène à fine graine. À l'aide d'une lame (Gillette), des coupes fines sont réalisées perpendiculairement à l'axe de l'organe et ce à main levée.

Les coupes sont ensuite récupérer dans le fond d'une boîte de pétri contient de l'eau distillé.

## Annexes

Les coupes ainsi réalisées sont transférées dans une boîte de pétri contenant de l'eau mélangé à l'hypochlorite de sodium (eau de javel) pendant 10min afin de vider les cellules de leurs contenu. Elles sont ensuite rincées avec de l'eau distillé (plusieurs bain successifs) puis soumise à l'action de l'acide acétique pour neutralisée l'effet de l'eau de javel. Enfin réalisée une double coloration.

### Annexe 03 : Détermination du type mycorhizien du caroubier

Présentation de la méthode de Guizon et Selosse(2010) :

les racines sont mises dans un bécher dans une solution de KOH (50g de KOH dans 100ml d'eau distillée) qui décolore les tanins des racines ligneuses puis chauffées au bain-marie 80°C pendant 20min, cette étapes a été répéter 3 fois jusqu'à décoloration des racines. Ensuite, la potasse a été éliminée puis un rinçage a été effectuer avec de l'eau de robinet afin de passer à la deuxième étape qui est un traitement avec de l'eau oxygéné 10V chauffées au bain-marie pendant 20min. Après rinçage avec de l'eau acidifié pour neutralisé la potasse, les racines ont été immergées dans du bleu de trypan (bleu coton) pendant 5min puis rincées avec de l'eau acidifié.

Les fragments de racines colorées sont montés entre lame et lamelle dans une goutte d'eau. Ils sont ensuite écrasés avec le bout arrondi d'un crayon de papier et observés sous microscope optique.



**Figure 20** : Traitement des racine et identification du champignon mycorhizien (A : préparation de la potasse ; B : racine et KOH au bain marie ; C : décoloration des racines ; D : traitement avec H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> et dégradation de la matière organique ; E : coloration et rinçage)

### Annexe 04 : Isolement des spores

- Pesé 20g de sol puis faire passé par tamisage humide dans une série de six tamis empilés dont le diamètre 2mm, 250 $\mu$ m, 200 $\mu$ m, 150 $\mu$ m, 100 $\mu$ m et 50 $\mu$ m , le filtrat retenu de chaque tamis est récupéré dans des tubes a essais
- Préparer une solution de glucose (10g dans 100ml d'eau distillé)
- Ajouter 10ml dans chaque tube à essais et centrifugé à 3000T/min pendant 10min
- Récupéré le surnagent à l'aide d'une pipette dans une boite de pétri puis observer entre lame et lamelle sous microscope optique
- Les spores sont caractérisé selon la couleur et forme



**Figure 21:** isolement des spores (A : l'ensemble de tube à essais récupérer des différents tamis ; B : les tamis superposées utilisées et la pissette)

## Résumé

Le caroubier (*Ceratonia siliqua*.L) est une fabacée à grand intérêt socio-économique et écologique. Cet arbre méditerranéen s'installe favorablement dans les zones arides et semi-arides grâce à sa capacité de développer différents mécanismes d'adaptation face aux stress biotique et abiotique. Notre étude est consacrée à la détermination des endomycorhizes arbusculaires associées à *C.siliqua* dans la région de Ouagnoun wilaya de Tizi-Ouzou. Après réalisation d'une étude des caractéristiques physico-chimiques du sol et d'étude de la racine du caroubier et du champignon mycorrhizien associé à ce dernier les résultats obtenus montrent une relation symbiotique entre la racine de cette espèce et les champignons endomycorhiziens de type intermédiaires qui se développent dans un sol alcalin avec un taux de mycorrhization de 100%. Une communauté diversifiée de spores de CMA appartenant aux glomérules a été isolée dans la rhizosphère de cette espèce. Le genre *glomus* est le plus abondant. Cette diversité lui confère une meilleure adaptation aux conditions défavorables du milieu.

Mots clé : *Ceratonia siliqua*, mycorhize arbusculaire, endomycorhize, glomérule, *glomus*.

## Abstract

The carob tree (*Ceratonia siliqua*.L) is a fabaceae of great socio-economic and ecological interest. This Mediterranean tree settles favorably in arid and semi-arid zones with its ability to develop different adaptation mechanisms in the face of biotic and abiotic stress. region of Ouagnoun wilaya of Tizi-Ouzou. After carrying out a study of the physico-chemical characteristics of the soil and a study of the root of the carob tree and the mycorrhizal fungus associated with the latter, the results obtained show a symbiotic relationship between the root of this species and the endomycorrhizal fungi of the intermediate type, which grows in alkaline soils with a mycorrhization rate of 100%. A distinct community of AMF spores belonging to the glomerates has been isolated from the rhizosphere of this species. The genus *glomus* is the most abundant. This diversity gives it a better adaptation to the described conditions of the environment.

Keywords: *Ceratonia siliqua*, arbuscular mycorrhiza, endomycorrhiza, glomerule, *glomus*.